



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño y construcción de un sistema para el manejo de agua ácida en la unidad Milpillás

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero de Minas y Metalurgista

P R E S E N T A

Héctor René Patricio Ortiz

ASESOR(A) DE INFORME

José Enrique Santos Jallath



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Índice

Agradecimientos	4
Resumen	6
1. Introducción	7
2. Generalidades de la unidad Milpillas	8
2.1 Localización	8
2.2 Clima e hidrografía	9
2.3 Geología del yacimiento	10
2.4 Descripción de la operación Milpillas	11
2.4.1 Mina	11
2.4.2 Proceso de Beneficio	15
3. Definición del problema	24
4. Propuesta del proyecto de bombeo	30
4.1 Diseñar y construir un sistema de neutralización en interior mina	30
4.2 Diseñar y construir un sistema de neutralización en superficie para aplicarse en interior mina	32
4.3 Diseñar y construir un sistema de bombeo independiente en interior mina	34
5. Desarrollo del proyecto	35
5.1 Aforamiento y toma de muestras	35
5.2 Análisis de resultados	36
5.3 Propuesta del proyecto	37
5.4 Obra minera	39
5.5 Selección de la tubería	40
5.6 Selección del equipo de bombeo	49
5.7 Instalación tubería.	52
5.8 Obra Civil	61
5.9 Instalación de bombas	66
5.10 Instalación de válvulas de control y flujómetro	67



5.11 Descarga de superficie a pileta de refino	71
5.12 Costos	71
6. Operación y resultados	72
6.1 Arranque del proyecto.....	72
6.2 Análisis del agua descargada al arroyo.....	73
6.3 Gasto bombeado	76
6.4 Monitoreo del proyecto en tiempo real	77
7. Conclusiones	78
Referencias.....	80



Agradecimientos

A mis padres

En esta etapa de mi vida, agradezco en primer lugar a mis padres Gabina Ortiz y Maurilio Patricio por darme todo su apoyo incondicional hasta el día de hoy, en las buenas y sobre todo en las malas, eso no se paga con nada, por lo que siempre estaré agradecido con ellos y lo menos que puedo hacer es poner en práctica los valores que me inculcaron: honestidad, integridad, humildad, amistad, responsabilidad y respeto. Gracias por estar siempre pendiente de mi salud, familia y trabajo, lo cual reafirma el gran amor hacia mí.

A mi familia y hermana

Esposa e hijos: Ana, Jimena, Jhaziel y Jamir, por ser el motor principal de mis actividades día a día, por aceptarme como soy y confiar en mi como responsable de nuestra familia.

Hermana, esposo y sobrinas, Magali, Berna, Kamila y Valeria por ser una alegría en mi vida y siempre estar unidos bajo un techo de confianza y respeto conmigo.

A todos ustedes gracias por ser el pilar en mi vida agradezco su cariño y apoyo. En mí, tienen el vivo ejemplo de que nunca es tarde para hacer las cosas, lo que único que se debe de tener es decisión para realizarlas.

A mis profesores y la UNAM

Por la dedicación en preparar personas de gran calidad en los aspectos humanos, técnicos y profesionales, considerar a sus alumnos como compañeros, amigos y colegas, donde creo ha sido una de las bases para que nuestro gremio minero haya crecido hasta lo que es hoy. En particular a mis sinodales Ingenieros José Santos, Víctor López, Juan José Obregón, José de Jesús Huevo y Viridiana Guzmán que me brindaron su apoyo al final de esta etapa.

A la UNAM por darme la oportunidad de ser parte de esta grandiosa institución de la cual siempre llevaré con orgullo en el corazón. En especial el CCH Sur y la Facultad de Ingeniería.

A Peñoles

Por ser la empresa que me recibió para poner en prácticas mis conocimientos recién terminada la carrera, por la confianza que me ha brindado a lo largo de 12 años y por el apoyo en este proyecto. A los Ingenieros Roberto González, Gustavo Martínez, Humberto Moreno, Francisco Carrillo y David Guzmán de los cuales he aprendido demasiado para poder hacer mejor mi trabajo.

A mis compañeros y amigos

Porque hemos pasado por experiencias de aprendizaje y también han aportado en mi formación en todos los sentidos.



INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA





Resumen

Este trabajo fue desarrollado para controlar la generación de agua ácida en el interior de la mina de la unidad Milpillas perteneciente a Industria Peñoles, la cual tiene un $\text{pH} < 3$, producto de una lixiviación *in situ*. El objetivo principal fue minimizar la probabilidad de un impacto ambiental al exponer esta agua en superficie.

Aunado a esto, también se empezaron a presentar desgastes prematuros en las instalaciones de bombeo y equipos de barrenación principalmente. En 2014 se buscaron varias opciones para poder controlar este fenómeno natural. Se invitaron proveedores nacionales y extranjeros para implementar un sistema de preparación y dosificación de lechada de cal con el objetivo de neutralizar esta agua. Las opciones no fueron viables, por lo que se decidió construir un sistema independiente de bombeo para llevar el agua a superficie e incorporarla al proceso de planta.

La particularidad de este sistema de bombeo fue que se seleccionó una tubería utilizada en la industria del petróleo, basada en fibra de vidrio y recubrimiento epóxico interno.

En 2015 se realizó la obra minera necesaria para esta infraestructura, también se adquirió una parte de los materiales y equipos para el proyecto.

Durante 2016, llegó el resto de los equipos y se inició con la instalación de los mismos. La instalación de la tubería fue un caso especial para las minas subterráneas en México, ya que se colocaron 850 m en sólo 2 tramos.

En noviembre de 2016 se puso en marcha el nuevo sistema de bombeo, donde al cierre de abril de 2019 se han bombeado $782,091 \text{ m}^3$. Esta agua además aportaba cobre disuelto que se ha recuperado en el proceso de lixiviación en patios.

Por lo tanto, el objetivo principal en materia de medio ambiente se cumplió exitosamente, con el beneficio adicional de no tener ningún tipo de accidente durante su ejecución.



1. Introducción

Como consecuencia de la intensa actividad minera se han producido a lo largo de la historia enormes problemas de contaminación ambiental. Uno de los problemas más importantes ocasionados es la acidificación de las aguas, constituyendo el llamado drenaje ácido de minas (DAM), con la consecuente disolución de metales. Este trabajo desarrolla la solución para controlar de manera confiable el manejo de esta agua en la unidad Milpillás con el objetivo principal de minimizar la probabilidad de un impacto ambiental.

Uno de los problemas que se debe destacar con la presencia de aguas ácidas las cuales pueden tener un origen variado, es que éstas se originan cuando el agua presente en el yacimiento se pone en contacto con la pirita provocando la oxidación hierro.

Conforme la profundización de la mina avanza, los cuerpos económicos han llegado a una zona de lixiviación que divide mineralógicamente los óxidos de cobre con los sulfuros de cobre, el agua que pasa por esta zona descompone químicamente la pirita que se encuentra en el yacimiento convirtiéndola en ácida ($\text{pH} < 3$) lixiviando el cobre en el mineral; en 2014 se inicia con una serie de propuestas para eliminar el agua ácida del sistema general de bombeo y así evitar el desgaste prematuro de estas instalaciones, de los componentes de los equipos de barrenación y prevenir un posible impacto ambiental en superficie.



2. Generalidades de la unidad Milpillás

Unidad Milpillás única mina monometálica de Industrias Peñoles ubicada en el estado de Sonora ha extraído durante sus 12 años de operación 26 Mt de mineral de cobre con una ley promedio de 1.180% Cu, lo cual equivale a una producción total de 260,763 t de cátodos (abril 2019).

2.1 Localización

La unidad minera Milpillás se localiza en el municipio de Santa Cruz, Sonora, el cual colinda con los Estados Unidos de América y se encuentra entre los municipios de Cananea y Nogales a una altura promedio sobre el nivel del mar de 1,450 m y tiene unas coordenadas geográficas:

Latitud 31° 07' 00" N y Longitud 110° 20' 00" W

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

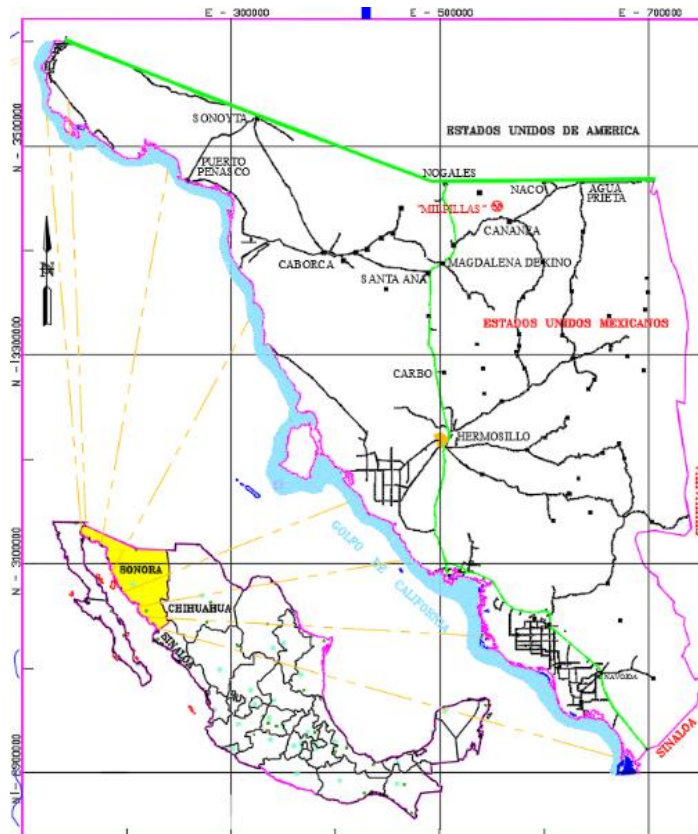


Figura 1. Localización Unidad Milpillás



2.2 Clima e hidrografía

El clima en el lugar es semiseco templado con lluvias en verano y un porcentaje de lluvias en invierno de 5 a 10%, con verano cálido. La temperatura media anual es de 16 °C a 18 °C. La temperatura media en el tiempo de invierno es de 2 °C y la temperatura media en el tiempo de verano es de 30 °C. La precipitación promedio anual se encuentra entre 400 a 600 mm, con un promedio de 60 días de lluvia (INIFAP, 2010-2015).

Las precipitaciones pluviales ocurren en mayor proporción en el periodo de junio a octubre, mientras que las menores precipitaciones se presentan de octubre a mayo. Para el cálculo de la precipitación media de la cuenca arroyo Cocóspera, se utilizaron los registros de precipitación recolectados por la estación climatológica Fresnos (CESAVE) ubicada en el municipio de Santa Cruz; sus coordenadas geográficas son 31° 11' 41.28" y 110° 35' 56.58" (INIFAP). En la Tabla 1 se muestran los datos de precipitación pluvial de la región.

Tabla 1. Precipitación media mensual (mm), durante los años 2014, 2015 y 2016.

Fecha	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	Media
Precipitación	56.2	6.7	32.3	9.6	0.15	48	44

Fecha	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
Precipitación	93.2	110.6	96.3	49.5	7.8	19.4	530

Santa Cruz tiene un solo río de poco caudal el cual lleva su nombre, su cauce discurre al sur hacia México para pasar a Santa Cruz en Sonora y luego girar hacia el oeste al sur de la Sierra de San Antonio cerca de Miguel Hidalgo (San Lázaro). Desde aquí se dirige hacia el norte en dirección noreste para reingresar a los Estados Unidos de Norteamérica al este de Nogales y al suroeste de Kino Springs. Entonces continúa en dirección norte de la frontera internacional para atravesar el Parque Nacional Histórico de Tumacácori, Tubac, Green Valley, Sahuarita, San Xavier del Bac y Tucson hacia las llanuras de Santa Cruz justo al sur de Casa Grande y el río Gila. Existen varios arroyos con caudal solamente en épocas de lluvia denominados Ojo Zarco, El Jacalito, El Lajoncito, El Presidio y El Tambor. Existen 85 represas distribuidos en diversos puntos del municipio; 68 para extracción de agua, además tres de galerías filtrantes.

