



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

DESARROLLO DE UNA RAMPA DE COMUNICACIÓN ENTRE
LA MINA CANDELARIA Y LA MINA ESTRELLA;
UNIDAD LA COLORADA, PANAMERICAN SILVER
MÉXICO, CHALCHIHUITES, ZACATECAS, MÉXICO.

INFORME POR TRABAJO PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO DE MINAS Y METALURGIA

P R E S E N T A

CUAUHTÉMOC ALEJANDRO GUZMÁN LÓPEZ

Tutor:

ING. GABRIEL RAMÍREZ FIGUEROA



MEXICO D.F. ENERO 2016

DEDICADO:

A Víctor Hugo Guzmán Ramírez, Raquel Ramírez, Juana Ibarra y Heliodoro Ramírez.

GRACIAS:

A Dios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A mis padres Víctor Hugo Guzmán y Lourdes López.

A mi esposa Valeria Bribiesca.

A mis hermanos Víctor Hugo Guzmán, Alexandra Guzmán, Luis Pérez y Noel Aróstegui.

A mi hijo Brandon Guzmán.

A mi familia Irma Gallegos, Abelardo Guzmán, Cuauhtémoc Guzmán, Araceli Guzmán, Irma Guzmán, Lourdes Hernández, Laura Hernández, Adriana Hernández, Edgar Hernández, Norma Hernández, Lorena Hernández, Jaime López, Concepción Zúñiga, Patricia Hernández, Katie West, José Luis Enzástiga, Víctor Flores, Alicia Carrasco, María Carrasco, Paola Enzástiga, Yohali Guzmán, Roslyn Guzmán, Tlanezi Guzmán, Gonzalo Alvarado, Benitzu Guzmán, Alejandra Enzástiga, Lluvia López, Omar López, Álvaro López, Paola Carrasco, Carlos Carrasco, Laura Flores, Decire Flores, Yali Flores, Tayri Marrufo, Divanhi Panduro Y Pablo Pacheco.

A mis amigos Miguel Huerta, Luis Estrada, Gisela García, Cosijoesa Gómez, Jorge Gordillo, Georgina Rojas, Sandra Sánchez, Israel Tafoya, Jorge Zavala, Mayra Martínez, Humberto Martínez, Esther Barrios, Ana Souto, Edmigia Ramírez, Carmen Gómez y Martha Bautista.

A mi otra familia Iveth Loyo, Jorge Monroy, Dario Gómez, Jaziel Santillán, Erika Castillo, Yadira Cepeda, Janete Cepeda, Luis Santillán, Alberto Cortez, Ismael Huerta, Miguel Medina, Mauricio Ramos, León Arteaga, Gilberto Basilio, Manuel Álvarez, Jaqueline y Carlos, Carlos Alegría, Yazmín

Juárez, Fabiola Muciño, Eugenia Enríquez, Eduardo de la Vega, Gilberto Basilio, Iván Cabrera, e Iván Alpizar.

A mis compañeros, especialmente a Adrian Mastache, Rafael del Villar, Alfonso Avelino, Rodrigo Diez y Claudia Soto.

A mis profesores, especialmente a Raymundo Balderas, Gabriel Ramírez, Juan Obregón, Mauricio Mazari, José Santos, Manuel Landa, Miguel Márquez, Fernando Rosique, José Huevo, Carl Servín, Jaime Martínez, Alejandro Rojas y Arnulfo Andrade.

GRACIAS A TODOS POR TODO.

CONTENIDO

I. RESUMEN	5
II. INTRODUCCIÓN	6
III. GENERALIDADES	7
III.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	7
III.2 LOCALIZACIÓN	7
III.3 GEOLOGÍA	8
III.4 RESERVAS Y RECURSOS MINERALES	10
III.5 MINA	11
III.6 OBRAS DE DESARROLLO	12
III.7 SOPORTE DEL TERRENO	14
III.8 REZAGADO Y ACARREO	15
III.9 MANTEO	17
III.10 PLANTA DE BENEFICIO	18
IV. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	19
V. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	22
V.1 ANTECEDENTES	22
V.2 ARRANQUE DEL PROYECTO	23
V.3 DESARROLLO DE LA OBRA	25
V.6 SOLUCIÓN A LA VENTILACIÓN	26

V. 7 SOLUCIÓN AL REZAGADO	29
V.8 PLANTILLAS DE BARRENACIÓN Y FACTORES DE CARGA	31
V.9 COSTO DE LA OBRA	37
V.10 RESUMEN DE RESULTADOS	40
<u>VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</u>	<u>42</u>
VI.1 ACARREO Y PRODUCCIÓN	42
VI.2 VENTILACIÓN	45
VI.3 COSTOS	49
<u>VII. CONCLUSIONES</u>	<u>53</u>
<u>VIII. ANEXOS.</u>	<u>56</u>
VIII.1 ANEXO 1. GLOSARIO	56
VIII.2 ANEXO 2. NORMAS O REGLAMENTOS APLICABLES A MINAS METÁLICAS	59

I. RESUMEN

En la mina Estrella de la Unidad La Colorada, se plantea la necesidad de buscar una alternativa para cambiar el trayecto de acarreo de mineral, pues originalmente, debido al incompleto conocimiento de la morfología del yacimiento mineral, se diseñó un sencillo sistema de acarreo, el cual consistía en llevar el mineral producido en la mina, directamente desde las intersecciones de los accesos con la rampa general, hasta la superficie con camiones de bajo perfil de 10 toneladas (t) para después ser transportado con camiones de volteo de 17 t hasta la planta de beneficio. Conforme se profundizó la mina, este sistema resultó ineficiente y una vez ampliado el conocimiento del yacimiento y de las reservas minerales, se toma la decisión de desarrollar una rampa que comunique la mina Estrella con la mina Candelaria con la finalidad de realizar el acarreo del mineral producido en la mina Estrella, a través de dicha obra y dirigirlo a las parrillas existentes en la mina Candelaria para su posterior manto. El desarrollo de la rampa de comunicación Candelaria-Estrella tuvo una duración de 1 año 2 meses aproximadamente, una longitud total de 681 m, una pendiente del 9 %, un costo total de \$507 782 USD y un costo por metro lineal desarrollado de \$745.64 USD. Una vez que la obra llegó a su fin y el acarreo de mineral producido en la mina Estrella se comenzó a hacer a través de ella, se comprobó que se volvió más eficiente en un 21.7 %, ayudando a incrementar la producción hasta en un 133 % al siguiente año del desarrollo de la rampa; contribuyó también con la mejora de los circuitos de ventilación de las minas Candelaria y Estrella aumentando el flujo de la primera en 45 000 ft³/min y el de la segunda en 35 000 ft³/min y finalmente, en el año del término de la obra en comparación con el año anterior, favoreció la reducción de los costos operativos, al reducir el costo por tonelada acarreada en un 24.5 %.

II. INTRODUCCIÓN

En este informe se plantea el proyecto del desarrollo de una rampa de comunicación entre la mina Candelaria y la mina Estrella, de la unidad minera La Colorada, ubicada en Chalchihuites, Zacatecas, México; cuya concesión e infraestructura pertenece a la empresa minera Panamerican Silver México. El informe integra un análisis de los aspectos principales que se ven involucrados en la realización del proyecto con el fin de generar una alternativa de acarreo que, en comparación con el sistema original de acarreo, resulte más eficiente, permita aumentar la producción de la mina Estrella, contribuya al mejoramiento de los circuitos de ventilación de ambas minas y reduzca los costos operativos de la mina Estrella.

Para el análisis de dichos aspectos, el informe presenta una descripción de la problemática para el desarrollo de una solución en donde se abordan los antecedentes, el arranque del proyecto, el desarrollo de la obra y se describe como se solucionaron las principales dificultades que se presentaron durante la operación de la obra. También se presenta una descripción detallada de las plantillas de barrenación utilizadas en el desarrollo de la misma, además de realizar el cálculo de los factores de carga utilizados y los costos del desarrollo de la rampa; posteriormente se ofrece un análisis de los resultados relacionados con el acarreo, la producción, la ventilación y los costos implicados en la obra de comunicación de la rampa entre la mina Candelaria y la mina Estrella. Finalmente, se asientan las conclusiones del informe.

III. GENERALIDADES

III.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La Colorada es una mina de plata polimetálica subterránea ubicada en la cordillera de la Sierra Madre en Zacatecas, México, cuya concesión e infraestructura fue adquirida por Pan American en 1998. La mineralización de plata, oro, zinc y plomo está presente como vetas epitermales, chimeneas de brechas, mantos, y sustituciones de caliza en tres zonas principales conocidas como Candelaria, Estrella y Recompensa. El método de explotación utilizado en toda la mina es el corte y relleno (Pan American Silver, 2014).

En 2014, la mina procesó 0.4 millones de toneladas de mineral con una producción de 4.6 millones onzas de plata, 2600 onzas de oro, 6800 toneladas de zinc y 3300 toneladas de plomo (Pan American Silver, 2014).

III.2 LOCALIZACIÓN

La Unidad La Colorada está situada en el distrito de Chalchihuites en el estado de Zacatecas, México, aproximadamente a 156 kilómetros al noroeste de la ciudad de Zacatecas y a 99 kilómetros al sur de la ciudad de Durango (ver figura 1). Las coordenadas de localización de La Colorada son: longitud 23°22'N y latitud 103°45'W. El trayecto entre la ciudad de Durango hasta La Colorada dura aproximadamente 2.5 horas y consiste de 120 km de autopista y 23 km. de terracería. El trayecto desde la ciudad de Zacatecas es similar en tiempo y en tipo de caminos (Wafforn, y otros, 2013). La elevación de la unidad varía entre 1800 y 2600 msnm (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).



Fig. 1. Localización de la Mina La Colorada

III.3 GEOLOGÍA

La unidad La Colorada se encuentra ubicada en los límites de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y la mesa Central del Norte. El área se interpreta en una etapa de juventud dentro del ciclo geomorfológico (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

La superficie de la Colorada está cubierta en gran parte por derrames volcánicos, siendo del tipo de flujos piroclásticos, representados por tobas riolíticas e ignimbritas en la porción sur, mientras que en la parte centro, norte y noreste se presentan dos domos dacíticos en contacto con la dacita (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

La dacita está constituida por una matriz clara de plagioclasas con algo de cuarzo e intemperiza a un color crema casi blanco, considerada una roca hipabisal (roca ígnea filoniana, que se genera cuando el magma se enfría dentro de la corteza

terrestre (UNP, 2013)), formada por diferenciación magmática (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

Al noroeste afloran rocas sedimentarias representadas por las formaciones Cuesta del Cura, Indidura y Formación Fresnillo, constituidas por calizas, lutitas y calizas arcillosas de estratificación delgada (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

Estructuralmente en el área de la unidad La Colorada, se define un sistema de fallamiento (sic) predominante de rumbo general NW-SE constituido por las fallas Amanecer y Colorada que tienen un echado al SW; dentro del sistema estructural se tienen estructuras con un rumbo E-W (veta-falla de Candelaria) con un echado preferencial al sur (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

La mineralización de las vetas de las minas de La Colorada, contiene óxidos y sulfuros. Los más comunes minerales de sulfuros que se encuentran en las vetas son: galena, esfalerita, tetraedrita, argentita y pirita (Wafforn, y otros, 2013), siendo las principales menas la galena y la esfalerita.

La columna estratigráfica general de la unidad, de lo más somero a lo más profundo, comienza con riolitas en superficie, seguidas de una gran capa de dacita, inmediatamente después conglomerado y una capa de importante tamaño de caliza deleznable, en el contacto entre la dacita y la caliza se encuentra la zona de mineralización de brechas y principalmente vetas (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

Las principales vetas de la mina Candelaria son, al oriente, NC2 y NC3 y al poniente, HW y FW; en la mina Estrella la veta principal se denomina Amolillo y finalmente en la mina Recompensa se tienen las vetas Recompensa, Erika y el manto Yuri (Wafforn, y otros, 2013).

Una sencilla clasificación de los tipos de roca que se encuentran en la Colorada y su calidad, es la siguiente:

- Caliza oxidada: mala.
- Caliza fresca: de media a mala.
- Dacita: mala y una vez intemperizada, muy mala.
- Mineral (óxidos y sulfuros): media a muy mala.

III.4 RESERVAS Y RECURSOS MINERALES

El departamento de Geología estima (Longoria, 2015) que las reservas minerales probadas y probables para la mina La Colorada, al primer semestre del 2014, son las que se muestran en la tabla 1:

Tabla 1.- Reservas minerales de La Colorada

Categoría de reserva	Toneladas (Mt)	gr. de Ag/ton	Contenido de Ag (Moz)	gr. de Au/ton	Contenido de Au (Koz)	% Zn	% Pb
Probadas	2.5	412	29.5	0.31	27.6	2.60	1.43
Probables	4.1	376	55.3	0.39	57.3	2.29	1.30
TOTAL	6.6	389	73.8	0.36	84.9	2.40	1.35

Las reservas están identificadas (Wafforn, y otros, 2013) en los cuerpos principales denominados NC2, que se constituye como la fuente más importante de sulfuros de plata de la propiedad, y HW y FW que son las vetas de mineralización de óxidos.

