



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“PROYECTO PARA PROFUNDIZAR EL TIRO SANTA CRUZ EN LA  
UNIDAD MINERA MILPILLAS”**

**ALUMNO: VICTOR HUGO GUTIÉRREZ GARCÍA**

**NUMERO DE CUENTA: 09731705-2**

**ASESOR: M.I. JOSÉ ENRIQUE SANTOS JALLATH**

**Octubre de 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE GENERAL

---

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>3</b>
1.1. Localización de la unidad Milpillas .....	3
1.2. Características del entorno .....	3
1.2.1. <i>Medio físico</i> .....	3
1.2.2. <i>Medio biológico</i> .....	6
1.3. Condiciones socioeconómicas.....	7
1.3.1. <i>Desarrollo económico</i> .....	7
1.3.2. <i>Agricultura</i> .....	8
1.3.3. <i>Ganadería</i> .....	8
1.3.4. <i>Industria</i> .....	8
1.3.5. <i>Comercio</i> .....	8
1.4. Características geológicas del yacimiento.....	9
1.4.1. <i>Geología regional</i> .....	9
1.4.2. <i>Geología del yacimiento</i> .....	10
1.4.3. <i>Litología</i> .....	10
1.4.4. <i>Reservas de mineral</i> .....	13
<b>2. CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN .....</b>	<b>15</b>
2.1. Proceso de minado.....	15
2.1.1. <i>Obras de desarrollo</i> .....	15
2.1.2. <i>Método de explotación</i> .....	15
2.2. Ciclo de producción .....	19
2.2.1. <i>Barrenación</i> .....	19
2.2.2. <i>Cargado de explosivo y voladura</i> .....	19
2.2.3. <i>Amacize de obras</i> .....	20
2.2.4. <i>Rezagado</i> .....	20
2.2.5. <i>Soporte y anclaje</i> .....	21
2.2.6. <i>Relleno</i> .....	21
2.3. Extracción de mineral .....	22

2.3.1. <i>Acarreo de mineral</i> .....	22
2.3.2. <i>Trituración primaria</i> .....	24
2.3.3. <i>Cargado de mineral y manteo</i> .....	25
2.3.4. <i>Malacates</i> .....	25
2.4. <i>Proceso de beneficio</i> .....	30
2.5. <i>Programa de producción</i> .....	32
2.5.1. <i>Producción mina</i> .....	32
2.5.2. <i>Producción planta de beneficio</i> .....	32
<b>3. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA EXTRACCIÓN DEL MINERAL.....</b>	<b>33</b>
3.1. <i>Antecedentes</i> .....	33
3.2. <i>Descripción general de las opciones 1 y 2</i> .....	34
3.2.1. <i>Opción 1</i> .....	34
3.2.2. <i>Opción 2</i> .....	36
3.3. <i>Análisis técnico económico</i> .....	38
3.3.1. <i>Aspectos técnicos</i> .....	38
3.3.2. <i>Aspectos económicos</i> .....	40
3.3.3. <i>Comparación de opciones</i> .....	41
3.3.4. <i>Consideraciones generales</i> .....	42
3.4. <i>Opción seleccionada</i> .....	44
<b>4. DESARROLLO DEL TIRO E INSTALACIONES NECESARIAS .....</b>	<b>47</b>
4.1. <i>Consideraciones para el diseño del tiro</i> .....	47
4.2. <i>Método de excavación</i> .....	48
4.2.1. <i>Jumbos para barrenación</i> .....	49
4.2.2. <i>Excavación con máquina rotaria</i> .....	50
4.2.3. <i>Método convencional de excavación</i> .....	53
4.3. <i>Selección del método de excavación</i> .....	56
4.4. <i>Ademe del tiro</i> .....	57
4.5. <i>Instalaciones del tiro</i> .....	59
4.5.1. <i>Malacate</i> .....	59
4.5.2. <i>Estación de trituración</i> .....	62
4.5.3. <i>Tolva de finos para la quebradora</i> .....	62
4.5.4. <i>Sistema de bandas transportadoras y cartuchos en el nivel 721</i> .....	65

4.5.5. <i>Pesómetros de medición</i> .....	68
4.6. Acarreo de mineral por locomotora .....	69
4.6.1. <i>Locomotora eléctrica</i> .....	71
4.6.2. <i>Estructuración del sistema</i> .....	71
4.6.3. <i>Operación del sistema de acarreo</i> .....	72
4.6.4. <i>Carros de la locomotora</i> .....	73
4.6.5. <i>Descripciones técnicas</i> .....	74
4.7. Consideraciones de ejecución .....	75
<b>5. ESTIMACIÓN DE COSTOS Y ANÁLISIS FINANCIERO</b> .....	<b>77</b>
5.1. Costos de inversión .....	77
5.1.1. <i>Excavaciones y desarrollo</i> .....	77
5.1.2. <i>Manteo y calesa</i> .....	80
5.1.3. <i>Estación de trituración</i> .....	81
5.1.4. <i>Instalaciones para el cargado del mineral</i> .....	81
5.1.5. <i>Trenes, carros de tren, rieles y accesorios</i> .....	82
5.1.6. <i>Sistema de bombeo de agua</i> .....	84
5.1.7. <i>Contrapozos de ventilación y ventiladores</i> .....	85
5.2. Costos de operación .....	85
5.2.1. <i>Acarreo por locomotora</i> .....	85
5.2.2. <i>Manteo</i> .....	86
5.2.3. <i>Bombeo</i> .....	86
5.2.4. <i>Ventilación</i> .....	87
5.2.5. <i>Costos de operación al final de la vida operativa de la mina</i> .....	87
5.3. Resumen de costos .....	88
5.4. Análisis financiero .....	88
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>93</b>
<b>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS</b> .....	<b>94</b>

## INDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Ubicación de la unidad minera Milpillás .....	4
Figura 2. Clima y paisaje característico de la región .....	5
Figura 3. Paisaje y vegetación de la región de Milpillás .....	6
Figura 4. Especies animales más representativas de la región .....	7
Figura 5. Sistema de fallas regionales .....	9
Figura 6. Sección SW-NE mostrando el pórfido, los tipos de roca y la rampa general .....	11
Figura 7. Sección NW-SE mostrando el pórfido, los tipos de roca y la rampa general .....	12
Figura 8. Litología de la región .....	13
Figura 9. Obras de preparación y accesos al interior de la mina .....	16
Figura 10. Principales niveles de producción y accesos .....	17
Figura 11. Sistema de Minado, salones y pilares con corte y relleno.....	18
Figura 12. Barrenación con Jumbo.....	19
Figura 13. Cargado de explosivos .....	19
Figura 14. Ejecución de voladura .....	20
Figura 15. Amacize de techo con barra .....	20
Figura 16. Rezagado de mineral .....	21
Figura 17. Soporte y anclaje con Jumbo anclador .....	21
Figura 18. Relleno de rebajes con scoop-tramp.....	22
Figura 19. Vista en planta de la estación de trituración en el nivel 992.....	23
Figura 20. Sección de la Quebradora .....	24
Figura 21. Sección mostrando las instalaciones de cargado de mineral.....	26
Figura 22. Instalaciones del malacate vistas en sección .....	28
Figura 23. Vista en sección y planta de las instalaciones del malacate y el stock pile .....	29
Figura 24. Diagrama de flujo de la planta de beneficio.....	31
Figura 25. Profundización del tiro por la opción 1 .....	35
Figura 26. Profundización del tiro por la opción 2 .....	37
Figura 27. Sección general del arreglo de la profundización del tiro.....	46
Figura 28. Jumbo tipo multibrazos.....	50
Figura 29. Máquina rotaria para barrenación .....	51
Figura 30. Diagrama de la máquina rotaria.....	52
Figura 31. Secciones longitudinales y transversales de algunas plantillas de barrenación .....	54
Figura 32. Diagrama del equipo de rezagado del método convencional para profundizar un tiro....	56

Figura 33. Isométrico mostrando la estructura del ademe del tiro, calesa y skips de manteo .....	58
Figura 34. Planta del tiro .....	60
Figura 35. Isometría general de la mina mostrando el avance que tendrá la rampa Guadalupe .....	61
Figura 36. Sección transversal de la estación de trituración.....	63
Figura 37. Estación de trituración vista de planta.....	64
Figura 38. Sección transversal de la banda de cargado y parte inferior de la tolva de finos.....	66
Figura 39. Bandas transportadoras y cartuchos vistos en planta .....	67
Figura 40. Sección de los cartuchos mostrando en la parte inferior los pesómetros.....	68
Figura 41. Sección de la obra de acarreo por locomotora.....	69
Figura 42. Ruta de acarreo de la locomotora en el nivel 780 mostrando los rebajes principales.....	70
Figura 43. Carros de mina extremo-bisagra.....	73
Figura 44. Cronograma de la profundización del tiro con la opción 1 .....	76

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Reservas estimadas por nivel y año de operación .....	14
Tabla 2. Resumen de los costos estimados para cada opción .....	41
Tabla 3. Comparación de los elementos más importantes de las opciones .....	42
Tabla 4. Producción total de milpillas LOM (vida total de la mina).....	46
Tabla 5. Descripciones técnicas de la locomotora .....	74
Tabla 6. Estimación de los costos de la excavación del tiro .....	78
Tabla 7. Estimación de los costos de excavación para la estación del tiro .....	78
Tabla 8. Estimación de los costos de excavación del frente de acarreo .....	79
Tabla 9. Estimación de los costos de la excavación y desarrollo de la rampa Guadalupe .....	80
Tabla 10. Estimación de costos del equipo para el manto.....	80
Tabla 11. Estimación de costos del equipo para la estación de trituración .....	81
Tabla 12. Estimación de costos para el equipo de las instalaciones de cargado de mineral .....	82
Tabla 13. Estimación de costos del equipo de acarreo de mineral .....	82
Tabla 14. Estimación de costos del equipo para el acarreo de desperdicios .....	83
Tabla 15. Estimación de costos del sistema de rieles de la locomotora .....	83
Tabla 16. Estimación de costos para el sistema de bombeo .....	84
Tabla 17. Estimación de costos de ventilación.....	85
Tabla 18. Costos de operación del acarreo por locomotora por día .....	85
Tabla 19. Costos de operación del manto del mineral por día.....	86
Tabla 20. Costos de operación del bombeo en el interior de la mina por día.....	86
Tabla 21. Costos de operación de la ventilación en la mina por día.....	87
Tabla 22. Costos de operación totales al finalizar la vida operativa de la mina.....	87
Tabla 23. Resumen de costos.....	88
Tabla 24. Datos más importantes del análisis financiero.....	89

## INTRODUCCIÓN

---

La mina de Milpillás comenzó a operar en el año 2005. Actualmente tiene una producción promedio de 4000 toneladas diarias de mineral de cobre. El acceso a las obras subterráneas se logra por el tiro general llamado Santa Cruz. Un segundo acceso lo proporciona la rampa Guadalupe, cuya función principal es la entrada de aire limpio al interior de la mina. El tiro cuenta con una profundidad de 563 metros, el fondo se encuentra en la elevación 902. El tiro conduce a varios niveles de producción que son el nivel 1280, nivel 1100 y el más profundo el nivel 992. La infraestructura más importante para el cargado y extracción del mineral se encuentra entre el nivel 992 y el nivel 937, y consiste en una estación de trituración, tolva de finos, equipo de cargado para los skips (cartuchos) y un equipo para facilitar el desalojo del agua capaz de bombear 6,000 galones por minuto hacia la superficie.

El plan de mina es extraer 2,700,000 toneladas anuales a principios del año 2013, año en que las reservas de los niveles superiores al nivel 992 comiencen a agotarse. Este hecho hará necesario el desarrollo oportuno del acceso y la preparación de los rebajes en las zonas profundas donde se encuentra el mineral (por debajo del nivel 992) en donde se obtendrá el incremento en la producción. Para el año 2016, 2,700,000 toneladas anuales vendrán de los niveles inferiores al nivel 992. Se estiman 36.6 millones de toneladas como reservas totales explotables incluyendo el mineral que se extrajo desde el comienzo del proyecto hasta la fecha, 25.1 millones de toneladas (el 70%) se localizan entre los niveles 992 y 752.

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar las alternativas para profundizar el tiro Santa Cruz y desarrollar el proyecto para su ampliación a fin de preparar el acceso a los cuerpos minerales situados entre las elevaciones 992 y 752. En estudios previos a este proyecto de selección se consideraron cinco alternativas de acceso a las zonas mineralizadas:

1. Profundizar el tiro Santa Cruz 212 metros terminando en la elevación 690 con un nivel de acarreo por locomotora en el nivel 780.
2. Profundizar el tiro Santa Cruz 80 metros, hasta la elevación 822, con acarreo de mineral en camiones vía rampa del nivel 752 hasta el nivel 887.
3. Acarreo de mineral por medio de camiones hasta la estación de trituración ubicada en el nivel 992.
4. Sistema de bandas colocadas en los niveles de producción hasta el nivel 752 donde se encontrará la estación de trituración.
5. Acarreo de mineral por medio de camiones para vaciar en contrapozos metaleros.

Las dos primeras alternativas cuentan con ventajas sobre las demás en cuanto a costos de operación, costos de inversión, tiempo de ejecución del proyecto y productividad; de esta forma, las alternativas tres, cuatro y cinco fueron descartadas. Con la exigencia de la producción diaria y el agotamiento del mineral en los niveles 1280 y 1100, actualmente se ha empezado a extraer el mineral de los niveles 910 y 890 por medio de camiones hasta la estación de trituración en el nivel 992. El acarreo a través de la rampa Guadalupe es lento y se entorpece a medida que se encuentran los camiones en contraflujo y solo se pueden acarrear por turno alrededor de 750 toneladas. Ésta situación que prevalece actualmente refleja el posible rechazo de la segunda alternativa.

En el capítulo uno, se describen aspectos generales de la unidad minera, condiciones socioeconómicas de la región y aspectos geológicos del yacimiento.

En el capítulo dos se presentan las condiciones actuales de operación de la unidad minera, tanto en la explotación minera como en el beneficio del mineral.

En el capítulo tres se hace una breve descripción de los estudios previos al proyecto de profundización, una descripción de las dos alternativas de profundización propuestas, el análisis técnico económico de las dos opciones consideradas y selección de la más adecuada.

En el capítulo cuatro se desarrollan los aspectos de diseño y desarrollo del tiro, métodos de excavación y selección del mismo, instalaciones requeridas para el tiro y descripción del sistema de acarreo por locomotora.

En el capítulo cinco se desglosan los costos de inversión y de operación del proyecto, se muestra el resumen de los costos y se realiza un análisis financiero siguiendo el ritmo de producción y la vida operativa de la mina.

En el capítulo seis se dan conclusiones generales del proyecto junto con algunas recomendaciones para facilitar el proyecto y la operación minera futura.

## **1. ASPECTOS GENERALES**

---

### **1.1. LOCALIZACIÓN DE LA UNIDAD MILPILLAS**

La unidad minera Milpillas se localiza en el municipio de Santa Cruz en el estado de Sonora, el cual colinda con los Estados Unidos de América y se encuentra entre los municipios de Cananea y Nogales.

Para acceder a la unidad se parte de la ciudad de Hermosillo con rumbo a la localidad de Nogales por la carretera federal no.15, en el poblado de Imuris se toma la carretera federal No. 2 que conduce a la ciudad de Cananea, en el kilómetro 64 (Cuitaca, Sonora), se toma un camino de terracería con dirección norte, aproximadamente a 15 kilómetros se encuentra la ranchería de Milpillas y de ella, se recorren 3 kilómetros en dirección hacia el este para llegar a la unidad minera. El recorrido en terracería se estima en 30 minutos (*Figura 1*).

La unidad se localiza a una altura sobre el nivel del mar de 1,450 metros y tiene unas coordenadas geográficas Latitud 31° 07' 00" N, Longitud 110° 20' 00" W.

### **1.2. CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO<sup>1</sup>**

#### **1.2.1. Medio físico**

##### *Extensión*

El municipio de Santa Cruz posee una superficie de 880.43 kilómetros cuadrados, que representan el 0.47 por ciento del total estatal y el 0.04 por ciento del nacional; la localidad más importante; además de la cabecera, es el poblado de Miguel Hidalgo.

---

<sup>1</sup> Fuente, La Población de los Municipios de México 1950 - 1990. Ed. UNO Servicios Gráficos, México, Nov., 1994.

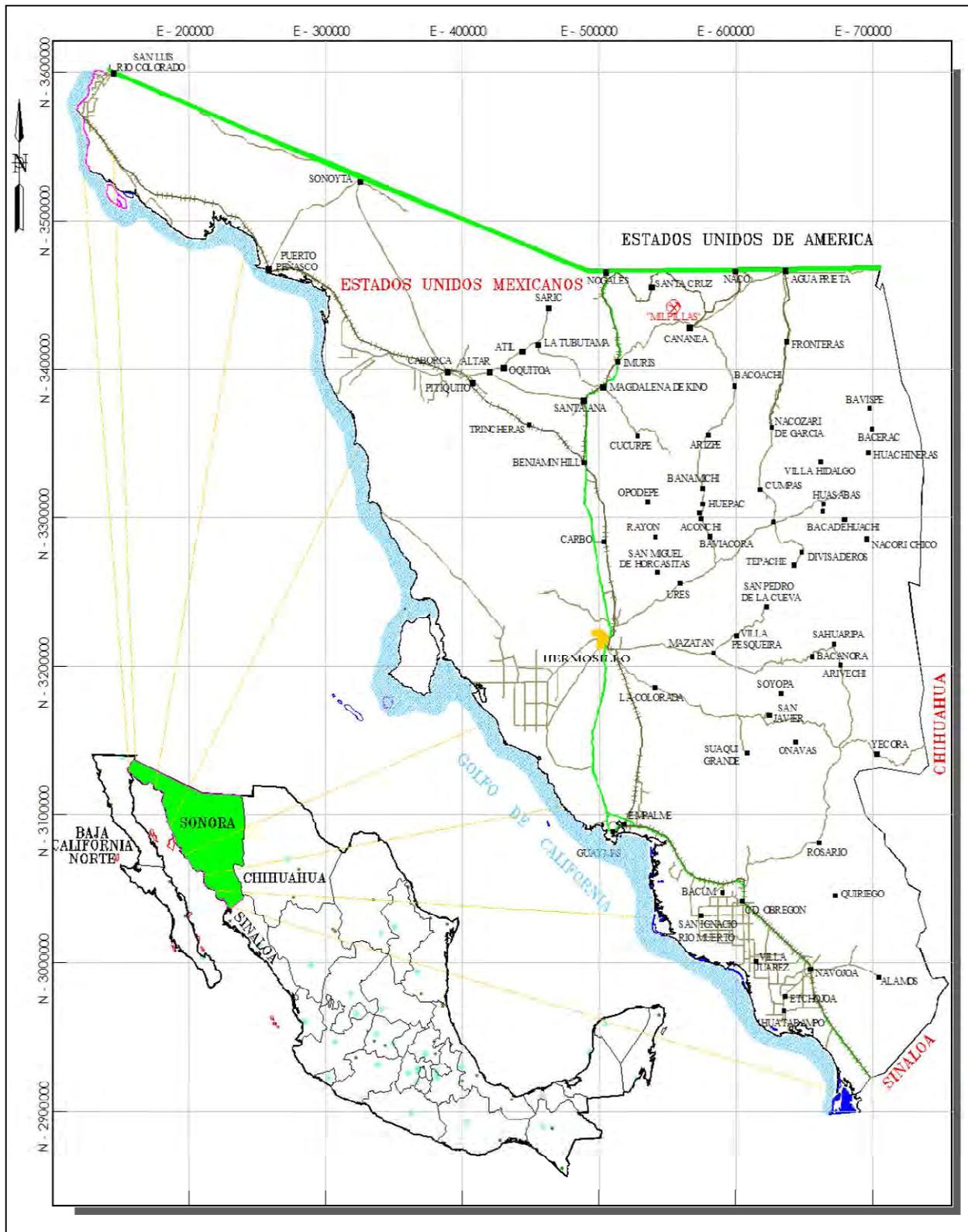


Figura 1. Ubicación de la unidad minera Milpillas.

### *Orografía*

El municipio está situado en la Sierra Madre Occidental, su suelo es montañoso en un 40 por ciento; las zonas semiplanas representan un 50 por ciento y se localizan en el sur y al noroeste de la cabecera municipal y los suelos planos representan el 10 por ciento restante. Las zonas accidentadas en este municipio se localizan al este y oeste del mismo y están formadas por montañas de 1,530 metros de altura como son la sierra de San Antonio y la sierra del Chivato (*Figura 2*).



Figura 2. Clima y paisaje característico de la región.

### *Hidrografía*

Santa Cruz tiene un solo río de poco caudal el cual lleva su nombre, con corrientes de norte a sur; desembocando en el río Gila Ben de los Estados Unidos de Norteamérica. Existen varios arroyos con caudal solamente en épocas de lluvia denominados Ojo Zarco, El Jacalito, El Lajoncito, El Presidio y El Tambor. Existen 85 represas distribuidos en diversos puntos del municipio; 68 para extracción de agua, además tres de galerías filtrantes.

### *Clima*

El clima en el lugar es semiseco templado con lluvias en verano y un porcentaje de lluvias en invierno de 5 a 10%, con verano cálido. La temperatura media anual es de 16 °C a 18 °C. La temperatura media en el tiempo de invierno es de 2 °C y la temperatura media en el tiempo de verano es de 30 °C. La precipitación promedio anual se encuentra entre 400 a 500 milímetros. La precipitación máxima anual fué de 865 mm en 1926, la precipitación máxima mensual fué de 251 mm en 1967 y la máxima precipitación pluvial en un solo día fué en 1968 con 88 mm; en los meses de julio y agosto ocurren las máximas precipitaciones pluviales del año, teniendo como segunda época anual de lluvias el mes de diciembre. Las condiciones climáticas están influenciadas por las corrientes provenientes del Golfo de California como son: vientos, tormentas y ciclones intertropicales.

### **1.2.2. Medio biológico**

#### *Flora*

En la zona del proyecto la vegetación se caracteriza por tener zacates en las laderas y roquedales, con cubierta arbórea muy dispersa o ausente, con algunas especies de nopales y otras plantas invasoras como cohabitantes secundarios. La vegetación en las barrancas se caracteriza por tener numerosas especies de arbustos y subarbustos debido a que la temperatura y la humedad son un poco más altas (*Figura 3*).



Figura 3. Paisaje y vegetación de la región de Milpillas.

## *Fauna*

La fauna municipal es variada, destacando las siguientes especies: Anfibios: sapo, rana y sapo verde. Reptiles: tortuga de río, lagartijas, víbora de cascabel y camaleón. Mamíferos: venado de cola blanca, puma, mapache, ratón de campo, ardilla, liebre, coyote y jabalí. Aves: tortolita cola corta, lechuza, tecolote enano, golondrina común, aura y güilota (*Figura 4*).



Figura 4. Especies animales más representativas de la región.

## **1.3. CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS<sup>2</sup>**

### **1.3.1. Desarrollo económico**

La población económicamente activa del municipio de Santa Cruz es de 506 habitantes, de los cuales 242 se ocupan en actividades del sector primario; 125 en el sector secundario, 130 en el terciario, 9 personas no especifican actividad y 637 habitantes son económicamente inactivos.

---

<sup>2</sup> Fuente, La Población de los Municipios de México 1950 - 1990. Ed. UNO Servicios Gráficos, México, Nov., 1994.

### **1.3.2. Agricultura**

La agricultura en el municipio es una de las actividades más importantes, desarrollándose en 1,221 hectáreas, de las cuales 888 son de riego y 333 de temporal. Del total de hectáreas, 734.5 son de propiedad ejidal y 486.5 pertenecen a pequeños propietarios. Los principales cultivos son hortalizas, manzana y en menor medida maíz y frijol.

### **1.3.3. Ganadería**

La actividad ganadera que se desarrolla en el municipio es en una superficie de agostadero de 77,605 hectáreas, en ésta se estima una población de 15,550 cabezas de ganado de las cuales 8,725 corresponden al sector ejidal y 6,825 cabezas al sector privado. La infraestructura hidráulica en apoyo a la ganadería lo componen 90 represas; 10 pozos de abrevadero y 65 hectáreas de praderas artificiales; 40 de ellas son del sistema ejidal y 25 de pequeños propietarios.

### **1.3.4. Industria**

Aun cuando no existe industria alguna en este municipio presenta mayores potencialidades para su instalación, derivado de la producción de aproximadamente 10 mil árboles de manzana y se tienen pérdidas hasta en un 70 por ciento de la producción por no contar con una industria de transformación como una planta procesadora de manzana.

### **1.3.5. Comercio**

En el municipio se cuenta con 10 establecimientos de abarrotes, 6 de ellos están instalados en la cabecera municipal y el resto en el ejido Miguel Hidalgo.

## 1.4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL YACIMIENTO<sup>3</sup>

### 1.4.1. Geología regional

El Proyecto Milpillas se localiza en los límites de la sub-provincia fisiográfica de Sierras y Valles Paralelos (basin and range), la cual es paralela a la provincia de la Sierra Madre Occidental. Así mismo se ubica dentro de la franja de los pórfidos cupríferos de Sonora-Arizona. El lugar tiene relleno de aluvión de entre 50 a 300 metros de espesor.

Existen tres sistemas de fallas regionales: NS (intrusiones graníticas), NE (pórfido y mineralización), y NW (desplazamiento de cuerpos), todos ellos al parecer, son principalmente laramídicos con reactivaciones más recientes (*Figura 5*).

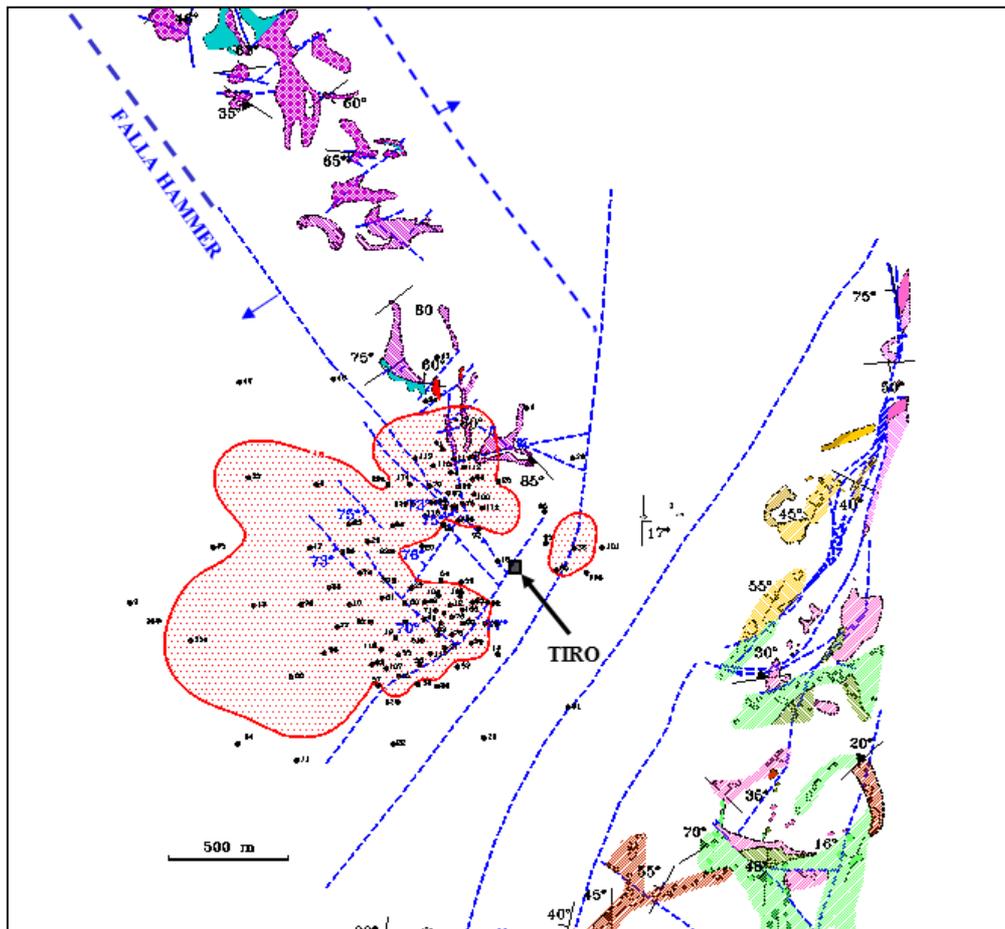


Figura 5. Sistema de fallas regionales.