Los recursos hidrológicos del estado de Sonora se alimentan de una precipitación pluvial media que oscila entre 400 y 600 mm anuales. Las corrientes que drenan al interior, sumadas a los depósitos (lagunas y presas) y aguas subterráneas integran el potencial hidrológico de la entidad. La mayor parte del agua subterránea se extrae en zonas de condiciones climáticas de tipo árido; la recarga natural de los acuíferos ocurre por precipitaciones pluviales, nevadas y de los pocos escurrimientos perennes que existen en la entidad. Es entonces el agua subterránea, la fuente más importante para el sostenimiento de las distintas actividades que se desarrollan en el estado.

2.3 Geología del yacimiento

El yacimiento de Milpillas es un pórfido de cobre con enriquecimiento supergénico, sepultado por un potente paquete de conglomerados terciarios y encajonado en rocas volcánicas e intrusivas tipo pórfido de edad mesozoica.

Las rocas presentes localmente en el depósito de Milpillas y que han sido cortadas tanto en los barrenos de exploración como en las obras mineras, son las volcánicas de la formación Henrietta y Mesa y al menos tres tipos de pórfidos, dos relacionados a la mineralización (uno tipo feldespático y otro cuarzofeldespático) y un tercero de tipo feldespático estéril y sin vetillas de cuarzo magmático como se aprecia en la Figura 2.

En superficie, en el área de la mina, son escasos los afloramientos, y el yacimiento está cubierto por un potente paquete de conglomerados y depósitos de aluvi3n. El lugar tiene relleno de aluvi3n de entre 80 a 250 m de espesor.

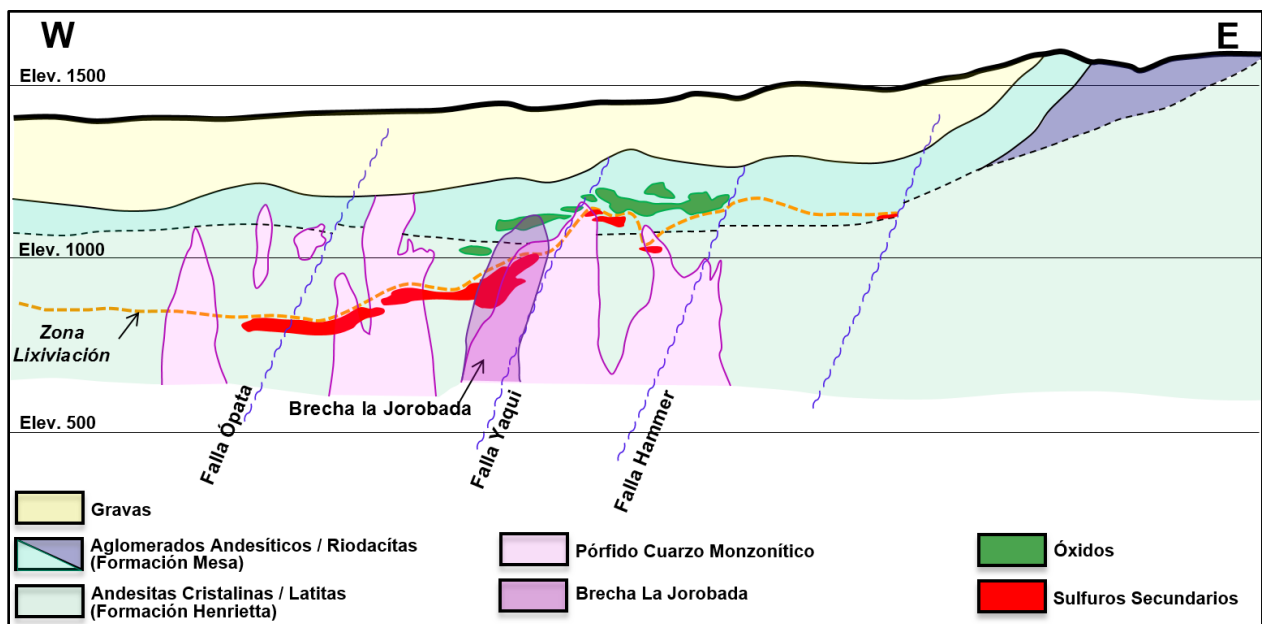


Figura 2. Secci3n tipo Milpillas mostrando la litología general del yacimiento

En general la geomorfología es de lomeríos bajos y suaves con formas redondeadas; sólo en las porciones E-SE y N-NW, en donde la topografía es más abrupta, es donde la roca est3 expuesta.

El yacimiento de mineral est3 formado por una serie de mantos que yacen en un área aproximada de 1,000 m x 1,400 m, los cuales se encuentran a diferentes profundidades que pueden ir desde los 250 m a los 700 m. Las rocas que alojan los cuerpos mineralizados corresponden a una serie de rocas volcánicas andesíticas, intrusionadas por rocas graníticas y pórfidos feldespáticos.

El cuerpo de mineral menos profundo se localiza a unos 80 m por debajo del contacto de las rocas encajonantes con el aluvi3n; la mineralizaci3n est3 constituida por sulfatos, carbonatos y sulfuros secundarios de cobre. Los sulfuros primarios constituidos por piritita se encuentran por debajo de los sulfuros secundarios, así como en los costados sin valor econ3mico.



En la localidad existen tres sistemas principales de fallas regionales, fallas NS que corresponden a intrusiones graníticas, fallas NE de pórfidos con alteración hidrotermal y fallas NW de desplazamiento de cuerpos de mineral. En general se aprecia una buena continuidad en la mineralización. Los cuerpos (mantos) tienen espesores variables que van de 2 m a 28 m. Su disposición es prácticamente horizontal.

El yacimiento de Milpillas debió su origen a un proceso de enriquecimiento secundario de un sistema de pórfido cuprífero, en el que se depositó mineralización de cobre soluble. Se trata de cuerpos manteados, superpuestos y ubicados entre los 250 y 700 m de profundidad. Los cuerpos superiores son óxidos y los inferiores sulfuros secundarios.

La mayor parte del cobre en Milpillas ocurre en la forma de calcosita en la zona de enriquecimiento supergénico o bien como óxidos de cobre *in situ* y derivados de calcosita (calcosita 80%, brocantita 8%, malaquita 6% y antlerita 6%).

El capote de oxidación que sobreyace y parcialmente disecta a las zonas de cobre, es eminentemente hematítico.

2.4 Descripción de la operación Milpillas

2.4.1 Mina

Actualmente la mina extrae un promedio de 7,200 t/día con una ley de 1.18 % de Cu, para alcanzar una producción anual de 2.5 millones de t. Con un presupuesto anual de desarrollo promedio de 18,000 m se tiene el objetivo de mantener preparada la mina con un factor 1.5 años referido a la producción.

El método de explotación empleado es el de cuartos y pilares combinado con tumbe sobre carga y corte-relleno, donde al terminar el desplante de los rebajes, se rellena inmediatamente a ras de cabina del cargador de bajo perfil para dejar una altura de 2.70 m, se inicia el primer corte del rebaje con un banco horizontal de 4.50 m de altura, donde la carga, producto de la voladura cae en los 2.70 m del hueco dejado en la actividad anterior, se va realizando una recuperación con el cargador de bajo perfil de alrededor del 30% de esta voladura y el resto queda como mineral aplanillado, que servirá para dar piso de trabajo al jumbo y continuar con el tumbe del corte en sentido horizontal. Se repite este ciclo hasta llegar al extremo opuesto del rebaje, el cargador de bajo perfil inicia el rezagado del mineral aplanillado por donde se inició el desplante del rebaje, mientras tanto el tumbe de mineral continua en las calles siguientes. Los rebajes llegan a tener unas dimensiones promedio de 100 m x 80 m.

Una vez que el cargador de bajo perfil haya terminado de rezagar todo el mineral aplanillado, se inicia la etapa de relleno en forma de cascada nuevamente a ras de cabina por el acceso donde se realizó el tumbe del corte hasta terminar toda la calle. Posterior a esto se repite el ciclo de minado hasta terminar con el rebaje. Los pilares sistemáticos son de 8.0 m x 8.0 m, anchos de calle también de 8.0 m, en las Figuras 3 y 4 se presenta el método de minado.

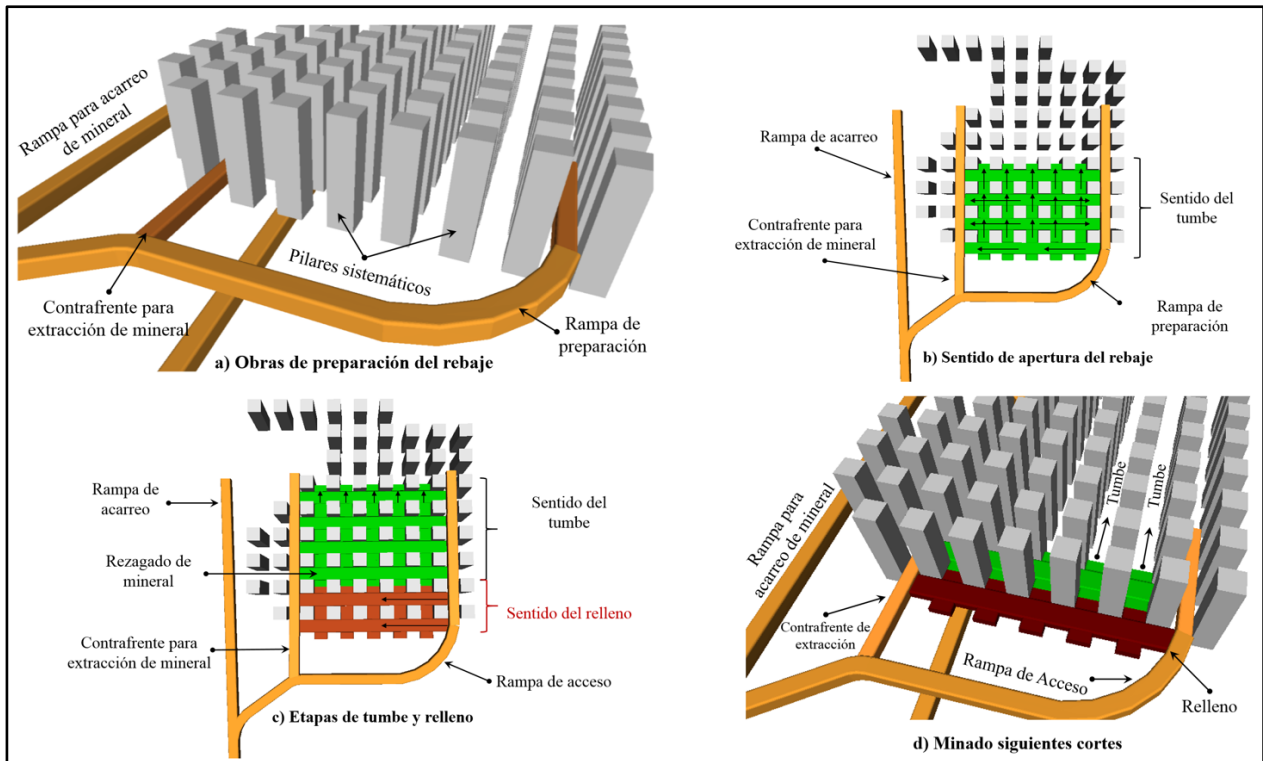


Figura 3. Secuencia general del minado de los rebajes en Milpillas

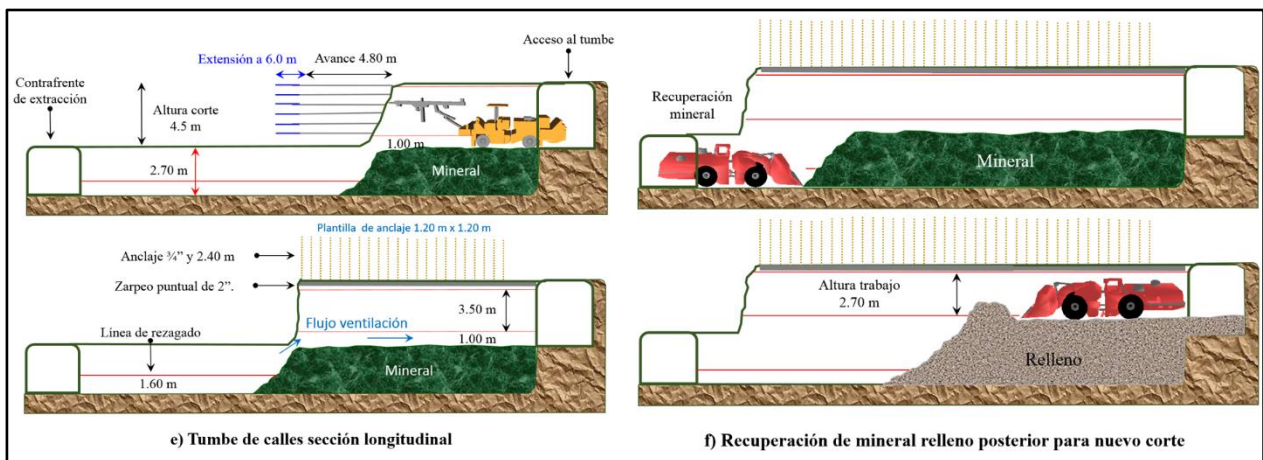


Figura 4. Secuencia general del minado de los rebajes en Milpillas. (Continuación)

Es importante mencionar que Milpillas tiene una calidad de roca de mala a muy mala, por lo que toda obra minera que se da se tiene que anclar con un patrón distribuido de 1.20 m x 1.20 m antes de seguir avanzando.