En la tabla 2 se muestran los recursos minerales de La Colorada estimados por la gerencia al 31 de diciembre del 2013:

Tabla 2.- Recursos minerales de La Colorada

Categoría de recurso	Toneladas (Mt)	gr. de Ag/ton	Contenido de Ag (Moz)	gr. de Au/ton	Contenido de Au (Koz)	% Zn	% Pb
Medido	0.4	164	2.2	0.15	2.1	0.65	0.40
Indicado	1.7	255	13.8	0.29	15.7	0.83	0.51
Inferido	2.9	265	24.5	0.42	38.8	2.17	1.34

III.5 MINA

El sistema utilizado en las tres minas de la unidad (Candelaria, Estrella y Recompensa), es el de corte y relleno con tepetate (ver figura 2) o jal hidráulico, con bloques de 30 m entre nivel y nivel. Dicho método se adapta a las condiciones geológicas del yacimiento mineral, el cual comprende una serie de vetas angostas con calizas y dacitas alteradas de mala a muy mala calidad como roca encajonante.

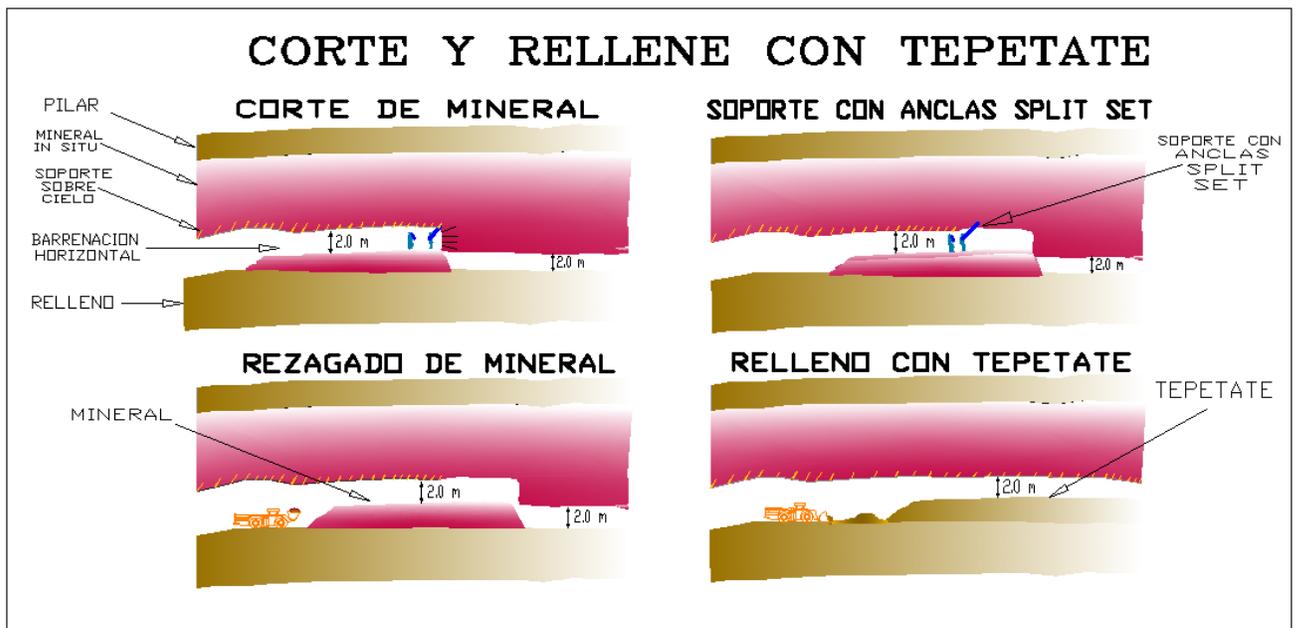


Fig. 2. Sistema de corte y relleno con tepetate.

El método se ajusta dependiendo de las condiciones del terreno de cada rebaje en dos variantes. En caso que la veta y la roca encajonante se consideren estables y el echado de la veta tenga un ángulo mayor a 55° , la variante utilizada es de corte vertical; en caso contrario, cuando la veta y/o la roca encajonante se consideren rocas de mala a muy mala calidad o el echado de la veta sea menor a 55° , se utiliza la variante de corte horizontal, con secciones de 2.5 m x 2.5 m.

El tumbado en todos los casos se realiza con máquinas de pierna neumática, con barras de acero de 6 ft.

III.6 OBRAS DE DESARROLLO

Las obras de preparación de las minas Candelaria y Estrella consisten en una serie de rampas de acceso desde la superficie hasta los niveles de producción, con pendientes que varían entre el 13 % y el 16 % y secciones de 3.5 m x 3.5 m (ver figura 3). De las rampas de acceso principal se desprenden laterales o contrafrentes en cada nivel de producción con secciones de 3.5 m x 3.5 m (ver figura 4). De las laterales se desprenden, a cada 100 m lineales, los accesos a la veta con una longitud de entre 30 m y 45 m con secciones de 3 m x 3 m y finalmente, de dichos accesos se desplantan los rebajes desde un primer desarrollo en mineral (también conocido como *sill*) de 100 m de longitud y secciones de 2.5 m x 2.5 m.

El desarrollo de la mayoría de las obras de preparación se realiza con jumbos electro-hidráulicos con barras de acero de 12 ft y 14 ft.

Nota: los *silles* o desarrollos en mineral que sirven de desplante del rebaje se realizan con máquinas de pierna neumática.



Fig.3. Rampa en mina Candelaria.

El desarrollo de las obras de preparación de la mina Recompensa es similar al de las minas Candelaria y Estrella, con la diferencia de que no se cuelan laterales, por lo que los accesos a la veta se desprenden desde la misma rampa y no se utilizan jumbos electro-hidráulicos, sino máquinas de pierna neumática.

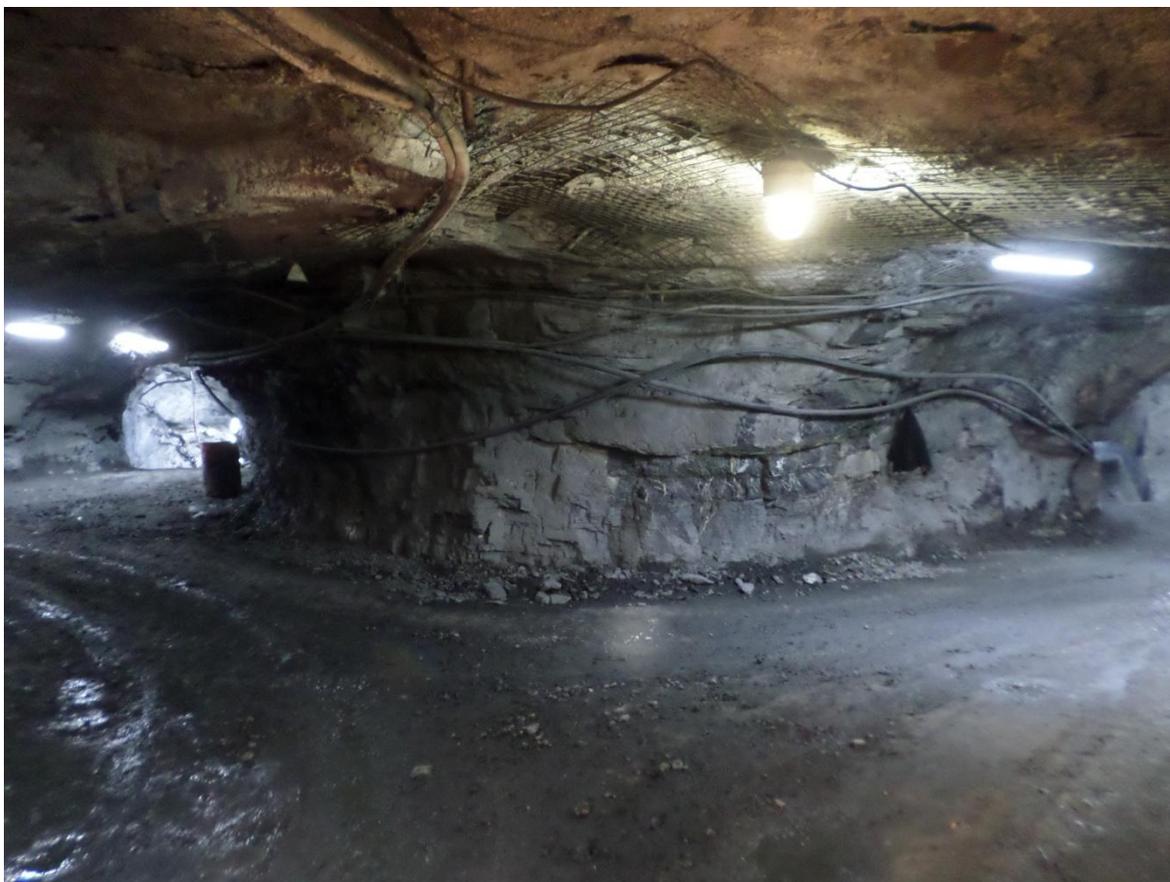


Fig. 4. Intersección entre rampa y lateral en mina Candelaria.

III.7 SOPORTE DEL TERRENO

Debido a las características de las calidades de roca tanto de las vetas como de la roca encajonante, el soporte del terreno es uno de los principales factores a considerar dentro del sistema y el ciclo de minado, en consecuencia se ha determinado la implementación de un anclaje sistemático con anclas *Split set* y *Split bar*, en todas las obras de desarrollo y tumba de la unidad, reforzado con sistemas de enmallado (con malla electrosoldada), concreto lanzado y soporte con estructuras de madera, acero y concreto en todos los lugares que a criterio de la supervisión se requiera (ver figura 5).

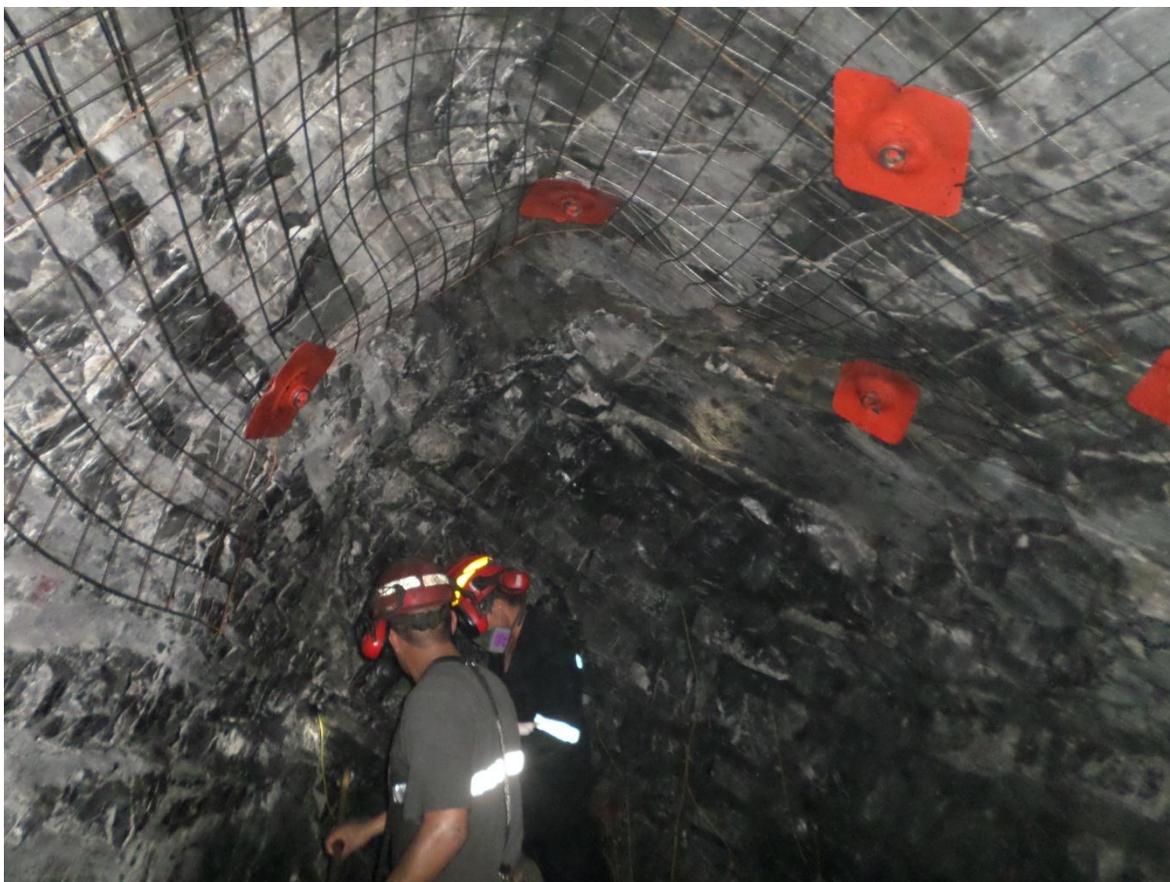


Fig. 5. Anclaje y enmallado.

III.8 REZAGADO Y ACARREO

El rezagado se realiza con cargadores frontales de bajo perfil (*scoop trams*), con capacidades de 2.5 t y 5 t, modelos LH403 y LH202 de la marca Sandvik (ver figuras 6 y 7) y el acarreo con camiones de bajo perfil articulados modelo TH315 de la misma marca cuya capacidad es de 10 t. El mineral de la mina Candelaria y gracias al desarrollo del proyecto, también el mineral de la mina Estrella, son acarreados hasta las parrillas del nivel 438, en la mina Candelaria; se trata de dos parrillas con una capacidad de 70 toneladas denominadas, oriente y poniente (ver figura 8). En la primera se vacían los sulfuros mientras que en la segunda se vacían los óxidos, lo anterior con la finalidad de llevar un control sobre el tipo de mineral que se enviará a la planta de beneficio.



Fig. 6. Cargador frontal modelo Sandvik LH202.



Fig. 7. Cargador frontal modelo Sandvik LH404.