<sup>3</sup> Fuente. Departamento de Geología de la Unidad Minera Milpillas

### **1.4.2. Geología del yacimiento**

El yacimiento es un pórfido de cobre, sepultado por un potente paquete de conglomerados Terciarios y encajonado en rocas volcánicas e intrusivas tipo pórfido de edad Mesozoica. Una zona superior arcillosa de lixiviación ácida, una zona intermedia de oxidación y depositación de óxidos de hierro y cobre, una zona inferior con depositación de sulfatos producto de alteración supergénica y sulfuros secundarios y una zona profunda de sulfuros primarios y alteración hipogénica.

Existen al menos seis mantos mineralizados superpuestos principales. Los tres más someros, asociados a la zona de óxidos consisten de: óxidos verdes (brocantita, calcantita, malaquita, azurita y crisocola), óxidos rojos (cuprita, delafosita y cobre nativo) y óxidos negros (neotocita, melaconita, silicatos hidratados de cobre, manganeso y fierro y óxidos e hidróxidos de manganeso con cobre). Por lo menos dos supergénicos profundos, principalmente calcocita con escasa covelita, asociados a la zona de sulfuros secundarios y uno combinado intermedio.

El cuerpo de mineral menos profundo se localiza a unos 80 metros por debajo del contacto de las rocas encajonantes con el aluvión, la mineralización está constituida por sulfatos, carbonatos y sulfuros secundarios de cobre (*Figuras 6 y 7*).

### **1.4.3. Litología**

Existen cuatro unidades litológicas: tobas, pórfido feldespático, pórfido joven y conglomerado. Las tobas de origen volcánico representan la roca más antigua, el pórfido feldespático que intrusión y altera por metasomatismo a las tobas, el pórfido joven que intrusión y altera de igual manera las dos unidades anteriores. En éste existen chimeneas brechadas asociadas a su contacto con esas dos unidades. El conglomerado de gravas y boleos en matriz de arenas y limos poco consolidados es la unidad más reciente y cubre las tres unidades anteriores.

Las zonas de mala calidad de roca están definidas por los contactos entre las unidades litológicas y las fallas, que resultaron de las intrusiones y eventos tectónicos de la región (*Figura 8*).

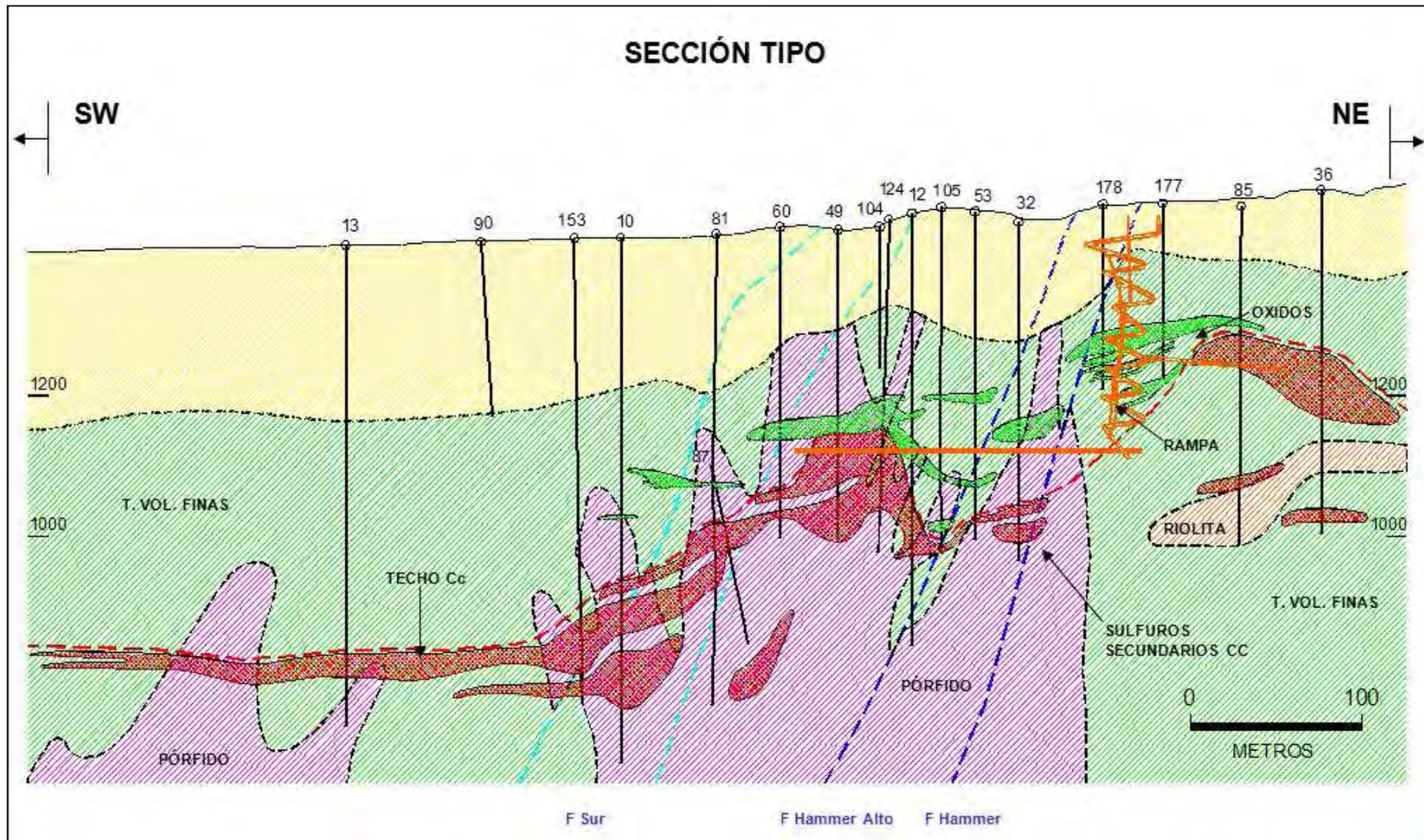


Figura 6. Sección SW-NE mostrando el pórfido, los tipos de roca y la rampa general.

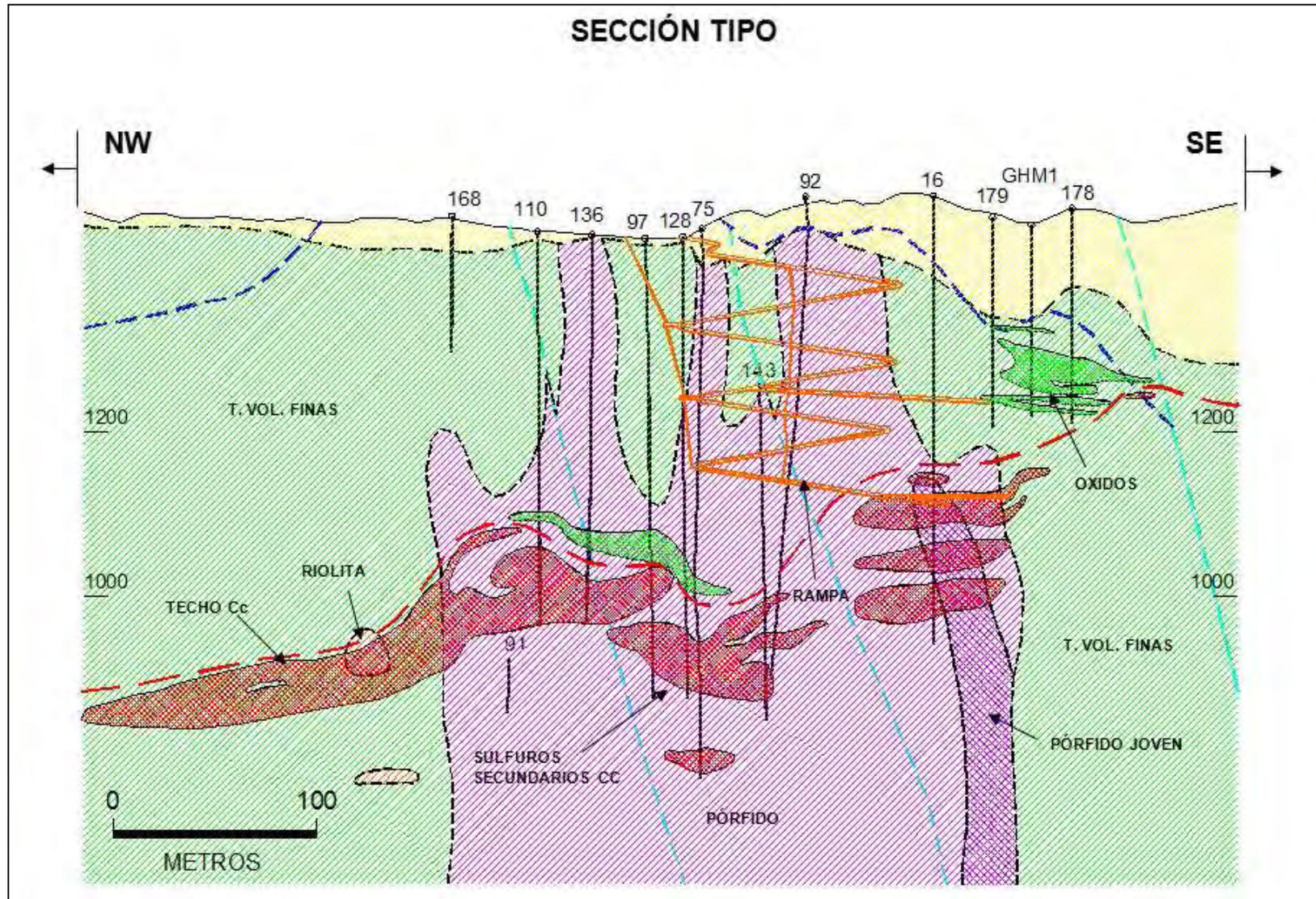


Figura 7. Sección NW-SE mostrando el pórfido, los tipos de roca y la rampa general.





## **2. CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN**

---

### **2.1. PROCESO DE MINADO**

#### **2.1.1. Obras de desarrollo**

Para acceder a las instalaciones de la mina se cuenta con dos accesos, la rampa Guadalupe y el Tiro Santa Cruz. Existen diferentes niveles de producción a lo largo del desarrollo de la rampa descendente, también se tiene acceso a estos niveles a través del Tiro Santa Cruz el cual parte de superficie, dicha obra tiene una profundidad de 821 metros.

Actualmente los niveles principales son el N-1292, N-1100, N-992 pero el tiro solo llega hasta la elevación 902, sin embargo el nivel N-910 y N-890 ya se explotan, acarreado el mineral vía rampa hasta la estación de trituración a un ritmo más lento. Estos niveles fueron establecidos estratégicamente para tener acceso a los cuerpos minerales en su parte más baja, de estas obras se empieza a delimitar el cuerpo desde la base para tener un nivel de desplante atravesándolos totalmente, terminando estas obras se procede a preparar los rebajes (*Figura 9*).

Se cuenta con obras de desarrollo de apoyo como son los contrapozos de ventilación, tolvas, pozos para la extracción del agua subterránea que se presenta por la apertura de las obras de la mina y estaciones de cargado de mineral, así como contrapozos para el relleno de los rebajes.

#### **2.1.2. Método de explotación**

Como se ha comentado, los yacimientos de mineral se encuentran en mantos horizontales por lo que el método de explotación es una combinación de cuartos y pilares con corte y relleno. El sistema de minado de cuartos y pilares consiste en colar calles y contracalles para delimitar los pilares previamente ubicados. Las dimensiones de los pilares son de 8 x 8 metros, las dimensiones de las calles y contracalles dependen de factores como la competencia de la roca encajonante, la consistencia del mineral y el espesor del yacimiento, principalmente.



El objetivo es extraer la mayor cantidad de mineral sin descuidar las condiciones de trabajo ni la seguridad del personal. Generalmente los pilares están diseñados en una forma sistemática y estos pueden ser de forma circular, cuadrados e incluso rectangulares a todo lo largo del yacimiento. Para la preparación de los rebajes se procede a abrir las calles y contracalles de 8 a 10 metros, de extremo a extremo; esto a ambos lados de la frente y dejando un pilar cuadrado de mineral (no recuperable) entre una frente y otra. Después del cuele se lleva a cabo el anclaje como complemento para sostener el techo de la obra minera y con ello evitar una posible caída de roca. Estas obras se abren en forma de cuadrícula, a lo largo y ancho del yacimiento mineralizado. La abertura vertical máxima de trabajo en cada rebaje debe ser de 5.5 a 6 metros (*Figura 10 y 11*).

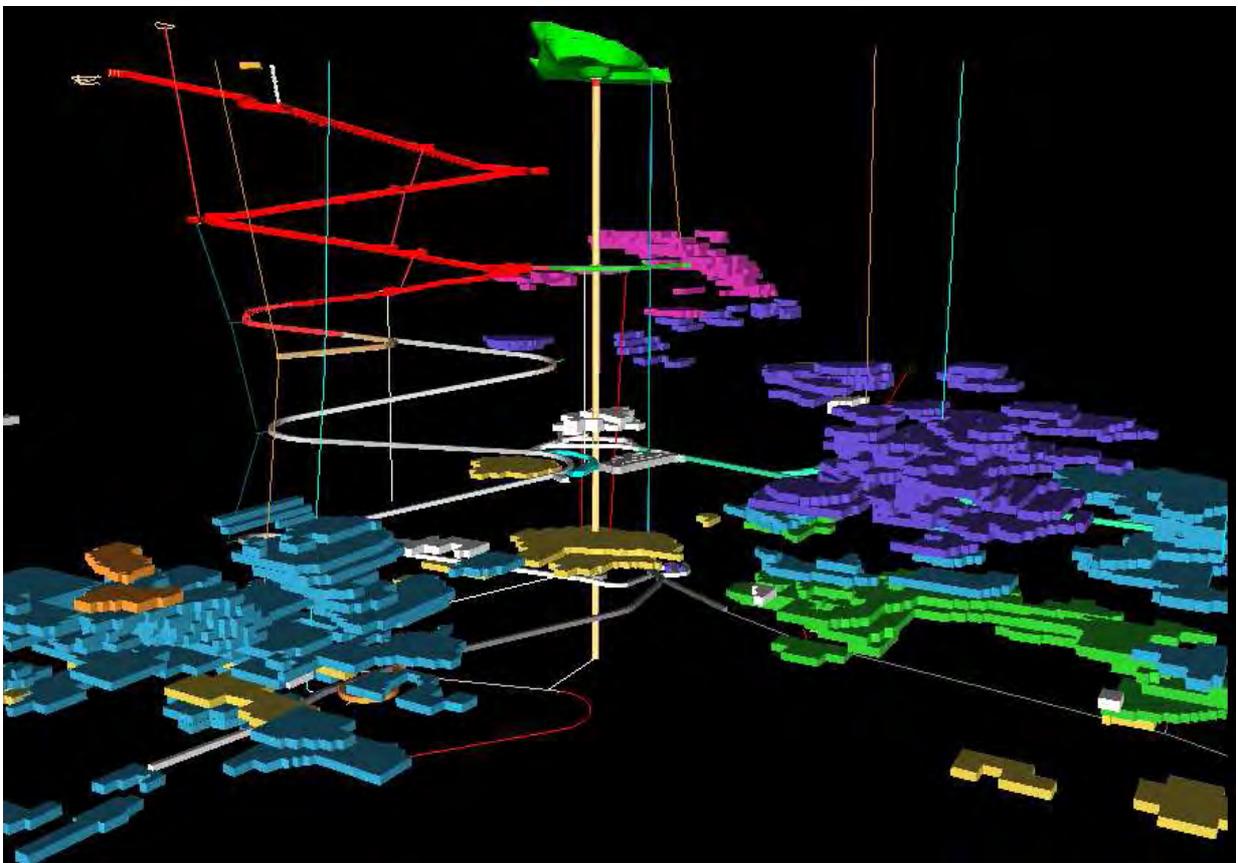


Figura 10. Principales niveles de producción y accesos.

Una vez tumbado el mineral, se procede a rezagarlo con el uso de un scoop tram y transportarlo a las metaleras de cada uno de los rebajes, para posteriormente extraerlo de las tolvas, vaciándolo a un camión y llevarlo al área de trituración primaria ubicada en el interior de la mina en el nivel 992, de donde será mantedado a superficie a través del tiro Santa Cruz.

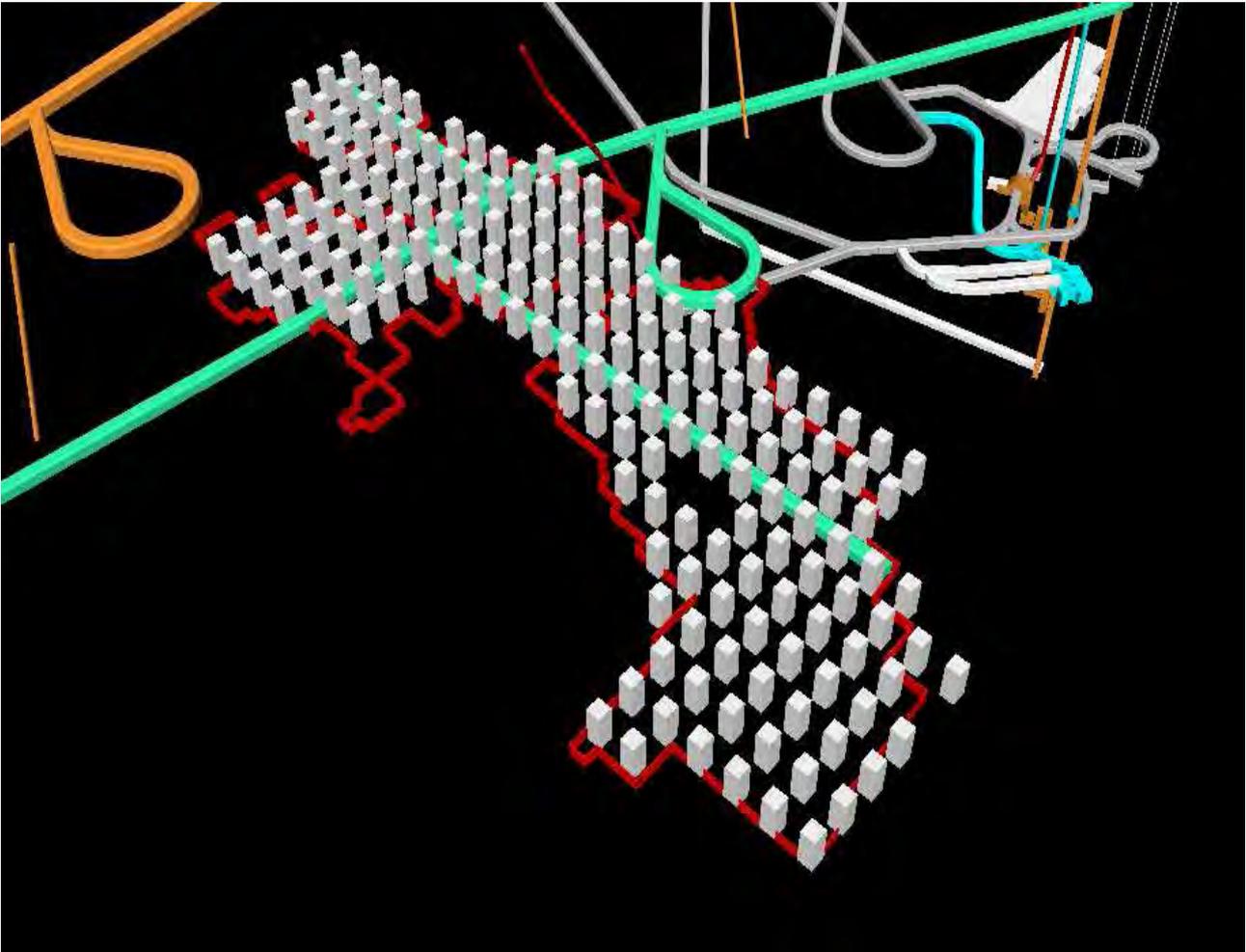


Figura 11. Sistema de minado, salones y pilares con corte y relleno.

Después de haber extraído el mineral del rebaje, por medio de contrapozos y desde superficie, se vacía el material estéril o tepetate como relleno; el cual permite incrementar la estabilidad de las zonas de trabajo y poder seguir llevando un piso adecuado para la mejor productividad de los equipos.

## 2.2. CICLO DE PRODUCCIÓN

### 2.2.1. Barrenación

Se utilizan jumbos electrohidráulicos de dos brazos para el 60 % de la producción del mineral y de un brazo para el resto, el acero de barrenación tiene una medida de 3.65 metros (12 pies).

La barrenación es sub-vertical a 75 grados con una altura efectiva de 3 metros, requiriendo de una altura abierta de 5.5 a 6 metros para realizar satisfactoriamente esta actividad (*Figura 12*).

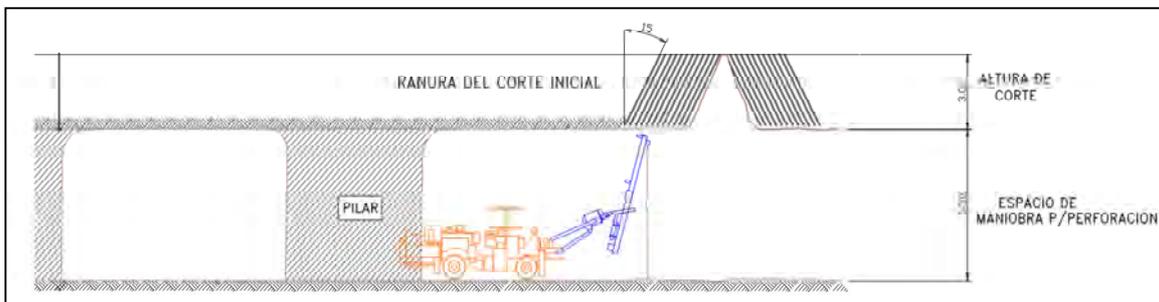


Figura 12. Barrenación con jumbo.

### 2.2.2. Cargado de explosivo y voladura

Esta actividad se realiza con equipo mecanizado sobre neumáticos con capacidad de transporte de agente explosivo de 1,200 kilogramos, el cual proporciona servicio a los barrenos de producción. Para los desarrollos, la actividad se realiza con recipientes neumáticos manuales de 50 a 250 kilogramos de capacidad. Los explosivos utilizados son el agente explosivo (mexamon), alto explosivo de distintas medidas, tovox T-1, iniciadores no eléctricos de retardo (nonel), cordón detonante y cañuelas iniciadoras (*Figuras 13 y 14*).

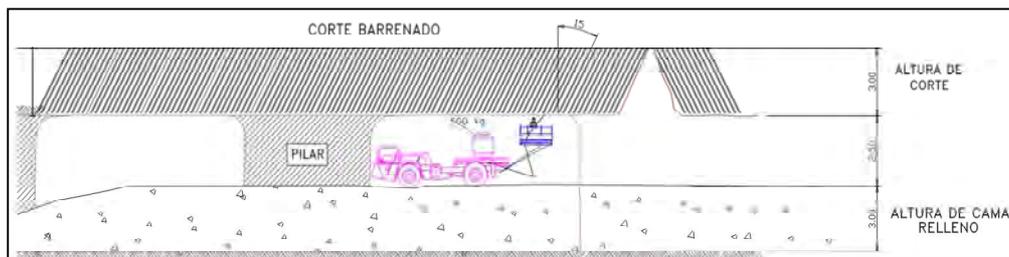


Figura 13. Cargado de explosivos

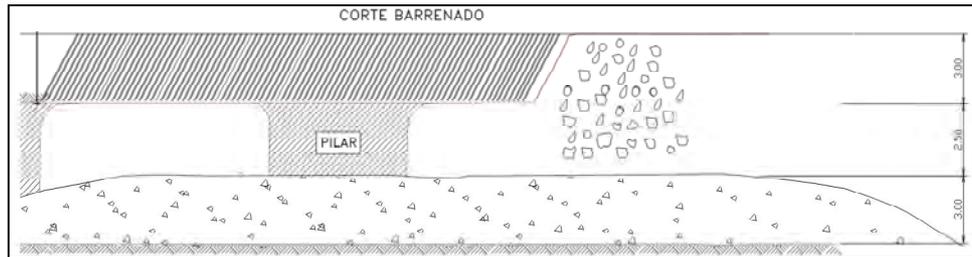


Figura 14. Ejecución de voladura.

### 2.2.3. Amacize de obras

Después de la voladura el amacize se realiza manualmente sobre la rezaga, con barras de fibra de vidrio (Figura 15). Posteriormente se lleva a cabo un amacize con martillo de impacto de baja presión, montado en neumáticos.

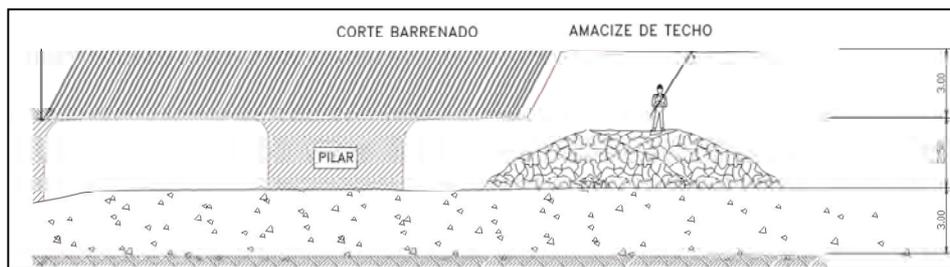


Figura 15. Amacize de techo con barra.

### 2.2.4. Rezagado

Esta operación se realiza con scoop-tram de 9.0 yardas cúbicas de capacidad o similar (Figura 16), los cuales acarrear el mineral de los rebajes de producción a distancias máximas de 175 metros para vaciar a metaleras de 2.4 metros de diámetro hacia el primer nivel de acarreo denominado N-992.

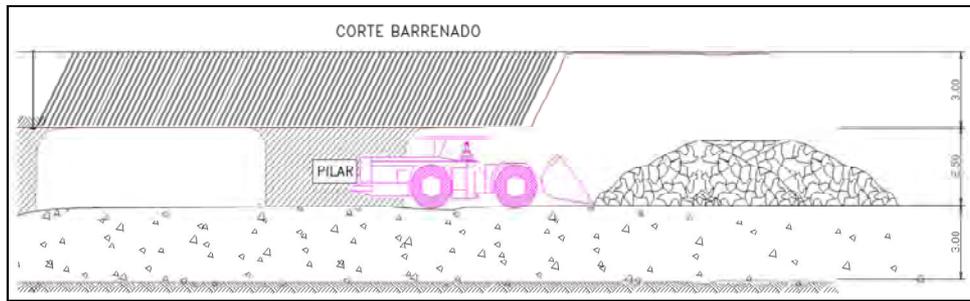


Figura 16. Rezagado de mineral.

### 2.2.5. Soporte y anclaje

Esta operación se realiza con equipo mecanizado para anclaje de techo con anclas de varilla corrugada de 19 milímetros de diámetro y 3.1 metros de longitud, cementadas en un patrón de 1.7 x 1.7 metros y/o anclas de cable de acero de 15.2 milímetros de diámetro, de longitud que varía de 1 a 6 metros, dependiendo de la calidad del terreno y con un patrón de colocación de 1.8 x 1.8 metros, la cual será perforada con equipo mecanizado para anclaje de techo, hasta de un 40 % del área expuesta en forma sistemática (Figura 17). En los desarrollos, se utiliza concreto lanzado con resistencia de 250 kilogramos por centímetro cuadrado y una capa de 5 centímetros de espesor.

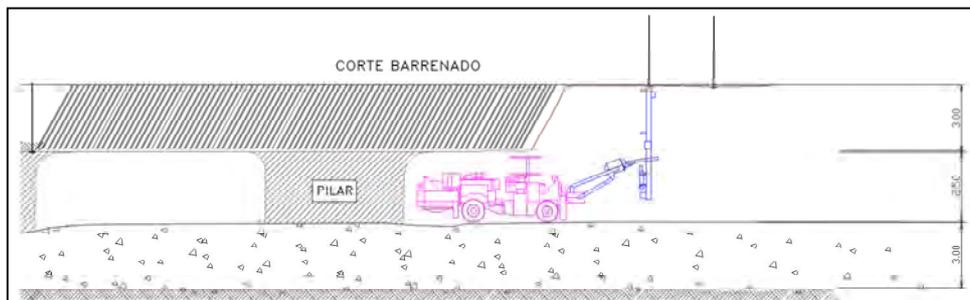


Figura 17. Soporte y anclaje con jumbo anclador.