La productividad de este método ha variado, ya que depende mucho de la morfología de los cuerpos, la calidad de la roca y de la longitud de barrenación donde se han logrado avances de hasta 6 m (20 pies) con barras de extensión.

La Mina cuenta para su operación con jumbos electrohídricos de 12 y 14 pies de longitud, cargadores de bajo perfil de 14 yardas cúbicas, camiones de acarreo con capacidad 20 y 30 t de mineral, jumbos ancladores y enmalladores para el soporte del terreno, trompos y equipos mezcladores para el suministro de concreto para trabajos de obra civil y zarpeo, retroexcavadoras, cargadores para explosivo y equipo para los servicios de bombeo y eléctricos. En la Figura 5 se muestra la secuencia de la operación de la mina.

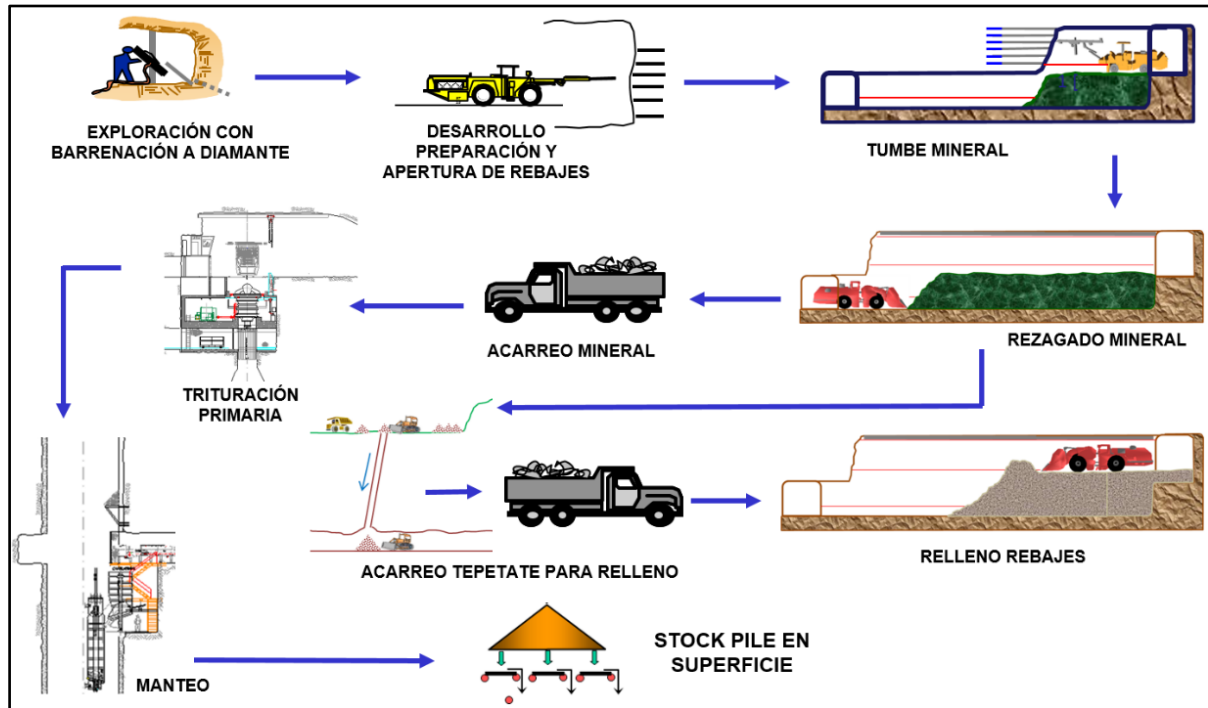


Figura 5. Diagrama general de operación Mina

La mina cuenta con 2 accesos, el tiro “Santa Cruz” de producción y servicio, con una capacidad instalada de manteo de hasta 9,000 t/día y la rampa Guadalupe sólo de servicio con una sección promedio de 6 m x 5.5 m y pendiente variable que va desde un menos 8% hasta un menos 12%.

En el Tiro Santa Cruz (Figura 6) se cuenta con 2 malacates de fricción, uno para el servicio de calesa y el segundo que acciona el sistema de manteo de mineral por medio de 2 botes con capacidad de 15 t cada uno.

Las obras mineras más profundas de manera vertical están a 650 m con respecto a superficie y hasta la fecha no se tiene información geológica de que haya indicios de mineral por debajo de esta profundidad. 20

El mineral una vez tumbado, es cargado a los camiones de acarreo y es enviado a la estación primaria de trituración en el nivel 992, donde el mineral es reducido a menos 5 pulgadas y manteado por el tiro Santa Cruz hasta superficie.



Figura 6. Tiro Santa Cruz de producción y servicio

Existen 4 tiros de ventilación de 4 m de diámetro adomados con concreto que conectan el nivel principal de ventilación 1160 y superficie; 3 de los 4 tiros tienen instalados un extractor para el aire viciado de interior mina, el TV-78 esta tapado en superficie ya que por el momento no cuenta con extractor. Adicional a esto se cuenta con Robbins cuates convencionales de 2.4 m de diámetro, los cuales tienen instalados extractores Fläkt como se muestran en la Figura 7.

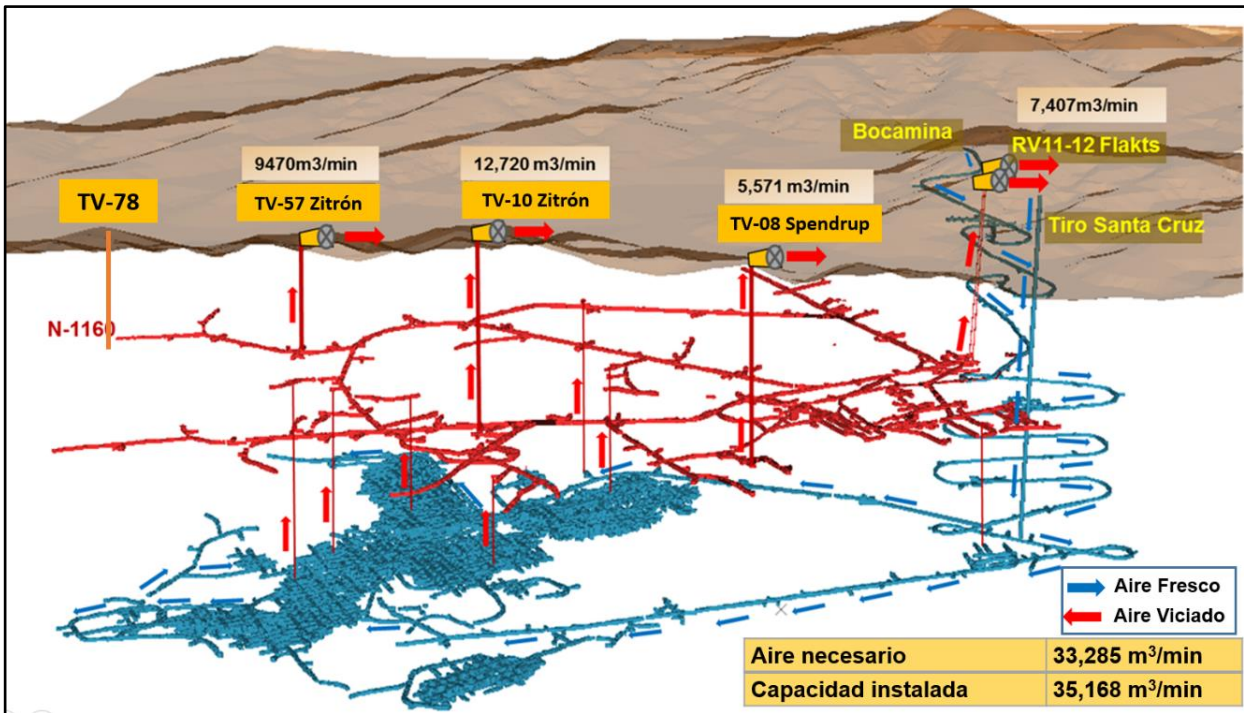


Figura 7. Sistema de ventilación general de Milpillas

Es de relevancia mencionar que los 4 tiros TV-08, TV-10, TV-57 y TV-78 fueron construidos de arriba hacia abajo por medio de perforación con máquina de pierna y voladura convencional, revestidos con concreto de 20 cm de espesor para darles estabilidad durante su construcción y quedaron habilitados con tubería de acero al carbón cédula 80 en su interior, soportados con abrazaderas sobre el mismo armado de concreto, con la finalidad de poder usar las tuberías como ruta para los servicios de energía eléctrica, agua, aire, bombeo, concreto, etc. (Figura 8)

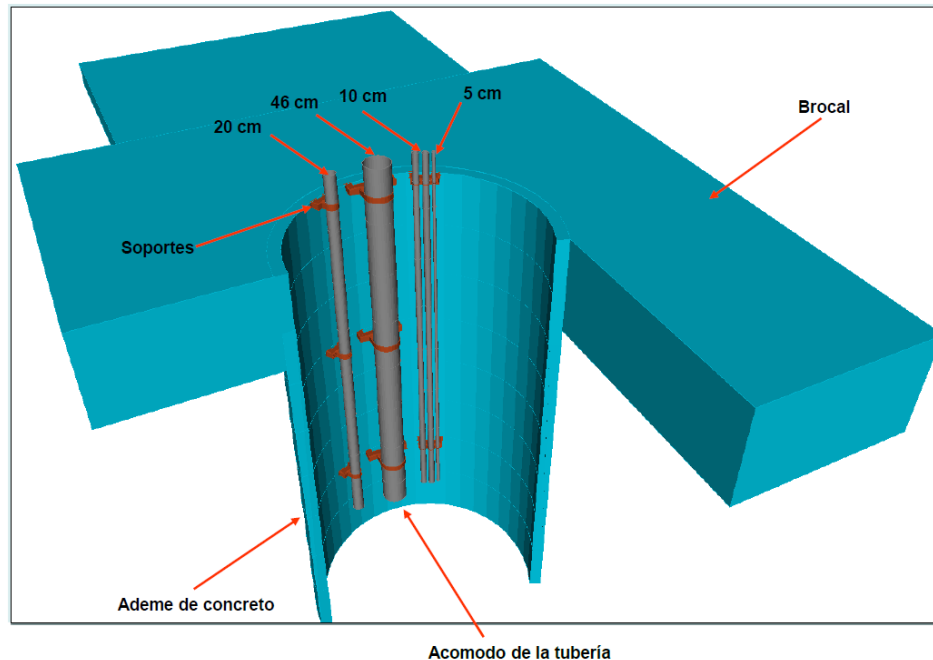


Figura 8. Arreglo de las tuberías de servicios en TV-10

2.4.2 Proceso de Beneficio

Milpillitas trata minerales de óxidos y sulfuros de cobre a través de un proceso donde el metal es lixiviado en los patios A y B, la solución resultante es transportada para someterse a un tratamiento de extracción por solventes y Deposición electrolítica (ESDE) para producir cátodos de cobre. El mineral triturado de mina es acarreado y depositado en camas sobre la superficie impermeabilizada, con una membrana geotextil, en el patio de lixiviación para ser regado con una solución diluida de ácido sulfúrico que permite la disolución de los contenidos de cobre soluble en el mineral. La solución rica con cobre es conducida por medio de tuberías a una pileta de “solución preñada” de donde es bombeada para su tratamiento y recuperación en la planta de ESDE.