III.9 MANTEO

La estación de manto de mineral se encuentra en el nivel 445 de la mina Candelaria, ahí se cuenta con una tolva dual que por medio de un alimentador de tablillas, alimenta dos cartuchos con capacidad de 3 toneladas cada uno, mismos que a través de una maroma llenan uno por uno los dos botes o *skips* de la misma capacidad. El mineral se manta por el tiro “El Águila” hasta el nivel 29, donde con ayuda de una tolva se descarga en los camiones de un eje con capacidad de 11 t. Para finalizar el proceso de extracción de mineral, la carga se transporta desde el nivel 29 hasta la parrilla general en superficie, donde se vacía el mineral directamente a la quebradora primaria de quijadas en la planta de beneficio.



Fig. 8. Parrilla Oriente del nivel 438 de la mina Candelaria.

III.10 PLANTA DE BENEFICIO

Los minerales se tratan por separado en las plantas de óxidos y sulfuros. La primera comprende un proceso de lixiviación por cianuro convencional que consiste en la trituración, molienda en un molino de bolas, lixiviación, refinación, precipitación de zinc y refinamiento en el sitio para producir barras doré. La planta de sulfuros es de tipo convencional por flotación y sus etapas consisten en la trituración, molienda en molino de bolas y los circuitos selectivos de flotación de espuma de plomo y zinc para recuperar la plata, el oro y el zinc, en concentrados separados de plomo y zinc. Las capacidades de procesamiento diarios son de 650 t para la planta de óxidos y 850 t para la planta de sulfuros (Pan American Silver, 2014).

IV. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

ANTECEDENTES.- Para el año 2012, el acarreo de mineral de la mina Estrella se realizaba con camiones de bajo perfil de 10 t de capacidad, desde la comunicación de la rampa con los diferentes accesos de cada nivel, hasta el patio de la superficie de la mina Estrella, de donde posteriormente se transportaba hasta la planta de beneficio en camiones de volteo de 17 t de capacidad.

NECESIDADES.- Esta situación debía cambiar, pues a partir del nivel 365 la explotación de la mina comenzó a ser incosteable; en primer lugar, por la gran distancia de acarreo y en segundo lugar por la presión que representaba el inminente aumento de la producción de la mina Estrella. Lo anterior se deriva de un mejor conocimiento del cuerpo mineral “Amolillo” como resultado de las campañas de exploración a diamante. En dichas campañas se indicó que este cuerpo mineral presenta una morfología semejante a la de una campana, es decir, que la longitud de la veta es directamente proporcional a su profundidad (ver figura 9). Lo anterior obliga a dos acciones operativas: por un lado, el cuele de más obras de desarrollo, pues a diferencia de los niveles superiores al nivel 365, donde los accesos hacia la veta se desprenden desde la rampa General sin necesidad de colar laterales, a partir del nivel 365 resulta necesario desarrollar laterales o contra-frentes en cada nivel, de las cuales se desprenderán los accesos hacia la veta Amolillo, y por otro lado, obliga a implementar un sistema efectivo y productivo para el acarreo del mineral de la mina Estrella.

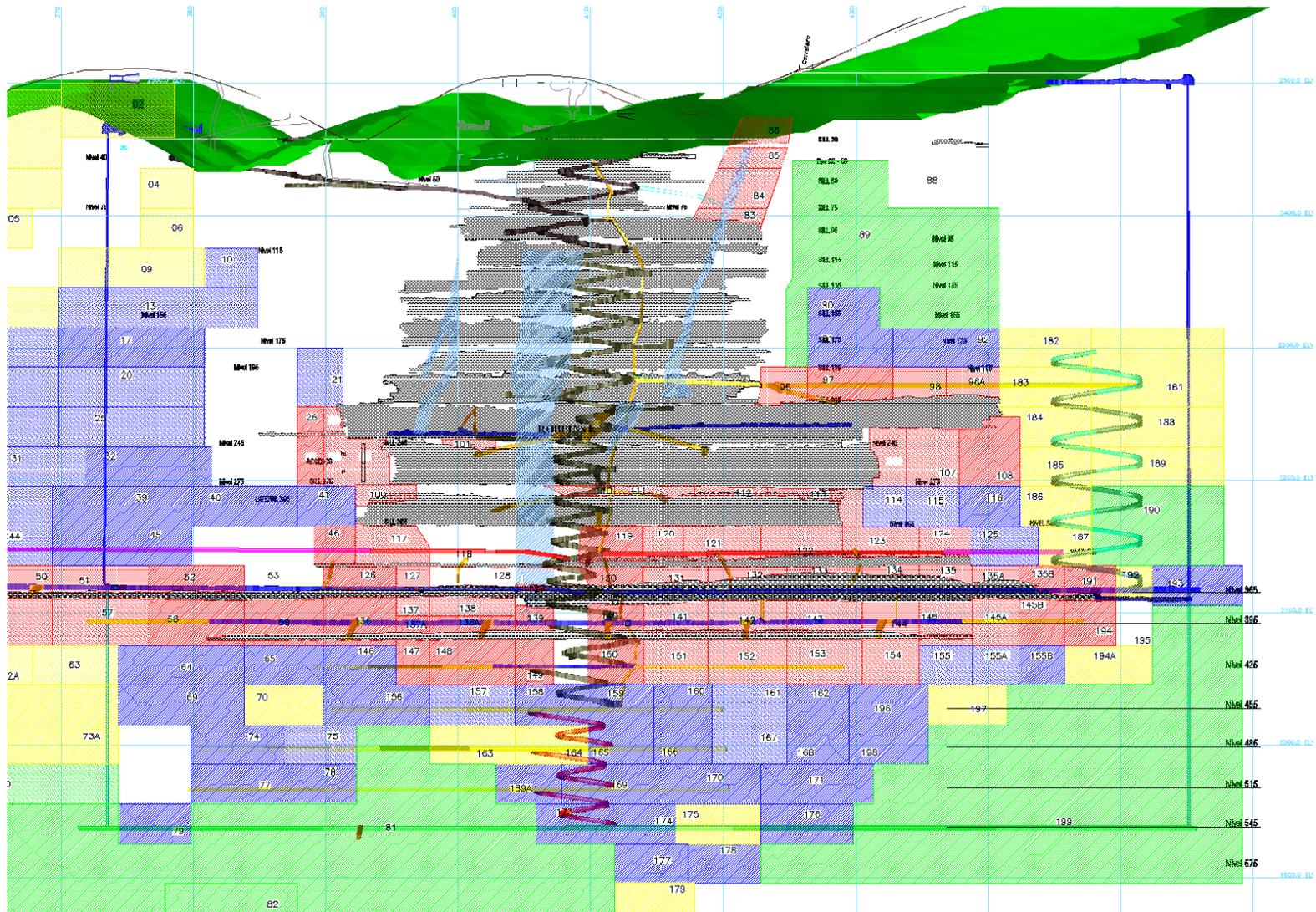


Fig. 9. Sección longitudinal de la mina Estrella, en negro se observan los bloques minados y en rojo los bloques de reservas probadas del cuerpo mineral.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN.- Por todo lo anterior y para dar solución al problema de capacidad y productividad del sistema de acarreo de la mina Estrella, se decidió desarrollar una rampa de aproximadamente 700 m lineales con una pendiente del 9 % que comunicara el nivel 365 de la mina Estrella con el nivel 438 de la mina Candelaria (ver figura 10), que es el lugar en el que se encuentran las parrillas de mineral, de donde posteriormente se mantee a través del tiro El Águila ubicado en la mina Candelaria. De tal manera presuntamente, se disminuiría la distancia de acarreo al interior de la mina, se eliminaría el acarreo de superficie mencionado, además de que el circuito de ventilación de ambas minas se vería mejorado y consecuentemente los costos operativos se reducirían.



Fig. 10. Lateral nivel 438 mina Candelaria.

V. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

V.1 ANTECEDENTES

Anterior al proyecto de la rampa de comunicación entre las minas Estrella y Candelaria (Rampa Candelaria-Estrella), la mina Estrella producía en promedio 166 t por día; desde entonces los niveles de producción se limitan por bloques de mineral de 30 m de profundidad; cuenta con una rampa general de 15 % de pendiente con sección de 3.5 m x 3.5 m, la cual comunica a todos los niveles de producción con la superficie. Desde la rampa general se desprenden accesos en cada nivel hasta la veta Amolillo. Tanto el tumbe como el desarrollo se llevan a cabo con máquinas de pierna neumática y hasta el inicio del proyecto de la rampa Candelaria-Estrella, la producción se concentraba en los niveles 245, 275 y 305, cada uno con rebajes al oriente y al poniente con relación a su acceso. Así mismo, desde entonces y hasta la fecha, el rezagado se lleva a cabo con cargadores frontales de 2 yd de capacidad y el acarreo con camiones de bajo perfil de 10 t de capacidad; dicho acarreo comprende desde los accesos a cada nivel hasta el patio Estrella en la superficie (aprox. 1630 m desde el nivel 245 y 2030 m desde el nivel 305). El circuito de ventilación se formaba inyectando aire fresco por la misma rampa y desalojando el aire viciado hasta la superficie, por una serie de contrapozos convencionales comunicados entre sí, con ayuda de un extractor con motor de 30 Hp de potencia el cual alcanza a descargar un caudal de 10 000 ft³/min de aire viciado, el aire fresco es inyectado desde la rampa General hacia los rebajes, a través de mangas de ventilación con ayuda de ventiladores auxiliares de 10 a 20 Hp de potencia, desde los accesos hasta los topes de cada obra.

Relativamente hasta el comienzo del proyecto de la rampa Candelaria-Estrella, la mina Estrella era de baja producción, contaba con un sistema sencillo de operación; y al igual que en la actualidad no presentaba problemas de

temperaturas elevadas ni humedad excesiva, sin embargo, sí presentaba problemas de inestabilidad y calidad de roca de mala a muy mala.

V.2 ARRANQUE DEL PROYECTO

PLANEACIÓN. Para iniciar el proyecto, fue necesario llevar a cabo el levantamiento de una poligonal topográfica que asegurara el ajuste y la concordancia de las referencias topográficas de la mina Candelaria con las de la mina Estrella y de esta manera, asegurar la precisa comunicación entre las dos minas. Dicho levantamiento se realizó con estaciones totales de la marca TOPCON modelo GTS-230ST. Paralelamente se hizo la elección, tanto del punto de salida en la mina Candelaria como del punto de llegada en la mina Estrella. El punto de salida se encuentra en el nivel 438 (que es el nivel de acarreo de la mina Candelaria), en la sección oriente que corresponde al área de producción de sulfuros; el punto se ubicó convenientemente a 20 m del acceso a las parrillas de alimentación del manto. Por otra parte, el punto de llegada de la rampa del proyecto de comunicación se planeó en el nivel 365 en la sección central de la mina Estrella a menos de 10 m de la comunicación de la rampa General y la lateral del nivel 365 de dicha mina. Con estos datos, el departamento de Ingeniería determinó que, para lograr una exitosa comunicación, la rampa debería tener una pendiente del 9 %, una longitud aproximada de 680 m y un rumbo norte franco.

GEOLOGÍA. Se cuenta con un estudio geomecánico del área donde se comenzó el proyecto, dicho estudio fue realizado por la empresa contratista Aguiluc S.A. de C.V., siendo el responsable del estudio el Ing. Cristóbal Jiménez. En dicho estudio se determina que en el área de inicio del proyecto, la cual pertenece a la parte oriente de la mina Candelaria, se encontraría roca de tipo caliza mineralizada, con una calidad media del macizo rocoso en relación al índice RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski 1976). Otras características físicas de la roca del área presentadas en dicho estudio son: densidad entre 2.61 y 2.91 t/m³, porosidad de

0.5 %, absorción de 0.22 %, peso específico aparente de 22.51 KN/m^3 , resistencia a la compresión de 254.18 Kg/cm^2 , módulo de elasticidad de $0.94 \text{ Kg/cm}^2 \times 10^5$ y una dureza según la escala de Mohs de 5 (apatita, puede ser rayada por una navaja de buen acero) (Aguiluc, S.A. de C.V., 2012).

Con la obra minera, se esperaba cruzar las estructuras de las vetas NC7, Pirámide, Santa Juana y Amolillo que es la principal de la mina Estrella (Dominguez, 2015).

OBRA MINERA. La rampa se diseñó con sección de 3.5 m x 3.5 m. En una primera etapa se desarrolló con máquina de pierna neumática, pero se contempló que en una etapa posterior, el cuele de la obra se realizaría con jumbo electrohidráulico. Se esperaba que el terreno tuviera una calidad de media a buena, por lo que el sostenimiento se realizó con anclas de tipo Split set de 1.8 m. de longitud con cartuchos cementantes (acorde con el anclaje sistemático de la Unidad La Colorada), no se esperaba tener que usar otro tipo de sostenimiento como sería el enmallado o el concreto lanzado. El rezagado se realizó con cargadores frontales de 5 t de capacidad y el acarreo con camiones de 10 t de capacidad de bajo perfil. La ventilación de la obra se hizo con ventiladores de 20 a 30 Hp de potencia de 10 000 a 12 000 ft^3/min de capacidad colocados en serie.

El desarrollo de toda la rampa fue una obra ciega, pues no hubo oportunidad de ser ventilada con la ayuda del desarrollo adicional de algún contrapozo de ventilación debido a que no hay obras preexistentes cercanas. Además, no se pudo desarrollar la obra a dos puntas, por lo menos en una primera etapa, debido que al inicio del proyecto, la rampa General de la mina Estrella no se había desarrollado hasta el nivel 365 donde comunicaría la rampa Candelaria-Estrella, sin embargo, se planeó que una vez que la rampa General de la mina Estrella estuviera en posición se terminaría el cuele del proyecto a dos puntas.

