

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 Milpillás 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.

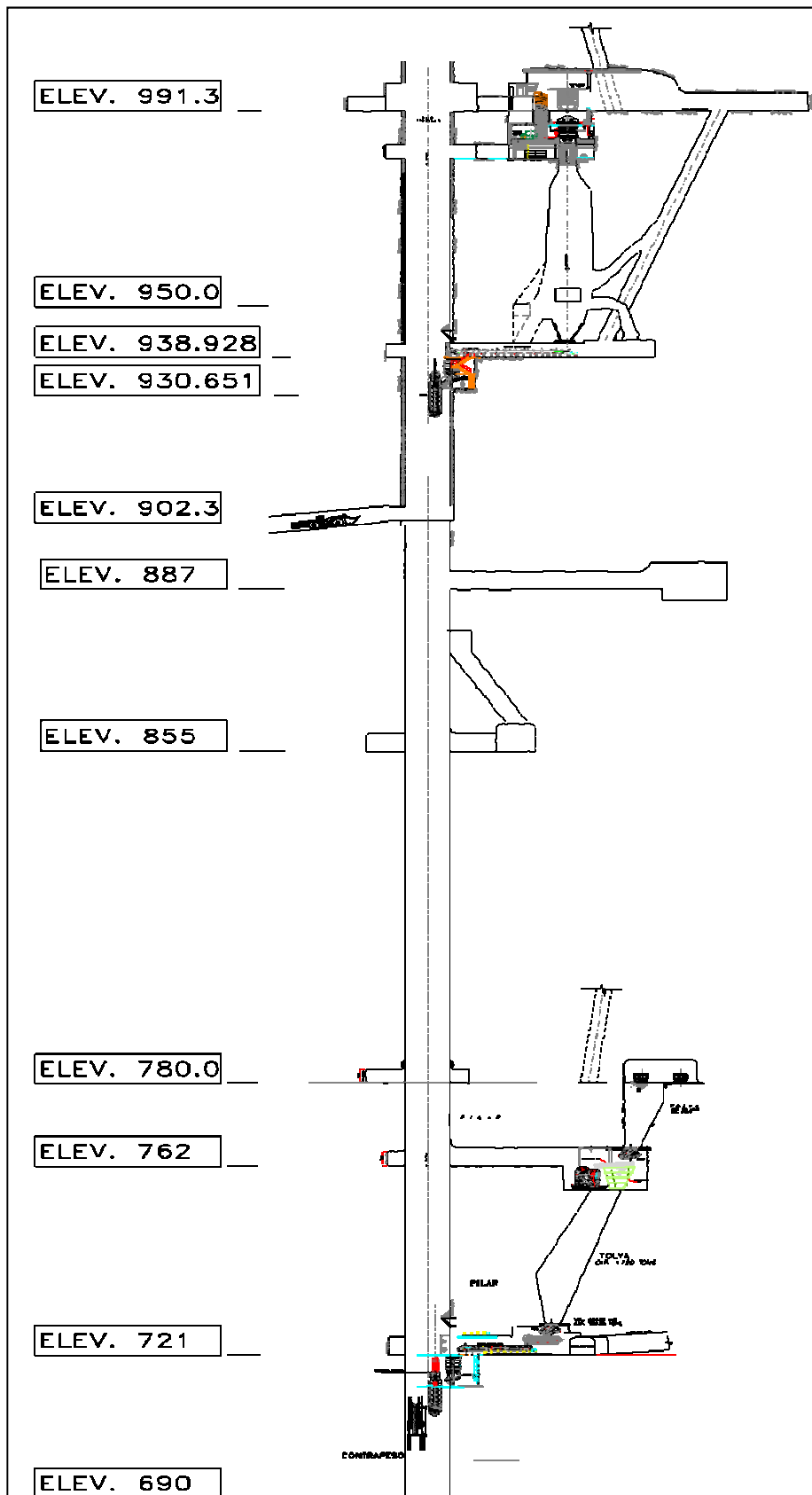


Figura 25. Profundización del tiro por la opción 1.

- 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.