Los patios de lixiviación (Figura 9) fueron diseñados para almacenar 28.50 millones de m³ de material a lixiviar (38.5 millones de t), con una altura total aproximada de 70 m en su fase final.

Se instalan membranas geotextiles interiores cada 12 - 13 m para controlar de manera puntual el escurrimiento de la solución rica, las membranas para ser unidas son extrusionadas con un cordón del mismo material, al final se realizan pruebas al vacío en las uniones para asegurar que no haya filtraciones.



Figura 9. Patios A y B de Lixiviación

El área total de los patios de lixiviación es de 59 Ha, superficie que será acondicionada en varias etapas conforme al diseño seleccionado en la ingeniería de detalle.

La zanja circundante de control de soluciones residuales conduce a una pileta de colección y control de soluciones, ubicada en la base de los taludes de la pila de mineral, que ayudaran a verificar y monitorear la calidad de los residuos si los hay.

La trituración primaria del mineral se realiza en interior mina y es mantedada a la pila de mineral con un tamaño de menos 5 pulgadas. A través del circuito de trituración secundaria y terciaria (Figura 10) se llega a $\frac{1}{2}$ pulgada a una razón de hasta 9,000 t/día. El mineral es llevado en bandas transportadoras y se tamiza a través de una criba de doble cubierta, de 1 pulgada y $\frac{3}{8}$ de pulgada respectivamente. El mineral de tamaño más grande que no pasa por la criba se manda en bandas transportadoras a un triturador cónico secundario, que opera en un circuito abierto. La descarga del triturador secundario y el material de tamaño más pequeño que sí pasa por la criba se llevan en bandas transportadoras a la criba terciaria tipo banana con cubierta de $\frac{3}{8}$ de pulgada. El material más grande que no pasa por la criba pasa por bandas transportadoras a la trituradora de cono de cabeza corta terciaria, que opera en circuito cerrado con la criba terciaria. El material de tamaño menor a la criba es un producto terminado y pasa en bandas transportadoras a una torre de muestreo y después al tambor aglomerador.



Figura 10. Planta de Trituración

La torre de muestreo incluye un muestreador primario de corte transversal que recoge una muestra cada veinte minutos. La muestra primaria es luego sub muestreada en un sistema secundario y terciario que incluye triturado entre etapas. Se obtienen aproximadamente 70 kg de muestra alimentadora en cada turno y se envían para análisis en el laboratorio analítico. Hay básculas de correa instaladas en la banda transportadora que alimenta la bandeja de mineral fino y en la banda transportadora que alimenta al aglomerador.



Figura 11. Tambor aglomerador

Lixiviación.

El aglomerador como se muestra en la Figura 11, consta de un tambor giratorio con dimensiones de 3 m de diámetro x 8.9 m de largo, que se usa para el pretratamiento y aglomerado del mineral fino con el mineral de 3/8 de tamaño más 3.5 kg/t de ácido sulfúrico al 98% y solución refinada para lograr una descarga de contenido húmedo de 10%. Debe notarse que la adición de ácido curado representa cerca del 60% o 70% del ácido total requerido, y la curación en este nivel se considera una práctica de una buena planta. El mineral aglomerado se manda en bandas transportadoras al área de carga en camiones, donde descarga directamente en camiones de volteo de 12 m³.

Los camiones de volteo cargados transportan el mineral a los patios de lixiviación A y B, donde se vacía el mineral y se acomoda en camas de 4.5 m de altura (Figura 12) con un tractor bulldozer modelo D8. Después de que se ha completado una capa nueva para cada celda de lixiviación, se instala el sistema de irrigación por goteo. Luego se hace la lixiviación del mineral a una tasa de aplicación de la solución de 10 L/h/m² con una solución de lixiviación que contiene 13 g/L de ácido sulfúrico libre. Se ha establecido un ciclo de lixiviación de 225 días para mineral de óxido, y de 450 días para mineral de sulfuro.



Figura 12. Formación de camas

Esto equivale a una aplicación de solución de lixiviación de alrededor de 6 m³/t de mineral de óxido y 11 m³/t de mineral de sulfuro secundario. La secuencia de lixiviación típicamente incluye cuatro a seis días de curación seguida por 60 días de lixiviación continua con solución de lixiviación intermedia (ILS) que luego se descarga en la pileta intermedia a los 35,000 m³ de solución rica (PLS), luego 160 días de lixiviación continua con refino (solución pobre de cobre) que luego descarga a la pileta ILS de 40,000 m³.



Figura 13. Sopladores instalados en patios

Para acelerar la oxidación de los sulfuros, se inyectan 120,000 m³/h de aire con 6 sopladores a través de una red de tuberías colocadas previamente en la base de cada celda (Figuras 13 y 14). El mineral de óxidos de cobre no requiere de esta aplicación.



Figura 14. Tubería de riego en celdas de patios

Por diseño, la instalación de la geomembrana que debiera colocarse cada 6 m se modifica a cada 12 m, mejorando; costos, logística de construcción, permeabilidad con la solución del cobre que asegura la calidad del cátodo grado A, al reducir finos e impurezas de fierro y aluminio.

Cada cama, se integra construyendo celdas con superficie promedio de 26,000 m²/mes en altura de 4.5 m como se aprecia en la Figura 15.



Figura 15. Construcción de celdas en patios

Extracción por Solventes (ES)

La PLS se lleva a una instalación ESDE para la recuperación del cobre solubilizado. La infraestructura de ESDE procesa 1,000 m³/h de PLS con 3 g/L de cobre (Figura 16).

La infraestructura ES consta de dos mezcladores asentadores de extracción y dos mezcladores asentadores de depuración configurados en serie. La PLS entra al primer mezclador asentador de extracción con el orgánico que se lleva a contracorriente del segundo mezclador asentador de extracción. La descarga orgánica del primer mezclador asentador es la carga orgánica final y la solución acuosa que se descarga del segundo mezclador asentador es el refino. Esto se recicla como solución de lixiviación constituyéndose así un circuito cerrado. El orgánico cargado se cicla al primer mezclador asentador de depuración y entra en contacto con una solución de electrolitos que está en ciclo contracorriente desde el segundo mezclador asentador de depuración. Las descargas acuosas del primer depurador son electrolitos ricos y en la descarga orgánica del segundo depurador se agota el cobre y se pone de nuevo en ciclo al mezclador asentador de extracción. Aproximadamente 92% del cobre contenido en la PLS se recupera en electrolito rico en el circuito de extracción por solventes.

Deposición Electrolítica (DE)

El electrolito rico se alimenta mediante bombas desde el tanque de recirculación y se distribuye homogéneamente en las celdas de electrodeposición, este proceso tarda 7 días y posteriormente los cátodos se cosechan, decapan, pesan y estiban para su almacenamiento y embarque a su destino final. El cobre catódico producido en la unidad Milpillás tiene una pureza de 99.99% en cobre y cumple con las especificaciones de grado "A" LME (London Metal Exchange). El producto terminado se comercializa a clientes en México y como exportación a Estados Unidos. En la Figura 17 se muestra el diagrama de flujo del proceso de Beneficio.



Figura 16. Infraestructura ESDE Milpillas

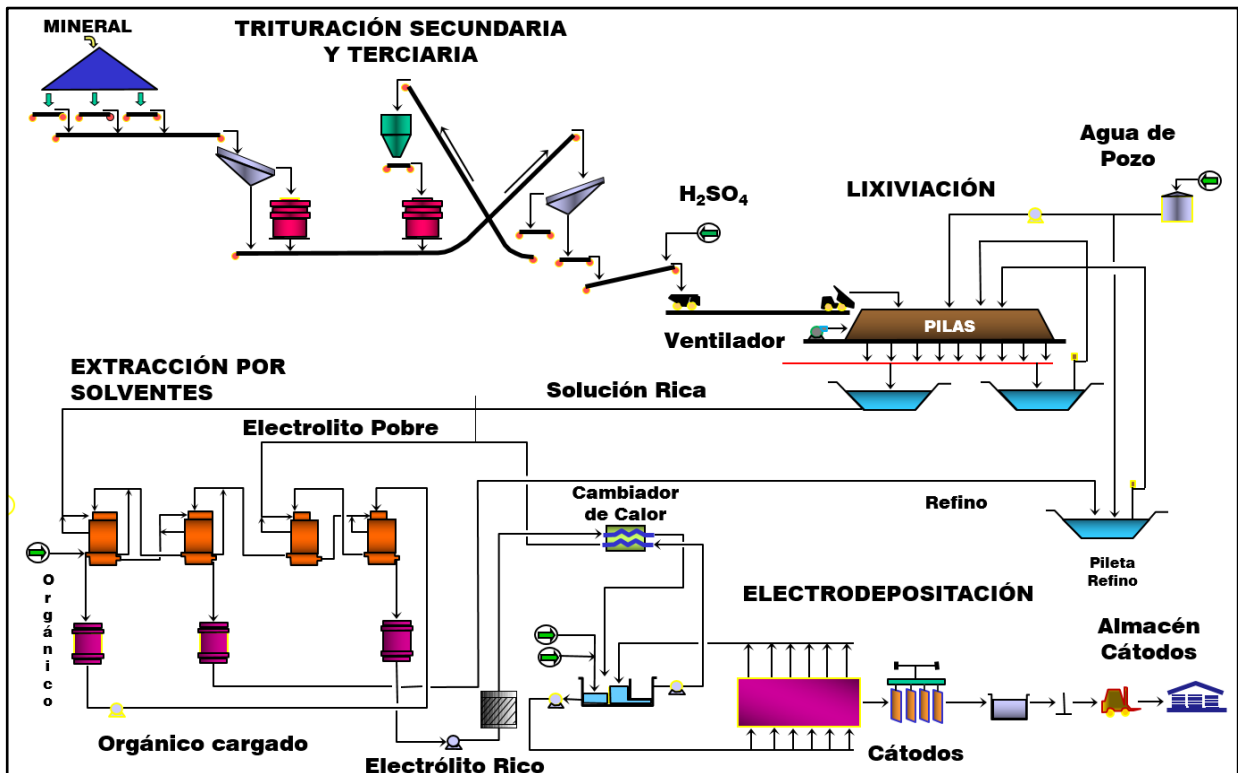


Figura 17. Diagrama de flujo Beneficio

Piletas de emergencia

Como medidas de seguridad ante una precipitación extraordinaria o situación no controlada, el proceso de beneficio cuenta con 4 piletas de emergencia (Figura 18) cubiertas en su totalidad con geomembrana y el siguiente volumen de captación:

- Pileta de emergencia 1: 75,000 m³
- Pileta de emergencia 2: 40,000 m³
- Pileta de emergencia 3: 165,000 m³
- Pileta de emergencia 4: 126,000 m³

Con esto se tiene un total de 406,000 m³ de capacidad para retener las soluciones excedentes del proceso general de planta, el agua proveniente de las lluvias torrenciales, fallas del equipo de bombeo o saturación de los patios. De llegar a rebasar la capacidad de almacenamiento, se puede presentar un derrame de solución que deberá neutralizarse para evitar daños en el entorno, para esto existe una planta neutralizadora que entrará en operación.