V.3 DESARROLLO DE LA OBRA

Los primeros 150 metros de la obra se desarrollaron con máquina de pierna neumática, con una sección de 3.5 m X 3.5 m, con barra de acero Atlas Copco de 8 ft y broca Rockmore de cruz de 1 ½ in de diámetro, con un avance promedio esperado de 2.2 m por día; se planeó un disparo diario en la rampa que se realizaba en el turno de día preferentemente, dejando el turno de noche para rezagar la obra, el avance real de esta primera etapa fue de 1.6 m por día, por lo que se tuvo una eficiencia del 74 %. En una segunda etapa del proyecto se decidió asignar más recursos, de tal manera que se comenzó a dar un disparo y medio por día, aumentando el avance planeado a 3.3 m por día; sin embargo, el avance real de esta segunda etapa fue de 0.9 m por día, por lo que se tuvo una eficiencia en el avance del 27.3 %. En una tercera etapa se decidió sustituir la máquina de pierna neumática por jumbo electro-hidráulico, con barra Atlas Copco de avance de 12 ft y una broca de avance Sandvik de botones de 1 ¾ in de diámetro, para continuar el desarrollo de la obra hasta su finalización, manteniendo la sección de la rampa en 3.5 m X 3.5 m pero aumentando el avance esperado por día a 3.2 m, obteniéndose un avance real de 2.65 m por día para lograr una eficiencia de avance del 83.11 %.



Fig. 11. Barrenación con jumbo electro-hidráulico en mina Candelaria.

Debido a la característica ya mencionada del proyecto, de ser una obra ciega, los dos principales problemas a resolver durante el desarrollo de la rampa fueron: por un lado la ventilación y por otro el rezagado de la obra.

V.6 SOLUCIÓN A LA VENTILACIÓN

Tal y como se menciona en la sección anterior, la rampa de comunicación entre la mina Estrella y la mina Candelaria fue una obra ciega, sin posibilidad de ser ventilada por medio del desarrollo de una obra adicional de ventilación, como hubiera podido ser el cuele de un contrapozo para dicho fin. La solución que se le dio al problema fue la instalación de tres ventiladores de 20 Hp de potencia y

10 000 ft³/min de capacidad colocados en serie, el segundo y el tercero con su respectiva cámara de aislamiento, conectados con ductos de lona (manga de ventilación) de 24 in de diámetro, con la finalidad de mantener el aire fresco lo más limpio posible, darle salida a los gases generados por los equipos de acarreo y rezagado, así como a los gases generados por las voladuras y manteniendo las temperaturas del tope por debajo de los límites permisibles:

Tabla 3.-Límites permisibles de gases en la minería subterránea.

	<i>Concentración Promedio Ponderada en el Tiempo (CPT)</i>		<i>Concentración para Exposición a Corto Tiempo (CCT)</i>	
	ppm	mg / m ³	ppm	mg / m ³
Monóxido de carbono, CO	50	55	400	400
Dióxido de Carbono, CO ₂	5,000	9,000	15,000	27,000
Óxido nitroso, NO	25	30	35	45
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	3	6	5	10
Dióxido de azufre, SO ₂	2	5	5	10
Sulfuro de Hidrogeno, H ₂ S	10	14	14	21
Polvos	Variable según la mineralogía del polvo			
Oxígeno, O ₂	19.5 – 21 %			

(Orellana, 2009).

Lo anterior se logró con éxito hasta que la rampa había avanzado 450 m aproximadamente. El primer ventilador se instaló al inicio de la obra, el segundo a 180 m del primero y el tercero a 150 m del segundo; con este último todavía se alcanzó a ventilar la obra aceptablemente casi otros 120 m adicionales, por lo que con dicha ventilación se desarrolló alrededor de 450 m de los 680 m totales de la obra. En el momento que la obra llegó a este punto, el cuele de la rampa General

de la mina Estrella ya había alcanzado el punto de rompimiento de la rampa Candelaria-Estrella en el nivel 365 de la mina Estrella, por lo tanto, el resto de la obra y su consecuente ventilación se realizó por la mina Estrella, con dos ventiladores de 20 Hp de potencia y 10 000 ft³/min de capacidad colocados en serie, el segundo con su respectiva cámara de aislamiento e instalado a aproximadamente 130 m del primero, que a su vez se instaló al inicio de la obra, dichos ventiladores se conectaron con ducto de lona de 24 in de diámetro.

De esta manera se logró concluir la totalidad de la obra, asegurando la suficiente y correcta ventilación del tope de la rampa en todo su desarrollo, manteniendo los límites permisibles de temperaturas y cumpliendo con los requerimientos mínimos de ventilación según las normas¹ y los procedimientos seguros de trabajo (véase [ANEXO 2. Normas o Reglamentos Aplicables a Minas Metálicas](#)).



Fig. 12. Mangas de ventilación en mina Candelaria.

¹ En el año 2014 se publicó la versión más reciente de la Norma Oficial Mexicana aplicables a las minas metálicas, sin embargo, durante el desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella la versión vigente era la de 1999.

V. 7 SOLUCIÓN AL REZAGADO

Uno de los problemas que se presentó en el desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella, fue el movimiento del tepetate generado por su cuele, lo anterior debido a la condición de ser una obra ciega y de tener una longitud superior a la óptima para el buen funcionamiento de cualquier equipo de rezagado. Para darle solución al problema, se diseñaron cinco cargaderos para los camiones de bajo perfil; para hacer dichos cargaderos se dio un descabece del área, también se desarrolló un crucero en cada cargadero el cual proporcionó el espacio necesario para que los camiones pudieran darse vuelta y acomodarse para ser cargados por el cargador frontal, además de servir como almacén de tepetate producto del cuele del tope. Cabe mencionar que con el desarrollo y el uso de estos cargaderos se evitan las largas distancias en los recorridos del cargador frontal, disminuyendo el desgaste del equipo de rezagado y aumentando la eficiencia del rezagado del tope de la rampa Candelaria-Estrella.

Cada cargadero está separado 100 m aproximadamente del anterior, excepto en el caso de la distancia entre el cuarto y el quinto cargadero, que tienen 185 m entre ellos. El primer cargadero se ubica a 110 m del inicio de la rampa (nivel 438 de la mina Candelaria) y el último a 85 m del final de la rampa (nivel 365 de la mina Estrella). Las dimensiones aproximadas de cada cargadero son de 9 m de fondo por 3 m de ancho y 3 m de altura.



Fig. 13. Camión de bajo perfil modelo Sandvik TH315.

Los camiones debían ser cargados por un costado, por lo tanto, el camión entraba de punta al crucero del cargadero y se acomodaba cerca de una tabla para que el cargador frontal descargara el primer cucharón de tepetate en la caja del camión, inmediatamente después, el camión hacía maniobra de reversa para permitir que cargador llenara su cucharón dentro del stock, después el cargador salía del crucero y dejaba que el camión volviera a acomodarse, en ese momento el cargador llenaba la caja con el segundo cucharón, se hacía para atrás y permitía al camión realizar la maniobra para salir de frente hacia el acceso de la rampa, todo el proceso tardó de 4 a 5 minutos en promedio, aproximadamente se debían mover 150 t por disparo (de 15 a 16 viajes de los camiones de bajo perfil).

V.8 PLANTILLAS DE BARRENACIÓN Y FACTORES DE CARGA

Los trabajos de desarrollo en las minas se caracterizan por ser operaciones con una sola cara libre disponibles para el movimiento del material por fragmentar. El procedimiento más importante en el avance lineal en una obra de desarrollo, será la de realizar una abertura en la cara sólida del terreno, de tal manera que sirva como una segunda cara libre o plano de alivio (López, 2003) y se le conoce como cuña, idealmente dicha abertura o cuña deberá tener la misma profundidad del avance deseado en un disparo, para asegurar una cara libre en toda la longitud de la barrenación y poder obtener un avance eficiente.

En el sistema de desarrollo de las minas de La Colorada se usa la cuña de nueve, con cinco barrenos de alivio y cuatro cargados, con un espaciamiento entre los barrenos cargados de 45 cm a 50 cm, el resto de la plantilla de barrenación para una sección de 3.5 m X 3.5 m con roca de calidad media a buena, se completa con 4 barrenos ayudantes, con una separación de 60 cm entre ellos, cuatro del primer cuadro con separación de 72 cm entre ellos, 4 del segundo cuadro con separación de 1.55 m entre ellos, 4 barrenos de desborde, 3 barrenos en cada tabla separados entre sí con una distancia de 60 cm, 7 barrenos de cielo con separación de 65 cm entre ellos y 5 barrenos de piso separados 75 cm entre sí, para sumar 43 barrenos en total, de los cuales 38 son cargados con explosivo.

En el caso del desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella, se tuvieron dos variantes para el diseño de la plantilla de barrenación y en consecuencia la determinación del factor de carga; una para el tramo que se desarrolló con máquina de pierna neumática y otra para el tramo que se desarrolló con jumbo electro-hidráulico. Para el primer caso se usó una broca de cruz Rockmore, con un diámetro de 1 ½ in y barra Atlas Copco de 8 ft. Para el segundo caso (con jumbo

electro-hidráulico), se usó broca de botones Sandvik con diámetro de 1 ¾ in y una barra de acero Atlas Copco de 10 ft (véase la Fig. 15).

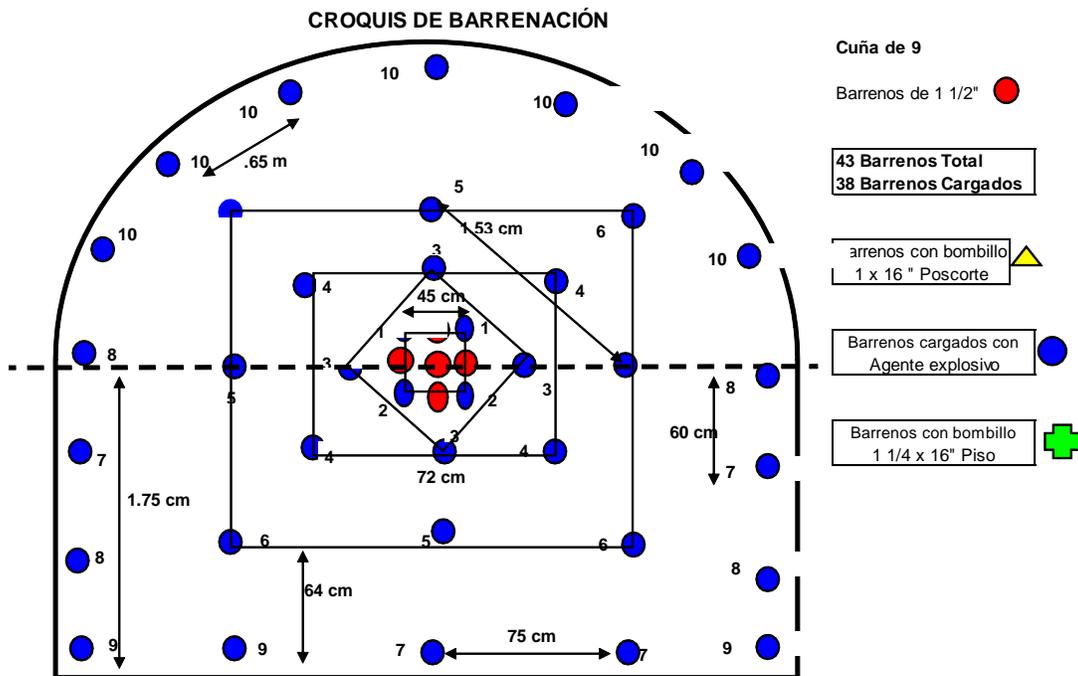


Fig. 14. Barrenación con máquina de pierna neumática en rampa.

DISEÑO DE LA PLANTILLA DE BARRENACIÓN PARA EL CASO CON MÁQUINA DE PIERNA.

Características de la voladura
Barrenación seca
Todo cargado con ANFO-AMEX

PARAMETROS DE LA VOLADURA		
	Unidad	
Cantidad de barrenos Cargados		38
Profundidad de barrenación	m	2.4 (8 ft)
Sección	m x m	3.5 x 3.5
Diámetro	in	1 1/2
Iniciadores	piezas	38
Emulsión Magnafrac 1 x 16"	piezas	38
Agente explosivo (Amex UG densidad 0.98 gr / cm)	Kg	95 (3.8 sacos)
Emulsión Magnafrac 1 1/4 x 16"	piezas	0



CONSUMOS ACCESORIOS									
NOMBRE	TIPO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Exel LP	2	2	4	4	4	4	4	4	
5.0 m	9	10	11	12	13	14	15		Piezas
	3	7	0	0	0	0	0	0	38

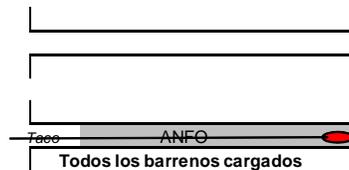


Fig. 15. Plantilla de barrenación con máquina de pierna neumática para sección de 3.5X3.5 m.

Para el segundo caso (con jumbo electro-hidráulico), se usó broca de botones Sandvik con diámetro de 1 ¾ in y una barra de acero Atlas Copco. de 10 ft.

DISEÑO DE LA PLANTILLA DE BARRENACIÓN PARA EL CASO CON JUMBO ELECTRO-HIDRÁULICO.