### 2.2.6. Relleno

El material de relleno es producto de la excavación en los bancos de material de préstamo de superficie y es introducido a la mina por medio de contrapozos tepetateros de 2.4 metros de diámetro, con la ayuda de un cargador frontal y tractor.

En el nivel 1222 se cuenta con un sistema de acarreo de camiones para trasladar el material desde una tolva de carga a los diferentes puntos de vaciado a los rebajes de los niveles de producción, iniciando por los niveles 1292, 1100 y 992, posteriormente a los niveles 890 y 752.

La distribución del material en el interior del rebaje se efectúa con los scoop-tram, con sistema de expulsor en el cucharón, y el aplane del tepetate se realiza con dos tractores D-4 en capas de 3.0 metros, en el 85 % de los huecos generados en los rebajes de producción, debiendo hacer esta actividad después de la barrenación y antes de la voladura. El tepetate generado durante las actividades de avance de la mina es utilizado para relleno en los propios rebajes (*Figura 18*).

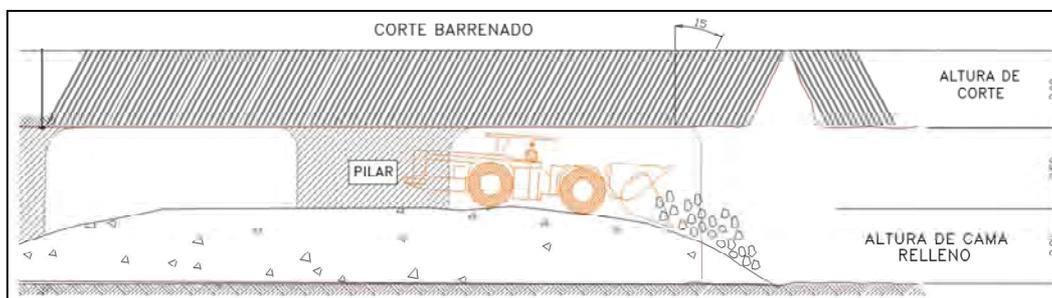


Figura 18. Relleno de rebajes con scoop-tram.

## 2.3 EXTRACCIÓN DEL MINERAL

### 2.3.1. Acarreo de mineral

Los niveles 1,100 y 992 son los niveles principales de acarreo de mineral. El mineral proveniente de los rebajes de estos niveles es acarreado con camiones de 16 toneladas, es vaciado a un metalero en donde se conducirá por gravedad a una estación de trituración en el nivel 992.

El mineral acarreado en el nivel 992 también se lleva por camión a la tolva de la estación de trituración. La distancia media de acarreo es de alrededor de 1,200 m y hasta 1,600 m en su tramo más largo, entre las metaleras y la estación de trituración.

En los niveles de producción 1280, 1170, 1150 y 1100 el mineral se vacía en dos metaleros que conducen el mineral a los costados de la estación de trituración, este mineral se vacía a través de un scoop-tram directamente a la quebradora.



### 2.3.2. Trituración primaria

En el nivel 992 se ubica la estación de trituración primaria que cuenta con una quebradora de quijadas de 60" x 50" (153 cm x 127 cm) marca metso, con sistema de lánas antilajas, con una capacidad de 580 toneladas por hora que reducirá el mineral a -9".

El mineral pasa a una tolva de capacidad de 200 toneladas y después a un alimentador de zapatas de 60" x 15" (153 cm x 457 cm), que cuenta con un transportador de derrames Drag Scalper. El alimentador descarga el mineral a una parrilla vibratoria tipo scalper de 60" x 12" (152.4 cm. x 365.7 cm.) con cama de rieles de abertura de 9", posteriormente, el mineral ya quebrado pasa a una tolva de capacidad para 1,500 toneladas (*Figura 20*).

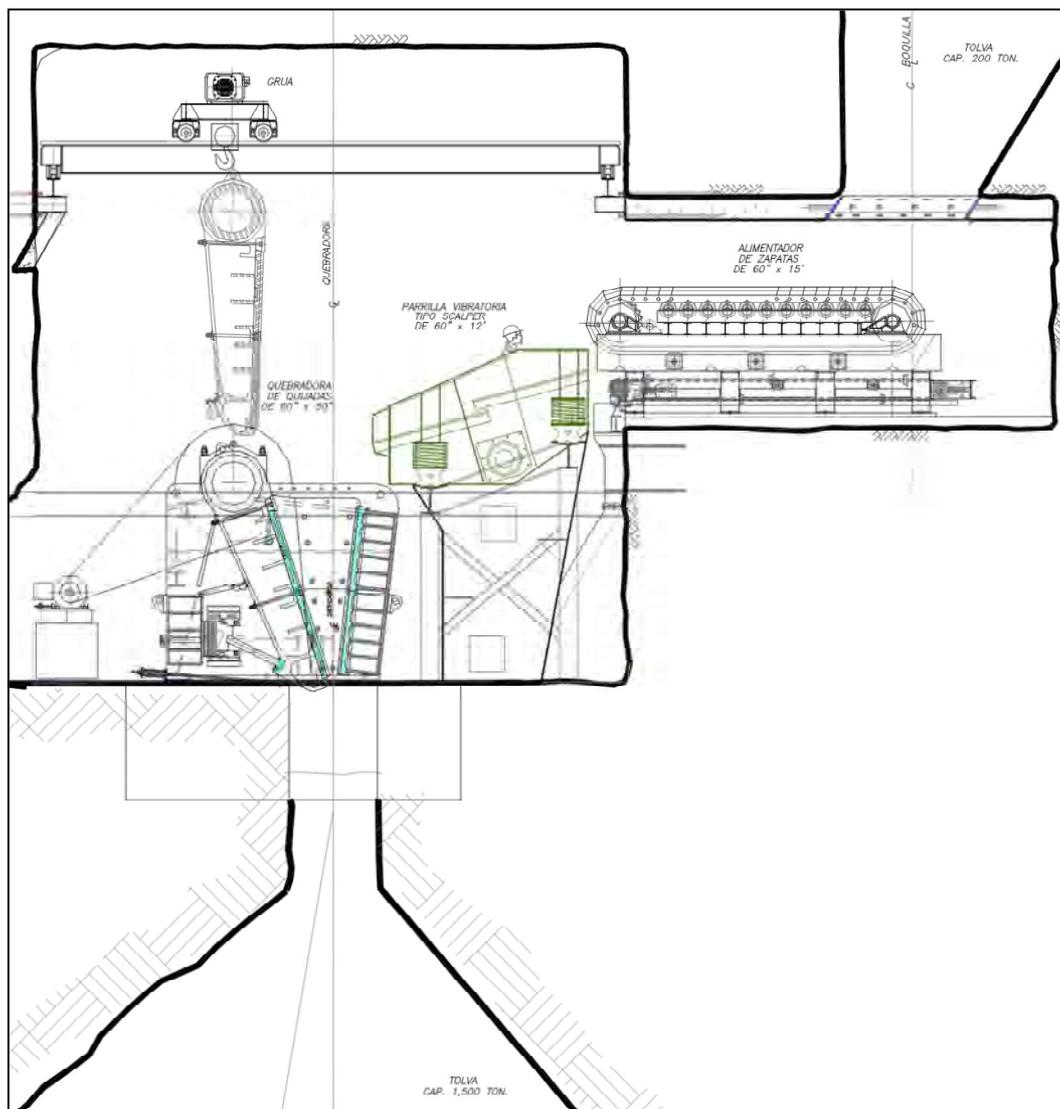


Figura 20. Sección de la quebradora.

### **2.3.3. Cargado de mineral y manto**

De la tolva de finos, el mineral pasa al área de cargado para ser manto a la superficie. La carga pasa a través de dos chutes de placa ASTM A-36 de 3/8" y placa de acero Astralloy de 3/8", con una compuerta de riel de 30 libras con un peso de 2,500 kg, hasta dos carros alimentadores de mineral. La carga es conducida a dos cartuchos tipo ASEA para una capacidad de 15.0 toneladas cada uno. El peso del mineral cargado en los cartuchos es controlado por dos pesómetros que impedirán que el cartucho se llene a más de 15 toneladas y que vacíe a los skips, evitando daños en el malacate y en los cables de extracción. Teniendo el peso correcto el primer cartucho llena el skip con mineral, mientras que el otro skip está en superficie vaciando el mineral. Los skips son del tipo Jetto para una capacidad de 15.0 toneladas (*Figura 21*). En superficie el mineral es vaciado por los skips a una tolva de 200 toneladas y por medio de un alimentador de tablillas y una banda de 42" con una longitud aproximada de 250 metros, el mineral llega al patio de almacenaje, también llamado "stock pile".

### **2.3.4. Malacates**

Para resguardar los malacates se cuenta con una torre de concreto armado con una sección de 11.6 x 11.6 metros y una altura de 40.0 metros, que sirve de alojamiento a dos malacates de fricción, una tolva para paso de mineral y la estructura de acero interior para soportar dos sistemas de cable guía rígida.

Los muros tienen un espesor de 0.30 metros que contienen placas ahogadas al concreto de 0.50 x 0.50 metros por 1" de espesor ancladas con cuatro varillas corrugadas de 1.0" de diámetro por 0.30 metros de longitud; sobre estas placas van colocados marcos de acero estructural ASTM A-36 a cada 6 metros, formados por viguetas IPR de 10" x 5-3/4". Las instalaciones cuentan con dos plataformas para el soporte de glándulas sujetadoras de cable guía, construidas de acero estructural ASTM A-36 y vigas IPC de 24" x 12", IPR de 12" x 8", CPS de 6", rejilla irving de 1" x 1/8", escaleras, barandales y placas.

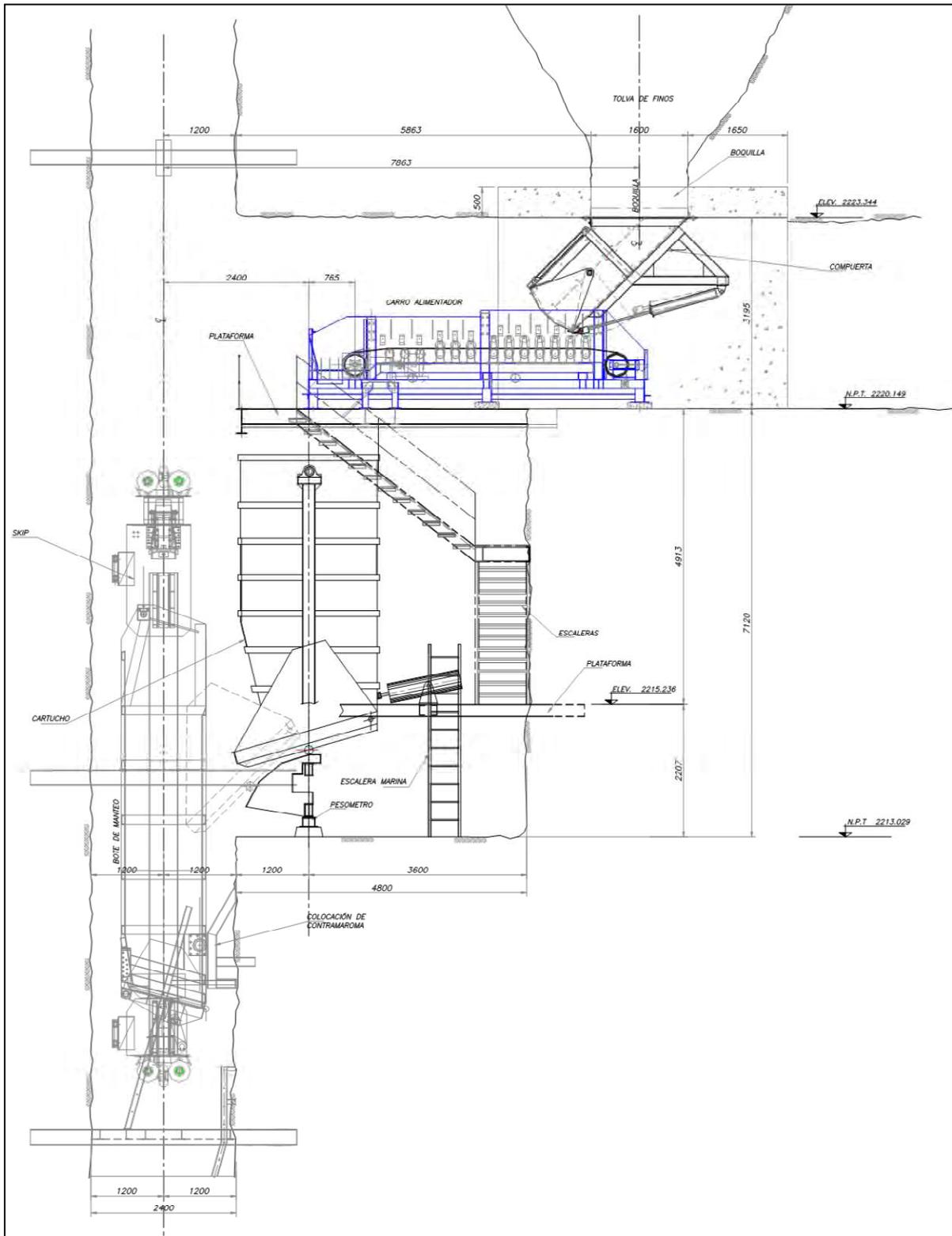


Figura 21. Sección mostrando las instalaciones de cargado de mineral.

La plataforma superior mide 15.0 x 15.0 metros, de 0.25 metros de espesor aproximadamente, con acabado de vitropiso en la superficie de la base, sobre la cual están instalados los malacates, controles y estructura de soporte de la grúa; esta plataforma está soportada por 4 traveses de concreto armado de 0.60 x 2.0 metros colocadas sobre el eje mayor del tiro, dos de 12.25 metros de longitud, y dos de 6.00 metros; dos traveses de concreto armado colocadas sobre el eje menor del tiro de 12.25 metros de longitud de la misma sección que las anteriores. Estas traveses sirven de cimentación de los malacates, motores y soporte de la plataforma de alojamiento del edificio de los malacates (*Figura 22*).

De la base de la torre parten tres túneles con una sección de 2.30 x 2.30 metros y una longitud aproximada de 84 metros. Uno de los túneles conduce a las oficinas y al pueblo de mina, otro conduce a las instalaciones de compresores y el último aloja la banda que conduce el mineral hacia el stock pile. Dichos túneles son de una envolvente de concreto armado (*Figura 23*).

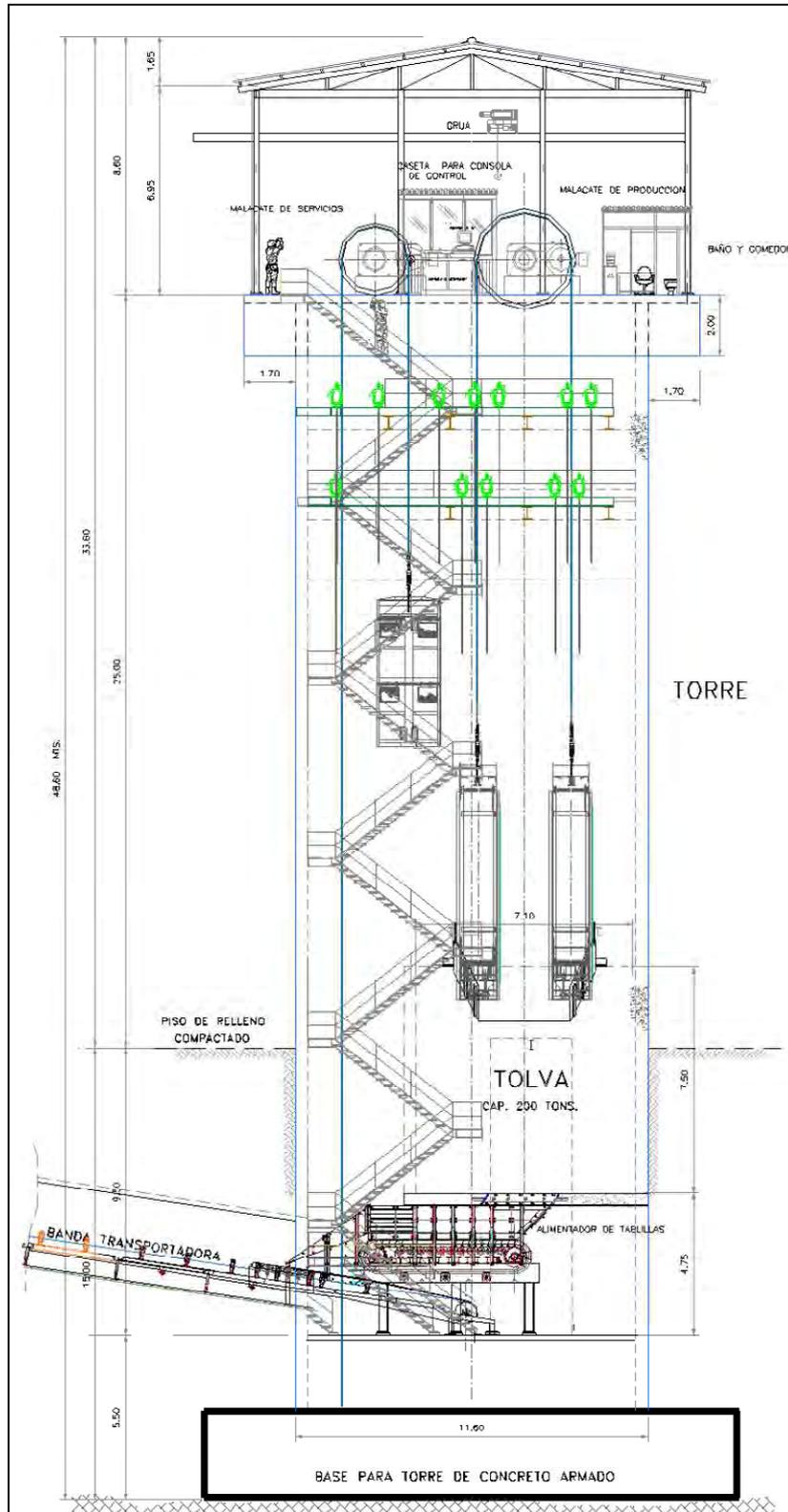


Figura 22. Instalaciones del malacate vistas en sección.



## 2.4. PROCESO DE BENEFICIO

El programa de producción de la planta Milpillás contempla la producción anual de 45,000 toneladas de cobre electrolítico durante los cuatro primeros años empezando en el año 2005, para aumentar a 65,000 toneladas anuales a partir del quinto año.

El proceso contempla las siguientes operaciones principales (*Figura 24*):

1. Trituración primaria, la cual se ubica en el interior de la mina.
2. Transporte de mineral grueso a la pila de almacenamiento. Se efectúa mediante un transportador de banda.
3. Pila de almacenamiento con la capacidad suficiente para asegurar la continuidad de los procesos de trituración secundaria, con alimentadores y transportador de banda para la recuperación del mineral.
4. Transporte, cribado y triturado en la planta de trituración secundaria y terciaria.
5. Aglomeración del mineral fino en bandas y descarga a camiones en un régimen de carga continua.
6. Transporte del mineral aglomerado hasta la zona de pilas de lixiviación.
7. Construcción de pilas de lixiviación permanentes (no removibles). La construcción de las pilas se efectúa por descarga de los camiones sobre la pila en formación y posterior acondicionamiento con maquinaria de movimiento de tierras. La pila está constituida por módulos diferenciados por los sistemas de riego y recolección de soluciones.
8. Captación y bombeo de soluciones de lixiviación. Las soluciones provenientes de las pilas son captadas en canaletas sectorizadas para recibir las soluciones de los diferentes módulos, para conducir las a las piletas respectivas.
9. Extracción por solventes. Dos etapas de extracción y dos de re-extracción.
10. Planta para tratamiento de grumos.
11. Electrodeposición. En este proceso se obtiene los cátodos de cobre, que son el producto final de la planta.

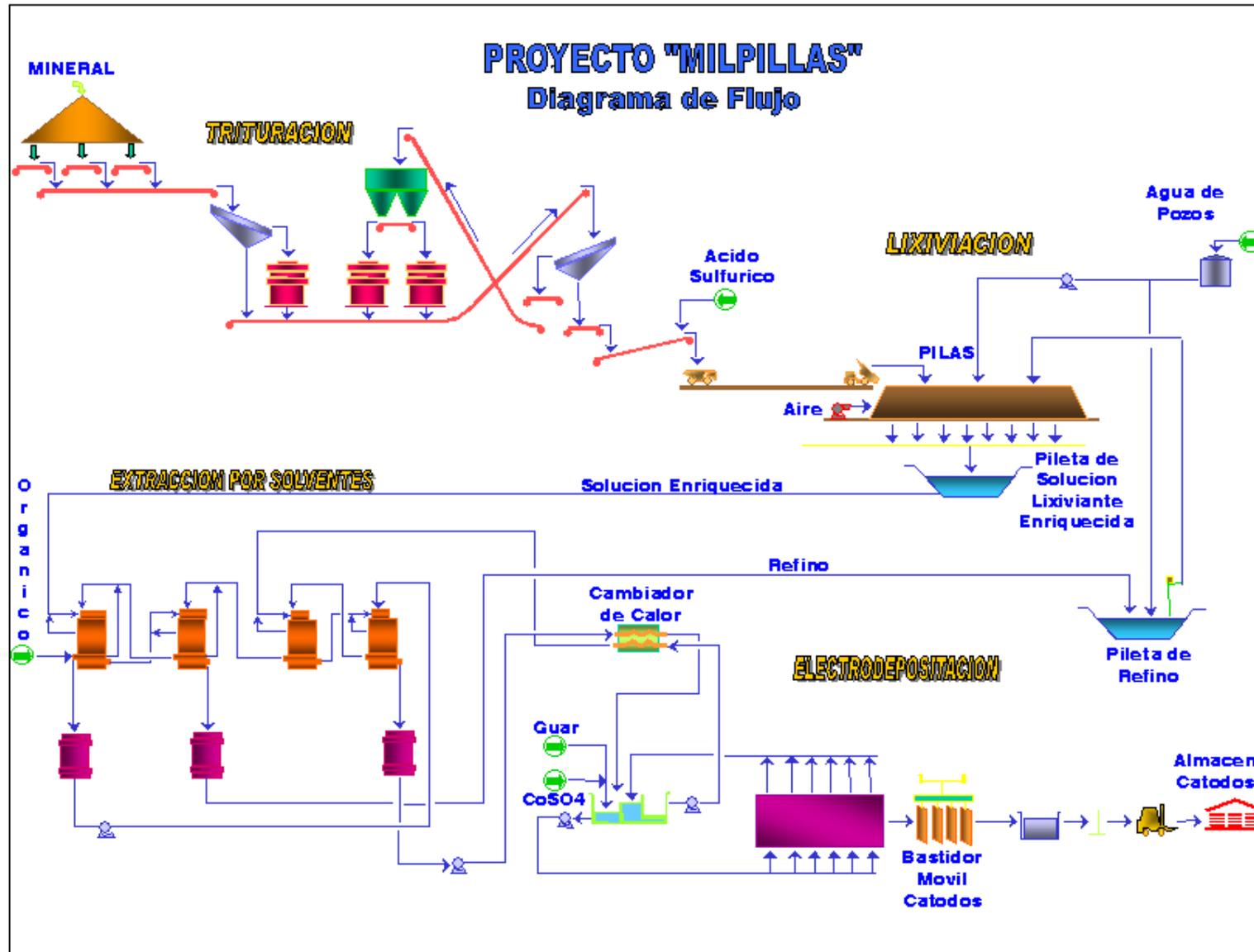


Figura 24. Diagrama de flujo de la planta de beneficio.

## **2.5. PROGRAMA DE PRODUCCIÓN**

### **2.5.1. Producción mina**

El programa de producción permitirá una vida operativa de 12 años desde el comienzo de la operación en el año 2005. La capacidad de producción de mineral es de 4,600 a 6,000 toneladas por día pero aumentará de 8,500 a 9,000 toneladas de mineral por día cuando se exploten los niveles inferiores al nivel 992 a partir del año 2012. La ley media del mineral es de 2.27 % de cobre lixiviable.

### **2.5.2. Producción planta de beneficio**

El producto obtenido del proceso metalúrgico son cátodos de cobre. Con este programa se pretende producir 61,300-64,700 toneladas de cobre, en la planta de extracción por solventes y electrodeposición desde el comienzo de la operación en el año 2005.

## **3. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA EXTRACCIÓN DEL MINERAL**

---

### **3.1. ANTECEDENTES**

Para abordar el problema de extraer las reservas por debajo del nivel 992 a través de trabajos preliminares se propusieron y analizaron 5 opciones alternativas de acceso a las zonas mineralizadas y extracción del mismo hacia la superficie:

- Opción 1: Profundizar el tiro Santa Cruz 212 metros terminando en la elevación 690 con un nivel de acarreo por locomotora en el nivel 780.
- Opción 2: Profundizar el tiro Santa Cruz 80 metros terminando en la elevación 822, con acarreo de mineral a través de camiones vía rampa del nivel 752 hasta el nivel 887.
- Opción 3: Acarreo de mineral a través de camiones hasta la estación de trituración ubicada en el nivel 992.
- Opción 4: Sistema de bandas colocadas en los niveles de producción hasta el nivel 752 donde se encuentra la estación de trituración.
- Opción 5: Acarreo de mineral por medio de camiones para vaciarlo en contrapozos metaleros.

Si bien estas cinco opciones resultaban viables en los análisis preliminares para explotar los cuerpos minerales ubicados por debajo del nivel 992, las opciones 3, 4 y 5 presentaron algunos problemas en las condiciones de operación de mina en cuanto al ritmo de producción. Hay que tomar en cuenta que se puede llegar a profundizar el tiro a cierta distancia para facilitar el manto de mineral hacia la superficie o se pueden seguir utilizando las instalaciones del tiro existentes pero el costo de acarreo se incrementará. A continuación se muestran los problemas más importantes que en su momento se detectaron en las opciones 3, 4 y 5:

- En la opción 3 se requerían camiones de acarreo para vaciar el mineral de los niveles superiores a la estación de trituración situada en el nivel 992 por medio de un contrapozo metalero y desde los niveles inferiores, los camiones conducirían el mineral hasta la estación de trituración vía rampa. Mes con mes se incrementaría la producción y una vez que los cuerpos minerales superiores al 992 comenzaran a agotarse, los camiones no podrían cumplir la producción ya que la distancia de acarreo aumentaría a niveles no costeables conforme se exploten los cuerpos minerales.

- En la opción 4 se contaría con un sistema de bandas desde las zonas de producción hasta la estación de trituración ubicada en el nivel 752. En esta opción se realizaría la profundización del tiro para facilitar el manto y se necesitarían algunos camiones de acarreo cuando los rebajes se ubicaran muy apartados de las tolvas dosificadoras o cuando el mineral proviniera de un nivel inferior. La problemática surge al momento de realizar el mantenimiento del sistema de bandas afectando con ello la producción y teniendo que recurrir a camiones para cumplir con la producción incrementando con ello los costos fijos.
- En la opción 5 se profundizaría el tiro hasta el nivel 752 y el mineral llegaría a la estación de trituración por medio de contrapozos metaleros. Esta opción es la configuración actual de Milpillas en el nivel 992, pero dado que la producción aumentaría a 9000 toneladas por día esta opción no satisficaría la producción requerida.

Por las limitaciones operativas, costos y/o problemas técnicos, las opciones 3, 4 y 5 quedaron fuera de este trabajo después del análisis preliminar realizado, por lo que las opciones que se analizarán a detalle en esta tesis serán la 1 y 2 con el fin de seleccionar aquella que nos brinde la mejor inversión, ritmo de producción y mejores condiciones operativas.

## **3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS OPCIONES 1 Y 2**

### **3.2.1. Opción 1**

La profundización del tiro Santa Cruz a partir del nivel 902 hasta la elevación 690, es decir, 212 metros; con acarreo de mineral vía locomotora en el nivel 780 (*Figura 25*). Ésta opción requiere:

- 212 metros de profundización del tiro.
- Extensión de las líneas de servicios que pasan por el interior del tiro para realizar la profundización y abastecer los niveles principales.
- Instalación de nuevos cables guía y de extracción del malacate, en la estación más profunda.
- Construcción e instalación del sistema de acarreo con locomotora en el nivel 780.
- Construcción de una nueva estación de trituración en el nivel 760.
- Nueva tolva por debajo de la quebradora (aproximadamente en el nivel 725), con un arreglo similar a la tolva existente en el nivel 930.