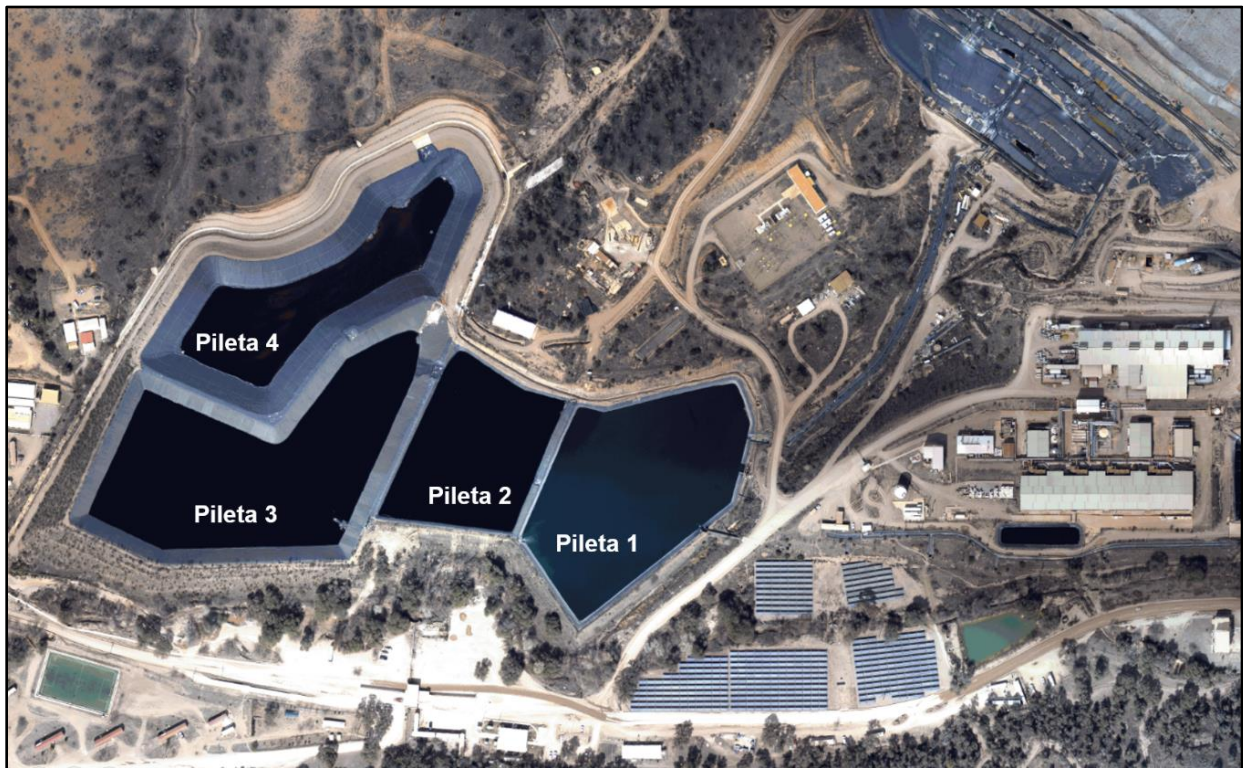


Figura 18. Mostrando las 4 piletas de emergencia

El agua que llegan a captar estas piletas, se rebomba al proceso de beneficio como agua de recirculación que requiere el proceso, con la finalidad de tener las piletas disponibles para alguna posible contingencia.



Figura 19. Planta termosolar unidad Milpillas

Al sureste de la pileta de emergencia 1 se cuenta con una planta termosolar (Figura 19) con 456 paneles distribuidos en un área de 6,270 m², la planta cuenta con un tanque que puede almacenar 660 m³ de agua caliente, la cual se utiliza para reducir el consumo de diésel en los calentadores y para sustentar los requerimientos de agua caliente en los procesos de la planta. Tiene la capacidad de producir 8,600 MWh al año y desde su arranque hasta el día de hoy se han producido 16,845 MWh, equivalente a 2,000,000 L de diésel, además de evitar emisiones de 5,451 t de CO₂ al medio ambiente.

3. Definición del problema

Durante 2014 se detectó que el pH del agua intersectada por el minado del yacimiento de Milpillás a una profundidad de 640 m verticales empezó a bajar entre 2.0 y 3.0, producto de una lixiviación natural entre el nivel freático y la parte superior de los cuerpos de sulfuros de cobre conocida localmente como “techo calcosita o zona de lixiviación” (Figura 20), incluyendo el cobre que se encuentra en los pilares sistemáticos propios del método de minado que quedaron mineralizados; otro fenómeno que se observó fue el lixiviado del cobre que se encuentra en el material de relleno de las zonas ya minadas, ya que la mayoría del tepetate utilizado para este fin no está exento de valores de cobre, todo lo que esté por debajo de la ley de corte menor a 0.82 % Cu promedio se emplea para relleno.

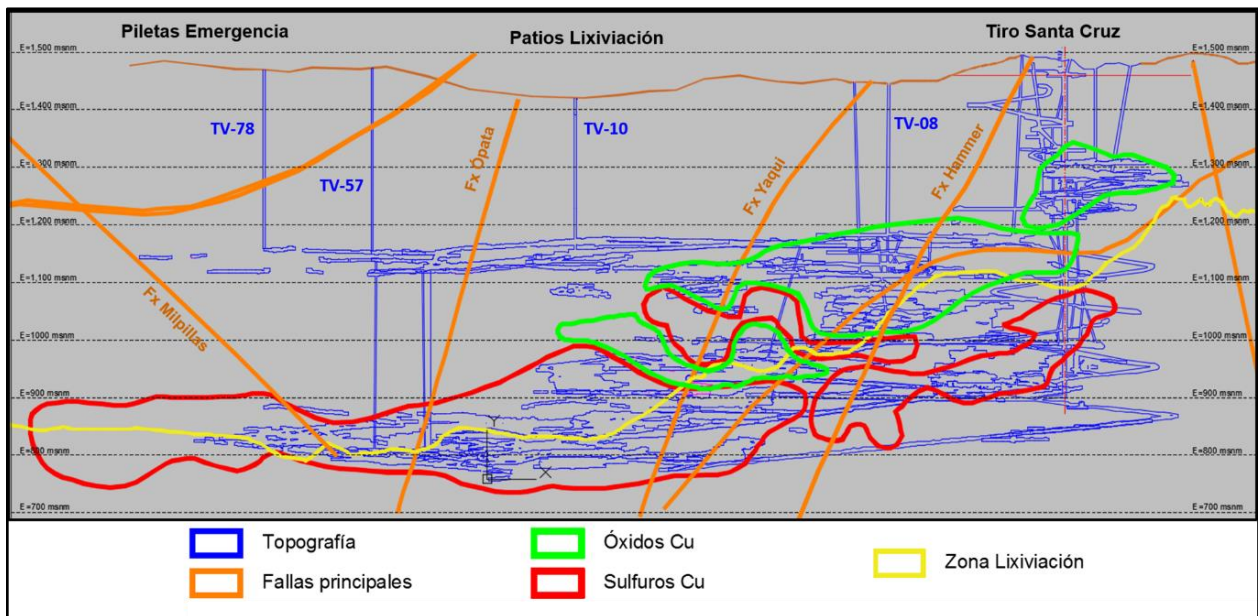


Figura 20. Sección tipo de los cuerpos de óxidos y sulfuros de cobre, así como la zona de lixiviación

Con lo citado anteriormente la calidad de esta agua empezó a ocasionar problemas en los sistemas de bombeo y equipos de barrenación, había corrosión, daño y desgaste prematuro principalmente en las narices de las máquinas perforadoras de los jumbos de producción y ancladores (Figuras 21, 22 y 23), llegando a tener equipos no disponibles por falta de refacciones fuera de plan. Por consiguiente se presentaban retrasos en la producción y preparación de algunos sectores de la mina, además de tener el riesgo de provocar algún impacto ambiental en superficie, ya que esta agua se incorporaba al sistema general de bombeo.

Respecto al bombeo de Milpillás, se tienen en operación 3 estaciones principales y varias auxiliares para extraer un promedio de 1,150 gpm de agua a superficie como se muestra en la Figura 24, del gasto total el 15% se ha identificado con grado de acidez con un $\text{pH} < 3$.



Figura 21. Desgaste de la nariz de la perforadora del jumbo anclador # 05 (10 feb 2016)



Figura 22. Desgaste de la nariz de la perforadora del jumbo anclador # 09 (03 abr 2016)



Figura 23. Desgaste de la nariz de la perforadora del jumbo anclador # 10 (23 abr 2016)



A continuación, se describen muy brevemente las 3 estaciones:

- Estación de bombeo # 17, se cuenta con 3 bombas Worthington de 250 hp y capacidad de 1,500 gpm c/u.
- Estación de bombeo # 16, se tienen 2 bombas Worthington de 300 hp y capacidad de 1,500 gpm c/u.
- Estación de bombeo nivel 992 que bombea hasta superficie, cuenta con 4 bombas Sulzer de 750 hp c/u y una bomba Sulzer de 1,250 hp para una capacidad instalada de 5,200 gpm.

Las estaciones de bombeo 16 y 17 reciben agua del fondo de la mina por medio de cárcamos o estaciones auxiliares que se van adelantando conforme avanza la operación, estas instalaciones están equipadas con bombas de menor capacidad ya que el gasto es mucho menor, la diferencia radica en que son muchos puntos donde existe la presencia de agua.

Algunas de las bombas utilizadas son Tsurumi y Crane Deming de 150 y 125 hp.

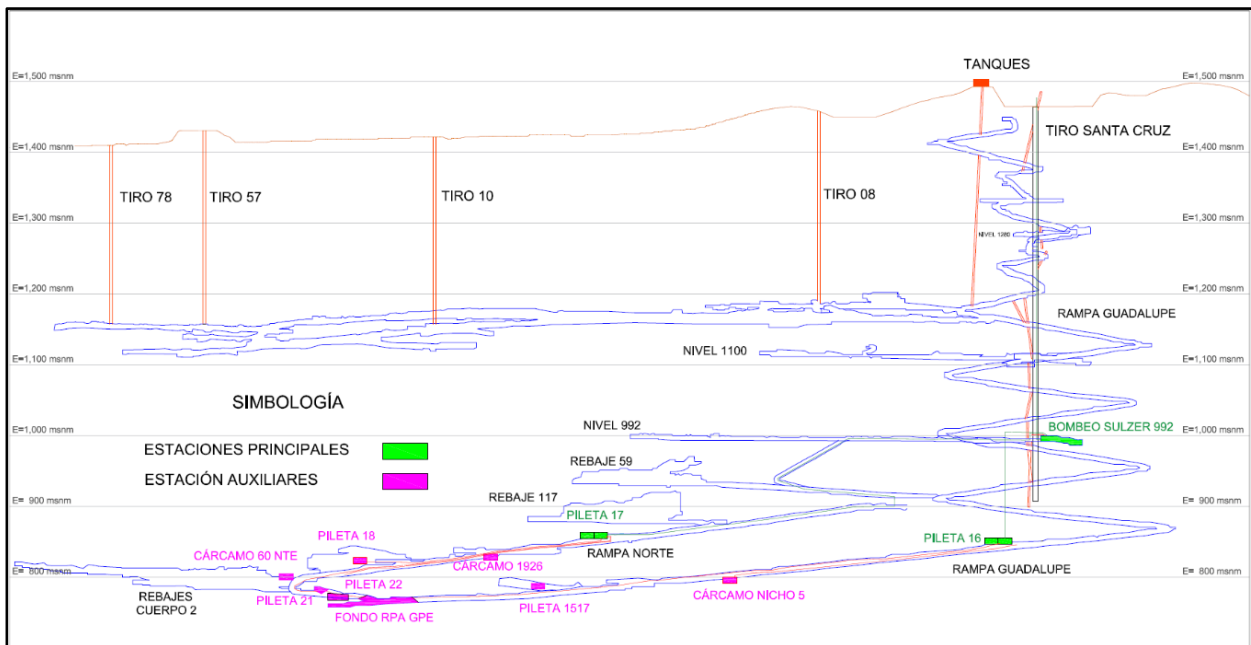


Figura 24. Sección longitudinal mostrando el sistema de bombeo general de la mina

Para controlar este fenómeno en el momento, durante 2014 se instalaron pequeñas estaciones de preparación de lechada de cal dentro de la mina para neutralizar la acidez del agua, estas “estaciones” fueron muy austeras al tener que hacer la mezcla de manera manual, su dosificación al inicio fue a prueba y error controlada con tiras medidoras de pH. Se presentaron problemas adicionales antes de llegar a la dosificación de control, por ejemplo, cuando se adicionaba mucha cal no había lechada y se formaban “grumos” en el fondo de las piletas, lo que ocasionaba que los filtros de las succiones se taparan de manera inmediata, también por lo espeso de la mezcla lo que se alcanzaba a bombear desgastaba el mecanismo interno de las bombas y tuberías por la cantidad alta de sólidos que formaban una especie de “pulpa”, el tipo de infraestructura para el bombeo no fue diseñado para un fluido con estas características.

Debido a este problema, el costo y refacciones en el mantenimiento de las estaciones de bombeo fue aumentando, además de tener un costo adicional en el consumo de cal para la neutralización, así como la mano de obra para operar las estaciones de preparación y dosificación de lechada de cal.