Características de la voladura
Barrenación seca
Todo cargado con ANFO-AMEX

PARAMETROS DE LA VOLADURA		
	Unidad	
Cantidad de barrenos Cargados		38
Profundidad de barrenación	m	3.0 (10 Ft)
Sección	m x m	3.5 x 3.5
Diámetro	in	1 3/4
Iniciadores	piezas	38
Emulsión Magnafrac 1 x 16"	piezas	38
Agente explosivo (Amex UG densidad 0.98 gr / cm)	Kg	119 (4.5 sacos)
Emulsión Magnafrac 1 1/4 x 16"	piezas	0

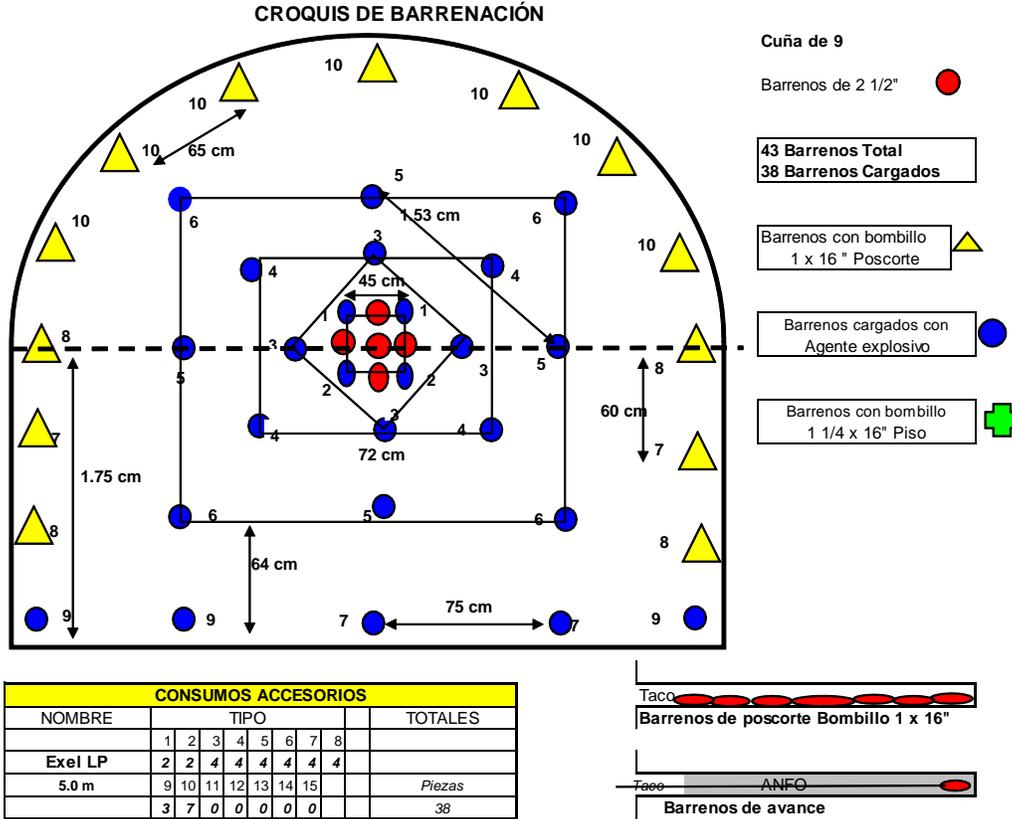


Fig. 16. Plantilla de barrenación con jumbo electro-hidráulico para sección de 3.5X3.5 m.

CÁLCULO DE FACTORES DE CARGA².

Para el caso de barrenación con máquina de pierna neumática, según la plantilla de barrenación descrita en los párrafos anteriores, el cálculo del factor de carga es el siguiente:

Para barrenación de 8 ft (2.4 m) de longitud			
Características de la voladura			
Barrenación seca			
Todo cargado con ANFO-AMEX			
Bombillo 1 x 16" caja con 25 Kg	=	Piezas 123	Peso por bombillo 205 gr
Bombillo 1 1/4 x 16 caja con 25 Kg	=	Piezas 80	Peso por bombillo 305 gr
Cálculo del peso del agente explosivo			
Diámetro barrenación		1 1/2	in
Kilogramos / metro		1.55	Kg/m
Densidad		0.85	Kg/m ³
Kg / metro		1.32	Kg/m
Longitud del barreno		2.40	m
Eficiencia del disparo		0.95	
Longitud del barreno		2.28	m
Kg / barreno		3.00	Kg
No. barrenos		38	
Kg- explosivo total teórico		114.1	Kg
Distribución de las cargas real			
Barrenos de cuña al 95 %		2.9	
Barrenos de cuadros al 90 %		2.7	
Barrenos del tablas al 75 %		2.3	
Barrenos del cielo al 65 %		2.0	
Barrenos piso 95%		2.7	
Barrenos de cuña	4	11	Kg
Barrenos cuadros	16	43	Kg
Barrenos tablas	6	14	Kg
Barrenos cielo	7	14	Kg
Barrenos piso	5	14	Kg
Total	38		
Kg- de explosivo según diseño		95	Kg
Sacos		3.8	
Cálculo del peso del alto explosivo			
	Piezas	Peso Kg	Total
Bombillo 1 x 16	38	0.250	9.50 Kg
Bombillo 1 1/4 x 16"	0	0.350	0 Kg
Total			9.50 Kg
Por lo tanto el factor de carga para una voladura de 8 ft (2.4 m) es igual a:			
El peso del explosivo = 95 Kg (agente explosivo) + 9.50 Kg (alto explosivo) = 104.9 Kg			
entre la longitud real de avance = 2.4 m * 0.95= 2.28 m			
FACTOR DE CARGA = 104.9 Kg / 2.28 m = 46.00 Kg/m			

² Debido a que se trata de un desarrollo, las unidades del factor de carga son Kg/m de avance.

Para el caso de barrenación con jumbo electro-hidráulico, según la plantilla de barrenación descrita en los párrafos anteriores, el cálculo del factor de carga es el siguiente:

Para barrenación de 10 ft (3.0 m) de longitud				
Características de la voladura				
Barrenación seca				
Todo cargado con ANFO-AMEX				
Bombillo 1 x 16" caja con 25 Kg	=	Piezas 123	Peso por bombillo	205 gr
Bombillo 1 1/4 x 16 caja con 25 Kg	=	Piezas 80	Peso por bombillo	305 gr
Cálculo del peso del agente explosivo				
Diámetro barrenación		1 3/4	in	
Kilogramos / metro		1.55	Kg/m	
Densidad		0.85	Kg/m³	
Kg / metro		1.32	Kg/m	
Longitud del barreno		3.00	m	
Eficiencia del disparo		0.95		
Longitud del barreno		2.85	m	
Kg / barreno		3.75	Kg	
No. barrenos		38		
Kg- explosivo total teórico			142.7	Kg
Distribución de las cargas real				
Barrenos de cuña al 95 %		3.6		
Barrenos de cuadros al 90 %		3.4		
Barrenos del tablas al 75 %		2.8		
Barrenos del cielo al 65 %		2.4		
Barrenos piso 95%		3.4		
Barrenos de cuña	4	14	Kg	
Barrenos cuadros	16	54	Kg	
Barrenos tablas	6	17	Kg	
Barrenos cielo	7	17	Kg	
Barrenos piso	5	17	Kg	
Total	38			
Kg- de explosivo según diseño			119	Kg
Sacos			4.8	
Cálculo del peso del alto explosivo				
	Piezas	Peso Kg	Total	
Bombillo 1 x 16	38	0.250	9.50	Kg
Bombillo 1 1/4 x 16"	0	0.350	0	Kg
Total			9.50	Kg
Por lo tanto el factor de carga para una voladura de 10 ft (3.0 m) es igual a:				
El peso del explosivo = 119 Kg (agente explosivo) + 9.50 Kg (alto explosivo) = 128.7 Kg				
entre la longitud real de avance = 3.0 m * 0.95= 2.85 m				
FACTOR DE CARGA = 128.7 Kg / 2.85 m = 45.15 Kg/m				

V.9 COSTO DE LA OBRA

Para obtener el costo total de la obra, se debe tomar en cuenta que la primera parte del desarrollo se realizó con máquina de pierna neumática y una segunda parte se realizó con jumbo electro-hidráulico, lo cual implica dos costos diferentes para cada caso. Los resultados de un estudio previo (Departamento de Mina, Ingeniería Industrial, 2013), donde se obtuvo el desglose de los costos directos, indirectos y totales por cada tipo de obra en las minas de la Unidad La Colorada, muestran que los costos totales de una obra con las características de la rampa Candelaria-Estrella, utilizando máquina de pierna neumática, son de \$764.05 USD por metro lineal desarrollado (véase el desglose mencionado en la Fig. 17) y utilizando jumbo electro-hidráulico son de \$725.42 USD³ por metro lineal desarrollado (véase el desglose mencionado en la Fig. 18). Por otro lado, la distancia desarrollada con máquina de pierna neumática fue de 356.5 m y con jumbo electro-hidráulico fue de 324.5 m, por lo tanto el costo total de la obra fue de:

$$(\$764.05 \text{ USD})(356.5 \text{ m.}) + (\$725.42 \text{ USD})(324.5 \text{ m.}) = \mathbf{\$507\,782.6 \text{ USD.}}$$

Y finalmente el costo por metro lineal total fue:

$$(\$507,782.6 \text{ USD}) / (356.5 \text{ m.} + 324.5) = \mathbf{\$745.64 \text{ USD / metro lineal.}}$$

³ La paridad peso/dólar es el del año 2013 (12.7 pesos/dólar) y los precios unitarios utilizados en el cálculo son del mismo año.



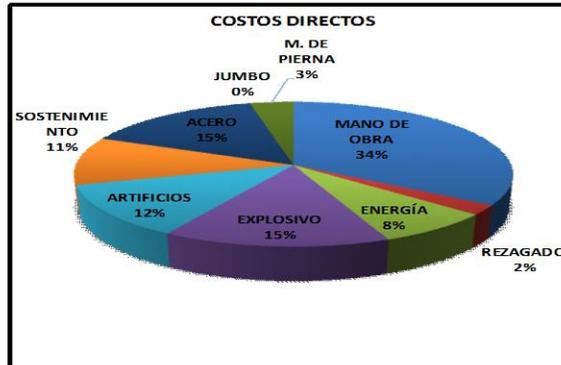
"PANAMERICAN SILVER MINA LA COLORADA"

COSTOS POR OBRA

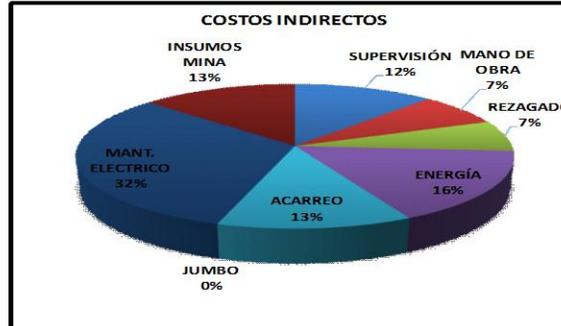
INGENIERÍA INDUSTRIAL

TIPO DE OBRA	RAMPA	ML	TON
ZONA	SULFUROS	2.2	87.32
EQUIPO	M.P	2.4	95.256
SECCIÓN	3.5 m X 3.5 m	91.7	91.7
Longitud de la Barra	2.4	Mtrs	
Longitud Barrenada	2.2	Mtrs	
B.Dados	43		
B.Disparados	38		
B.Pos-corte	0		
B.Cuña	5		
Anclas	8		
		FACTOR DE CARGA	46.78 1.18

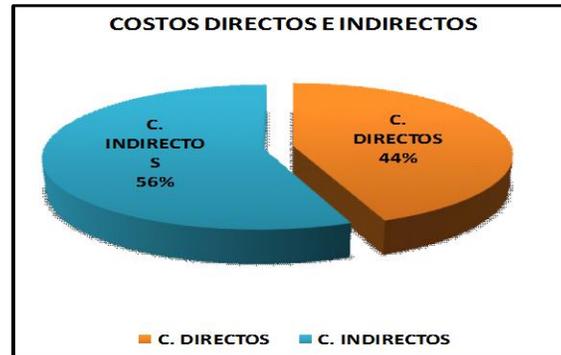
COSTOS DIRECTOS	
MANO DE OBRA	3,175.00
REZAGADO	206.96
ENERGÍA	718.70
EXPLOSIVO	1,401.47
ARTIFICIOS	1,124.44
SOSTENIMIENTO	1,005.60
ACERO	1,411.09
JUMBO	0.00
M. DE PIERNA	338.85
TOTAL	9,382.11



COSTOS INDIRECTO	
SUPERVISION	1,420.41
MANO DE OBRA	873.54
REZAGADO	828.20
ENERGIA	1,950.41
ACARREO	1,508.34
JUMBO	0.00
MANT. ELECTRICO	3,800.40
INSUMOS MINA	1,584.11
TOTAL	11,965.41



C. DIRECTOS	9,382.11
C. INDIRECTOS	11,965.41
C. TOTAL	21,347.52



COSTO POR OBRA			
COSTO TOTAL	\$ M.L	\$ TON	
21,347.52	9,703.42	244.48	
COSTO EN USD			
COSTO TOTAL USD	\$ M.L USD	\$ TON USD	PARIDAD PESO/ DÓLAR 12.7
1,680.91	764.05	19.25	

Fig. 17. Costos de obra para una rampa con barrenación con máquina de pierna neumática.