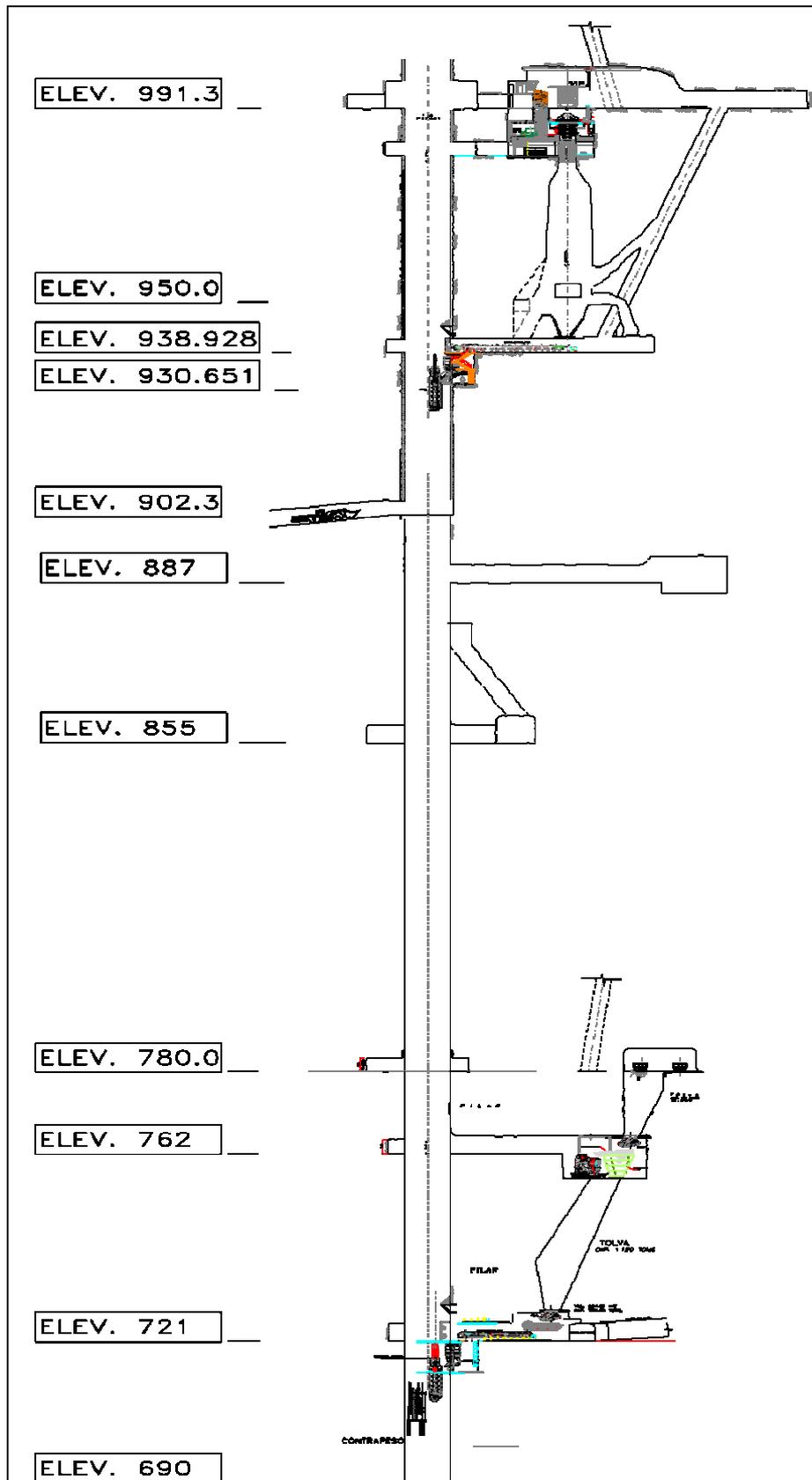


Figura 25. Profundización del tiro por la opción 1.

- Desarrollo de la rampa de servicios con una pendiente de -15% desde el nivel 725 hasta el fondo del tiro.
- Construcción de una estación principal de bombeo y piletas en el nivel 780 cerca de las obras del tiro, el sistema de bombeo junto con las acequias desalojarán el agua del nivel 992 con una capacidad de 6000 galones por minuto, la tubería estará instalada vía tiro.
- Construcción del taller de mantenimiento para la locomotora y su equipo ubicado en el nivel 780 cerca de las instalaciones del tiro.

### 3.2.2. Opción 2

La profundización del tiro Santa Cruz, comenzando en la elevación 902 y terminando en la elevación 822, es decir, 80 metros; con acarreo de mineral vía rampa a través de camiones del nivel 752 al nivel 887 (*Figura 26*). Ésta opción requiere:

- 80 metros de profundización del tiro.
- Implantación de un sistema de acarreo por camión de volteo vía rampa.
- Extender las líneas de servicio que pasan por el interior del tiro para realizar la profundización y abastecer los niveles principales.
- Instalación de nuevos cables guía y cables de extracción del malacate instalados en la estación más profunda.
- Construcción de una nueva estación de trituración en el nivel 887.
- Nueva tolva ubicada debajo de la quebradora (aproximadamente en el nivel 865), con arreglo similar a la tolva existente en el nivel 930.
- Desarrollo de la rampa de servicios que debe tener una pendiente del -15% que va desde el nivel 855 hasta el fondo del tiro.
- Construcción de una estación principal de bombeo y piletas en el nivel 790, el agua del interior de la mina se bombeará a través de una tubería de 18" instalada sobre la rampa general, pasará por el nivel 890 hasta el nivel 992 donde se bombeará a superficie con una capacidad de 6000 galones por minuto, la tubería estará instalada vía tiro.
- Construcción del taller de mantenimiento para los camiones de acarreo y equipo, ubicado en el nivel 890 cerca de las instalaciones del tiro.

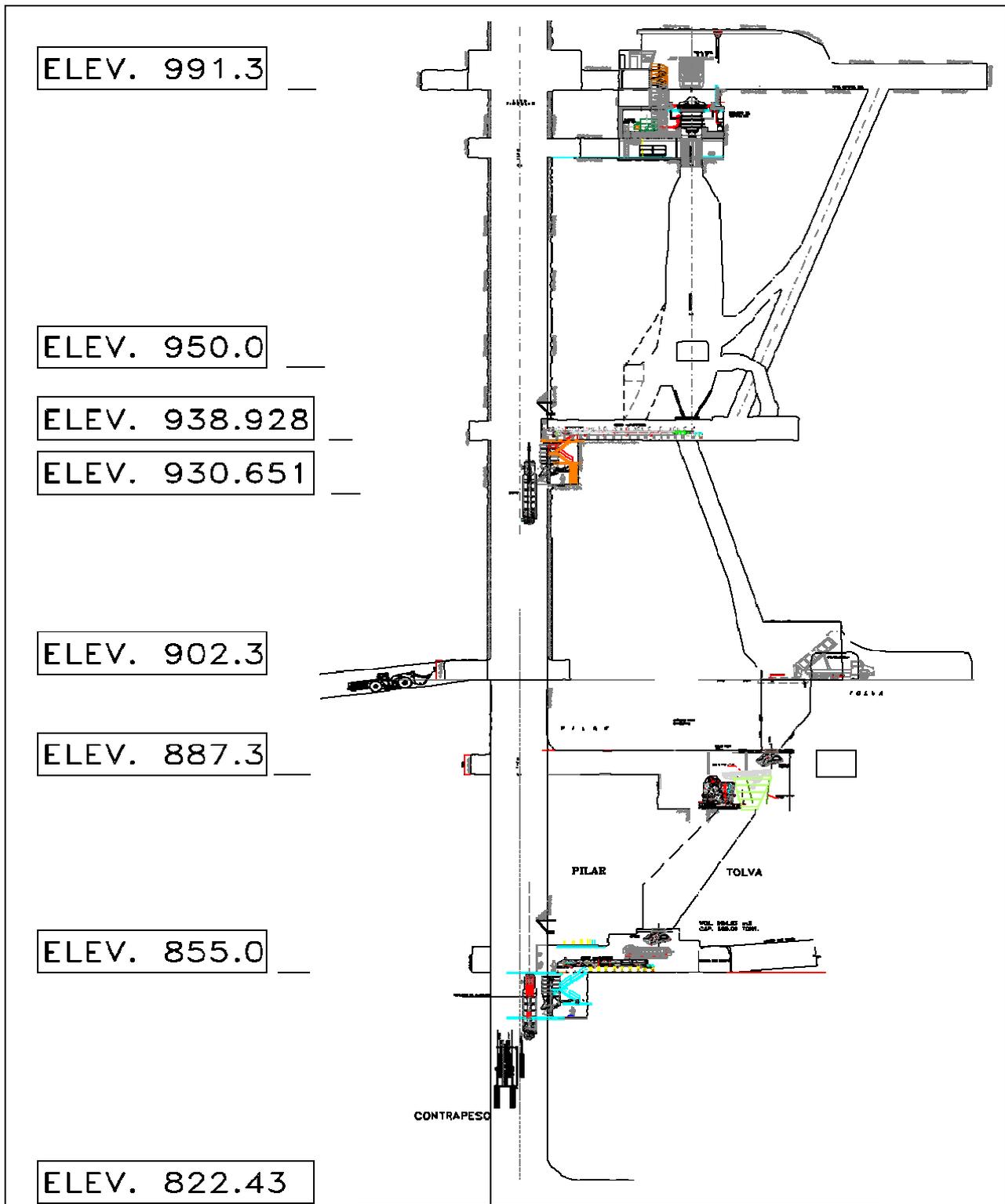


Figura 26. Profundización del tiro por la opción 2.

### **3.3. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO**

#### **3.3.1. Aspectos técnicos**

##### *Opción 1*

Profundización del tiro de Santa Cruz 212 metros hasta el nivel 690, desarrollando un sistema de acarreo de mineral por locomotora en el nivel 780. Tomando en cuenta los levantamientos topográficos y la separación por debajo del área de cartuchos, el tiro sería profundizado 213 metros. Se dejará un pilar de seguridad de roca de 10 metros entre el actual fondo del tiro y el cuarto donde se instalará la polea del malacate. A medida que se vaya profundizando el tiro la obra se irá recubriendo con concreto hasta lo más profundo de la misma.

El acarreo por locomotora, consistirá en un tren de 20 toneladas, jalará 10 carros con descarga inferior de mineral, cada uno de estos carros tendrá una capacidad de 14 metros cúbicos. Los carros de la locomotora serán cargados a través de las metaleras que se localizarán debajo de las zonas de explotación y tirados por la locomotora, los rieles estarán colocados sobre un piso de concreto, en algunos tramos existirá una pendiente de 0.50% hasta el área del tiro. En la obra de acarreo se instalarán rieles de 80 libras (tamaño mínimo) y 36 pulgadas entre los rieles. Dos trenes serán requeridos cuando se necesite alcanzar el ritmo de producción que se determinó como presupuesto máximo. El sistema de acarreo del tren será diseñado para adaptarse a una operación automática con la base de operación situada en la superficie. El mineral será descargado en una tolva dosificadora arriba del cuarto de la quebradora, triturando el mineral a un tamaño nominal de - 150 milímetros, el mineral caerá en una tolva que alimentará a los skips por medio de transportadores de banda y cartuchos, manteado a la superficie por skips de 15 toneladas.

Para los trabajos que se localizan debajo del nivel 992 será requerido un flujo de aire adicional para la ventilación. Se estima un requerimiento total de 32,925 metros cúbicos por minuto de aire fresco. Las instalaciones actuales existentes son capaces de proporcionar 15,000 metros cúbicos por minuto; por lo tanto, los 17,925 metros cúbicos por minuto adicionales tendrán que ser suministrados desde la superficie. Nuevos ventiladores y contrapozos de ventilación serán requeridos para ayudar a entregar el aire a las zonas más profundas.

Las instalaciones de bombeo existentes, con el cuarto de bombas y las piletas situados en el nivel 992 son capaces de bombear 22,712 litros por minuto a la superficie a través de una tubería de 18 pulgadas ubicada en el tiro. Se anticipa que la cantidad de agua generada en la mina será manejada de la misma manera que en la actualidad.

El agua generada en las zonas de explotación minera fluirá por gravedad a través de la acequia que se encuentra en la ruta de acarreo del tren en el nivel 780, llegará hacia las piletas y el cuarto de bombeo que se localizan cerca de las instalaciones del tiro. Las bombas tendrán una capacidad de 22,712 litros por minuto contra un tirante de agua de aproximadamente 217 metros (710 pies), que es la distancia existente hasta las piletas del nivel 992. La tubería del tirante de agua de la bomba hacia la superficie será de 18 pulgadas instalada a lo largo del tiro.

Se construirá una estación de mantenimiento para el equipo del tren de acarreo, será establecida en el nivel 780 cerca del área de la descarga del mineral.

Las estaciones del tiro serán cortadas en los niveles 890 y 780, ya que en estos niveles se empezarán a preparar los rebajes de producción, en el nivel 760 se encontrará la estación de trituración y en el nivel 725 la estación de cartuchos.

Las instalaciones para el manejo y cargado del mineral serán idénticas a las que existen actualmente en el nivel 992. El cargado de mineral hacia los skips se realizará en el nivel 725, generando una distancia de manto a la superficie de aproximadamente 764 metros.

La rampa Guadalupe tendrá un avance de profundidad junto con el tiro. Las comunicaciones estarán en cada estación del tiro. La rampa se extenderá hasta el fondo del tiro con el fin de extraer todo el derrame de agua y como acceso secundario a las instalaciones subterráneas.

### *Opción 2*

Implica profundizar 80 metros el tiro (132 metros menos que la opción 1). Como en la opción 1 la disposición del tiro, el procedimiento y la duración de profundización durante el paro del malacate para el manto son los mismos. Las instalaciones para el manejo del mineral tendrán un arreglo idéntico al descrito en la opción 1, a excepción de la descarga del mineral sobre la estación de trituración que en esta opción es a base de camiones de acarreo.

El cargado de mineral por los cartuchos hasta los skips estará en la elevación 855, con una distancia de manto de 634 metros aproximadamente. La distancia del manto será más corta, por lo tanto los cables deben de ser más cortos y el ciclo de manto también será más corto, esto nos da una oportunidad de aumentar la carga útil neta. Esto daría lugar a menos viajes de los skips lo que se traduce a menos horas por día, para tener el mismo ritmo de producción por día.

El mineral de las zonas de producción será acarreado sobre el nivel y descargado cerca del tiro. Para explotar los mismos recursos de mineral, se tiene una derivación del tiro pues es más corto, a través de una rampa con una pendiente del 15% que va del nivel 890 a la zona de explotación minera, cerca del área del tiro por debajo de la zona mineralizada en la elevación 790. La longitud de la rampa es de 1,000 metros aproximadamente. La estación de trituración será establecida en el nivel 890 con una descarga de mineral por camiones en la elevación 902. El sistema de acarreo por la rampa se diseña para ser continuo debido a la localización extensiva de los cuerpos minerales. Será muy común el tráfico en la rampa de acarreo, los camiones cargados pueden subir por la rampa en el perímetro del norte de la zona de explotación minera y descargar el mineral, regresarán vacíos por el perímetro sur de la rampa. Para cumplir con la producción diaria de mineral de 9000 toneladas se contará con diez unidades de camiones de acarreo de 40 toneladas, pues con 40 viajes de cada uno de estos camiones por día se tendrá el ritmo de producción establecido.

Para los trabajos que se localizan debajo del nivel 992 será requerido un flujo de aire adicional para la ventilación. El aire estimado total es de 47,160 metros cúbicos por minuto, los 32,160 pies cúbicos por minuto adicionales superan al sistema de ventilación existente. Comparando la opción 1 y observando las condiciones de la opción 2, se necesitarán más ventiladores y más contrapozos de ventilación.

Las instalaciones de bombeo existentes, con el cuarto de bombas y las piletas situados en el nivel 992 son capaces de bombear 22,712 litros por minuto a la superficie a través de una tubería de 18 pulgadas ubicada en el tiro. Se anticipa que la cantidad de agua generada en la mina será manejada de la misma manera que en la actualidad. Las piletas y el cuarto de bombeo serán situados cerca de la zona de explotación minera en la elevación 790. El agua será bombeada por una tubería de 18 pulgadas instalada a lo largo de la rampa de acarreo hasta el nivel 890, para después llegar a las piletas del nivel 992. La distancia del tirante de agua del nivel 790 al 992 es de aproximadamente 216 metros (709 pies).

Se construirá una estación principal de mantenimiento de equipo en el nivel 890 más una estación fija general para los equipos en el nivel 790 cerca de la zona de explotación minera.

### **3.3.2. Aspectos económicos**

Los costos de inversión fueron estimados en base a los parámetros básicos del proyecto y en algunos planos de proyectos semejantes.

Los principios básicos ayudan a estimar el desarrollo de una unidad y determinar los costos indirectos. Para estimar los costos de la infraestructura se tomaron como referencia proyectos similares del grupo. Los costos de skips (botes), jaulas (calesas), cables del malacate y cables guía fueron cotizados por Northern Strand Rope Company. Los costos de operación fueron proporcionados por Peñoles por ejemplo \$1 dólar norteamericano por tonelada de roca producto de la profundización del tiro y \$2.10 dólares norteamericanos por camión, usando camiones de 40 toneladas.

### 3.3.3. Comparación de opciones

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las alternativas para desarrollar el proyecto de profundización realizando una comparación de los costos de inversión, operación y contingencias (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de los elementos operativos más importantes en cada una de las opciones.

Elemento	Opción 1	Opción 2
Elevación de la zona de carga	Nivel 692	Nivel 792
Distancia de elevación	764 metros	634 metros
Toneladas de mineral por día	7,800	7,800
Desperdicio de toneladas por día	Ninguno	Ninguno
Acarreo de mineral a la zona de vaciado por encima de la quebradora	Acarreo por locomotora con una pendiente máxima de 0.5%	Acarreo con camiones vía rampa con una pendiente máxima del 10%
Distancia de acarreo en un solo sentido	1020 metros	1200 metros
Equipo dedicado al transporte del mineral, exclusivamente usado en las áreas de la mina	2 locomotoras con capacidad de 20 ton cada una, con 10 vagones cada una	10 camiones con capacidad de 40 ton de carga útil
Días acordados que se tardará la profundización	600 días	489 días
Inicio de la producción de mineral en los niveles inferiores del nivel 992	1° de enero de 2012	1° de enero de 2012

En la siguiente tabla se presenta una comparación de las opciones de profundización en cuanto a costos, presentados en dólares norteamericanos. Se aprecia que la opción 2 excede los costos en \$54,800,000 lo que nos lleva a deducir que la opción 1 es más atractiva para su elección (Tabla 3).

Tabla 3. Resumen de los costos estimados para cada opción.

Actividad	Opción 1	Opción 2
<b>Costo de inversión</b>		
Inversión del tiro	\$9,850,000	\$7,070,000
Inversión del desarrollo	\$440,000	\$9,200,000
Inversión del equipo de acarreo	\$11,920,000	\$6,000,000
Rampa Guadalupe	\$3,570,000	\$1,290,000
Conexión del tiro, equipamiento, transporte, cargado de mineral, comisión	\$6,740,000	\$5,930,000
Inversión del equipo	\$4,340,000	\$1,800,000
Inversión de la ventilación (incluye la excavación de contrapozos y ventiladores)	\$7,870,000	\$15,700,000
Inversión para el bombeo (incluye excavación de las estaciones de bombeo, bombas y tubería)	\$4,700,000	\$5,550,000
<b>Sub-total de la inversión</b>	<b>\$49,460,000</b>	<b>\$52,590,000</b>
<b>Costos de operación</b>		
Ventilación (incluye costo de operación de los ventiladores y energía)	\$8,470,000	\$16,930,000
Bombeo (incluye costos de operación de las bombas y energía)	\$17,520,000	\$17,390,000
Acarreo por camiones	N/A	\$73,700,000
Acarreo por locomotora	\$31,200,000	N/A
<b>Sub-total de la operación</b>	<b>\$57,220,000</b>	<b>\$108,010,000</b>
<b>Total de la inversión y la operación</b>	<b>\$106,700,000</b>	<b>\$160,600,000</b>
<b>Contingencias (15%)</b>	<b>\$16,200,000</b>	<b>\$24,090,000</b>
<b>Total (incluyendo las contingencias)</b>	<b>\$122,900,000</b>	<b>\$184,690,000</b>
<b>Diferencia</b>	<b>0</b>	<b>+\$61,790,000</b>

### 3.3.4. Consideraciones generales

- La producción total del mineral preparada por el personal de Milpillás se muestra en la Tabla 4.
  - Producción máxima de mineral 2,700,000 toneladas, se comenzará hasta el año 2012. Con 347 días de trabajo por año, se requerirán 7,781 toneladas en promedio para lograr la producción. Estas cifras se estimaron en base a la producción de la planta procesadora que son 9,000 toneladas por día.
  - La producción en los niveles inferiores al nivel 992 comenzará en el año 2012, se mantendrá el mineral hasta llegar a las 2,700,00 toneladas por año, en el año 2017 se estima que toda la producción provendrá de los niveles inferiores al nivel 992 (Tabla 4).

Tabla 4. Producción total de la mina Milpillas LOM (vida total de la mina).

Rebaje	Toneladas	% Cu	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	total
			Toneladas	Ley	Toneladas														
A.B.H	1.457	860,220	150,093	1.300	150,000	160,000	160,000	230,528											860,220
C	1.255	282,240						30,000	80,000	55,669	50,000	68,541							282,240
E	1.472	1,497,558	581,755	1.620	600,000	315,801													1,497,558
F	1.220	124,908						60,000	49,874	15,038									124,910
G	1.877	2,618,690	232,910	1.340	400,000	490,000	294,544	300,000	300,000	300,000	301,235								2,618,690
K	1.643	4,367,909	204,194	1.000	350,000	400,000	600,000	620,000	620,000	620,000	650,000	303,724							4,367,909
R	1.611	1,539,544	126,595	1.380	150,000	150,000	200,000	450,000	462,948										1,539,544
173	1.361	152,154	137,901	1.224	14,193														152,155
150	1.555	1,001,276						377,266	400,000	89,432			134,668						1,001,276
59	2.23	2,021,598						250,126	420,000	420,000	420,000	420,000	511,472						2,021,598
18	1.419	2,847,069						331,082	420,000	420,000	420,000	420,000	420,000	420,000	415,987				2,847,069
2	1.778	8,210,685						600,000	628,635	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,082,050		8,210,685
62	2.102	3,307,839							403,477	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	504,362				3,307,839
122	1.604	146,295											146,295						146,295
32	1.764	400,003						226,347	173,658										400,003
117	1.764	452,504															220,000	332,504	452,504
60	2.089	412,643					412,643												412,643
88	1.452	305,552					305,552												305,552
46	1.889	449,474					113,423	43,000	191,573	101,478									449,474
74	1.613	421,451						223,823	101,832										421,451
25	1.669	262,241												262,241					262,241
3	1.617	475,678												265,000	220,678				475,678
28	1.315	212,557															186,095	16,462	212,557
83	1.627	203,188													10,966	182,202			203,188
53	1.446	194,861													34,713	160,148			194,861
112	1.61	351,120													200,000		151,120		351,120
16	1.25	179,800													64,388	67,503	47,909		179,800
146	1.58	224,603													124,603	100,000			224,603
175	1.747	159,434														43,317	116,117		159,434
11	1.268	259,305					259,305												259,305
8	1.299	130,760					130,760												130,760
160	1.505	650,900														125,000	125,000	400,900	650,900
75	3.094	87,213																87,213	87,213
173	1.652	152,154						152,154											152,154
78	1.488	226,685						44,693								165,218	16,774		226,685
177	1.215	100,473						100,473											100,473
Varios	1.305	1,263,579															700,000	563,579	1,263,579
Producción		36,554,144	1,411,930	1.424	1,725,000	1,894,000	2,476,227	2,631,925	2,682,800	2,706,383	2,773,347	2,810,265	2,761,756	2,683,536	2,675,348	2,706,234	2,679,822	2,343,404	36,961,977
%Cu		1.713			1.425	1.583	1.661	1.604	1.712	1.766	1.809	1.834	1.861	1.759	1.742	1.715	1.624	1.602	1.69

- El horario de trabajo serán dos turnos de 10 horas cada uno, 347 días por año.
- La gravedad específica del mineral es de 2.4 in situ, 1.7 mineral más pobre.
- La gravedad específica del tepetate es 2.4 in situ, 1.7 como roca suelta.
- Una nueva estación de trituración, con una quebradora de quijadas de 48" por 66" será instalada.
- Los carros para el acarreo de mineral tendrán una capacidad de +/- 14 m<sup>3</sup> y para el acarreo de tepetate o residuos tendrán una capacidad menor.
- Todo el tepetate originado del desarrollo se utilizará para el relleno de obras. No se sacará a la superficie.
- Para los artículos y temas que no son cubiertos por las Normas Oficiales Mexicanas para los trabajos mineros, serán referidas las regulaciones de Ontario.
- Todos los costos son presentados en dólares norteamericanos.

### **3.4. OPCIÓN SELECCIONADA**

Según el diseño del malacate y el aumento del ritmo de producción cuando se comiencen a explotar los nuevos cuerpos minerales, el manto se maximizará debido al tonelaje acarreado por la locomotora. Los camiones también pueden cumplir con el ritmo de producción pero el costo de operación se incrementará debido a los problemas de mantenimiento generados por las condiciones de la mina.

Debido a las dimensiones de los camiones de 40 toneladas las obras de desarrollo también cambiarán de dimensiones, esto se traducirá en un costo mayor para colar este tipo de obras. Tanto el acarreo por tren como el manto tienen una operación muy simple que no generará problemas de operación, además el sistema de acarreo por locomotora será totalmente automatizado desde la superficie. El acarreo con locomotora requiere un mínimo de ventilación pues esta no emite gases ya que funciona con electricidad. Debido a los gases que desprende el motor de combustión de los camiones y al polvo que se genera cuando circulan, se debe contar con un flujo de aire mayor que en el acarreo por locomotora para generar las condiciones favorables de seguridad y de trabajo, esto hace que el costo de ventilación aumente pues se necesitarán perforar más contrapozos para forzar el flujo de aire a través de las obras y comprar más ventiladores. Las instalaciones de la estación de trituración en el nivel 992 y las del cargado de mineral ubicadas en el nivel 937 proporcionan una alternativa para el manto de mineral, si existe algún desperfecto o paro por mantenimiento en las instalaciones nuevas del nivel 752 y estas dejan de operar.

La opción 1 demostró considerables ventajas en inversión y costos de operación como lo muestran las tablas 2 y 3 (pág. 41 y 42), la opción 2 excede un 45% más de costos que la opción 1 incluyendo el 15% de las contingencias que se puedan presentar; sin embargo, no sólo los costos son favorables, también los factores operativos en la explotación minera mencionados con anterioridad son determinantes para la elección de la opción 1.

En la siguiente figura se muestra la vista en planta y sección transversal de la profundización del tiro con la opción 1 (*Figura 27*).



## **4. DESARROLLO DEL TIRO E INSTALACIONES NECESARIAS**

---

### **4.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL TIRO**

La primera observación para el diseño del tiro consiste en analizar los requisitos técnicos de la obra involucrando la mayor información posible que se disponga incluyendo el monto de las reservas de mineral conocidas, el tiempo estimado para su extracción y asumiendo que ya no se localizarán reservas adicionales. A continuación se hace una recapitulación de dichos requisitos:

- Se utilizará para la extracción de mineral y servicios.
- Profundidad final 821 m.
- Necesidad final de manto 9,000 toneladas / día.
- Peso volumétrico del mineral 1.7 ton / m<sup>3</sup>.
- La mina trabaja 2 turnos.
- Régimen de manto 16 horas.
- Ofrece servicio a cinco niveles para el sistema de servicios y al sistema de manto.
- El mineral se entrega en la tolva de superficie.
- Existe trituración de mineral en el interior de la mina con una alimentación máxima de 20" y descarga a - 6".
- Almacenamiento de mineral para gruesos 300 toneladas y para finos 1,500 toneladas.
- Almacenamiento de mineral en tolva de superficie 200 toneladas.
- El transporte de mineral del tiro a la planta se llevará a cabo por banda transportadora.
- Estimación de 12 años para la vida total de la mina.
- La obra favorece el flujo del aire para la ventilación de la mina.
- Considerar caminos de emergencia en todo el desarrollo del tiro.