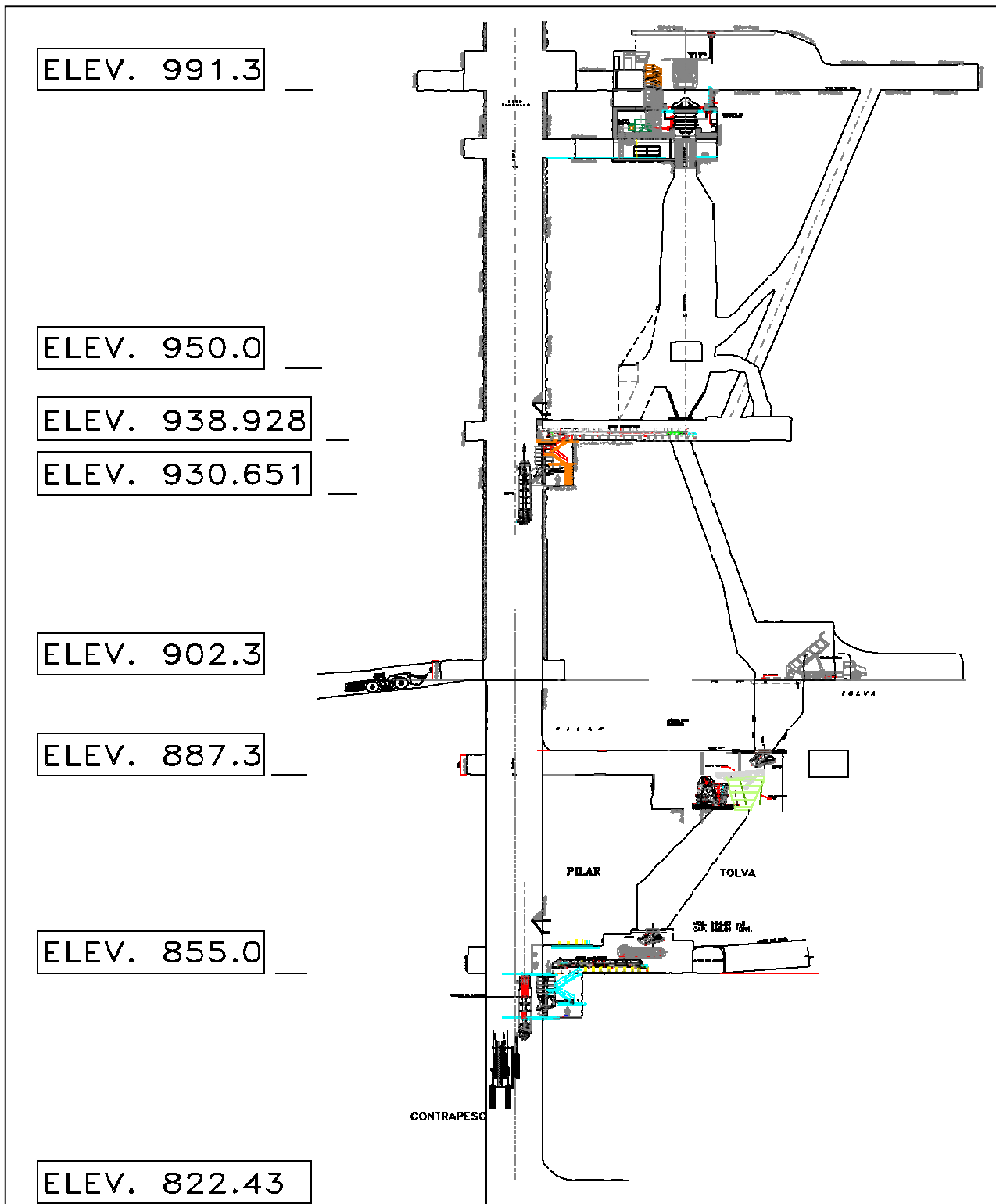


Figura 26. Profundización del tiro por la opción 2.

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
Costo de inversión		
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
Sub-total de la inversión	\$49,460,000	\$52,590,000
Costos de operación		
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
Sub-total de la operación	\$57,220,000	\$108,010,000
Total de la inversión y la operación	\$106,700,000	\$160,600,000
Contingencias (15%)	\$16,200,000	\$24,090,000
Total (incluyendo las contingencias)	\$122,900,000	\$184,690,000
Diferencia	0	+\$61,790,000

3.3.4. Consideraciones generales

- La producción total del mineral preparada por el personal de Milpillas 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	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	
A,B,H	1.457	860,220	159,093	1.300	150,000	160,000	160,000	230,526											860,220
C	1.255	282,240						30,000	80,000	55,699	50,000	66,541							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	15,036									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	128,595	1.380	150,000	150,000	200,000	450,000	462,948										1,539,544
173	1.361	152,154	137,961	1.224	14,193														152,155
150	1.535	1,001,276						377,266	400,000	89,432				134,588					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	528,635	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	173,656										400,003
117	1.764	452,504															220,000	232,504	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	101,932										421,451
25	1.669	262,241												262,241					262,241
3	1.617	475,678												255,000	220,678				475,678
28	1.315	212,557															196,095	16,462	212,557
83	1.627	203,188												10,966	192,202				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 m³ 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, este 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*).