"PLATA PANAMERICANA MINA LA COLORADA"

COSTOS POR OBRA

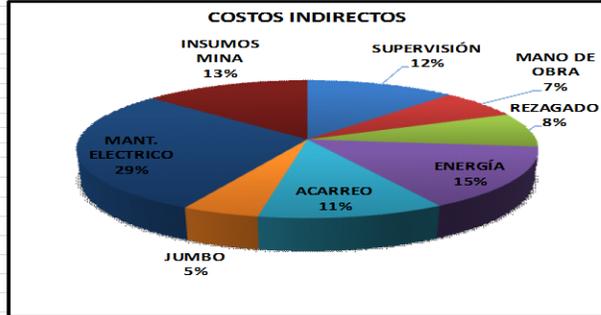
INGENIERÍA INDUSTRIAL

TIPO DE OBRA	RAMPA		ML	TON
ZONA	SULFUROS		3	99.23
EQUIPO	JUMBO-2		3.2	105.84
SECCIÓN	3.5 m X 3.5 m		93.75	93.75
Longitud de la Barra	3.2	Mtrs		
Longitud Barrenada	3	Mtrs		
B.Dados	43		Kg/M. L.	Kg/TON
B.Disparados	38		36.18	1.09
B.Pos-corte	12			
B.Cuña	5			
Anclas	10			

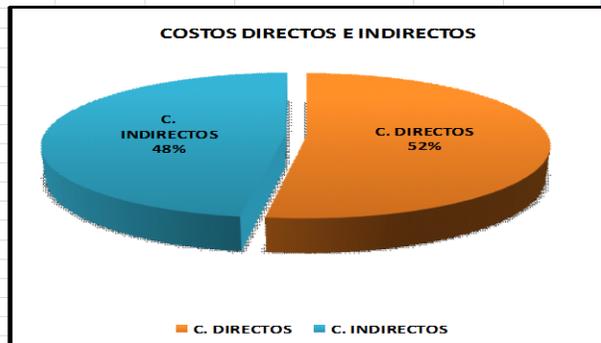
COSTOS DIRECTOS	
MANO DE OBRA	4,030.00
REZAGADO	119.74
ENERGÍA	947.27
EXPLOSIVO	1,917.80
ARTIFICIOS	1,282.54
SOSTENIMIENTO	1,845.02
ACERO	3,374.82
JUMBO	976.18
M. DE PIERNA	0.00
TOTAL	14,493.38



COSTOS INDIRECTO	
SUPERVISIÓN	1,578.23
MANO DE OBRA	873.54
REZAGADO	1,056.60
ENERGÍA	1,950.41
ACARREO	1,508.34
JUMBO	625.96
MANT. ELECTRICO	3,791.95
INSUMOS MINA	1,760.12
TOTAL	13,145.15



C. DIRECTOS	14,493.38
C. INDIRECTOS	13,145.15
C. TOTAL	27,638.53



COSTO POR OBRA			
COSTO TOTAL	\$ M.L.	\$ TON	
27,638.53	9,212.84	278.54	
COSTO EN USD			
COSTO TOTAL	\$ M.L.	\$ TON	PARIDAD DÓLAR 12.7
2,176.26	725.42	21.93	

Fig. 18. Costos de obra para una rampa con barrenación con jumbo electro-hidráulico.

V.10 RESUMEN DE RESULTADOS

Inicio de la obra: 24/dic/ 2011

Término de la obra: 13/mar/ 2013

Duración de la obra: 1 año, 2 meses y 19 días.

Distancia total de la obra: 681 m.

Distancia desarrollada con máquina de pierna: 356.5 m.

Distancia desarrollada con jumbo: 324.5 m.

Costo total de la obra: \$507 782.6 USD.

Costo por metro lineal: \$745.64 USD.



Fig. 18. Rampa Candelaria-Estrella

VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

VI.1 ACARREO Y PRODUCCIÓN

El principal objetivo operativo para desarrollar la rampa Candelaria-Estrella fue el de mejorar la eficiencia del acarreo de la mina Estrella y hacer posible el aumento de la producción de dicha mina; a continuación se muestra un comparativo del acarreo de la mina Estrella antes y después de terminar la rampa de comunicación.

Antes de decidir realizar la obra se tenían en producción los niveles 245, 275 y 305, lo que implicaba que para acarrear 10 t de mineral del nivel 305, un camión de bajo perfil tenía que recorrer cargado 2030 m de subida hasta el patio en la superficie de la mina Estrella donde era descargado, después regresar vacío la misma distancia de bajada por otro viaje de 10 t. Además el mineral una vez en el patio de superficie, era vuelto a cargar en camiones de volteo de 17 t, los cuales transportaban el material 1500 m más, hasta la quebradora primaria de quijadas de la planta de beneficio. Sin tomar en cuenta el acarreo final en superficie, un camión para producir 10 t tenía que recorrer 4060 m con un desgaste considerable de sus componentes mayores y de las llantas, debido a que la mitad de la distancia la recorría de subida cargado de mineral en una rampa con 15 % de pendiente. Tomando en cuenta que la velocidad promedio a la que viaja un camión de bajo perfil es de 8 Km/hr., el recorrido total se llevaba 0.5 hrs. (30 min.) desde el nivel 305. Para el caso del nivel 245 se realizaba el mismo proceso, solo que la distancia recorrida hasta superficie era de 1630 m, por lo tanto la distancia total de ida y vuelta era de 3260 m, lo que implicaba un tiempo del recorrido total para producir 10 t de 0.4 hrs. (24 min.); es así que en promedio, un viaje de camión de bajo perfil antes de la realización de la rampa Candelaria-Estrella, recorría 3360 m en 0.45 hrs. (27 min.).

Después de terminar la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella, un recorrido para producir 10 t de mineral en un camión de bajo perfil desde el nivel 305, involucra la distancia de la rampa Candelaria-Estrella que es de 680 m más la distancia del nivel 305 hasta el nivel 365 sobre la rampa General de la mina Estrella la cual es de 400 m, más la distancia desde la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella con la lateral del nivel 438 de la mina Candelaria, hasta las parrillas del mismo nivel sobre la misma lateral del nivel 438 que es de 30 m, por lo tanto la distancia del recorrido desde el nivel 305 hasta las parrillas del manteo es de 1120 m y de 2240 m la distancia total del recorrido de ida y vuelta, que a la velocidad de 8 Km/hr. tarda 0.28 hrs. (16.8 min.). Haciendo un análisis similar para el recorrido desde el nivel 245 se tiene que la distancia desde éste nivel hasta las parrillas es de 1510 m; y de ida y vuelta es de 3020 m, con un tiempo de recorrido de 0.37 hrs. (22.2 min.); de tal manera, se tiene que después de realizar la obra de comunicación entre las minas Estrella y Candelaria, un camión de bajo perfil para producir 10 t, recorre en promedio 2630 m en un tiempo de 0.32 hrs (19.5 min.), con la ventaja de que el camión viaja cargado de bajada y vacío de subida, además de que 680 m los recorre en la rampa Candelaria-Estrella que tiene 9 % de pendiente, lo cual implica un menor desgaste de los componentes mayores y de las llantas del camión.

Por lo anterior se puede concluir que con el desarrollo de la rampa de comunicación Candelaria-Estrella, se ahorraron en promedio de recorridos 730 m lo que se traduce en un ahorro de 21.7 % de la distancia original de acarreo y un ahorro del 27.8 % en el tiempo necesario para producir 10 t de mineral con un camión de bajo perfil (véase Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de los recorridos de acarreo

	ANTERIOR A LA COMUNICACIÓN		POSTERIOR A LA COMUNICACIÓN		DIFERENCIA		% DE AHORRO	
	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	DISTANCIA	TIEMPO
RECORRIDO MÍNIMO	3260	30	2240	16.8	1020	13.2	31.3	44.0
RECORRIDO MÁXIMO	4060	24	3020	22.2	1040	1.8	25.6	7.5
RECORRIDO PROMEDIO	3360	27	2630	19.5	730	7.5	21.7	27.8

En teoría, el simple hecho de haber concluido el desarrollo de la rampa de comunicación Candelaria-Estrella tiene el potencial de aumentar la capacidad de producción de la mina Estrella en un 20%, sin embargo, el desarrollo de la rampa también ayudó a ser costeable el minado de los niveles inferiores del nivel 305 de la mina Estrella (nivel 335, nivel 365 y nivel 395, niveles que actualmente están en producción junto con el nivel 245, nivel 275 y nivel 305). En el año 2012 antes de la conclusión de la rampa, la producción de la mina Estrella fue de 60 535 t, para el año 2013, año en que se terminó la obra en marzo, la producción de la mina Estrella fue de 104 789 t, o sea, que se incrementó en un 73.1 % en un año y para el 2014, la producción aumento hasta 134 989 t (Departamento de Ingeniería y Planeación, Informes mensuales, 2012, 2013, 2014), lo que representa el 133 % de aumento de la producción de la mina Estrella en dos años. Lo anterior, lógicamente no se debe únicamente a la realización del desarrollo de la rampa Candelaria- Estrella, sino a una serie de factores, sin embargo, si es uno de los más importantes de estos factores, pues ha permitido un acarreo más eficiente y económico, del mineral producido en la mina Estrella.

Para poder aumentar la producción de la mina Estrella, aparte del desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella, también se desarrollaron laterales en los niveles 365 y 395, se aumentó la flotilla de camiones de bajo perfil de la mina, se construyeron tolvas metaleras en ambos niveles y se abrieron 8 rebajes en el nivel 365 y 4 en el nivel 395, además de aumentar la plantilla de trabajadores de operación y supervisión.

Actualmente la mina Estrella, produce un promedio de 630 ton/día (Departamento de mina, 2015), lo que representa el 50.56 % de la producción total de la Unidad, convirtiéndola en el área más productiva de las minas de La Colorada, situación inconcebible antes de la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella.

VI.2 VENTILACIÓN

El circuito de ventilación de la mina Estrella, antes de la conclusión del proyecto de la rampa de comunicación Candelaria-Estrella, era un circuito sencillo, en donde el aire fresco entraba por la rampa General de la mina y el aire viciado era extraído por una serie de contrapozos convencionales comunicados entre sí hasta superficie, que con la ayuda de un extractor de 30 Hp de potencia alcanzaba un flujo de 10 000 ft³/min (ver Fig. 20).

Después del término de la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella, el circuito de ventilación de la mina Estrella cambia completamente, pues toda la extracción del aire viciado se realiza por la rampa Candelaria-Estrella con ayuda del extractor del área Sulfuros de la mina Candelaria, el cual tiene la capacidad de extraer 181 500 ft³/min, el cual se encuentra en superficie y comunica a través de un circuito de contrapozos Robbins hasta el nivel 468 de dicha área; además el aire fresco no solo es introducido por la rampa General sino también por los contrapozos convencionales por donde antes era extraído el aire viciado, por lo cual el flujo de aire fresco redireccionado por los contrapozos convencionales es de 10 000 ft³/min adicionales al flujo que es introducido por la rampa General de la mina Estrella que gracias a la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella, también aumenta de 10 000 ft³/min a 35 000 ft³/min, por lo tanto el flujo total de aire fresco alcanza los 45 000 ft³/min, lo que representa un 350 % más flujo de aire fresco que antes de la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella.

SITUACION ORIGINAL DE VENTILACION EN
MINA ESTRELLA

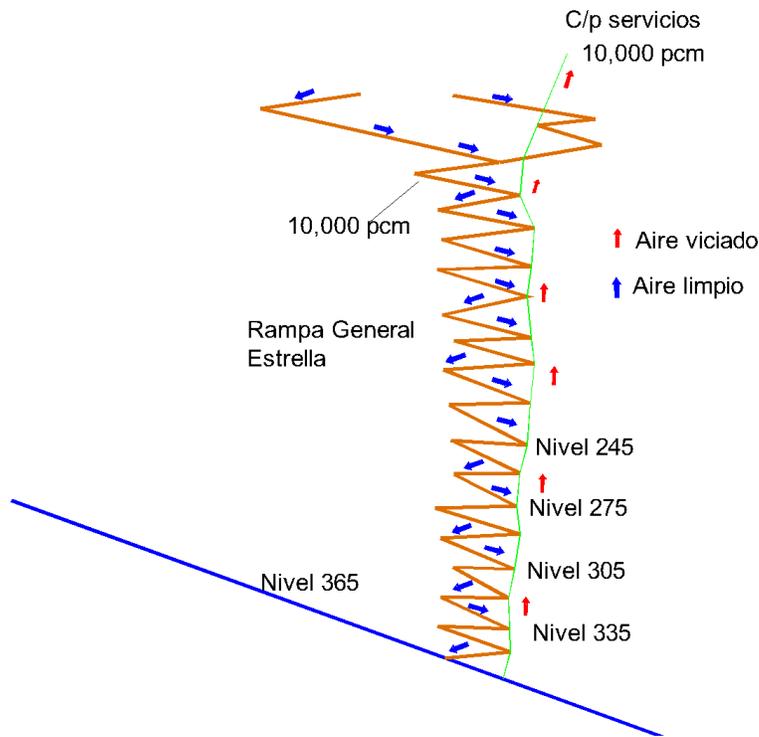


Fig. 20. Circuito de ventilación original en mina Estrella anterior a la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella.

La comunicación de la rampa Candelaria-Estrella, no solamente mejora el circuito de ventilación de la mina Estrella, también mejora considerablemente la ventilación del área Sulfuros de la mina Candelaria, pues el flujo extraído por la rampa Candelaria-Estrella, se distribuye en los rebajes del nivel 453 y 468 de dicha área, los cuales antes del término de la obra presentaban problemas de ventilación y después del término de la obra fueron alimentados por 45 000 ft³/min adicionales de aire relativamente fresco⁴ (ver Fig. 21).