Profundizar el tiro implica varios aspectos técnicos que deberán tenerse presentes. Enumeraremos algunos de ellos:

1. Geometría del depósito mineral.
2. Sistemas predominantes de fallas y fracturas.
3. Alteración de la roca.

4. Presencia de agua.
5. Método y equipo de barrenación para la profundización.
6. Ciclo de operación del desarrollo del tiro.
7. Consideraciones para el establecimiento de las instalaciones permanentes y temporales.
8. Obras auxiliares necesarias.
9. Caminos de acceso.
10. Necesidad de terrenos para edificaciones.

Es importante tomar en cuenta todos estos aspectos y la combinación de ellos para alcanzar buenos resultados en cualquier obra de profundización de tiros mineros.

## 4.2. MÉTODO DE EXCAVACIÓN

La excavación del tiro es una operación especializada que requiere de un equipo capacitado y experto. “La operación para realizar la excavación es una tarea lenta y tediosa, cuyo costo es elevado. Para saber qué tamaño debe tener el tiro, qué forma y su ubicación, se necesita conocer muy bien el objetivo de la obra”<sup>4</sup>.

Los tiros circulares son preferidos en casi todos los proyectos debido a sus características de estabilidad. Sin embargo, cuando los estratos de roca son competentes, como en la mayoría de las minas polimetálicas, los tiros rectangulares o elípticos dan grandes ventajas debido a la correcta utilización de las superficies transversales.

“El proceso regular para excavar un tiro es laborioso, peligroso, lento y no muy confortable. En un proyecto se pueden barrenar más de 1000 metros de profundidad con un diámetro máximo de 10 metros, y una presión de barrenación de 300Mpa, además se pueden controlar todas las condiciones hidro-geológicas existentes”<sup>5</sup>.

Las presiones de la inflación obligaron a la industria minera a mejorar la productividad para buscar medios y métodos más rápidos.

---

<sup>4</sup> RAVI SHANKAR ISM, Shaft sinking docs 07. Dhanbad. Canada. Pág. 2.

<sup>5</sup> *Idem.*

En la actualidad con la invención de nuevas tecnologías y dispositivos automatizados, se abrió un camino muy importante para la excavación y desarrollo de los tiros. Estos nuevos métodos además de reducir el costo de excavación y aumentar la seguridad de los trabajadores, permiten realizar el trabajo de excavación en menos tiempo. Para profundizar el tiro Santa Cruz, se tiene que detener la producción por un periodo de 80 días, así que convendría seleccionar alguno de los métodos más modernos para minimizar estos días y continuar con la producción de la mina.

A continuación se describen tres métodos propuestos para realizar la profundización, dependiendo de ciertas condiciones se seleccionará el método más adecuado para el proyecto de profundización de la unidad minera Milpillás.

#### **4.2.1. Jumbos para barrenación**

“Los jumbos para la perforación y ahonde de tiros han sido totalmente mecanizados para perforar barrenos secuencialmente. Esta clase de jumbos tienen un funcionamiento óptimo, se han ocupado principalmente en minas de Canadá y han revolucionado las excavaciones de tiros. El uso de jumbos para barrenar ha reducido considerablemente el tiempo de perforación, a su vez reduce el tiempo de los contratos para la excavación”<sup>6</sup>.

Un ejemplo notable en la innovación para barrenar es el jumbo multibrazos diseñado y desarrollado para acomodar 4, 6 u 8 brazos (*Figura 28*).

“Un Jumbo con 6 brazos acoplados, permite a 12 hombres barrenar 3.5 metros para realizar una voladura en menos tiempo que 40 máquinas manuales en perforar 2.5 metros. Las principales ventajas son: reducción eficaz del trabajo, reducción de costos en el lanzamiento de concreto y reducción del tiempo en la barrenación en las primeras etapas del proyecto”<sup>7</sup>. Las desventajas de este método son que se necesita mano de obra calificada, no cualquiera puede realizar este trabajo, una falla completa en el sistema hidráulico en la plataforma del jumbo tendrá como consecuencia retrasos mayores y muy costosos.

---

<sup>6</sup> RAVI SHANKAR ISM, Shaft sinking docs 07. Dhanbad. Canada. Pág. 4.

<sup>7</sup> RAVI SHANKAR ISM, Shaft sinking docs 07. Dhanbad. Canada. Pág. 5.



Figura 28. Jumbo tipo multibrazos.

#### 4.2.2. Excavación con máquina rotaria

“La excavación con máquina rotaria se realiza sin la ayuda de explosivos; ofrece diversas ventajas, pues no entra personal durante la operación de la excavación. Así, el método es seguro y resulta rentable en las condiciones donde los métodos convencionales no son viables”<sup>8</sup>.

“Este método utiliza una máquina rotaria que fue diseñada para perforar pozos de gas y de petróleo. La misma técnica se ha aplicado para la perforación de tiros y se ha comparado con las técnicas convencionales de excavación incluyendo los métodos especiales concluyendo que son económicamente viables”<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> TAYITA, R. R., “Surface und Underground Excavations”. London UK. Pág. 381.

<sup>9</sup> *Idem.*

Esta técnica se aplica básicamente para perforar tiros de diámetro grande; en un rango de 1.5 metros a 8 metros y a una profundidad de 2000 metros o más. Usualmente las obras de ventilación y de emergencia se llevan a cabo con los métodos convencionales, sin embargo se puede utilizar esta técnica en circunstancias excepcionales

El método utiliza una especie de plataforma petrolera pesada, la cual tiene en el centro en forma de torre de sondeo y una perforadora rotaria en forma de columna, con la broca en la parte inferior (*Figura 29*).



Figura 29. Máquina Rotaria para barrenación.

“Las brocas están equipadas con cortadores giratorios y dientes especiales que cortan la roca y los detritos sale por los lados mientras que la broca gira en la parte inferior.

El número y el arreglo de los cortadores varían según el diseño de la excavación. Para mantener un control en la desviación de la excavación se utilizan estabilizadores<sup>10</sup> (Figura 30).

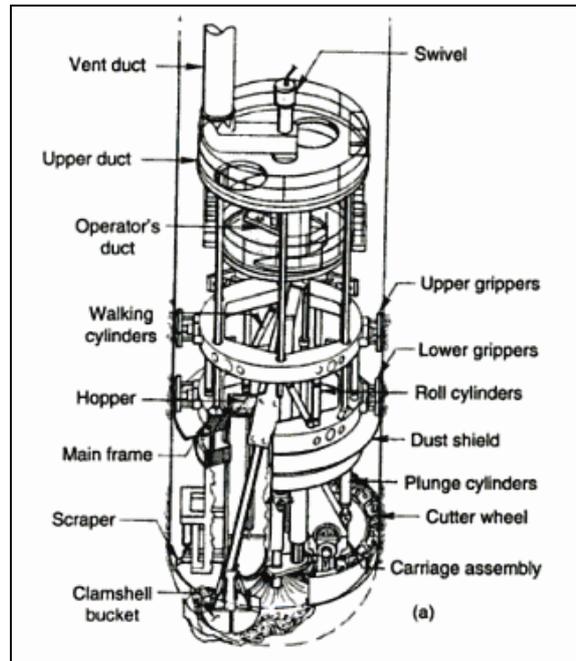


Figura 30. Diagrama de la máquina rotaria. (Fuente TAYITA, R. R., "Surface und Underground Excavations", Pág. 380).

Cuando se trata de perforar un tiro con diámetro muy grande, se barrena a velocidades relativamente bajas. Los terrenos blandos requieren menos brocas pues el desgaste es menor que en las formaciones rocosas duras donde el desgaste aumenta considerablemente. "El lodo o el líquido de perforación (agua, lodo a base de bentonita o gel) usados en esta técnica ayuda a la estabilidad de las paredes del tiro, enfría la broca y ayuda a lubricar los cortadores a la hora de removerlos. Debido a los grandes diámetros de los tiros los cortadores no se pueden remover tan fácilmente, se utiliza el tubo de doble pared y aplicando rotación inversa se quita para cambiarla. En superficie, el fluido de perforación se separa de los detritos de barrenación por medio de tamices, con el fin de reutilizarlo"<sup>11</sup>. Este método tiene méritos considerables, se realizan todas las operaciones de la excavación desde superficie no hay problemas con el agua subterránea, ni con las formaciones rocosas que se presentan.

---

<sup>10</sup> *Idem.*

<sup>11</sup> TAYITA, R. R., "Surface und Underground Excavations". London UK. Pág. 383.

En un terreno rocoso con índice de barrenación rápido, se logra mayor avance ocupando menos mano de obra y menos tiempo. Las limitaciones de este método son los altos costos de inversión y las dificultades de barrenación a través de los estratos más duros pues se tienen mayores tiempos de barrenación.

#### **4.2.3. Método convencional de excavación**

“El método convencional de excavación en tiros comprende el siguiente ciclo: barrenación de la plantilla, cargado de explosivo y voladura, rezagado de la roca quebrada, detallar las paredes del tiro según la forma adoptada, colocación de estructuras de soporte o concreto en la superficie de la obra y preparación para la barrenación”<sup>12</sup>.

Para tener una excavación más eficiente se tiene que realizar el ciclo en aproximadamente doce horas, entre voladura y voladura. Una etapa especial en la excavación es el rezagado y la operación de lanzado de concreto.

El rezagado del material fragmentado generalmente se realiza con grúa o con un bote izado por un malacate. En las operaciones de lanzado de concreto, éste es mezclado en superficie y llevado hasta el tiro por medio de una tubería.

#### *Barrenación y voladura*

En el fondo del tiro el centro de la obra se marca mediante un levantamiento topográfico para iniciar la barrenación. “Los barrenos se hacen con maquina neumática de pierna, aunque también se pueden colar con maquina jackhammer”<sup>13</sup>. La sección de la obra se divide a la mitad, perforando en cada una de estas un grupo de barrenos, se cargará con explosivo una de las mitades y se efectuará la voladura dejando una cara libre; así el otro grupo de barrenos, podrán romper la roca sin ningún problema. En voladuras con estopines electrónicos algunos disparos deben ser examinados en relación con la barrenación en los terrenos con mucha agua en el fondo de la obra, ya que se puede ver afectado el disparo (*Figura 31*).

---

<sup>12</sup> LEWIS, R.S. y G.B. CLARK, Elements of Mining. Nueva York. Pág. 180.

<sup>13</sup> LEWIS, R.S. y G.B. CLARK, Elements of Mining. Nueva York. Pág. 184.

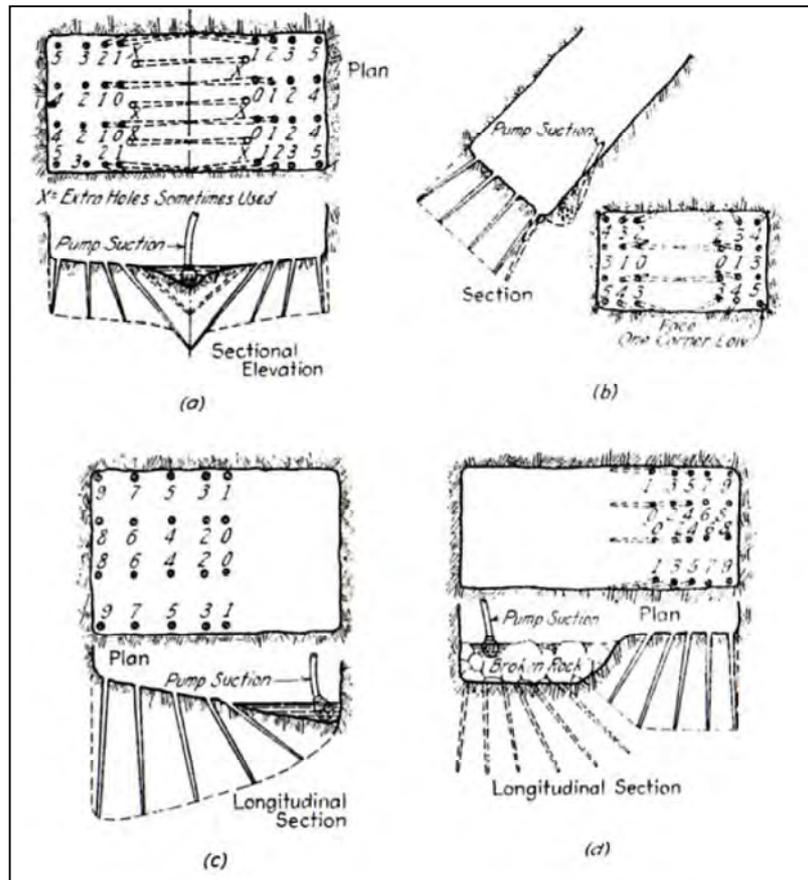


Figura 31. Secciones longitudinales y transversales de algunas plantillas de barrenación. (Fuente LEWIS, R.S. y G.B. CLARK, Elements of Mining, Pág. 185).

“La profundidad de los barrenos la determina las condiciones de la roca y la velocidad de la penetración de barrenación. En roca no muy dura como en el caso del aluvión de Milpillas, los barrenos pueden tener una profundidad de hasta 3 metros, pero en las excavaciones en tiros redondos y de gran profundidad los barrenos pueden tener una longitud de 2.6 metros. En roca muy dura los barrenos deben tener una profundidad entre 1.3 metros a 1.5 metros para tener más control del disparo. En barrenos de diámetro pequeño se requiere otro tipo de explosivo más potente, 60% a 80% más de factor explosivo que los utilizados comúnmente. En este tipo de excavaciones donde se necesita mayor eficiencia y velocidad para realizar la excavación, se pueden utilizar estopines electrónicos para poder modificar los parámetros del disparo”<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Idem.

Para proteger la parte interior de la obra del tiro y el ademe utilizado para la estabilidad de las paredes a causa de la voladura se deben colocar protectores para evitar que los fragmentos de roca vuelen y se proyecten por ejemplo, se coloca una malla metálica en el fondo de la obra cubriendo el área barrenada y cargada, encima de ésta se colocan grandes bloques de acero o cadenas para soportar el disparo. También se han diseñado escudos especiales para la voladura hechos de acero capaces de contener el material expulsado violentamente, son una especie de puertas que se cierran y cubren toda el área de la obra para evitar la proyección de fragmentos de roca. La desventaja de este escudo es la demora de tiempo a la hora de colocarlo y quitarlo cada que termina y empieza el ciclo.

#### *Rezagado de la roca*

“Los métodos antiguos para traspalear la roca producto de la voladura consumen el 50% del tiempo total de la excavación del tiro de modo que la velocidad y el costo de la excavación son reducidos, además hay un manejo más eficiente en la roca quebrada. Con la ayuda de un bote o tina de manteo se saca la roca, reduciendo así el paleo manual ya que se utiliza un cucharón tipo almeja para cargar el bote, es operado por un malacate eléctrico suspendido en un compartimiento al lado del tiro y es controlado por cables que llegan hasta el fondo de la obra”<sup>15</sup> (Figura 32).

#### *Medidas de seguridad*

“Los trabajadores que se encuentran dentro del tiro necesitan protección contra algún caído de roca o de objetos pesados que puedan caer desde la superficie, para evitar estos riesgos se instalan unas compuertas diseñadas para proteger a los trabajadores de estos peligros, se pueden utilizar las compuertas para contener los fragmentos de roca producto de la voladura citadas en el tema anterior. Estas puertas están cerradas normalmente, cuentan con un orificio donde pasan los cables del malacate y del equipo de cargado y limpieza. Las puertas de seguridad forman un ángulo de 45° cuando están cerradas con el fin de desviar a los costados el material que cae”<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> LEWIS, R.S. y G.B. CLARK, Elements of Mining. Nueva York. Pág. 185.

<sup>16</sup> LEWIS, R.S. y G.B. CLARK, Elements of Mining. Nueva York. Pág. 183.

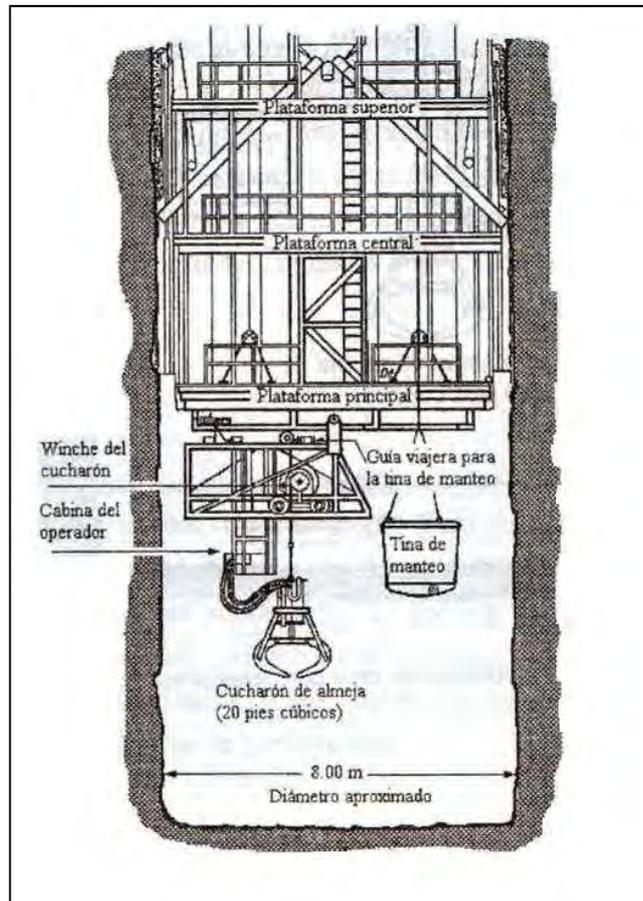


Figura 32. Diagrama del equipo de rezagado del método convencional para profundizar un tiro. Fuente LÓPEZ ABURTO V.M., "Fundamentos para la Explotación de Minas", Pág. 65).

### 4.3. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXCAVACIÓN

Los métodos de barrenación con jumbo y excavación con rotaria descritos con anterioridad son una buena opción para llevar a cabo la excavación del tiro Santa Cruz, son rentables y terminarán más rápido la excavación de los 213 metros de profundidad; sin embargo, la crisis de los precios de los metales de finales del año 2008 marcó la selección del método convencional de excavación para desarrollar el proyecto incluso, estaba casi al borde de detener el proyecto por la mala cotización de los metales. Todavía se cuenta con tiempo suficiente para empezar la excavación utilizando el método convencional para profundizar un tiro por lo que no hay problema en implementarlo. La cotización actual de los metales y en este caso del cobre, puede pagar la excavación con jumbo y la excavación con máquina rotaria desgraciadamente el proyecto de profundización ya está muy adelantado para poder retomar los métodos antes citados.

#### 4.4. ADEME DEL TIRO

Para los trabajos de ademe del tiro, se requiere del montaje de 96 marcos de acero a cada 6.00, metros distribuidos a lo largo de todo el tiro. La distribución y materiales se describen a continuación:

Entre el área de los skips y la calesa cada 6 metros se instalará una viga principal IPR (Vigas de Perfil "I" Rectangular) de 2.96 metros de 10" x 5-3/4", con dos placas laterales soldadas en los extremos, de 0.40 x 0.25 metros de 3/4" de espesor, ubicada a 460 mm del centro geométrico del tiro, fijada por 8.0 anclas de 1-1/4" de diámetro de acero SAE 1018, de 0.80 metros de longitud cada una, ancladas a las paredes de la obra y al ademe, sobre las cuales se instalarán soldados en forma perimetral, dos bastidores con forma APS (Ángulo Perfil Estándar) de 3" x 3" x 1/4", de 3.00 metros cada uno, para fijar mediante remaches de 1/4" de diámetro una protección de lámina galvanizada acanalada de 1.0 metros por 3.05 metros, calibre 14, cubriendo todo el claro divisor.

Para la protección del camino de emergencia entre la calesa y el contrapeso a 3.054 mm del eje mayor del tiro, se colocará a cada 6.00 metros, una viga de 2.96 metros de longitud IPR (Vigas de Perfil I Rectangular) de 10" X 5-3/4" con dos placas laterales soldadas en cada extremo de la misma de 0.25 x 0.40 metros de 3/4" de espesor fijada por 8 anclas de 1-1/4" de diámetro de acero SAE 1018, de 0.80 metros de longitud cada una, ancladas a la roca y al ademe, en la parte noreste del tiro. Sobre esta viga se deberá de soportar por medio de soldadura la escalera del camino de emergencia.

En el camino de emergencia, que comprende una área de sección transversal de 0.80 metros x 1.56 metros, se instalará una escalera metálica a cada 6.00 metros, unido por soldadura sobre la viga antes mencionada en la cual se incluye un canal CPS (Canal Perfil Estándar) de 6.0" y 1.56 metros de longitud con una placa de 0.20 x 0.20 metros de 1/2" de espesor soldada en uno de sus extremos anclada a la roca y al ademe por 4 anclas de 3/4" de diámetro por 0.80 metros de longitud de acero SAE 1018. El otro extremo irá soldado a la viga mencionada anteriormente a 0.76 metros y perpendicularmente a esta otra un canal de CPS (Canal Perfil Estándar) de 6.0" de 0.79 metros de longitud. En el extremo opuesto de ésta, se soldará una placa de 0.20 x 0.20 metros de 1/2" de espesor para fijarse a la roca y al ademe por medio de anclas de 3/4" de diámetro por 0.80 metros de longitud cada una. Sobre estas canales se soldará un bastidor perimetral de APS (Ángulo Perfil Estándar) de 3" x 3" (*Figura 33*).

A este bastidor se fijará una protección de malla ciclónica de 2" x 2" por 1/8". Un descanso de rejilla irving de 1" x 1/8" con sección transversal de 0.80 x 0.87 metros unido por soldadura a las canales de apoyo de la misma se colocará a cada 6.00 metros.

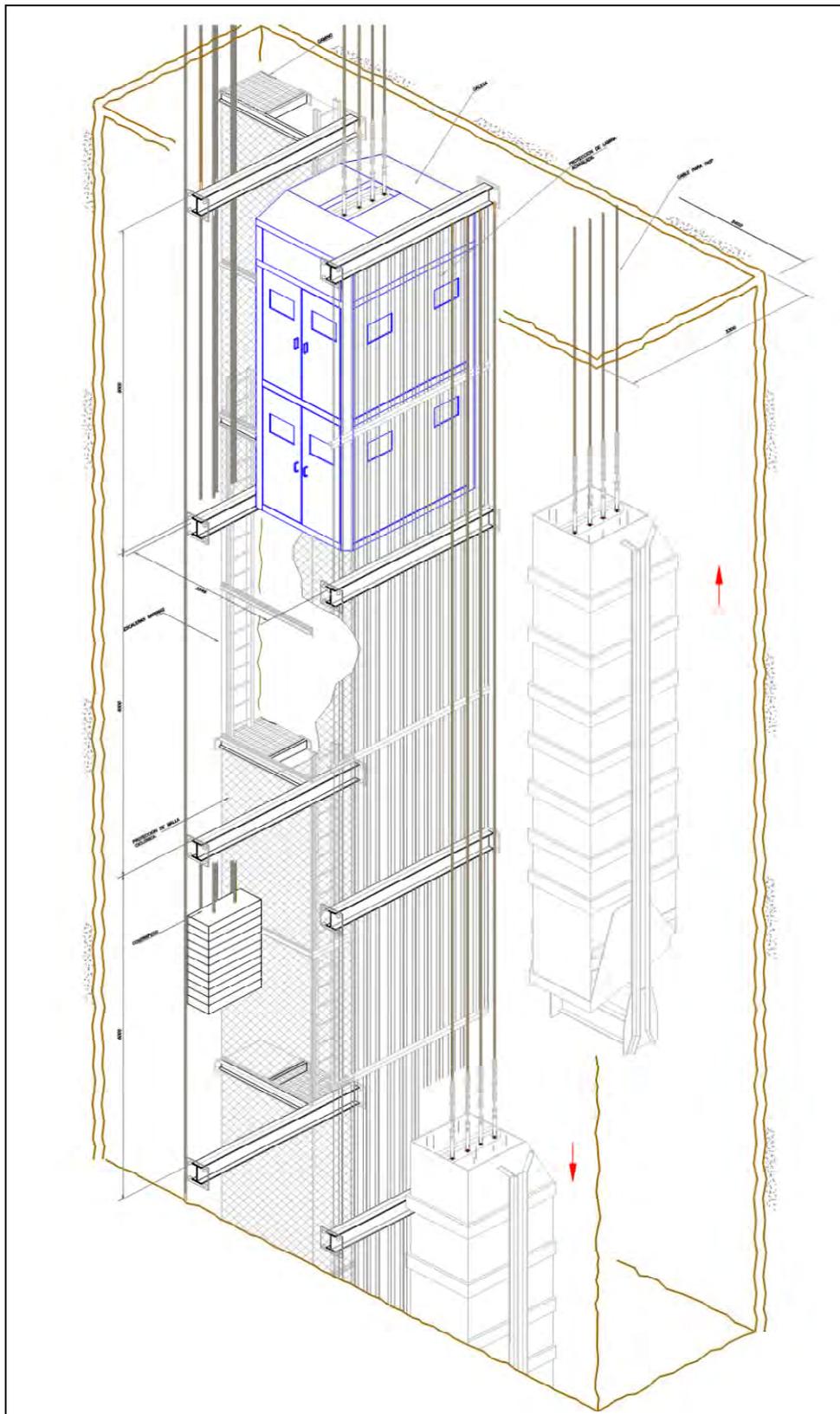


Figura 33. Isométrico mostrando la estructura del ademe del tiro, calesa y skips de manto.

Se colocarán tramos de escalera de 7 metros de longitud a cada 6 metros apoyadas sobre el descanso de rejilla Irving. Cada tramo sobresaldrá 1 metro en cada descanso. Las escaleras están fabricadas con 2 APS de 3" con un peso de 10.72 kg/m y peldaños de acero redondo liso de 1" soldados a cada 0.30 metros (*Figura 34*).

#### **4.5. INSTALACIONES DEL TIRO**

Profundizar el tiro implica la interrupción corta de la producción, pues ocurrirán cambios en las obras de desarrollo que serán permanentes. La duración total en la interrupción de la producción se estima en 80 días, de los cuales 20 corresponden al retiro del pilar de seguridad y 60 para realizar las tareas de preparación. No habrá producción a través del tiro por lo que no se tendrán actividades de manto por 80 días. Sin embargo, en estos días no significa que habrá paro en la producción de mineral y de ánodos de cobre por parte de la planta de beneficio porque las instalaciones de patios de lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición deben continuar trabajando. Para evitar el paro de producción de mineral y de ánodos de cobre, se puede acarrear el mineral hasta la superficie a través de la rampa Guadalupe. La rampa será ampliada hasta la elevación 720 pues también sirve como acceso secundario a la mina (*Figura 35*). Antes de cesar la producción se creará un stock de gran tonelaje con leyes altas de mineral para formar un compuesto y de esta forma aumentar la ley de cobre con el fin de ayudar a la planta para producir los ánodos durante los 80 días de paro en la producción de mineral.

##### **4.5.1. Malacate**

Para la extracción de la roca estéril producto del desarrollo del tiro, obras de acarreo y de las instalaciones auxiliares, se utilizará el malacate de producción; sin embargo, al terminar los 80 días de paro del manto, la roca se sacará por medio de camiones a través de la rampa Guadalupe. Para mantener el mineral de los niveles inferiores al nivel 992 se utilizará el malacate de extracción que está montado sobre una estructura de concreto, los skips correrán a través de cables guía.

El malacate de servicio tiene un tambor de siete pies de diámetro y levanta una jaula con dos cubiertas y un contrapeso de placas de acero. Los botes de producción son de 10 pies de diámetro con una capacidad de 15 toneladas cada uno en promedio (*Ver Figura 27, página 44*).