Por la parte ambiental se empezó a visualizar que de no poder controlar la acidez del agua en interior mina y de excederse en las cantidades de cal al neutralizarla, se pudiera tener un impacto ambiental al descargar el agua en superficie en el arroyo de la comunidad Milpillas.

Cabe mencionar que antes de incorporar el agua bombeada al arroyo, en superficie están construidos 5 represos conectados en serie para asegurar la retención de los sólidos que el agua trae consigo (Figuras 25, 26 y 27), estos sólidos son consecuencia de la alta cantidad de arcilla fina que tiene el mismo yacimiento y que son llevados por toda la ruta de bombeo. Además, se adiciona en superficie el polímero catiónico FLUXOL C-650 mediante una bomba automatizada para asegurar la precipitación de los sólidos (arcilla fina) en el fondo de cada represo y así minimizar la probabilidad de no exceder los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

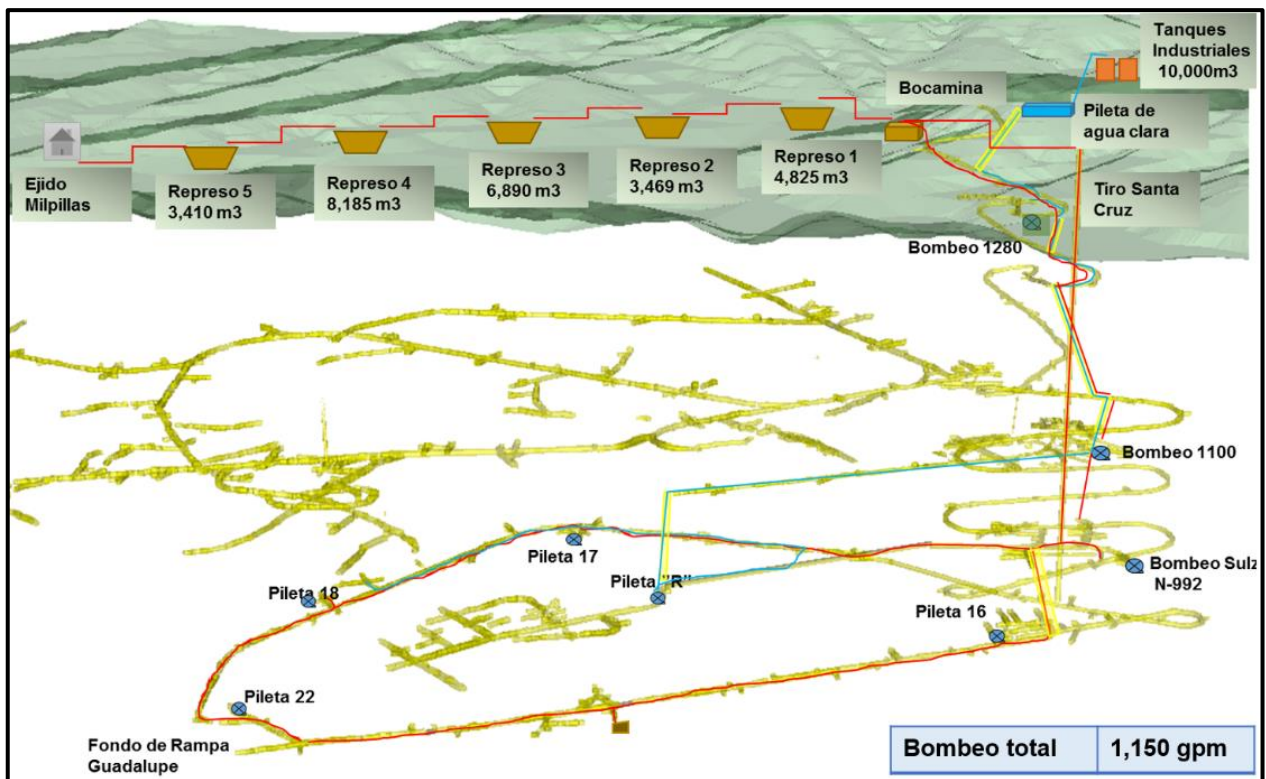


Figura 25. Sistema de decantación en superficie para retención de lodos finos.



Figura 26. Secuencia en el sistema de decantación del agua de bombeo

- Punto 1: Descarga del sistema de bombeo de Interior Mina
- Punto 2: Dosificación de polímero catiónico FLUXOL C-650 con una concentración del 5%
- Punto 3: Llegada de agua de mina a primer repeso con capacidad de $4,825 \text{ m}^3$
- Punto 4: Segundo repeso con capacidad de $3,469 \text{ m}^3$
- Punto 5: Tercer repeso con capacidad de $6,890 \text{ m}^3$
- Punto 6: Cuarto repeso con capacidad de $8,185 \text{ m}^3$
- Punto 7: Quinto y último repeso con capacidad de $3,410 \text{ m}^3$
- Punto 8: Descarga final hacia el arroyo



Figura 27. Secuencia de decantación de sólidos



Figura 27. Secuencia de decantación de sólidos (continuación)

4. Propuesta del proyecto de bombeo

Con base en la problemática planteada en el punto 3 se propusieron las soluciones que a continuación se describen.

4.1 Diseñar y construir un sistema de neutralización en interior mina

4.2 Diseñar y construir un sistema de neutralización en superficie para aplicarse en interior mina

4.3 Diseñar y construir un sistema de bombeo independiente en interior mina

4.1 Diseñar y construir un sistema de neutralización en interior mina

En esta opción el sistema de neutralización de toda el agua (1,150 gpm) tendría que realizarse en interior mina, se contactaron los siguientes proveedores que mejor pudieran adaptar sus equipos a las condiciones de la mina, principalmente la humedad y polvo que ocasionarían corrosión prematura de los equipos y apelmazamiento de la cal en el sistema de dosificación.

- Sodimate México S DE RL DE CV
- SNF Floerger de México SA
- SYCSA Silos y Camiones SA de CV

De los 3 proveedores ninguno tenía experiencia en haber instalado equipos en interior mina, todo su campo de aplicación ha sido en superficie. Sólo Sodimate México S de RL de CV propuso fabricar sus equipos en acero inoxidable (Figura 28) para contrarrestar la corrosión y acondicionar un compartimiento hermético que evitaría que la humedad apelmazara la cal en la etapa de mezcla con el agua, en la Figura 29 se muestra la cotización preliminar después de su visita.

Por parte de la unidad Milpillás se consideró que no había confianza por parte del proveedor para dejar toda la neutralización del agua de mina en un prototipo donde no se contaba con casos de éxito de respaldo. Además, el costo de todo el complejo sin considerar la infraestructura que se requería para canalizar toda el agua en un solo punto más el tiempo de entrega de 8 a 12 meses hizo que no se optara por esta opción en el momento.

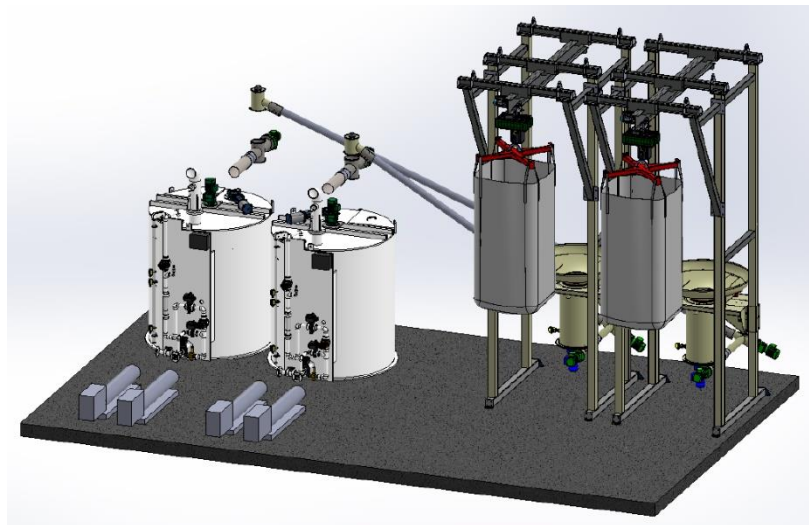


Figura 28. Propuesta SODIMATE



Oferta n°: 1504-3-109 Rev 1 STAND H

27/07/15

Pos.	Ud	Ud	EQUIPO	Imp/Ud. USD	Total USD
1	3		STAND CON SISTEMA DOSIFICACION STAND DE VACIADO DE BIG-BAG CON POLIPASTO 1 Estructura soporte tipo H de altura fija con rail 1 Polipasto traslación y elevación eléctrica 2000kG 1 Detector de nivel mínimo 3 ROMPEBOVEDAS-DOSIFICADOR 1 Rompebóvedas ZFP 500 1 Distribuidor Dosificador DDMR -- SCF L=-- m 1 Transportador DMR 100 SCF AB 4 m 2 Soportes dosificador		
2	3		CUBA DE PREPARACIÓN Cuba de preparación a nivel y concentración variable 1 Cuba 2,5 m3 en PP 1 Agitador 3 Niveles 1 Conjunto elementos para operación en automático preparación suspensión, bombeo y lavado (para 1+1 de bombeo). Todos los elementos montados sobre panel fijado a la cuba. 1 Venteo cuba con ducha para eliminación polvo 1 Precableado cuba a caja de bornes IP65, fijada a la cuba		
3	4		SISTEMA DE BOMBEO Cada una incluyendo: 1 Bomba helicoidal 1 Conjunto tuberías y válvulas conexión aspiración bombas (para configuración 1+1 de bombeo)		
4	3		CUADROS ELECTRICOS 1 Armario potencia y maniobra instalación 3 Variador de frecuencia para dosificador y bombas de lechada 1 Modo de operación local y remoto		
TOTAL EQUIPOS USD					272.942,00

Figura 29. Cotización de equipos por parte de SODIMATE



5	1	TRANSPORTE Equipos sobre camión en obra para los tres conjuntos	32.021,00	32.021,00
TOTAL OFERTA USD			304.963,00	
OPCIONAL				
6	1	SISTEMA REGULACIÓN DE PH 3 Medidor de caudal 6 Sonda PH	56.794,00	56.794,00
7	1	SUPERVISIÓN MONTAJE	9.072,00	9.072,00
8	1	PUESTA EN MARCHA	18.016,00	18.016,00
TOTAL OFERTA CON OPCIONALES USD			388.845,00	
EXCLUIDO - a realizar por el cliente Trabajos de obra civil, placas de anclaje silo, toma de tierra Montaje mecánico Grúas Montaje eléctrico Puesta en marcha Proyectos y permisos en caso de ser necesarios				

Figura 29. Cotización de equipos por parte de SODIMATE (Continuación)

4.2 Diseñar y construir un sistema de neutralización en superficie para aplicarse en interior mina

El complejo en superficie demandaba la preparación de un sitio exclusivo para poder construir el sistema de neutralización, se instalaría una tubería hacia interior mina con una longitud de aproximadamente 600 m para hacer llegar la lechada de cal antes de que el agua ingrese al sistema de bombeo general como se muestra en la Figura 30.

La estimación financiera del sistema de neutralización (Tabla 2), sin considerar las modificaciones en interior mina para canalizar en un punto toda el agua, no lo hacía viable en 2014, con respecto a la parte técnica, existía la posibilidad que la tubería pudiera taparse al formarse grumos de cal a lo largo de los 600 m. Otro problema en los 600 m de tubería era cómo asegurar que la dosificación fuera en tiempo real y la requerida cuando se registrara el pH del gasto, ya que no se puede tener un pH constante para poder trabajar con una concentración fija debido a la operación tan dinámica en los rebajes, en donde los cortes de agua y su calidad son inciertos.