⁴ Aproximadamente 25 000 ft³/min de los 45 000 ft³/min totales son utilizados para ventilar los rebajes de la mina Estrella, por lo tanto no se puede decir que el total del flujo sea de aire 100 % fresco, sin embargo si ayuda considerablemente a disminuir la sensación térmica y al aumento de la disipación de los gases tóxicos producto de la combustión interna de los equipos de rezagado y por las voladuras realizadas en los rebajes de los niveles 453 y 468 del área Sulfuros de la mina Candelaria.

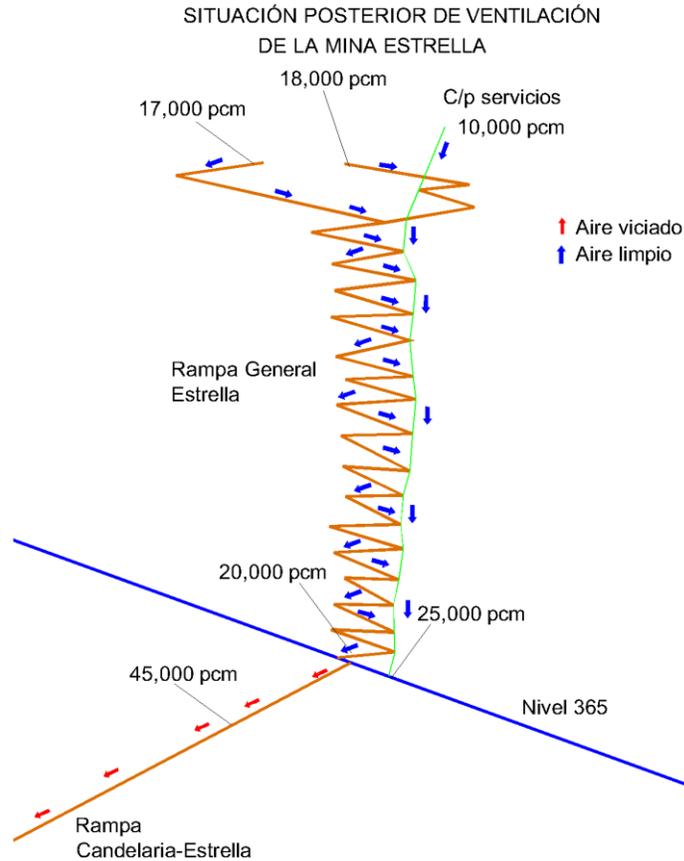


Fig. 20. Circuito de ventilación original en mina Estrella posterior a la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella.

Otra ventaja de la comunicación Candelaria-Estrella en lo que a ventilación se refiere, es que gracias a dicha comunicación, es posible integrar los circuitos de ventilación de ambas minas, lo que permite rediseñar el circuito de ventilación con la infraestructura existente, y también permite tener una mayor cantidad de alternativas para diseñar un nuevo circuito de ventilación integral con nueva infraestructura; por ejemplo al desarrollar un nuevo Robbins en la zona oriente de la mina Candelaria, en el circuito de ventilación de la mina Estrella, el flujo se incrementa a 89 800 ft³/min.(ver Fig. 22).

SITUACIÓN POSTERIOR DE VENTILACIÓN
DE LA MINA ESTRELLA CON C/POZO DE LA ZONA ORIENTE

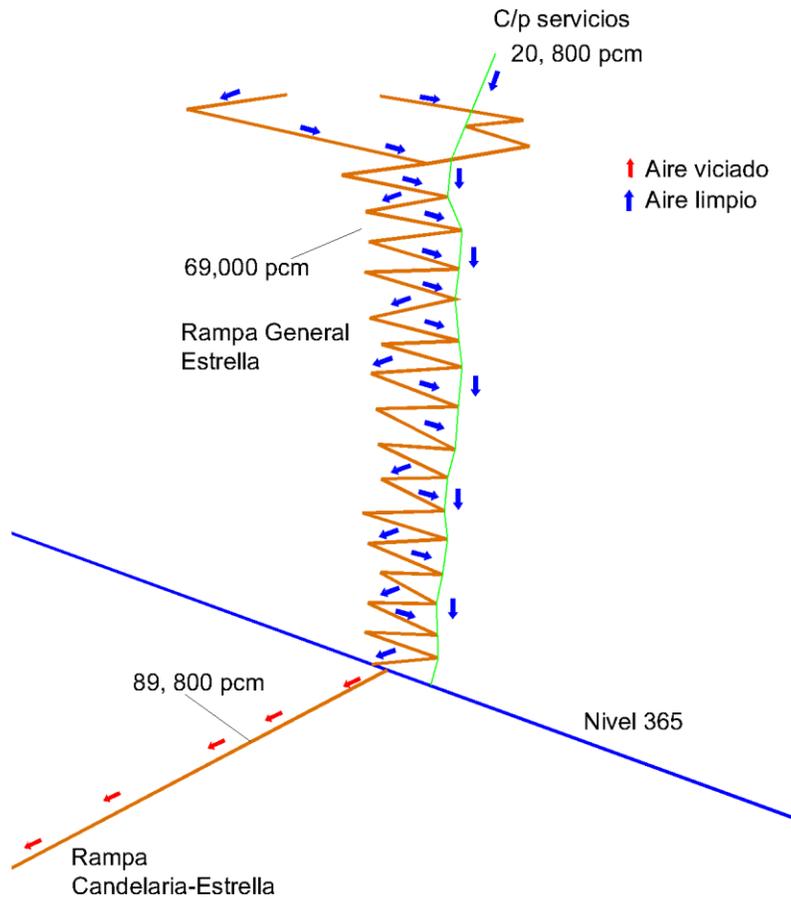


Fig. 22. Circuito de ventilación original en mina Estrella posterior a la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella y al desarrollo del Robbins de ventilación de la zona oriente de la mina Candelaria.

Actualmente el circuito de ventilación de las minas Candelaria y Estrella, es un circuito integral, que se ha ido enriqueciendo a través del desarrollo de una serie de contrapozos Robbins de ventilación tanto en la mina Candelaria como en la mina Estrella, que aunados a la comunicación de la rampa Candelaria -Estrella, ha permitido controlar la sensación térmica de la mayor parte de las áreas de operación de ambas minas, manteniendo los parámetros tanto de temperatura como de niveles permisibles de gases tóxicos dentro de la normatividad correspondiente; lo anterior no hubiera sido posible sin la realización de la rampa Candelaria-Estrella y de ahí su importancia en toda la operación de las minas involucradas.

VI.3 COSTOS

Sin lugar a dudas, el factor principal para decidir realizar el desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella, implícitamente fue la oportunidad de reducir los costos operativos de la mina; para saber si este objetivo se cumplió satisfactoriamente, se debe hacer el siguiente análisis.

Los costos operativos en los cuales el desarrollo de una rampa de comunicación entre las minas Candelaria y Estrella puede influir, son directamente los costos debidos al acarreo del mineral, los cuales en el año 2012, antes de la conclusión de la obra mencionada ascienden a \$133 055.1 USD con el siguiente desglose:

Tabla 3.-Costos de acarreo de la mina Estrella año 2012.

MINA ESTRELLA	\$USD
ACARREO-ESTRELLA	133,055.1
SALARIOS ARGENTUM PANAMERICANA	1,267.7
DIESEL ACARREO ESTRELLA	48,728.6
REPARACIONES - MANTENIMIENTO MECANICO - ACARREO ESTRELLA	34,362.3
COMPONENTES MAYORES EQS MOV C 1 CAMION BAJO PERFIL EJC 417	3,683.8
LLANTAS ACARREO ESTRELLA C 4 CAMION BAJO PERFIL EJC 417	10,165.9
DIST M.O. ACARREO ESTRELLA	11,987.9
DIST MATS ACARREO ESTRELLA OXIDOS	23,913.6
DIST CONTRATISTAS ACARREO ESTRELLA	1,480.6

Para el año 2013, en el cual se concluyó la rampa Candelaria-Estrella en el mes de marzo, los costos del mismo parámetro se desglosaron de la siguiente manera:

Tabla 5.- Costos de acarreo de la mina Estrella año 2013.

MINA ESTRELLA	\$USD
ACARREO-ESTRELLA	174,277
SALARIOS ARGENTUM PANAMERICANA	73,004
DIESEL ACARREO ESTRELLA	45,868
REPARACIONES - MANTENIMIENTO MECANICO - ACARREO ESTRELLA	21,531
COMPONENTES MAYORES EQS MOV C 1 CAMION BAJO PERFIL EJC 417	420
LLANTAS ACARREO ESTRELLA C 4 CAMION BAJO PERFIL EJC 417	0.0
DIST M.O. ACARREO ESTRELLA	27,277
DIST MATS ACARREO ESTRELLA OXIDOS	3,517
DIST CONTRATISTAS ACARREO ESTRELLA	2,658

Y finalmente para el año 2014, año que se pudo utilizar todo el período, la rampa Candelaria-Estrella, los costos de acarreo tuvieron el siguiente desglose:

Tabla 6.- Costos de acarreo de la mina Estrella año 2014.

MINA ESTRELLA	\$USD
ACARREO-ESTRELLA	334,158.8
SALARIOS ARGENTUM PANAMERICANA	167,650.2
DIESEL ACARREO ESTRELLA	106,224.5
REPARACIONES - MANTENIMIENTO MECANICO - ACARREO ESTRELLA	3,985.5
COMPONENTES MAYORES EQS MOV C 1 CAMION BAJO PERFIL EJC 417	0.0
LLANTAS ACARREO ESTRELLA C 4 CAMION BAJO PERFIL EJC 417	0.0
DIST M.O. ACARREO ESTRELLA	49,551.2
DIST MATS ACARREO ESTRELLA OXIDOS	3,494.6
DIST CONTRATISTAS ACARREO ESTRELLA	10,242.0

(Mayela Blanco, 2012, 2013, 2014)

De lo anterior se puede observar, que los costos brutos debidos al acarreo de la mina Estrella, se fueron incrementando año con año, hasta más del 150 % en la comparación entre el año 2014 y el 2012; lo cual debe ser interpretado con cuidado, pues en primera instancia se aprecia que después del desarrollo de la rampa de comunicación Candelaria-Estrella, los costos relacionados al acarreo de la mina Estrella, no disminuyeron, sin embargo, el parámetro de medición para saber si los costos aumentaron o decrecieron no es el del costo bruto, sino el de costo por tonelada acarreada. El aumento de los costos brutos está en función del aumento de los recursos asignados (personal, equipo, insumos, etc.) con el objetivo de aumentar la producción de la mina Estrella, por lo tanto para obtener el parámetro de costo por tonelada acarreada se tiene la siguiente tabla:

Tabla 7.- Costos por tonelada acarreada de la mina Estrella.

Año	Costos de acarreo \$USD	Toneladas acarreadas TON	Costo por tonelada \$USD/TON
2012	133,055.10	60,535	2.20
2013	174,277	104,789	1.66
2014	334,158.80	134,989	2.48

De la tabla anterior, se observa que los costos por tonelada en el año 2013, que es el año en que en el mes de marzo se comunica la rampa Candelaria-Estrella, disminuyen en un 24.5 % en comparación con el año 2012, cuando la obra aún no se concluía, sin embargo para el año 2014, año en que se utiliza la rampa Candelaria-Estrella en la totalidad del período, los costos se incrementan en un 12.7 % en comparación con el año 2012 y en un 49.3 % en comparación con el año 2013.

Haciendo un análisis de los datos anteriores, se puede notar que cuando las condiciones operativas fueron similares, o sea, entre los años 2012 y 2013, los costos por tonelada acarreada tuvieron una reacción positiva, pues los recursos asignados a la operación entre un año y otro fueron muy similares, la diferencia fue que a partir de abril del año 2013, se comenzó a acarrear el mineral generado en la mina Estrella a través de la rampa Candelaria-Estrella, lo cual influyó en la reducción de los tiempos de recorrido y por consecuencia en el aumento del tonelaje acarreado y en la disminución de los costos por tonelada acarreada.

Por otro lado, para el año 2014, las condiciones operativas cambiaron, hay que recordar que parte del plan para poder lograr el objetivo de aumentar la producción de la mina Estrella, fue el desarrollo de laterales, accesos, contrapozos de ventilación y para tolvas metaleras a partir del nivel 365. Por lo tanto, los recursos asignados a la operación en general y al acarreo en particular,

aumentaron y en consecuencia también aumentaron los costos, sin embargo, aunque la producción también aumentó, no aumentó en la misma proporción que los costos relacionados con los recursos asignados al acarreo para priorizar el desarrollo de las obras de preparación del año 2014, que posteriormente servirán para incrementar la producción de la mina en los años siguientes.

De lo anterior se puede establecer que se hace necesario reducir los costos por tonelada acarreada, lo cual sólo se puede lograr si se reducen los costos debidos al acarreo o aumentando la producción de la mina o una combinación de ambos factores; haciendo un ejercicio para pronosticar si este objetivo se puede cumplir en el año 2015, considerando que los costos relacionados al acarreo de la mina Estrella se mantengan en las mismas cifras que el año 2014 y que el promedio de producción de la mina también se mantuviera en la misma relación que en el mes de marzo del 2015, o sea de 630 Ton/día, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 8.- Costos por tonelada acarreada de la mina Estrella con pronóstico para el año 2015.

Año	Costos de acarreo \$USD	Toneladas acarreadas TON	Costo por tonelada \$USD/TON
2012	133,055.10	60,535	2.20
2013	174,277	104,789	1.66
2014	334,158.80	134,989	2.48
2015	334,158.80	229,950 ⁵	1.45

Por lo tanto si se mantienen los costos de acarreo y la producción actual de la mina Estrella, es factible que los costos por tonelada acarreada disminuyan a \$1.45 USD, lo cual representa un decremento del 34 % en relación del año 2012, antes de que se comunicará la rampa Candelaria-Estrella y en un 12.6 % y 41.5 % en comparación con los años 2013 y 2014 respectivamente.