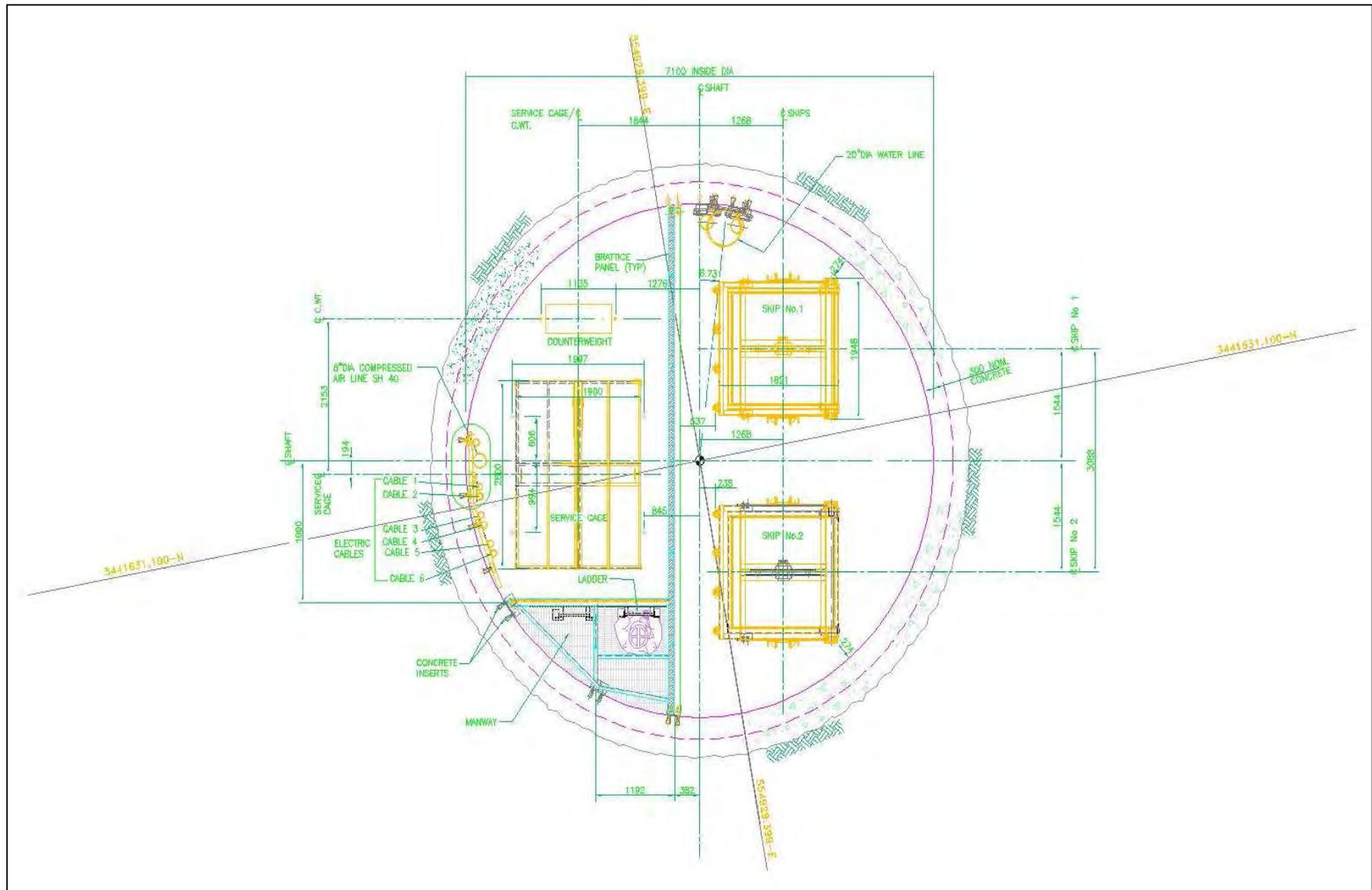


Figura 34. Planta del tiro.

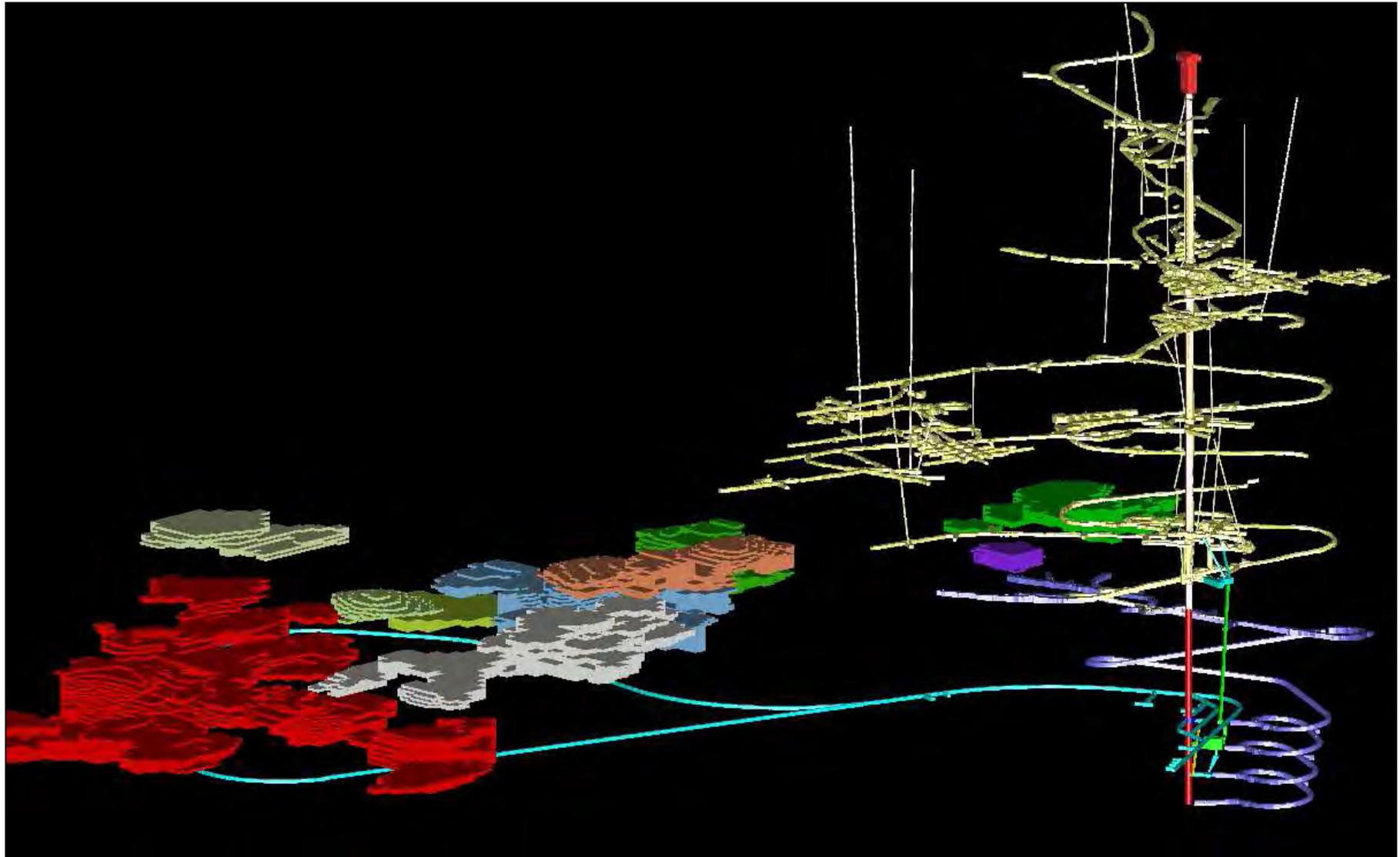


Figura 35. Isometría general de la mina mostrando el avance que tendrá la rampa Guadalupe (color morado).

De la actual estación de cartuchos ubicada en la elevación 930.65, los skips recorren 548.23 metros desde la estación de descarga de cartuchos hasta la superficie. El malacate de extracción que trabaja actualmente fue diseñado para mantear 9,000 toneladas por día, con una velocidad de desplazamiento del skip de 12.7 metros sobre segundo con una carga útil de 15 toneladas, recorriendo 779 metros desde lo más profundo del tiro hasta la superficie (*Ver Figura 27, página 44*).

#### **4.5.2. Estación de trituración**

Una estación de trituración será construida en el nivel 752, se instalará una tolva de gruesos para mineral entre la zona de descarga en el nivel 780 y la estación de trituración. Se instalará un alimentador de placas en la parte inferior de la tolva de gruesos para descargar en la quebradora de quijadas de una forma directa y controlada. Una quebradora de quijadas marca metso de 60" x 50", se instalará para triturar la roca a 150 mm (6 pulgadas) en la descarga para llegar al índice de manto que es de +/- 560 toneladas por hora. Un sistema recolector de polvos será instalado en la estación. El mineral triturado pasará al nivel de cargado de los skips en el nivel 721. El acceso a la estación de trituración será principalmente a través de la rampa Guadalupe y por las instalaciones del tiro (*Figuras 36 y 37*).

#### **4.5.3. Tolva de finos para la quebradora**

La tolva de finos de la quebradora, tendrá una inclinación de 70 grados, tendrá una capacidad aproximada de manto de dos horas (1120 toneladas). Un alimentador será instalado en la parte inferior de la tolva en el nivel 721.

El parámetro fundamental es el tamaño de la abertura de la descarga de la tolva, debe medir 1 metro de ancho (mínimo) por 3 metros de largo.

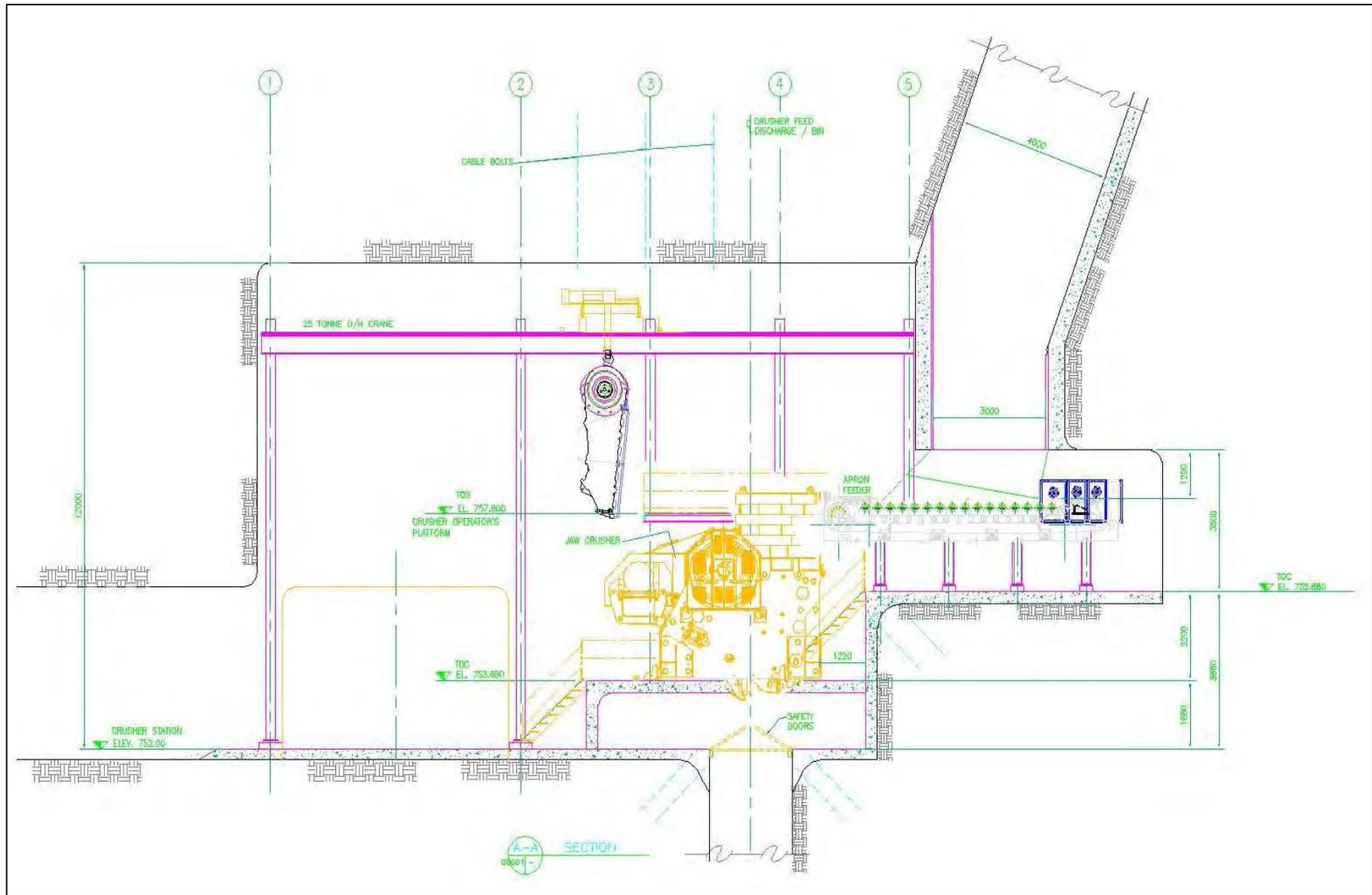


Figura 36. Sección transversal de la estación de trituración.

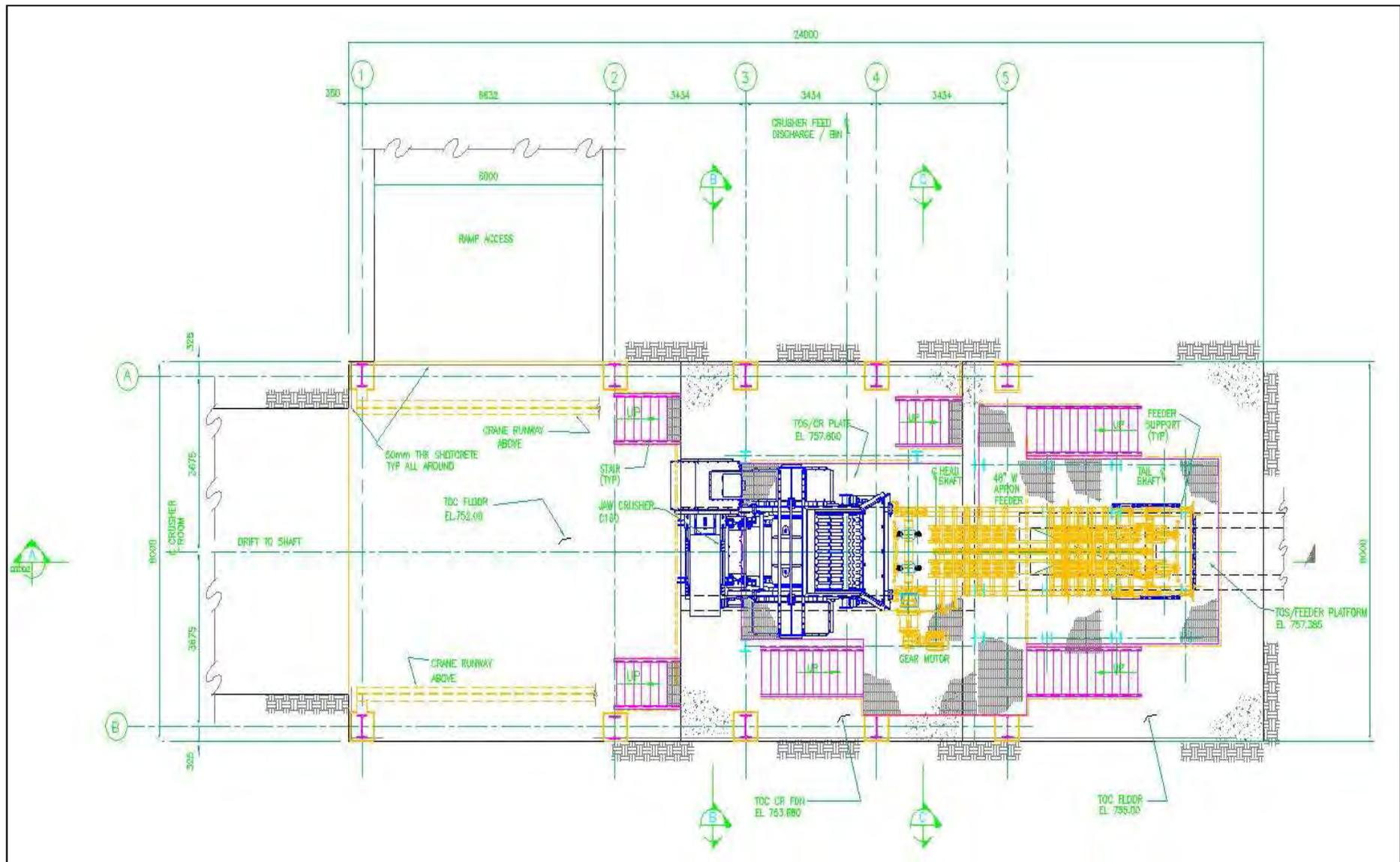


Figura 37. Estación de trituración vista de planta.

#### **4.5.4. Sistema de bandas transportadoras y cartuchos en el nivel 721**

Un alimentador por debajo de la tolva de finos conducirá el mineral triturado a un sistema de bandas ubicado en el nivel 721.

La banda transportadora captará el mineral triturado desde el alimentador. En el caso de material de desecho como tepetate se utilizará un contrapozo tepetatero que conducirá directamente a un alimentador independiente que se ubica en el nivel 721, el tepetate será transportado por el sistema de bandas. La banda transportadora descargará el mineral en los cartuchos del tiro. Los cartuchos, con un sistema de cilindros hidráulicos, conducirán el mineral a los pesómetros. El acceso al área de cargado y los sistemas de bandas se realizará por la rampa Guadalupe y por las instalaciones del tiro (*Figuras 38 y 39*).

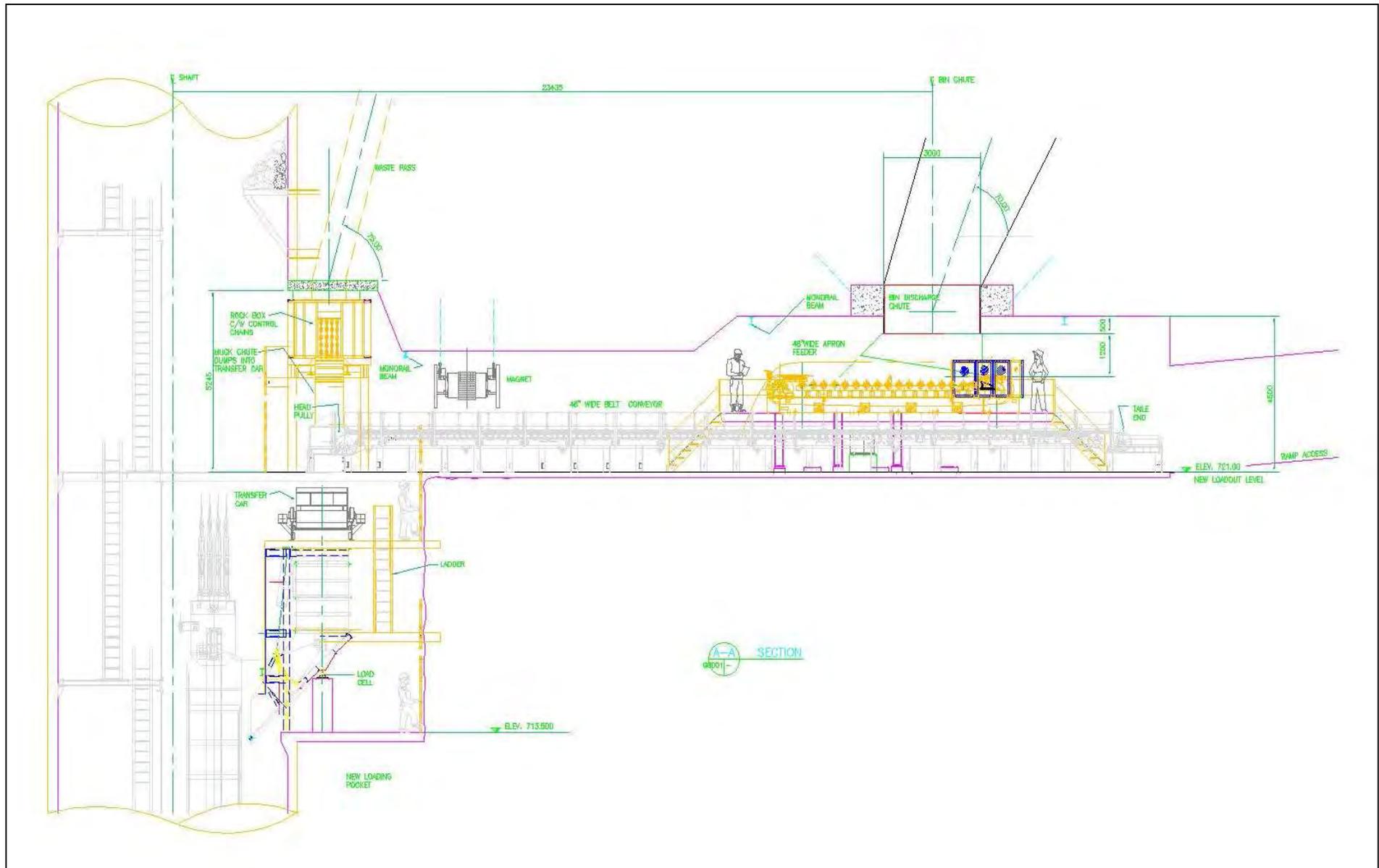


Figura 38. Sección transversal de la banda de cargado y parte inferior de la tolva de finos.

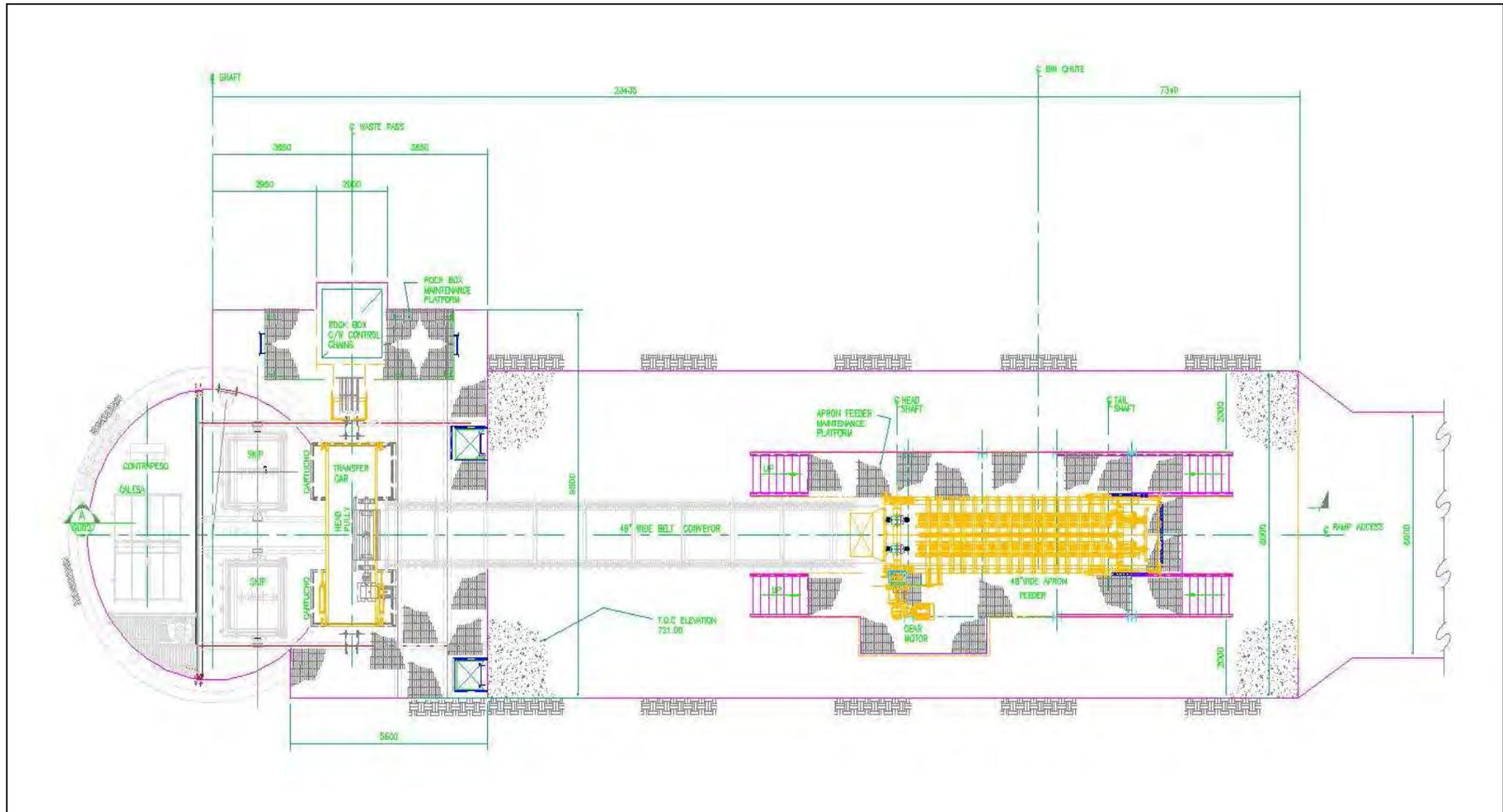


Figura 39. Bandas transportadoras y cartuchos vistos en planta.

#### 4.5.5. Pesómetros de medición

Los pesómetros de medición que se instalarán en el área de cartuchos de cargado en el nivel 721 serán idénticos a los que existen actualmente en el nivel 937. Cada uno de estos pesómetros tiene una capacidad de 15 toneladas. Descargan el mineral al interior del tiro por medio de un rebote hasta los skips. Las celdas que se encargan de pesar el mineral serán instaladas en los costados de cada pesómetro (Figura 40).

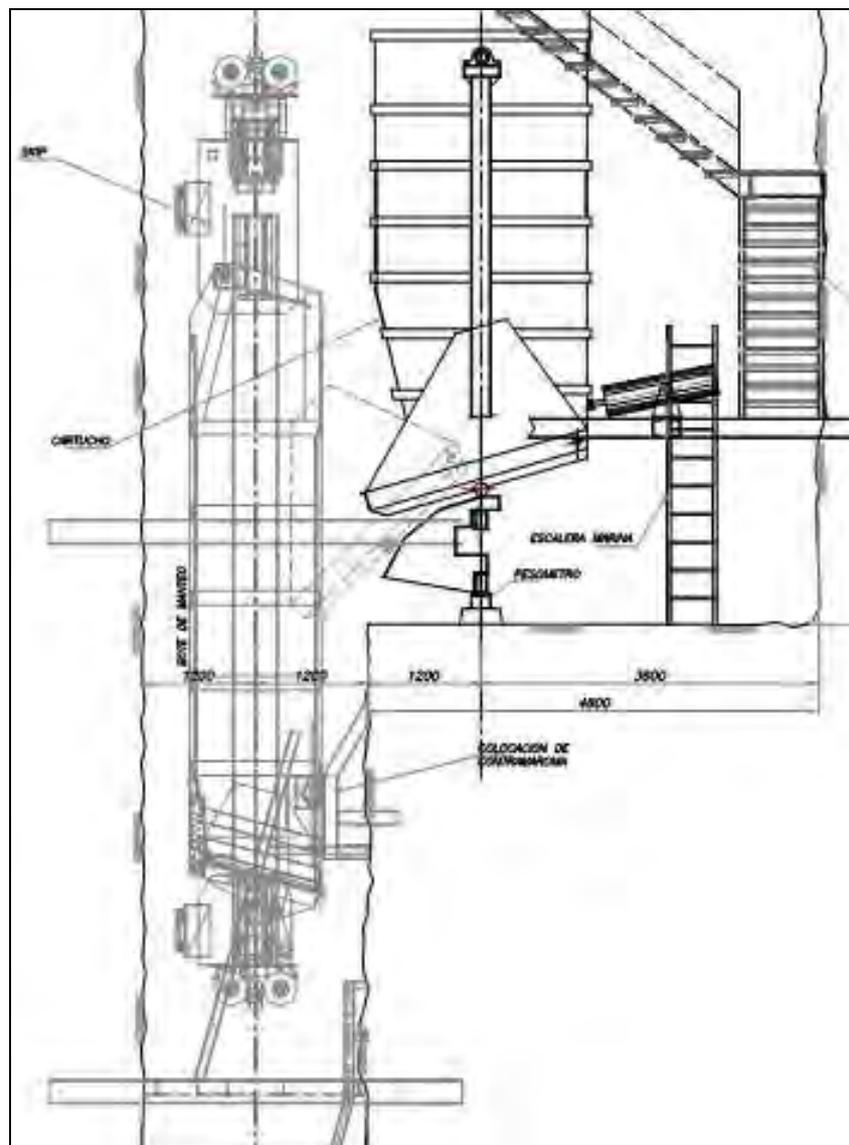


Figura 40. Sección de los cartuchos mostrando en la parte inferior los pesómetros.