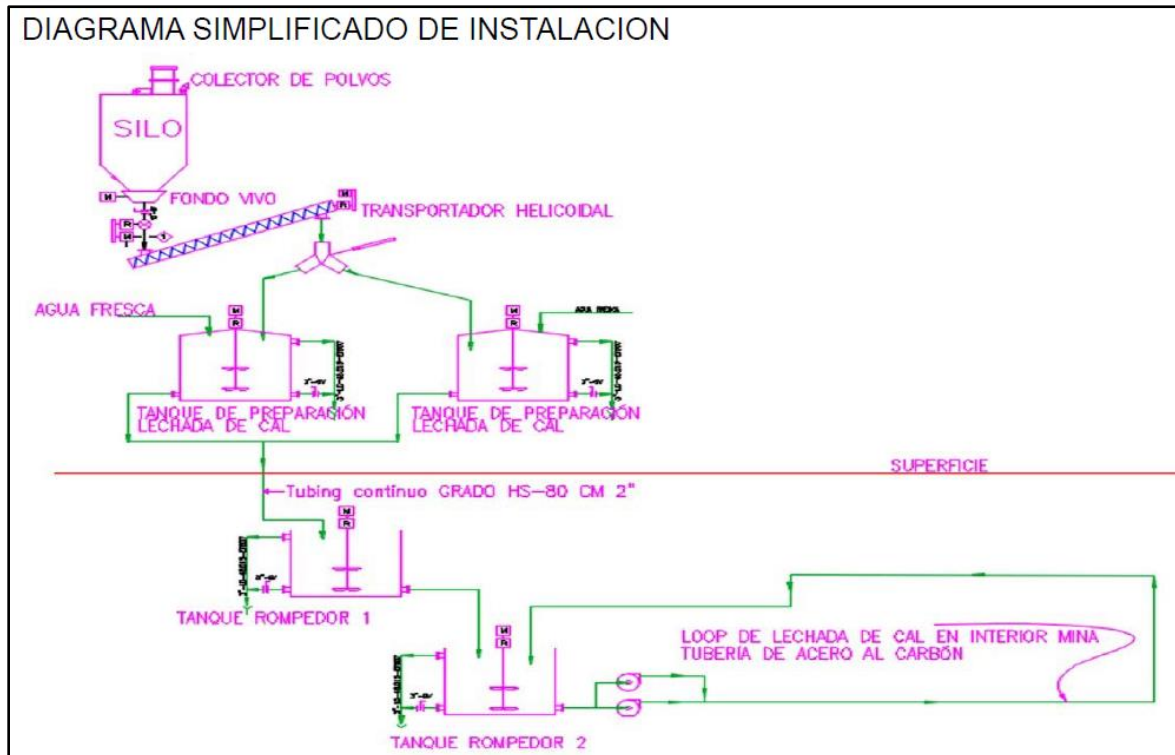


Figura 30. Diagrama de la opción 4.2

Tabla 2. Inversión preliminar de la opción 4.2

ESTIMADO DE INVERSION	
Descripción	Importe USD
Civil	238,701
Estructura	95,481
Equipo	754,297
Tuberías	727,244
Eléctrico	238,701
Control	238,701
Contingencias	206,875
TOTAL	2,500,000



4.3 Diseñar y construir un sistema de bombeo independiente en interior mina

Esta alternativa consistía en ubicar un punto dentro de la mina que pudiera concentrar el agua más ácida mediante una canalización por gravedad sobre una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD), instalar la infraestructura necesaria para hacer llegar el agua en una o dos etapas hasta superficie.

Como el agua no se tendría que neutralizar, no habría la necesidad de utilizar cal y por consiguiente tampoco el sistema de preparación de lechada de cal.

Una vez que el agua ácida llega a superficie se incorporarán 200 gal/min a la pileta de refino donde se vuelve a utilizar en el riego de los patios para su lixiviación como se muestra en el diagrama de flujo de la operación de planta.

Esta opción permite que el agua ácida entre a un sistema cerrado, donde se reduce considerablemente la posibilidad de tener un impacto ambiental y el desgaste de los componentes de bombeo y perforadoras de barrenación en los jumbos, como valor agregado en esta opción se podría tener la recuperación del cobre presente en esta agua, por lo que estos puntos favorecieron la aceptación de esta propuesta, sobre todo con las fuertes incertidumbres que se describieron en las 2 primeras alternativas más la adición del consumo de cal.

Las bombas tendrían que tener sus componentes internos de acero inoxidable; la tubería fue la parte más complicada a considerar para transportar el agua ya que la resistencia a la presión y ataque químico del pH bajo fueron los principales factores para su elección.

Para la ruta de bombeo se tenían 2 opciones.

- a) Realizar un barreno piloto desde superficie hasta el punto donde se canalizaría el agua ácida (aproximadamente 650 m)
- b) Bombear en 2 etapas a superficie, aprovechando un barreno piloto que no cumplió su objetivo en 2013 para Robbins de ventilación del nivel 790 al nivel 1160 en su primera etapa y posteriormente un segundo bombeo del nivel 1160 a superficie por el tiro de ventilación 57.

Para no realizar una inversión en un piloto nuevo de 650 m más el tiempo de ejecución, se seleccionó la opción b, donde sólo se realizarían las adecuaciones estructurales en la ruta establecida.

5. Desarrollo del proyecto

5.1 Aforamiento y toma de muestras

Es importante recordar que el agua ácida en mención contiene valores de cobre disueltos como se mencionó en la Introducción, por lo que se tuvieron que realizar aforamientos (Figura 31) con análisis cualitativos y cuantitativos para saber qué cantidad de cobre se estaría manejando y poder plantear un objetivo secundario al cuantificar una posible recuperación (Tabla 3).



Figura 31. Muestras de agua ácida

El estudio de aforamiento en los lugares detectados en interior mina se realizó durante 10 meses (Figura 32), donde STD se refiere a sólidos totales disueltos.

Tabla 3. Resultados finales de las muestras

Determinaciones		gpm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		Gasto	Pb	Cu	Fe	As	Se	Ca	Mg	Al	Ba	Ni	Cr	SO ₄	Fe+3	STD	Fe+2
Identificación de muestras																	
Punto 7	PILETA 16	700	-0.005	0.41	2.52	0.02	-0.01	49	16.63	0.45	-0.05	0.03	0.00	188	2.52	359	-1.00
Punto 4	PILETA 2 SUR A	100	-0.005	25.53	2.08	0.00	0.01	77	12.24	1.28	0.09	0.03	0.01	224	2.08	573	-1.00
Punto 5	PILETA 2 SUR B	85	-0.005	180.10	15.02	0.00	-0.01	109	16.45	16.05	0.05	0.10	0.01	683	15.02	1,273	-1.00
Punto 6	PILETA 2 SUR C	70	-0.005	49.00	8.85	0.00	-0.01	126	21.13	2.86	-0.05	0.08	0.01	387	8.85	823	-1.00
Punto 3	PILETA 1926	160	-0.005	579.40	267.60	0.00	0.02	199	25.56	69.15	-0.05	0.15	0.04	5,515	267.60	4,085	-1.00
Punto 1	PILETA 1754 A	16	0.005	1,968	1,150	0.07	0.01	456	82.10	428.90	-0.05	0.98	0.15	9,424	1,150	14,814	-1.00
Punto 2	PILETA 1754 B	24	-0.005	1,521	394.90	0.03	0.04	498	86.24	238.10	-0.05	0.83	0.08	6,265	394.90	9,606	-1.00
TOTAL		1,155															

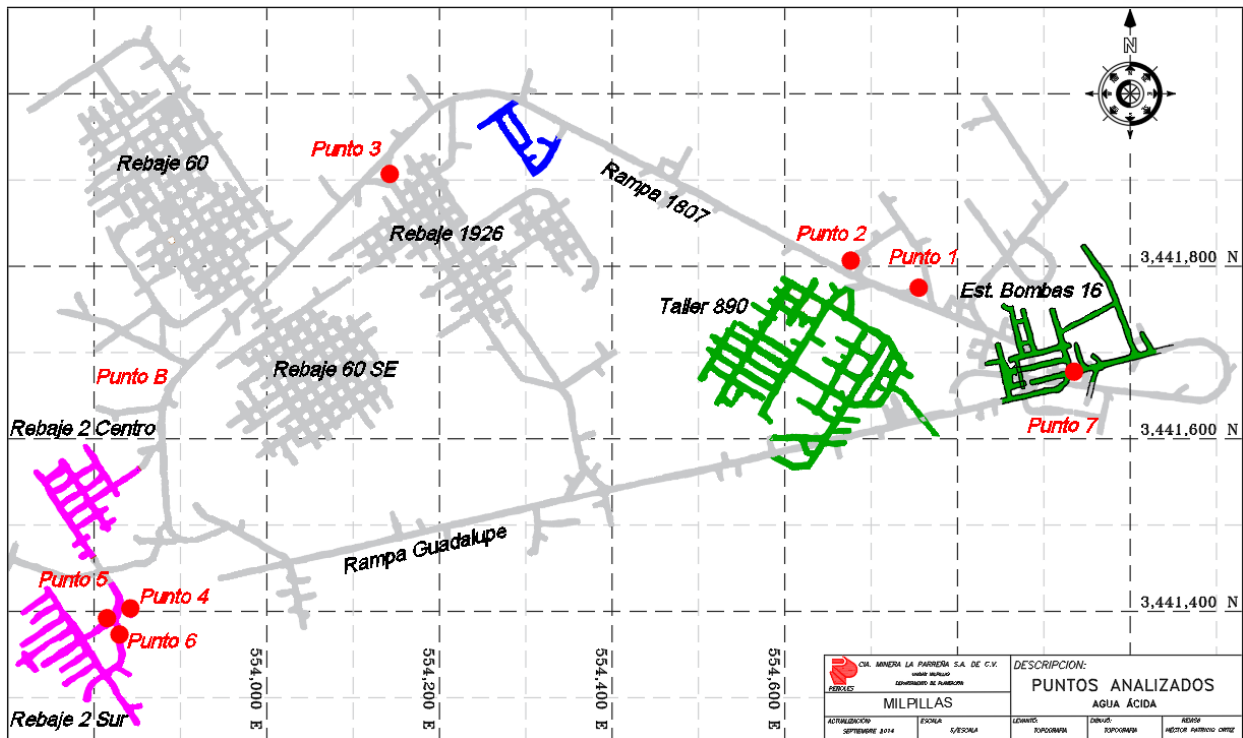


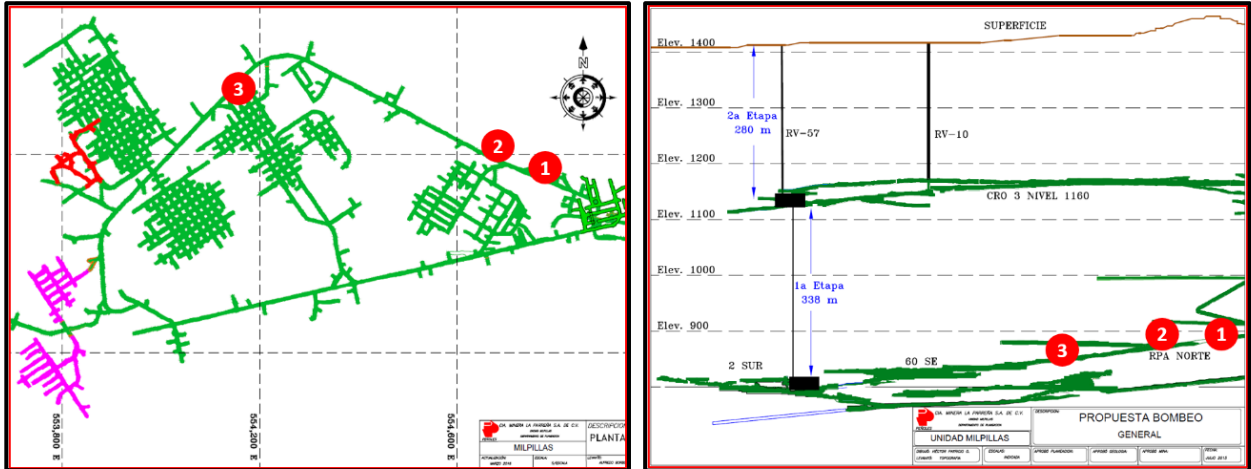
Figura 32. Lugares muestreados en interior mina

5.2 Análisis de resultados

Con estos resultados se seleccionan los puntos 1, 2 y 3 (Figuras 33 y 34) que son los que tienen el menor pH y mayor contenido de Cu de acuerdo con la Tabla 4. Si bien el resto de los puntos tienen un pH menor a 4, el gasto aforado tiene muchos sólidos, por lo que se canalizan hacia los rebajes ya rellenos para que sean filtrados de manera natural y en un futuro volver a muestrearlos en otro punto de salida.