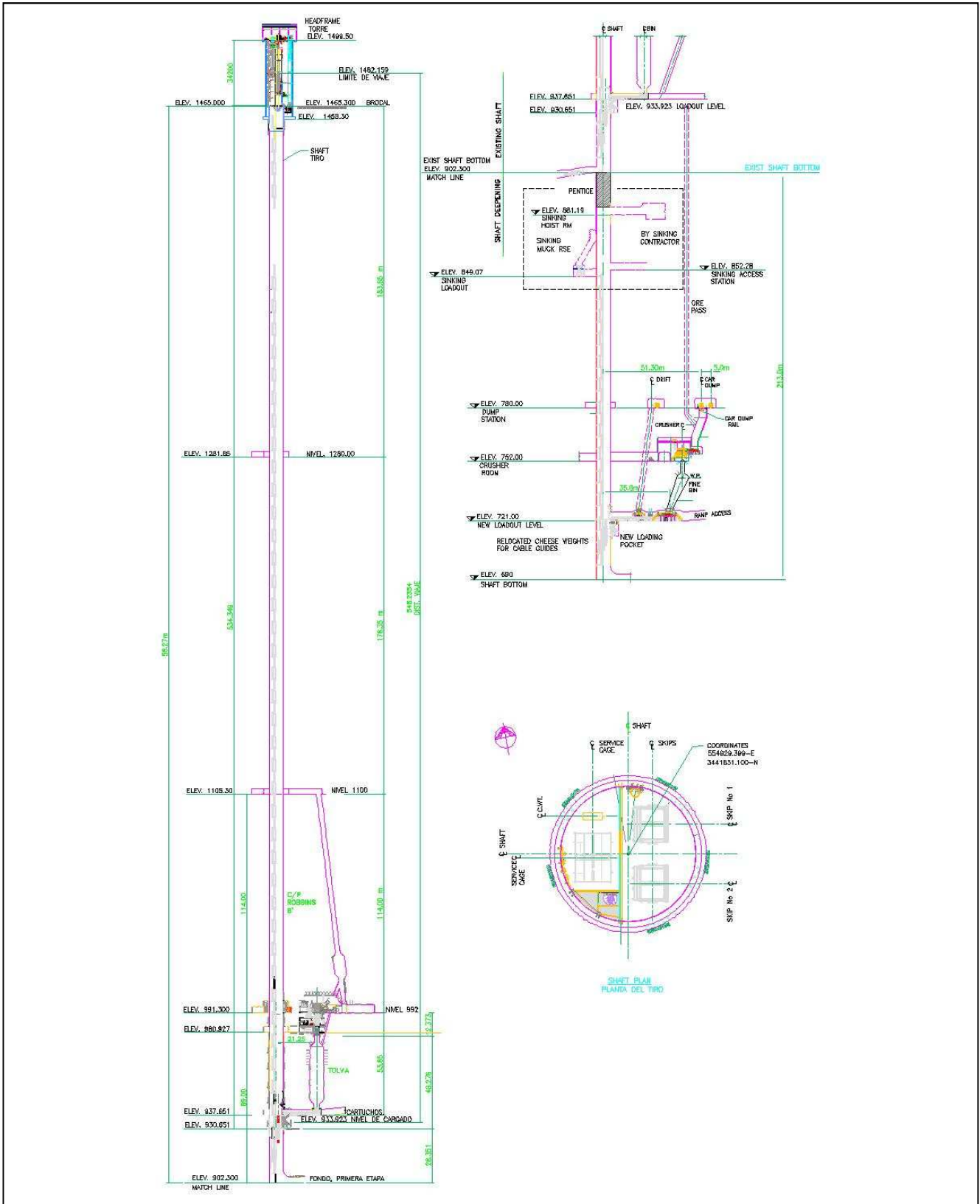


Figura 27. Sección general del arreglo de la profundización del tiro.