#### 4.6. ACARREO DE MINERAL POR LOCOMOTORA

La selección del sistema de acarreo se basó en la comparación del uso de camiones de acarreo que se utilizan actualmente en Milpillas contra la capacidad de acarreo que tienen los sistemas de acarreo por locomotora en otras minas del grupo.

La comparación y los estudios concluyeron que el acarreo de mineral por medio de locomotora ofrecía ventajas significativas sobre el acarreo por camiones por las siguientes razones:

- La inversión inicial para el acarreo por locomotora representa aproximadamente un 50% menos que la inversión inicial de los camiones de acarreo.
- Costos de operación (acarreo por locomotora aproximadamente 25% menos costos que los camiones de acarreo).
- Requerimientos de ventilación en mina reducidos totalmente pues la locomotora no emite gases contaminantes por ser eléctrica.
- Gran potencial para automatizar.

Posteriormente la decisión fue proceder con el diseño y la construcción de un sistema de acarreo vía locomotora totalmente automatizada en Milpillas para continuar con la expansión del proyecto. El diseño de la sección de las obras de acarreo y la ruta del sistema se muestran a continuación (*Figuras 41 y 42*).

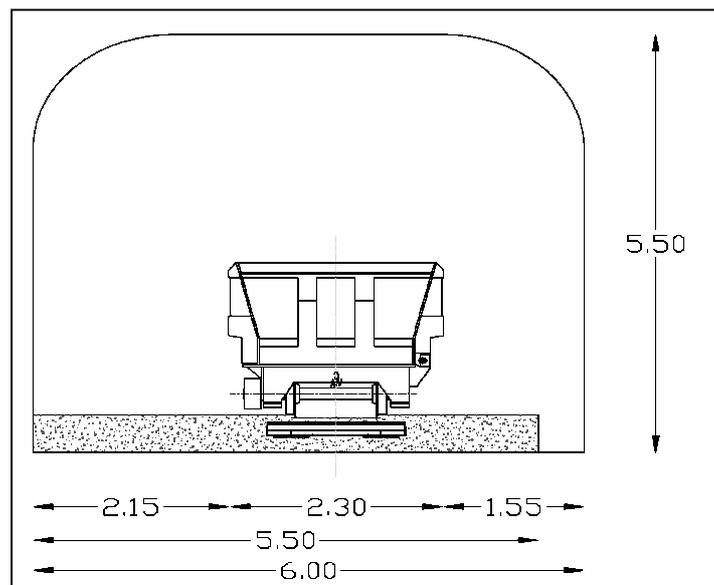


Figura 41. Sección de la obra de acarreo por locomotora.

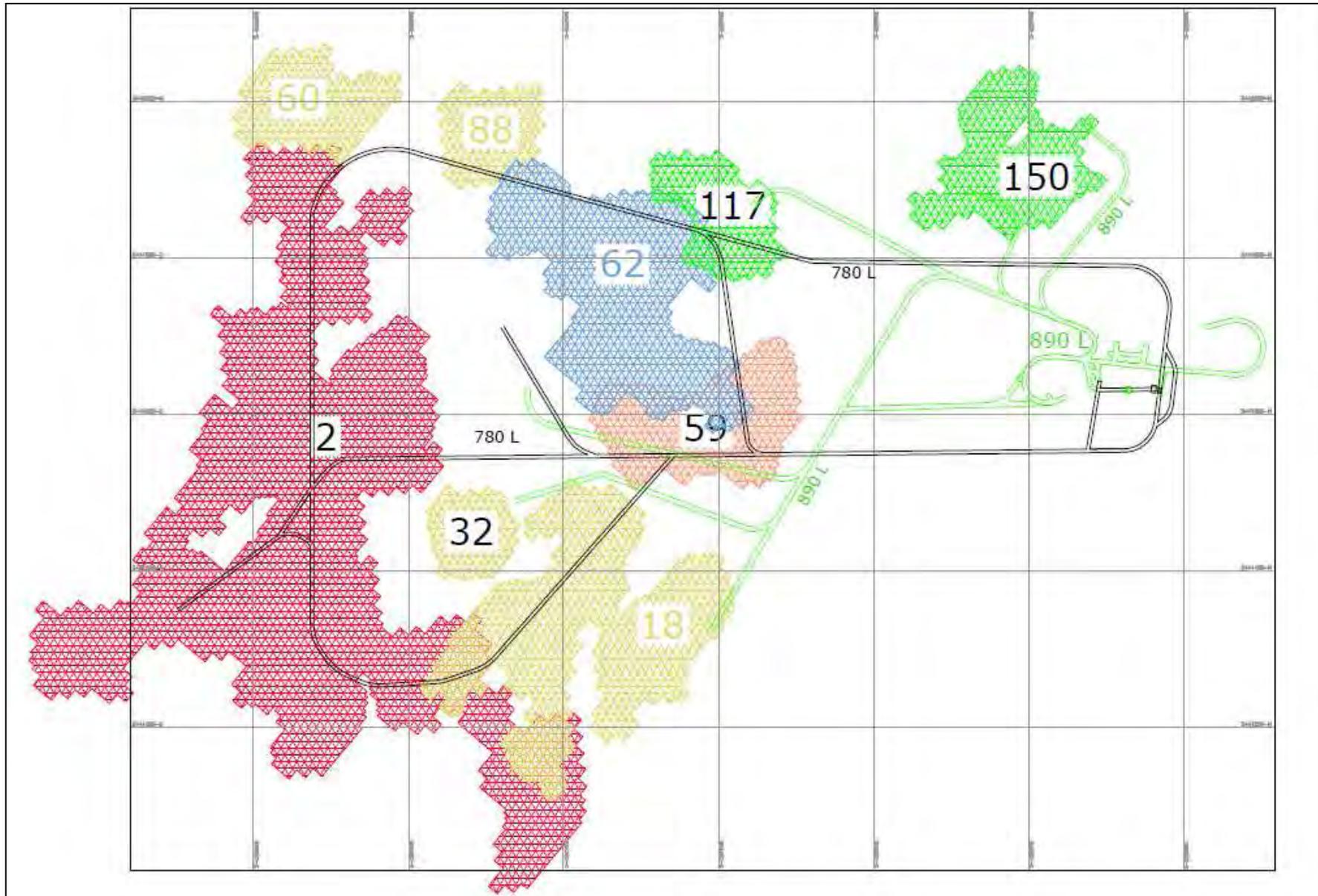


Figura 42. Ruta de acarreo de la locomotora en el nivel 780 mostrando los cuerpos minerales principales.

#### **4.6.1. Locomotora eléctrica**

Una locomotora con funcionamiento a base de baterías eléctricas tiene varias ventajas. Los peligros de tener una línea eléctrica de trole instalada en el cielo de la frente de acarreo se eliminan. La locomotora tiene un funcionamiento simple y los controles responden rápidamente. Si la energía eléctrica se suspende temporalmente, la locomotora seguirá funcionando. La carga máxima de energía puede ser reducida, pues la locomotora no está conectada a la línea eléctrica principal cuando está en funcionamiento, mientras que las baterías se pueden cargar durante el turno de la noche cuando la demanda de la línea eléctrica es relativamente ligera. Una de las principales ventajas de la locomotora de baterías eléctricas es la conveniencia al momento de llenar los carros de mineral, pues no estorbará la línea eléctrica de trole a los alimentadores de mineral.

Como desventajas se tiene que las locomotoras de baterías eléctricas funcionan aproximadamente a la mitad de la velocidad que las locomotoras de trole. Las locomotoras de 4, 5 y 8 toneladas funcionan a una velocidad promedio de 10 km/h, pero en tramos largos la locomotora aumenta su velocidad media a 15 km/h, estas velocidades se tomarían como desventaja pero en cuanto a medidas de seguridad es lo más confiable. El tamaño más pequeño de una batería para locomotora tiene dimensiones menores que una calesa de servicio y se puede mover fácilmente a cualquier sitio de la mina.

#### **4.6.2. Estructuración del sistema**

La instrumentación del sistema de acarreo por locomotora, se realizará entre la empresa Peñoles, vendedores y contratistas. Peñoles (compañía minera La Parreña) se encargará del diseño del nivel de acarreo con la asistencia de especialistas y de gente con experiencia, vendedores y contratistas se encargarán de la instalación y estructuración del sistema de acarreo. La estrategia aplicada al equipo y al sistema principal de acarreo por locomotora se resume como sigue: Abastecimiento de energía (corriente directa) locomotoras, carros para mineral, descarga de la locomotora a metaleras, accesorios para las vías de la locomotora, control de sistema de automatización software/hardware y equipos para la distribución de la corriente continua.

Consultores de ingeniería y los mismos empleados del departamento de planeación se encargarán de diseñar los contrapozos, talleres para la locomotora, estructuras para soporte de contrapozos metaleros y el nuevo sistema de ventilación.

#### **4.6.3. Operación del sistema de acarreo**

El sistema de acarreo vía locomotora estará ubicado en el nivel 780, desde los contrapozos donde se chorreará el mineral de los principales rebajes, hasta la estación de trituración. Después de la trituración primaria, el mineral pasará al sistema de bandas para ser cargado a los skips, donde será manteado a la superficie a través del tiro.

Aunque el modo de operación de una locomotora es manual, la forma más conveniente de operación en el interior de la mina es automatizada. La principal regla de funcionamiento durante la operación automática del tren en los viajes, consiste en realizar cada viaje con el mayor tonelaje posible. La determinación exacta de la posición del tren se realizará mediante un dispositivo en las ruedas que mandará una señal y mediante un identificador de radio se codificará la señal, enviando la posición exacta de la locomotora. Los carros de la locomotora se cargarán con el mineral a través de los contrapozos metaleros inclinados por medio de unos cargadores o alimentadores, alineados a la frente de acarreo donde se encuentra el tren. La operación para el llenado de los carros de mineral se llevará a cabo en la estación de mando en superficie apoyándose en el uso de un circuito cerrado de televisión. Este es el único proceso que requiere intervención de un operador para el llenado de los carros de la locomotora con mineral.

Cada contrapozo metalero encargado de llenar los carros tiene una descarga de mineral accionada con bisagras controladas hidráulicamente llamadas alimentadores de garganta y labio. Operadores en superficie controlará las puertas de garganta y labios por medio de joysticks. El movimiento del tren durante el cargado de mineral también es controlado por el operador aunque el movimiento es generalmente continuo.

El derrame de mineral entre carro y carro al ser llenados se minimiza colocando mangas de plástico entre la parte posterior del carro y el frente del siguiente. La velocidad con la que se carga un carro se controla ajustando la puerta de garganta y el labio.

La estación de descarga de mineral de la locomotora está situada por encima de la primera tolva que alimenta a la quebradora. Los carros tienen la descarga por la parte inferior a través de una compuerta con bisagras ubicadas lateralmente. Mientras que un carro pasa sobre la estación de descarga es apoyado para moverse por un sistema de rodillos en ambos lados del carro.

El montaje inferior de la puerta se abre simultáneamente y se cierra progresivamente, permitiendo que el mineral contenido del carro se vacíe.

#### 4.6.4. Carros de la locomotora

Existen dos tipos de carros de mina que se diferencian por la descarga inferior con la que cuentan, a uno se le llama lado-bisagra y a otro extremo-bisagra.

Los carros lado-bisagra tienen la ventaja de que pueden descargar el mineral en cualquier lado y los carros extremo-bisagra solo pueden descargar el mineral de un solo lado.

El desarrollo del nivel 780 que será la obra por donde correrá el tren y otras instalaciones, requerirá el uso de los carros extremo-bisagra ya que los contrapozos metaleros estarán ubicados a un costado de las vías de la locomotora. Se utilizarán carros "gramby" con una capacidad en el rango de 4 metros cúbicos tirados, por una locomotora de batería de 10 toneladas, resulta un equipo típico para este tipo de operación. Con la culminación de los trabajos de desarrollo en el nivel 780, algunos de los carros pueden ser adaptados para el transporte de servicios. Esto se puede lograr modificando el cuerpo del carro, quitando simplemente los lados (*Figura 43*).

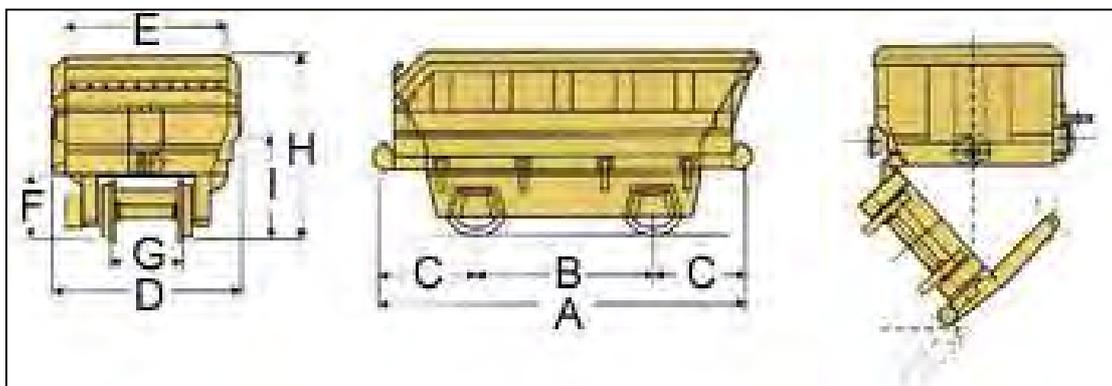


Figura 43. Carros de mina extremo-bisagra

#### 4.6.5. Descripciones técnicas del sistema de acarreo

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas más importantes de la locomotora y los contrapozos metaleros (*Tabla 5*).

Tabla 5. Descripciones técnicas de la locomotora.

<b>General</b>	
Capacidad de Diseño	1600 toneladas por hora
Tamaño máximo del mineral	1200 mm
Número de contrapozos metaleros de descarga	8
Número de trenes en operación	2
Número de locomotoras por tren	2
Número de carros por tren	10
Capacidad del tren	330 toneladas por viaje
Tiempo del ciclo del tren	14.5 min
Distancia entre rieles	909 mm
Longitud total de las vías	6 km
<b>c/p metaleros para cargado de mineral</b>	
Tipo	En línea, flujo de mineral por gravedad
Flujo de carga	Cortina de cadena en lo ancho, garganta y labio hidráulico
Abertura de la garganta	2.4m x 1.8m
<b>Locomotoras</b>	
Tipo	Eje tipo gemelo, dc, operación manual o automática

Peso por locomotora	10 toneladas
Fuerza de tracción con 25% de adherencia	6.4 toneladas
Resistencia de las ruedas (arrancando)	2.5 (3.75) kg/ton
Abastecimiento de energía eléctrica	600 V dc +/- 10% por el conductor
Rango del motor	2 x 90 kW
Frenos	Activos (eléctricos), servicio (aire/resorte), emergencia (aire/resorte)
Largo x ancho x alto	5.8 m x 2.0 m x 2.3 m
<b>Carros para mineral</b>	
Tipo	Eje tipo gemelo, puerta inferior con bisagra para descarga continua
Revestimiento para desgaste	Puerta 25 mm, paredes 9.5/12 mm,
Capacidad de los carros	14m <sup>3</sup>
Factor de cargado	0.8
Peso Tara	9.75 toneladas
Largo x ancho x alto	5.3 m x 2.3 m x 2.3 m
Suspensión	Chevron
Acoplamiento	Tamaño máximo Wilson, automático
Vida económica	Aproximadamente 4 - 6 millones de toneladas rendimiento

#### **4.7. CONSIDERACIONES DE EJECUCIÓN**

En la figura 44 se muestra el cronograma sobre los tiempos estimados que se tardará cada actividad para la profundización del tiro Santa Cruz.

##### *Etapa I: Ingeniería de detalle*

Esta fase del proyecto se ocupará del diseño de ingeniería, selección y recomendación de todas las instalaciones y equipo necesario para obtener la producción con la capacidad diseñada de 9,000 toneladas por día, además proporcionar la correcta operación del tiro.

##### *Etapa II: Implementación*

Esta etapa proporcionará la ayuda para comenzar a trabajar en las nuevas obras incluyendo la gestión del proyecto, coordinar el trabajo entre los proveedores, los especialistas y los contratistas implicados en el proyecto y de tener un buen sistema de calidad implementado. En esta etapa se cerciorará que todos los componentes estén disponibles y a tiempo, se establecerá un nivel claro de responsabilidades antes, durante y después de encargar todo el sistema de trabajo. Todas las actividades realizadas en el tiro serán coordinadas en la etapa de profundización para evitar o minimizar retrasos en la producción.

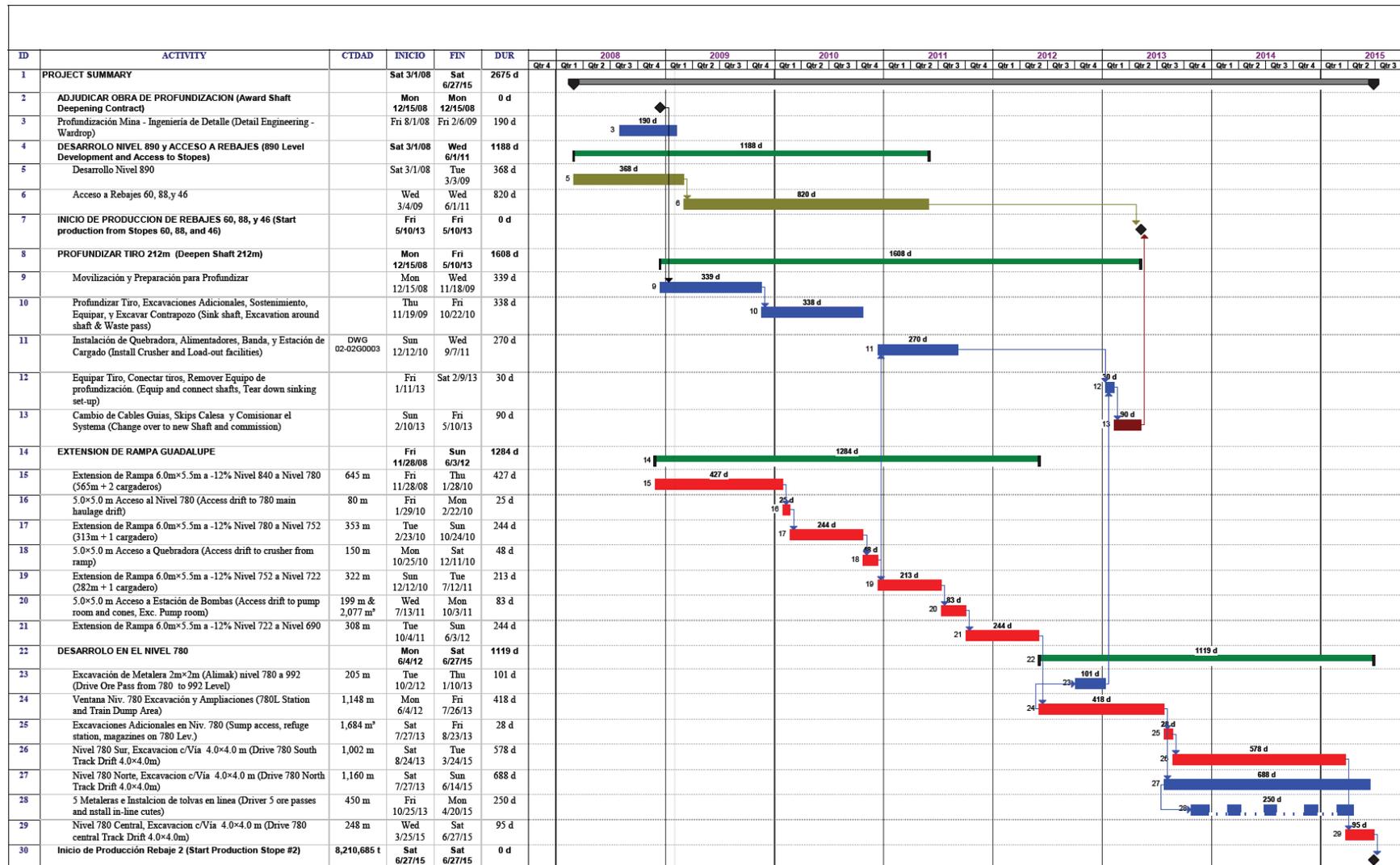


Figura 44. Cronograma de la profundización del tiro con la opción 1.

## **5. ESTIMACIÓN DE COSTOS Y ANÁLISIS FINANCIERO**

---

Los costos de inversión y operación se determinarán con base en la comparación de algunas minas del grupo, las obras mineras, instalaciones y equipos existentes en la mina. Milpillás actualmente no cuenta con un sistema de acarreo por locomotora eléctrica, por tal motivo se examinó el sistema de acarreo y el manto a través de los dos tiros de la unidad Fresnillo. Para estimar los costos de las excavaciones, instalaciones y equipo, se hizo la comparación de las instalaciones existentes en Milpillás, pues serán prácticamente similares. Todos los costos estimados en las tablas están expresados en dólares norteamericanos.

### **5.1. COSTOS DE INVERSIÓN**

#### **5.1.1. Excavaciones y desarrollo**

Además de la excavación para profundizar el tiro Santa Cruz se necesitarán excavaciones auxiliares para facilitar la operación del desarrollo como son contrapozos para el sistema de bombeo, excavación para el malacate de profundización, excavación especial para el cargado de camiones, contrapozo para desechos entre los más importantes (*Tablas 6, 7 y 8*).

En el nivel 780 se establecerá el nivel de acarreo de mineral, será necesario desarrollar todo el sistema de acarreo. Se contará con tres zonas para el cargado de mineral a los carros de la locomotora, zona norte, zona centro y zona sur. Además en este nivel se empezarán a desarrollar los contrapozos metaleros que conducirán el mineral a la estación de trituración en el nivel 752. Para facilitar el cargado del explosivo se realizará la excavación para un polvorín en el nivel 780.

Tabla 6. Estimación de los costos de excavación para la estación del tiro.

<b>NIVEL 780 – ESTACIÓN DEL TIRO</b>				
Actividad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal	Total del costo
Obra principal para descarga de mineral [m]	305	\$1,500	\$457,500	\$457,500
Obra principal para descarga de mineral sección reducida[m <sup>3</sup> ]	2,156	\$85	\$183,260	\$183,260
Obra para descarga de tepetate [m]	153	\$1,500	\$229,500	\$229,500
Acceso a la estación del tiro [m]	160	\$1,500	\$240,000	\$240,000
Estación de mantenimiento para la locomotora [m <sup>3</sup> ]	4,393	\$95	\$417,335	\$417,335
Refugio y estación eléctrica [m <sup>3</sup> ]	628	\$90	\$56,520	\$56,520
Acceso a las piletas de agua sucia [m]	60	\$1,500	\$90,000	\$90,000
Cruce de la frente de acarreo norte/sur [m]	339	\$1,700	\$576,300	\$576,300
Instalación del sistema de vías	1,148	\$625	\$717,500	\$717,500
<b>Subtotal Estación del tiro</b>			<b>\$2,967,915</b>	<b>\$2,967,915</b>

Tabla 7. Estimación de los costos de excavación del frente de acarreo.

<b>NIVEL 780 – FRENTE DE ACARREO</b>				
Actividad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal	Total del costo
Frente de acarreo norte [m]	1,160	\$1,700	\$1,972,000	\$1,972,000
Frente de acarreo sur [m]	1,002	\$1,700	\$1,703,400	\$1,703,400
Frente de acarreo centro [m]	248	\$1,700	\$421,600	\$421,600
Instalación del sistema de vías [m]	2,410	\$625	\$1,506,250	\$1,506,250
Polvorín y bahía de seguridad [m <sup>3</sup> ]	1,608	\$90	\$144,720	\$144,720
Metaleros por debajo de la vía [m]	450	\$1,250	\$562,500	\$562,500
<b>Subtotal frente de Acarreo</b>			<b>\$6,310,470</b>	<b>\$6,310,470</b>

Tabla 8. Estimación de los costos de la excavación del tiro.

<b>TIRO - EXCAVACIONES</b>				
Actividad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal	Total del costo
Excavación del tiro, ingeniería y diseño	1	\$252,100	\$252,100	\$252,100
Instalación del malacate y herramientas auxiliares	1	\$2,896,400	\$2,896,400	\$2,896,400
Cuarto de malacate para la excavación [m <sup>3</sup> ] (elev. 888.3)	1,134	\$245	\$277,830	\$277,830
Cables para el malacate de excavación [m] (elev. 888.3)	36	\$1,500	\$54,000	\$54,000
Contrapozo para desechos [m]	17	\$2,500	\$42,500	\$42,500
Rampa de acceso a la excavación [m] (Elev. 855.3)	60	\$1,500	\$90,000	\$90,000
Cuarto para uso general [m <sup>3</sup> ] (elev. 855.3)	4	\$1,500	\$6,000	\$6,000
Excavación para cargado de camiones [m] (elev. 844.3)	31	\$1,500	\$46,500	\$46,500
Excavación e instalaciones del malacate	1	\$535,900	\$535,900	\$535,900
Prepara el terreno para la excavación	1	\$774,250	\$774,250	\$774,250
Tiro nivel 902 – nivel 690 [m]	213	\$17,210	\$3,665,730	\$3,665,730
Excavación para estación de trituración [m <sup>3</sup> ]	3,707	\$350	\$1,297,450	\$1,297,450
Contrapozos para el sistema de bombeo [m <sup>3</sup> ]	216	\$350	\$75,600	\$75,600
Suministros y equipo para el tiro, set de acero [m]	212	\$6,740	\$1,428,880	\$1,428,880
Instalación de quebradora, tolvas y sistema de bandas [días]	175	\$9,500	\$1,662,500	\$1,662,500
Remover el pilar de seguridad para conectar el tiro	1	\$497,800	\$497,800	\$497,800
Cese de la producción para realizar los cambios [días]	90	\$9,500	\$855,000	\$855,000
Trabajos de contratistas	1	\$234,250	\$234,250	\$234,250
<b>Subtotal tiro</b>			<b>\$14,692,690</b>	<b>\$14,692,690</b>

A medida que la profundización del tiro avance, también la rampa Guadalupe tiene que ir desarrollándose dado que se trata del acceso principal a la mina y es por donde entrará todo el equipo para las nuevas instalaciones. La nueva estación de bombeo para el desagüe de la mina estará en el nivel 722, se tendrá acceso por la rampa Guadalupe. Además la rampa cortará todos los niveles importantes, tanto de producción como mantenimiento y extracción (Tabla 9).

Tabla 9. Estimación de los costos de la excavación y desarrollo de la rampa Guadalupe.

<b>RAMPA GUADALUPE</b>				
Actividad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal	Total del costo
Desarrollo de la rampa Guadalupe Nivel 840 – Nivel 780 [m]	1,160	\$2,300	\$2,668,000	\$2,668,000
Acceso al fondo del tiro, niveles 722 – nivel 690 [m]	308	\$2,300	\$708,400	\$708,400
Acceso a la frente principal de acarreo nivel 780 [m]	80	\$1,700	\$136,000	\$136,000
Acceso a la estación de trituración nivel 752 [m]	150	\$1,700	\$255,000	\$255,000
Acceso al cuarto de bombeo y a las piletas, nivel 722 [m]	199	\$1,700	\$338,300	\$338,300
Excavación del cuarto de bombeo y piletas de agua limpia [m <sup>3</sup> ]	2,077	\$145	\$301,165	\$301,165
<b>Subtotal Rampa Guadalupe</b>			<b>\$4,406,865</b>	<b>\$4,406,865</b>

### 5.1.2. Manteo y calesa

Se necesitará cables para los skips más largos pues los cartuchos de cargado se encontrarán a una mayor profundidad. Además se necesitarán reemplazar los cables de cola de los skips y los cables guía para evitar que los botes golpeen contra las paredes de la obra o contra los servicios instalados. Se necesitarán los mismos cables antes mencionados pero para la calesa (Tabla 10).

Tabla 10. Estimación de costos del equipo para el manteo.