⁵ Las toneladas acarreadas están referidas al promedio de tonelaje real del mes de marzo del 2015 de la mina Estrella (Departamento de mina, 2015)

VII. CONCLUSIONES

De los datos arrojados por el informe anterior, se concluye:

- Que el desarrollo exitoso de la rampa de comunicación entre las minas Candelaria y Estrella disminuye en promedio un 21.7 % la distancia de acarreo de la mina Estrella, lo que implica una reducción del tiempo necesario para acarrear y producir cierta cantidad de mineral, en comparación del tiempo necesario para acarrear y producir la misma cantidad de mineral antes de la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella.
- Que la reducción de la distancia de acarreo y el cambio de trayecto del mismo acarreo, debido al desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella, contribuyen a disminuir considerablemente el desgaste de los equipos de acarreo.
- Que el desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella, es uno de los factores más importantes, que contribuyen a hacer posible el aumento progresivo de la producción de la mina Estrella; dicho aumento alcanzó el 133 % si se compara la producción entre el año 2012, cuando todavía no era concluida la obra y el año 2014, año en el cual fue utilizada la rampa Candelaria-Estrella en todo el período para el acarreo del mineral producido en la mina Estrella.
- Que la comunicación entre las minas Candelaria y Estrella, ayudó significativamente a mejorar los circuitos de ventilación de las minas Candelaria y Estrella, pues al integrar los dos circuitos, el flujo de aire fresco que se añade al circuito de ventilación de la mina Estrella, alcanza el 350 %, trayendo con ello los beneficios implícitos; además suma 45 000 ft³/min al circuito de ventilación de la mina Candelaria en áreas con

problemas de ventilación inadecuada, contribuyendo también a resolver dichos problemas oportunamente.

- Que la comunicación de la rampa Candelaria-Estrella, otorga la posibilidad de rediseñar un circuito integral de ventilación de ambas minas, lo cual permite incluir más desarrollos y nueva infraestructura, que a su vez permita mejorar las condiciones de ventilación de las minas Candelaria y Estrella, como viene sucediendo desde la conclusión de la rampa Candelaria-Estrella.
- Que el uso de la rampa Candelaria-Estrella como rampa de acarreo del mineral producido en la mina Estrella, resultó en una primera etapa en la reducción de los costos debidos al acarreo de la mina Estrella, dicha reducción alcanzó el 24.5 % en el comparativo entre los años 2012 y 2013, antes y después de finalizar la obra respectivamente; No obstante para el año 2014 se experimenta un incremento en los costos por tonelada acarreada de un 11.29 % y 33.06 % en comparación de los años 2012 y 2013 respectivamente, lo cual puede explicarse por ser el año 2014 un período de ajuste, entre el aumento de la producción y el desarrollo de las obras de preparación.
- Que de mantener en el año 2015 un comportamiento similar al año 2014, la cifra correspondiente a los costos de acarreo de la mina Estrella y de igual forma, mantenerse todo el año 2015 la producción de mineral de la mina Estrella como en el mes de marzo del presente año, podría resultar en una disminución de los costos por tonelada relacionados con el acarreo de la mina Estrella, que puede alcanzar hasta un 34 % en comparación con el año 2012, antes del término del desarrollo de la rampa Candelaria-Estrella.

Y finalmente:

- Que el desarrollo exitoso de la rampa de comunicación Candelaria-Estrella, ha contribuido al mejoramiento integral de la operación de la mina Estrella, pues ha sido clave para aumentar la eficiencia del acarreo de mineral producido en la mina Estrella, ha ayudado considerablemente al crecimiento de la producción de la mina Estrella, ha favorecido la mejora de los circuitos de ventilación de las minas Candelaria y Estrella y por último, contribuye a la posibilidad de reducir los costos operativos de la mina Estrella.

VIII. ANEXOS.

VIII.1 ANEXO 1. GLOSARIO

Acarreo. Transporte de material (López, 2003). En el presente trabajo en específico, “acarreo” se refiere al transporte de material realizado con camiones de bajo perfil, de un punto a otro de la mina.

Ancla Split Set. Ancla de fricción de alta resistencia, con una ranura en toda su longitud y con diámetro mayor al barreno donde se va a colocar. En uno de sus extremos lleva soldado un anillo de acero que tiene la finalidad de sujetar la placa base contra el macizo rocoso y en el otro extremo tiene un adelgazamiento cónico para facilitar su introducción al barreno donde será colocada el ancla (López, 2003).

Corte y Relleno. Método de explotación minera que consiste en rellenar con tepetate o jal los huecos producidos por la extracción del mineral, ayudando de esta manera al sostenimiento de las paredes laterales (López, 2003).

Desarrollo. Conjunto de operaciones mineras previas a la explotación y disfrute del mineral, cuyo objetivo principal es el de preparar las áreas productivas (López, 2003).

Factor de Carga. Este término se define como la cantidad de explosivo en peso, necesario para avanzar una unidad de longitud determinada en los desarrollos, o bien, para tumbar un volumen determinado de material en los tumbes.

Jumbo Electro-Hidráulico. Son equipos con máquinas perforadoras de roca montadas sobre plumas multidireccionales y todo el conjunto sobre un chasis autopropulsable, se ocupan en trabajos de grandes dimensiones. Disponen de uno

o más brazos, en cada uno de los cuales llevan una máquina perforadora que pueden trabajar de forma simultánea, perforando igual número de barrenos. Su empleo es adecuado en el cuele rápido de obras de gran sección o en grandes rebajes de producción (López, 2003).

Máquina de Pierna Neumática. También conocida como de extensión, es una máquina de barrenación para usos múltiples de gran versatilidad, pues lo mismo trabaja de forma ascendente, descendente o de frente. Está constituida por una pistola común, montada sobre una pierna neumática o empujador de apoyo, que posee un cilindro o vástago y una articulación superior (López, 2003).

Mena. Se dice del agregado de minerales, de los cuales se pueden extraer con provecho económico, uno o más metales (López, 2003).

Manteo. Acarreo mecanizado de mineral de forma vertical, a través de un tiro con ayuda de un malacate.

Rampa. Obra minera subterránea principal, con pendiente, que conecta dos o más niveles de la mina y se usa para traslado de vehículos autopropulsados (López, 2003).

Recursos Minerales. Es el volumen de mineral cuya existencia tiene una razonable posibilidad de existir, hipótesis basada fundamentalmente en conocimiento de la potencia del depósito, en la continuidad de las condiciones geológicas y en la extensión de los cuerpos mineralizados desarrollados hasta el momento, pero existen pocas o ninguna muestra medidas para su estimación. Panamerican Silver las clasifica en: recursos medidos, recursos indicados y recursos inferidos.

Reservas Minerales. Son el volumen de mineral medido y explotable para operaciones a futuro (López, 2003), Panamerican Silver las clasifica en dos tipos:

reservas probadas y reservas probables, las primeras se refieren al volumen del mineral que es completamente conocido, expuesto y que se encuentra en disposición inmediata para ser extraído y las segundas se refieren al volumen de mineral que se encuentra razonablemente asegurado pero sin una certeza absoluta, generalmente los bloques de reservas probables están relacionados con los bloques de reservas probadas (López, 2003).

Rezagado. Levantar el material fragmentado después de una voladura (López, 2003), En el presente trabajo se refiere al realizado con cargadores frontales (scoop trams).

Scoop Tram. Vehículo para cargado frontal de material (mineral o tepetate), de bajo perfil y articulado, usado en las minas subterráneas (López, 2003).

Sistema RMR (Rock Mass Rating System). Técnica desarrollada por Z. T. Bieniaski durante los años 1972 a 1973, para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos, dicha clasificación está basada en 6 parámetros estructurales, fácilmente determinados en campo y laboratorio, los cuales son: resistencia a la compresión simple de la roca, designación de la calidad de la roca (RQD), espaciamiento entre discontinuidades, estado físico de las discontinuidades, presencia de agua subterránea y orientación de las discontinuidades (Nava, 1997).

Tepetate. Roca encajonante o rezaga sin valor comercial (López, 2003).

Veta. Cuerpo mineralizado de forma tabular alojado entre dos planos, que se caracteriza por presentar rumbo y echado (López, 2003).

VIII.2 ANEXO 2. NORMAS O REGLAMENTOS APLICABLES A MINAS METÁLICAS

La Norma Oficial Mexicana NOM – 010 – STPS – 1999. Establece los niveles máximos permisibles de sustancias contaminantes de acuerdo al tipo de exposición. Las definiciones de niveles de concentración permisibles son:

Nivel Máximo Permisible. Se refiere a la concentración máxima de un elemento o compuesto químico, que no debe superarse en la exposición de los trabajadores considerando sus tres categorías:

Concentración Promedio Ponderada en el Tiempo (CPT). Para 8 horas de exposición diarias y a la cual la mayoría de los trabajadores expuestos no presentan efectos adversos a la salud.

Concentración para Exposición a Corto Tiempo (CCT). Concentración en la cual el tiempo no deberá exceder de 15 minutos hasta 4 veces por jornada y con periodos de no exposición de al menos 1 hora entre dos exposiciones sucesivas. En todo caso, la concentración promedio ponderada en el tiempo para la exposición total que incluya exposiciones cortas, no deberá exceder a la prevista para 8 horas de exposición diaria.

Concentración Pico (P). Es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante la exposición en el trabajo. Dichas concentraciones pueden expresarse en ppm y / o mg / m^3 y cuya relación sigue la ecuación siguiente:

$$\text{ppm} = \text{mg} / \text{m}^3 \times (24.25) / \text{PM} \times 60 / \text{P} (\text{T} + 273) / 298$$

donde:

P = Presión de la atmósfera laboral en mm Hg

T = Temperatura de la atmósfera laboral en °C
PM = Peso molecular de la sustancia en cuestión

760 = Presión Normal (mm HG)

298 = Temperatura Normal (°K)

24.25 = Volumen molar (l / mol) a 25 °C y 760 mm Hg.

Para minas diferentes a las de carbón las concentraciones permisibles de los siguientes gases tóxicos son:

	CPT		CCT	
	ppm	mg / m ³	ppm	mg / m ³
Monóxido de carbono, CO	50	55	400	400
Dióxido de Carbono, CO ₂	5,000	9,000	15,000	27,000
Óxido nitroso, NO	25	30	35	45
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	3	6	5	10
Dióxido de azufre, SO ₂	2	5	5	10
Sulfuro de Hidrogeno, H ₂ S	10	14	14	21
Polvos	Variable según la mineralogía del polvo			
Oxígeno, O ₂	19.5 – 21 %			

(Orellana, 2009).

En el año 2014 se publicó la versión más reciente de la Norma Oficial Mexicana aplicables a las minas metálicas, sin embargo, durante el desarrollo de la rampa Cadelaria-Estrella la versión vigente era la de 1999.

Regresar a [SOLUCIÓN A LA VENTILACIÓN](#)

IX. REFERENCIAS

Aguiluc, S.A. de C.V. 2012. *Estudio de geomecánica para Plata Panamericana Unidad la Colorada.* Calera de Victor Rosales, Zacatecas, México : Aguiluc S. A. de C. V., 2012.

Departamento de mina. 2015. *Bitácora de operación, marzo.* Unidad minera La Colorada, Chalchihuites, Zacatecas, México : s.n., 2015.

Departamento de Mina, Ingeniería Industrial. 2013. *Costos por obra.* La Colorada, Chalchihuites, Zacatecas México. : s.n., 2013.

Departamento de Ingeniería y Planeación, Informes mensuales. 2012, 2013, 2014. *Mine Production.* Unidad La Colorada, Chalchihuites, Zacatecas, México. : s.n., 2012, 2013, 2014.

Dominguez, Francisco. 2015. *Departamento de Geología, Geologo.* [entrev.] Cuauhtémoc Guzmán. La Colorada, Chalchihuites, Zacatecas, Mexico, 20 de marzo de 2015.

Longoria, Fernando. 2015. *Departamento de Geología, Asistente de Geología.* [entrev.] Cuauhtémoc Guzmán López. La Colorada, Chalchihuites, Zacatecas, México, 10 de marzo de 2015.

López, Victor. 2003. *Fundamentos para la explotación de minas. Fundamentos para la explotación de minas.* México D.F. : Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2003, pág. 503.

Mayela Blanco, Departamento de Ingeniería y Planeación, Costos, La Colorada, Panamericansilver Mexico. 2012, 2013, 2014. *La Colorada Cost Report.* Unidad La Colorada, Chalchihuites, Zcatecas, México : s.n., 2012, 2013, 2014.

Nava, Rodolfo. 1997. *Técnicas básicas para el control de la estabilidad de las obras subterráneas. Técnicas básicas para el control de la estabilidad de las obras subterráneas.* Zacatecas, Zac, México : M. C. Rodolfo J. Nava Rojas, 1997, pág. 215.

Orellana, Ariel. 2009. *Ventilación de Minas. Ventilación de Minas.* Torreón, Coahuila, México : Ariel H. Orellana Wiarco, 2009.

Pan American Silver. 2014. [En línea] 2014. www.panamericansilver.com.

UNP. 2013. unp/museo_virtual. [En línea] 2013.
www.unp.edu.ar/museovirtual/Minerales/glosario-htm.

Wafforn, Martin y Steinman, Michael. 2013. *TECHNICAL REPORT PRELIMINARY ECONOMIC ANALYSIS FOR THE EXPANSION OF THE LA COLORADA MINE*. Chalchihuites, Zacatecas : Pan American Silver Corp., 2013.