<b>ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL EQUIPO</b>				
<b>MANTEO</b>				
Descripción del equipo	Cantidad [m]	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo del equipo
<b>Skips</b>				
Nuevos cables principales	3280	\$58.80	\$192,864.00	\$192,864.00
Nuevos cables de cola	2460	\$34.13	\$83,947.50	\$83,947.50
Nuevos cables guía	6800	\$63.00	\$428,400.00	\$428,400.00
<b>Calesa</b>				
Nuevos cables principales	3280	\$29.19	\$95,743.20	\$95,743.20
Nuevos cables de cola	2460	\$16.28	\$40,036.50	\$40,036.50
Nuevos cables guía	5100	\$63.00	\$321,300.00	\$321,300.00
<b>Subtotal Manteo</b>			<b>\$1,162,291.20</b>	<b>\$1,162,291.20</b>

### 5.1.3. Estación de trituración

El equipo requerido para establecer la estación de trituración consta de un alimentador de mineral para la quebradora, una quebradora de quijadas, grúa auxiliar para realizar el mantenimiento de la quebradora y colectores de polvos. Se podrían omitir estos costos y utilizar el equipo de la estación de trituración del nivel 992, sin embargo estas instalaciones se seguirán utilizando hasta agotarse las reservas de los niveles superiores al nivel 992 (*Tabla 11*).

Tabla 11. Estimación de costos del equipo para la estación de trituración.

<b>NIVEL 752 ESTACIÓN DE TRITURACIÓN</b>				
Descripción del equipo	Cantidad	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo del equipo
Alimentador de mineral (METS0)	1	\$208,500.00	\$208,500.00	\$208,500.00
Quebradora de quijadas, lado cerrado (METS0)	1	\$795,874.00	\$795,874.00	\$795,874.00
Grúa auxiliar	1	\$35,000.00	\$35,000.00	\$35,000.00
Colector de polvos	1	\$28,000.00	\$28,000.00	\$28,000.00
<b>Subtotal Estación de Trituración</b>			<b>\$1,067,374.00</b>	<b>\$1,067,374.00</b>

### 5.1.4. Instalaciones para el cargado del mineral

Estos costos comprenden la compra de un alimentador de placas para mineral, otro para tepetate, un sistema de bandas para el cargado de mineral, cargador para dos skips (cartuchos) y los repuestos básicos. Al igual que en la estación de trituración, se podría ocupar el equipo de cargado del nivel 937, pero se seguirá utilizando el equipo para poder cargar y mantear el mineral de los niveles superiores al 992. (*Tabla 12*).

Tabla 12. Estimación de costos para el equipo de las instalaciones de cargado de mineral.

<b>NIVEL 722 INSTALACIONES DE CARGADO DEL MINERAL</b>				
Descripción del equipo	Cantidad	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo del equipo
Alimentador de mineral de placas	1	\$208,500.00	\$208,500.00	\$208,500.00
Alimentador de tepetate de placas	1	\$208,500.00	\$208,500.00	\$208,500.00
Sistema de bandas para el cargado	1	\$2,139,758.00	\$2,139,758.00	\$2,139,758.00
Cargador para skips para dos botes	1	\$722,676.00	\$722,676.00	\$722,676.00
Repuestos recomendados	1	\$44,082.00	\$44,082.00	\$44,082.00
<b>Subtotal instalaciones de cargado</b>			<b>\$3,323,516.00</b>	<b>\$3,323,516.00</b>

#### 5.1.5. Trenes, carros de tren, rieles y accesorios

Los costos para establecer el sistema de acarreo se calcularon considerando el uso de locomotora eléctrica, los carros usados para el acarreo de mineral y de desperdicios, los rieles para armar la vía del tren y los accesorios. Se dará una breve descripción del equipo, la cantidad requerida, el costo unitario y el total del costo en dólares norteamericanos (*Tabla 13*).

Tabla 13. Estimación de costos del equipo de acarreo de mineral

<b>NIVEL 780 ACARREO POR LOCOMOTORA – ACARREO DE MINERAL</b>				
Descripción del equipo	Cantidad	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo de equipo
Tolva dosificadora (7' x 3.5')	6	\$212,100.00	\$1,272,600.00	\$1,272,600.00
Carros para mina 15m <sup>3</sup>	24	\$103,356.00	\$2,480,544.00	\$2,480,544.00
Locomotora de 20 ton 75 HP	3	\$605,175.00	\$1,815,525.00	\$1,815,525.00
Estación de descarga para carros de 15 m <sup>3</sup>	1	\$244,210.00	\$244,210.00	\$244,210.00
Equipo de tracción con engranaje eléctrico	1	\$61,000.00	\$61,000.00	\$61,000.00
Puertas de seguridad (set de dos)	1	\$20,227.00	\$20,227.00	\$20,227.00
<b>Subtotal acarreo de mineral</b>			<b>\$5,894,106.00</b>	<b>\$5,894,106.00</b>

En la siguiente descripción de costos se muestra la compra de carros tipo granby para desperdicios, estación de descarga para los desperdicios, baterías, repuestos y cargador de las mismas para el funcionamiento de la locomotora eléctrica (*Tabla 14*).

Tabla 14. Estimación de costos del equipo para el acarreo de desperdicios.

<b>NIVEL 780 ACARREO POR LOCOMOTORA – ACARREO DE DESPERDICIOS</b>				
Descripción del equipo	Cantidad	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo de equipo
Carros Granby 4.4 m <sup>3</sup> (Nordic)	5	\$26,740.00	\$133,700.00	\$133,700.00
Batería para Locomotora 10 ton 75 HP	2	\$430,840.00	\$861,680.00	\$861,680.00
Estación de descarga para carros Granby	1	\$15,550.00	\$15,550.00	\$15,550.00
Baterías de repuesto	3	\$19,255.00	\$57,765.00	\$57,765.00
Cargador de baterías	2	\$11,580.00	\$23,160.00	\$23,160.00
<b>Subtotal acarreo de desperdicios</b>			<b>\$1,091,855.00</b>	<b>\$1,091,855.00</b>

En la siguiente tabla de costos se muestran los rieles necesarios para establecer el circuito de acarreo y los accesorios para armar las vía (*Tabla 15*).

Tabla 15. Estimación de costos del sistema de rieles de la locomotora.

<b>NIVEL 780 ACARREO POR LOCOMOTORA – RIELES</b>				
Descripción del equipo	Cantidad	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo del equipo
Rieles 115 Lb (11760 ft) en total	447	\$2,301.00	\$1,029,373.52	\$1,029,373.52
Bases para rieles	447	\$143.00	\$63,972.37	\$63,972.37
Pernos para rieles	7352	\$4.95	\$36,392.90	\$36,392.90
Durmientes 6" x 8"	6365	\$20.00	\$127,309.09	\$127,309.09
Placas para durmientes 11"	13152	\$14.30	\$188,074.89	\$188,074.89
Puntas para rieles 6"	233	\$124.80	\$29,128.32	\$29,128.32
Anclas para sujeción de rieles	7002	\$2.40	\$16,804.80	\$16,804.80
Paradas de carros, media lunas	2	\$1,404.00	\$2,808.00	\$2,808.00
Varillas para calibrar	1167	\$33.80	\$39,444.60	\$39,444.60
Lastres, 1 – ½"	7235	\$30.00	\$217,062.00	\$217,062.00
Otros (manuales, etc.)	1	\$182,560.00	\$182,560.00	\$182,560.00
Desviaciones de vías	8	\$14,300.00	\$114,400.00	\$114,400.00
<b>Subtotal rieles</b>			<b>\$2,047,330.48</b>	<b>\$2,047,330.48</b>

### 5.1.6. Sistema de bombeo de agua

Los costos para el sistema de bombeo también fueron comparados con el sistema actual de bombeo, aunque en Milpillás el agua subterránea no es un problema, se contará con equipo auxiliar por si las condiciones del agua subterránea cambian considerablemente. Se contará también con piletas para asentamiento de lodos con el fin de reutilizar el agua en la operación de mina (Tabla 16).

Tabla 16. Estimación de costos para el sistema de bombeo.

<b>DESAGÜE DE MINA</b>				
Descripción del equipo	Cantidad	Costo unitario	Subtotal de compras	Total del costo del equipo
<b>Piletas de agua limpia y estación de bombeo</b>				
Bomba de aire	2	\$10,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Bomba para agua limpia, 1500 gpm, 500HP	4	\$250,000.00	\$1,000,000.00	\$1,000,000.00
Columna de descarga (tubería) 18" en el tiro [m]	270	\$200.00	\$54,000.00	\$54,000.00
Sistema de tubería para estación de bombeo, válvulas y accesorios	1	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Tubería del nivel de acarreo y tiro	1	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5,000.00
<b>Planta para tratamiento de lodos</b>				
Sistema de tubería para lodos, válvulas y accesorios	1	\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00
Taque mezclador compatible con agitador	1	\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00
Integración de las bombas para agua	1	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Bomba para lodos	2	\$10,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Prensa filtro	2	\$58,100.00	\$116,200.00	\$116,200.00
Banda para transportar lodos filtrados	2	\$50,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00
Tolva para contener lodos filtrados	2	\$1,000.00	\$2,000.00	\$2,000.00
Bombas para agua clarificada en piletas principales	2	\$5,000.00	\$10,000.00	\$10,000.00
<b>Subtotal desagüe de mina</b>			<b>\$1,517,200.00</b>	<b>\$1,517,200.00</b>

### 5.1.7. Contrapozos de ventilación y ventiladores

Para facilitar la ventilación en los nuevos niveles y en las nuevas obras mineras, se necesitarán 4 contrapozos para ventilación. Cada uno tendrá 675 metros de longitud. Por cada contrapozo se necesitará un ventilador (Tabla 17).

Tabla 17. Estimación de costos de ventilación.

VENTILACIÓN				
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Subtotal	Total de costo
Contrapozos de ventilación	4 de 675 [m] c.u.	\$2,822	\$7,619,400	\$7,619,400
Ventiladores	4	\$175,000	\$700,000	\$700,000
<b>Subtotal Ventilación</b>			<b>\$8,319,400</b>	<b>\$8,319,400</b>

## 5.2. COSTOS DE OPERACIÓN

### 5.2.1. Acarreo por locomotora

Para la estimación de los costos de operación se sumarán los costos más considerables del proceso y se dividirán por el tonelaje diario de mineral, obteniendo así el costo del acarreo por tonelada de mineral (Tabla 18).

Tabla 18. Costos de operación del acarreo por locomotora por día.

ACARREO POR LOCOMOTORA				
Procesos	Costo por hora	Horas /Día	Cantidad	Total (USD/día)
Operación de la locomotora	54.0 \$/hora	16 horas/día	2	\$1,728
Ayudante de operación	39.8 \$/hora	16 horas/día	2	\$1,272
Locomotora	9.5 \$/hora	16 horas/día	2	\$304
Carros de mina	1.05 \$/hora	16 horas/día	18	\$302
Total				\$3,606
Producción				9000 TPD
<b>Costo de operación</b>	<b>\$0.40 dólares / tonelada</b>			

### 5.2.2. Manteo

Debido a que la operación de los malacates tanto el de producción como el de servicios es automático, sólo se considerará para la estimación al personal operativo (*Tabla 19*).

Tabla 19. Costo de operación del manteo de mineral por día.

<b>COSTOS DE OPERACIÓN - MANTEO</b>				
Proceso	Costo por hora	Tiempo	Cantidad	Total (USD/día)
Malacatero	\$54.00	22 horas	1 unidad	\$1,188
Ayudante	\$39.75	22 horas	1 unidad	\$875
Total	\$93.75			\$2,063
Producción				9000 TPD
<b>Costos de operación</b>	<b>\$0.23 dólares / tonelada</b>			

### 5.2.3. Bombeo

Las labores para el bombeo y desagüe de la mina serán siempre las mismas día con día, se estima que diariamente se gastarán \$375 dólares en la operación de todo el sistema de bombeo y desagüe. Este sistema por ser de fácil operación con un mínimo de personal estará operando los 365 días del año, además se evitará la inundación de las obras subterráneas (*Tabla 20*).

Tabla 20. Costos de operación del bombeo en el interior de la mina por día.

<b>COSTOS DE OPERACIÓN - BOMBEO</b>				
Proceso	Costo por hora	Tiempo	Cantidad	Total (USD/día)
Operación de bombas	\$54.00	2 horas	2 unidades	\$216
Ayudante de operación	\$39.75	2 horas	2 unidades	\$159
Costo de energía de operación	\$0.10			\$511
Total	93.75\$			\$886
Producción				9000 TPD
<b>Costo de operación</b>	<b>\$0.13 dólares / tonelada</b>			

#### 5.2.4. Ventilación

La ventilación es indispensable para mantener buenas condiciones de trabajo en las instalaciones más profundas de la mina y se llevará a cabo a través de 4 contrapozos de ventilación. Los costos de operación de la ventilación en el interior de la mina estarán dados por el funcionamiento de los 4 ventiladores que se instalarán (*Tabla 21*).

Tabla 21. Costos de operación de la ventilación en la mina por día.

<b>COSTOS DE OPERACIÓN - VENTILACIÓN</b>				
Proceso	Costo por hora	Tiempo	Cantidad	Total (USD/día)
Ventiladores	\$0.75	24 horas/día	4	\$72
Energía eléctrica	\$0.10 kwh	24 horas/día	4	\$10
<b>Total</b>				<b>\$84</b>
Producción				9000 TPD
<b>Costo de operación</b>	<b>\$0.01 dólares / tonelada</b>			

#### 5.2.5. Costos de operación al final de la vida operativa de la mina

Se estima el total de los costos de operación a partir del año 2012, pues en este año se terminará el proyecto de profundización. Tomando el tonelaje de producción anual y en base a las reservas estimadas, los costos se calcularon hasta el año 2022 que es el límite de la vida operativa de la mina. Los costos de operación hasta el final de la vida operativa de la mina se calcularon en base a la producción total aproximada que se extraerá hasta el año 2022 (*Tabla 22*).

Tabla 22. Costos de operación totales al finalizar la vida operativa de la mina.

<b>TOTAL DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN EN LA VIDA OPERATIVA DE LA MINA</b>			
Proceso	Tonelaje total hasta el año 2022	USD/tonelada	Costo
Acarreo por locomotora	29,454,820	\$0.40	\$11,781,928
Manteo	29,454,820	\$0.23	\$6,774,608.6
Bombeo	29,454,820	\$0.13	\$3,829,126.6
Ventilación	29,454,820	\$0.01	\$294,548.2
<b>Total</b>			<b>\$22,680,211.4</b>

### 5.3. RESUMEN DE COSTOS

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los costos totales tanto de inversión como de operación facilitando el manejo de los datos numéricos. El total de los costos de operación fueron calculados hasta el fin de la vida operativa de la mina (Tabla 23).

Tabla 23. Resumen de costos.

ACTIVIDAD	COSTO
<b>Costos de inversión</b>	
Trenes, carros de mina, rieles y accesorios	\$9,033,291.48
Estación de trituración	\$1,067,374.00
Instalaciones para el cargado de mineral	\$3,323,516.00
Cables del malacate	\$1,162,291.20
Excavaciones / Desarrollo	\$28,377,940
Sistema de bombeo de agua	\$1,517,200
Costos de contrapozos de ventilación	\$7,619,400
Compra de ventiladores	\$700,000
<b>Subtotal costos de Inversión</b>	<b>\$52,801,012.68</b>
<b>Costos de operación</b>	
Acarreo por locomotora	\$11,781,928
Manteo	\$6,774,608.6
Bombeo	\$3,829,126.6
Ventilación	\$5,301,867.6
<b>Subtotal costos de operación</b>	<b>\$22,680,211.4</b>
<b>Total inversión &amp; operación</b>	<b>\$75,481,224.08</b>
<b>Contingencias 15%</b>	<b>\$11,322,183.61</b>
<b>Total (incluyendo contingencias)</b>	<b>\$86,803,407.69</b>

### 5.4. ANÁLISIS FINANCIERO

Estimados los costos totales del proyecto para profundizar el tiro, se realizará el análisis financiero de este proyecto. Tiene como fin comparar los costos totales con la extracción y producción de cobre a venderse, con el fin de estimar si la inversión redituará buenas utilidades. Es muy importante considerar el precio del cobre al principio del proyecto y hasta que culmine la vida operativa de la mina, pues este parámetro nos marcará los precios y las ganancias año con año. Los días operativos al año de la mina son 347 y la vida operativa de la mina es de 12 años aproximadamente considerando las reservas hasta ahora estimadas (Tabla 24).

Tabla 24. Datos más importantes del análisis financiero.

ANÁLISIS FINANCIERO														
Mina														
Declaración de la producción	Total	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Producción diluida (toneladas)	29,454,820	2,631,925	2,682,800	2,706,383	2,773,347	2,810,265	2,761,756	2,683,536	2,675,348	2,706,234	2,679,822	2,343,404		
Producción diaria promedio		7,585	7,731	7,799	7,992	8,099	7,959	7,734	7,710	7,799	7,723	6,753		
Extracción de mina		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
Proceso de Beneficio														
Mineral proveniente de mina	29,454,820	2,631,925	2,682,800	2,706,383	2,773,347	2,810,265	2,761,756	2,683,536	2,675,348	2,706,234	2,679,822	2,343,404		
% ley media de Cu	1.747	1.560	1.799	1.813	1.874	1.874	1.861	1.759	1.742	1.715	1.624	1.602		
% de recuperación de Cu por lixiviación	90.94%	90.3%	88.2%	89.9%	89.6%	90.5%	91.7%	95.4%	92.3%	91.8%	94.4%	98.4%		
Producción de metal de Cu (toneladas)	386,738	38,117	40,530	42,983	44,966	46,636	47,147	45,011	43,005	42,620	41,093	36,931	15,734	397
Precio de Cu anual promedio	\$2.67 USD / Lb	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67	\$2.67
Declaración de Ingresos														
Valor del metal en bruto (Cu)	\$2,855,876,742	\$224,369,713	\$238,573,458	\$253,012,655	\$264,685,272	\$274,515,464	\$277,523,385	\$264,950,158	\$253,142,155	\$250,875,913	\$241,887,468	\$217,388,511	\$92,615,712	\$2,336,878
Costos totales	\$1,678,925,268	\$141,622,520	\$147,027,756	\$151,680,689	\$156,876,610	\$160,668,696	\$160,038,138	\$154,259,041	\$150,786,071	\$151,092,672	\$147,844,092	\$131,075,012	\$25,314,747	\$639,224
Ganancias anuales	\$1,124,150,461	\$82,747,193	\$91,545,702	\$101,331,966	\$107,808,662	\$113,846,768	\$117,485,247	\$110,691,117	\$102,356,081	\$99,783,241	\$94,043,376	\$86,313,499	\$67,300,965	\$1,697,654

Para los años 2023 y 2024, ya no habrá producción de mina, pues para estas fechas ya se habrán agotado las reservas de cobre en el yacimiento; sin embargo, la planta de beneficio seguirá trabajando dos años más pues todavía se podrá extraer en los patios de lixiviación valores importantes de cobre. El valor total del metal en bruto cuando acabe la vida operativa de la mina será de \$2,855,876,742 dólares.

Del gran total (\$2,855,876,742) se restará el costo total que incluyen todos costos de inversión, el costo por extracción de mineral de cobre, el costo por refinación del metal, costos de operación del acarreo, manto, ventilación y bombeo hasta el año 2024, el total de las ganancias hasta el final de la vida operativa de la mina es de \$1,124,150,461 dólares norteamericanos. El valor actual neto calculado tiene un valor de \$742,292,899 como éste valor es positivo al descontarlo de la inversión inicial, se esperarán ganancias.

$$\text{Valor actual neto} = \text{Valor del flujo de caja} - \text{Inversión}$$

El valor estimado del TIR es del 14%, si esta tasa fuera mayor el proyecto ya no sería rentable, pues el flujo de caja empezaría a ser menor que la inversión. Tanto el precio de los metales como el costo de producción de cobre anódico en la planta de beneficio varían año con año, por lo que se determinó un valor medio para cada parámetro. Se tomó un costo promedio de cobre de \$2.67 dólares por libra para el cálculo de las utilidades totales, desde el 2009 el precio del cobre ha rebasado los \$3.00 dólares por libra, por lo tanto se esperará un valor distinto en las utilidades totales al finalizar la vida operativa de la mina.

Se espera optimizar los programas de exploración para incrementar las reservas de cobre o encontrar otra especie metálica económicamente explotable, esto aumentará la vida operativa de la mina y se contará con más utilidades.

## 6. CONCLUSIONES

---

Del trabajo realizado podemos señalar las siguientes conclusiones:

- Debido a la existencia de reservas por debajo del nivel 992, se tiene que proponer un proyecto para profundizar el tiro Santa Cruz aprovechando la infraestructura existente y combinándola con un nuevo sistema de acarreo más eficiente, rápido y productivo que brinde la producción estimada de 9000 toneladas diarias.
- Las alternativas 3, 4 y 5 aprovechan la infraestructura actual pero no son suficientes, ya que el acarreo de mineral llegará a las instalaciones actuales de trituración en el nivel 992 y cargado en el nivel 937, por lo que resultará más costosa la operación pues es mucha la distancia entre los niveles inferiores de producción y las instalaciones actuales. Además, el ritmo de producción no se cumpliría pues sería más lento el acarreo.
- Las alternativas 1 y 2 son viables para aplicarse en Milpillás, ya que la profundización del tiro y el desarrollo de la rampa Guadalupe ofrece ventajas para extraer el mineral. Sin embargo en la alternativa 2 la obra de profundización es más corta que la 1 y solo serviría para los cuerpos minerales cercanos. Si la explotación minera se extendiera por debajo del nivel 790 sería demasiado costoso el acarreo hasta la estación de trituración por lo que no se cumpliría con la producción. Esta es la razón por la cual se elimina la alternativa 2, pues considerando la naturaleza del pórfido, estimando las reservas probables y considerando que a mayor profundidad se encuentren más especies metálicas se necesita que el tiro tenga la profundidad de 213 metros como lo demuestra la alternativa 1. En cuanto a los costos del proyecto, la alternativa 2 excede la alternativa 1 en \$73,190,000 dólares
- La alternativa 1 combina la profundización del tiro con un sistema de acarreo por locomotora, el tiro será colado hasta la elevación 690 lo que permitirá realizar exploración buscando más reservas por debajo de esta elevación y más especies metálicas presentes. El malacate tendrá un uso óptimo, ya que desde el comienzo del proyecto de Milpillás se pensó en incrementar la producción con los cuerpos minerales ubicados debajo del nivel 992. Tanto el acarreo de mineral por locomotora y el manto de mineral tienen una operación muy simple, además estos dos sistemas estarán totalmente automatizados evitando tiempos muertos. En lo que respecta a la ventilación, son mínimos los requerimientos de ventilación en las obras de la locomotora pues funciona a base de electricidad.

- Los resultados basados en la inversión, costos de operación y cronogramas, demuestran ahorros considerables en la alternativa 1. Se recomienda ésta opción con una planificación detallada y un cuidadoso control en los cambios durante la realización de tareas y obras.

Es importante señalar que para este proyecto deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Existen costos y planes más allá del alcance de este estudio que pueden tener un impacto considerable en las metas del proyecto, tal como el sistema de ventilación, método de explotación y secuencia de excavación, relleno de obras, instalaciones de energía eléctrica y de bombeo, instalaciones de mantenimiento, etc. Se recomienda que todos estos sistemas se encuentren bien documentados e investigados para corregir cualquier contingencia y confirmar los resultados actuales. Para tener un mayor detalle de este estudio se recomienda incluir todos los elementos esenciales del plan de mina actual para las opciones ya mencionadas.
- Debido a la situación económica que atraviesa la minería actualmente, se recomienda estudiar detalladamente el sistema de explotación, la secuencia y la compra de equipo de producción. Los precios de los metales actuales pueden fijar una ley de corte muy baja el cual el tonelaje explotable total de las reservas puede aumentar.
- Si es factible una ley de corte más baja, sería recomendable repasar el plan total de la mina, teniendo una atención especial al desarrollo de las zonas donde se encuentren cuerpos minerales por debajo del nivel 992.
- El desarrollo actual de la rampa Guadalupe debe ser revisado. Se tienen que investigar todas las ventajas potenciales que se encuentren cerca de los lugares de producción minera para poderlo utilizar la rampa, pues ésta mantiene las actividades de la explotación minera.
- Revisar los panoramas en cada opción cuando se encuentren reservas adicionales de mineral debajo del nivel 752. Si se encuentran nuevos cuerpos minerales se podrá analizar la ubicación y con esto modificar el sistema de acarreo hasta la estación de trituración.

## BIBLIOGRAFÍA

---

**BOLÍVAR VILLAGÓMEZ H.**, *“Elementos para la Evaluación de Proyectos de Inversión”*, 2ª. ed., México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2005.

**CAMACHO ORTEGA G.**, *“Apuntes del curso Topografía de Minas”*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.

**F. GUTIÉRREZ A.**, *“Los Estados Financieros y su Análisis”*, Fondo de Cultura Económica, México, 1993.

**HARTMAN, HOWARD L.**, *“Introductory Mining Engineering”*, 2nd. ed. New York, J. Wiley, c2002.

**HUSTRULID W.A.**, *“Underground Mining Methods”*, Society of Mining Engineers of AIME, New York, 1982.

**LEWIS, R.S. y G.B. CLARK**, *“Elements of Mining”*, 3a. ed., Nueva York, John Wiley and Sons, 1964.

**LÓPEZ ABURTO V.M.**, *“Fundamentos para la Explotación de Minas”*, México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2003.

**MENÉNDEZ MARCÍN A.M.**, *“Estrategias para Elaborar Libros”*, Metodología para citas y referencias bibliográficas, Coordinación de Publicaciones Académicas. Dirección de Comunicación Institucional, Coedición Universidad Anáhuac-Editorial Porrúa, 2006.

**V. VIDAL**, *“Explotación de Minas. Tomo 1, Trabajos Mineros”*, Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 1966.

**YOUNG G.J.**, *“Elements of Mining”*, 4<sup>th</sup>. ed., Mc. Graw Hill Book Co, New York, 1946.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

---

“Convert World”, Recuperado entre marzo-junio de 2010 del sitio web [convertworld.com](http://www.convertworld.com/es/), <http://www.convertworld.com/es/>.

“Enciclopedia de los Municipios de México”, Municipio Santa Cruz (2005), Estado de Sonora, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Recuperado el 8 de Febrero de 2010 del sitio web del Gobierno del Estado de Sonora, <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sonora/municipios/26059a.htm>.

“La Población de los Municipios de México 1950 – 1990”, Ed. UNO Servicios Gráficos, México, nov., (1994). Recuperado el 6 de febrero de 2010 del sitio web de la CONAPO, <http://www.conapo.gob.mx/>.

“El VAN y el TIR”, Todo sobre pequeños y medianos negocios. Diciembre 2008. Recuperado el día 20 de septiembre de 2010 del sitio web [crecenegocios.com](http://www.crecenegocios.com/), <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>.

**RAVI SHANKAR**, “*Presentation on High Speed Shaft Sinking*” (2007), Scribd Educations, Education-Shaft Sinking-Docs05, ISM – DHANBAD, Recuperado el 8 de Abril de 2010 del sitio web de scribd, <http://www.scribd.com/doc/24687667/Education-Shaft-Sinking-Docs05>.

**RAVI SHANKAR**, “*Shaft Drilling: Equipments & Layout*” (2007), Scribd Educations, Education-Shaft Sinking-Docs07, ISM – DHANBAD, Recuperado el 8 de Abril de 2010 del sitio web de scribd, <http://www.scribd.com/doc/24687739/Education-Shaft-Sinking-Docs07>.

**TAYITA, R. R.**, (2005). “*Surface und Underground Excavations. Methods, Techniques and Equipment*” [libro electrónico] Taylor & Francis Group plc, London UK. [http://books.google.com.mx/books?id=i0NnEeF1G4AC&pg=PA381&lpg=PA381&dq=sinking+shafts&source=bl&ots=JZ8rPJiXde&sig=MIXcC0kBlNp1N9PA7HXEa38Oh10&hl=es&ei=XbWMS4\\_zA5LQsgPY2sngAw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=8&ved=0CDIQ6AEwBzge#v=onepage&q=sinking%20shafts&f=true](http://books.google.com.mx/books?id=i0NnEeF1G4AC&pg=PA381&lpg=PA381&dq=sinking+shafts&source=bl&ots=JZ8rPJiXde&sig=MIXcC0kBlNp1N9PA7HXEa38Oh10&hl=es&ei=XbWMS4_zA5LQsgPY2sngAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CDIQ6AEwBzge#v=onepage&q=sinking%20shafts&f=true).