Tabla 4. Resumen de los puntos seleccionados

Muestras	gpm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Mina	gasto	Pb	Cu	Fe	As	SO4	Fe+3	STD	Fe+2	
Punto 1	Pileta 1754 A	16	0.005	1,968	1,150	0.074	9,424	1,150	14,814	-1.00
Punto 2	Pileta 1754 B	24	-0.005	1,521	395	0.027	6,265	395	9,606	-1.00
Punto 3	Pileta 1926	160	-0.005	579	268	0.004	5,515	268	4,085	-1.00
		200		803						



Figuras 33 y 34 Ubicación de los puntos, vista en planta y sección

5.3 Propuesta del proyecto

Al poniente de la mina se tiene la parte más profunda del yacimiento, en 2014 se inició la perforación de un barreno piloto de 11 pulgadas de diámetro, 335 m de longitud y 87° de inclinación para posteriormente ser rimado a 8 pies y poder ventilar la zona conocida como rebaje 60 norte que estaba en producción; por mala calidad de roca, al comunicar el piloto en la parte inferior, la obra minera se colapsa y se pierde, por lo que después de un año se propone recuperar este barreno a una elevación superior para evitar la zona siniestrada en 2014 y usar este barreno para bombear en una primera etapa al nivel 1160 (Figura 35), en el nivel 1160 donde se inició el rompimiento del barreno piloto se tenía una distancia promedio de 130 m horizontales para llegar al TV-57 que comunica a superficie, éste cuenta con un extractor Zitrón instalado en la parte superior el cual ayuda en el desalojo del aire viciado de la zona poniente de la mina (Figura 36).

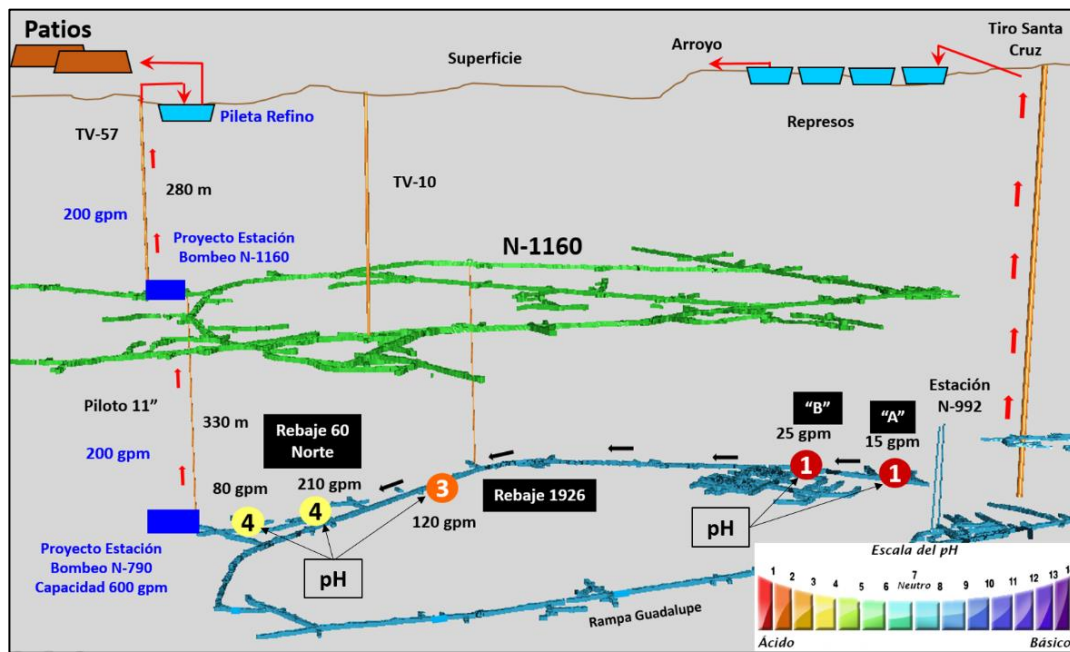


Figura 35. Propuesta del proyecto

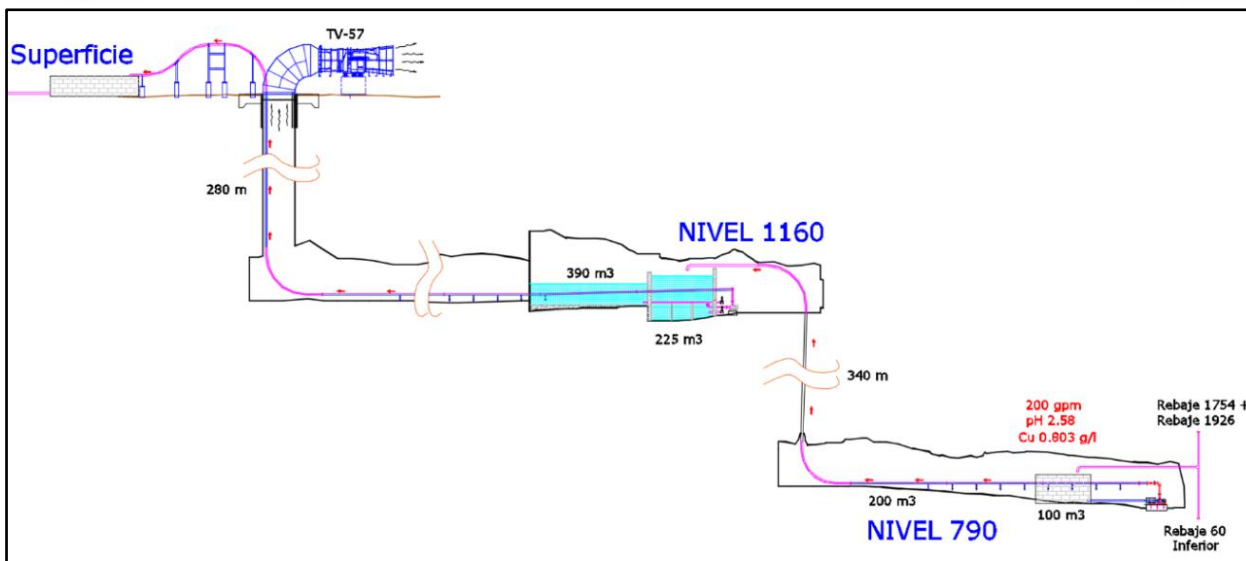


Figura 36. Ruta de bombeo presentada a la Dirección de Peñoles

En ese momento se tenían medidos 200 gpm, sin embargo, se estimó el potencial en el aporte de este tipo de agua a futuro con el objetivo de poder determinar la capacidad instalada de las estaciones de bombeo. Una de las ventajas fue que la mina no requería mayor profundización ya que los BDD no presentan cortes de mineral por debajo del nivel 790. Para no generar más agua ácida en un futuro se implementaron controles operativos que consistieron principalmente en la adecuada canalización de los escurrimientos de agua hacia los cárcamos auxiliares de bombeo, así como evitar que los mismos escurrimientos llegaran a filtrarse con los rebajes antiguos (pilares) y rellenos, que como se mencionó al inicio provocan que la pirita presente se descomponga químicamente, cambiando el agua de neutra a ácida, que a su vez lixivía el cobre presente en estos lugares.

Con estas consideraciones se estima que a futuro se puedan llegar a tener 300 gpm de agua ácida en el sistema, por lo que una práctica empírica de Peñoles en este tipo de operaciones es tener una capacidad instalada de 2 veces la operación real del sistema en caso de una contingencia.

Al aprobarse la idea, se inició con la determinación del volumen de obra para hacer la justificación de la inversión.

- Obra minera de 151 m de desarrollo más desborde entre los 2 niveles para la construcción de las piletas de captación.
- Obra civil que incluyó principalmente los muros de las piletas y las bases de las bombas.
- Selección de la ruta para determinar dimensionamiento de equipo (bombas, control de válvulas, tubería y tipo soporte)
- Trabajos de pailería para la construcción y montaje de los equipos y accesorios.

5.4 Obra minera

En el nivel 790 se aprovechó obra minera existente y sólo se realizó la necesaria para poder llegar al piloto # 80 y construir la primera estación de bombas, a esto se le denomina la primera etapa.

En el nivel 1160, se realizó la misma estrategia y el objetivo era recibir el bombeo del nivel 790 para posteriormente bombearlo en una segunda etapa hasta superficie por el TV-57 de 4 m de diámetro.

Para el nivel 790 se consideraron 108 m de desarrollo para poder acceder al barreno piloto y realizar la pileta principal donde llegaría toda la canalización del agua ácida (Figura 37).

Con respecto al nivel 1160, el total de desarrollo fue de 43 m, sólo para realizar la pileta para el segundo bombeo (Figura 38).

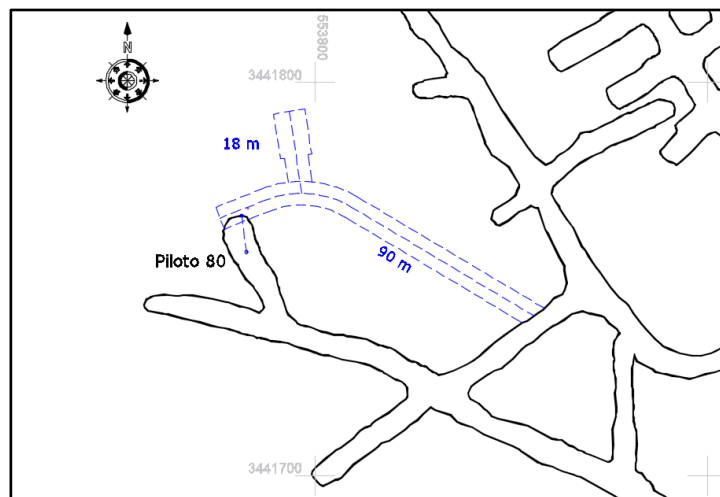


Figura 37. Proyecto en el nivel 790

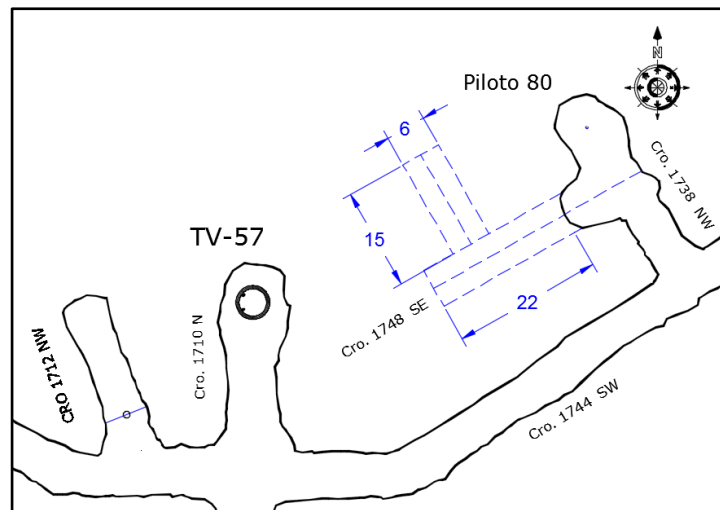


Figura 38. Proyecto en el nivel 1160

5.5 Selección de la tubería

Uno de los retos principales fue la selección del tipo de tubería que se utilizaría para el bombeo del agua, para esta parte del proyecto se presentaron 3 condicionantes que no se podrían modificar, la acidez del agua, el diámetro del barreno a 11 pulgadas y la inclinación de 87° en el barreno piloto.

Con el diámetro como condicionante, se tenía que utilizar una tubería con una resistencia de aproximadamente 600 psi, además la bomba a seleccionar tendría que ser de alta cabeza.

Se propusieron las siguientes alternativas:

- **Usar el barreno piloto como tubo-roca.** Es decir, sin meter tubería se bombearía por el barreno piloto, acondicionando únicamente el rompimiento y la llegada del mismo para la descarga del agua. Esta idea no tuvo gran trascendencia, debido a que en primer lugar el barreno presentaba escurrimientos de agua neutra, por lo que no estaba sano y al usarlo como cabezal de bombeo podíamos estar “inyectando” agua ácida al manto acuífero, además se realizó una video grabación previa con una cámara de alta definición (Figuras 39 y 40) para describir estructuralmente las condiciones internas del barreno, el resultado fue que existían zonas sobre-excavadas mayores a 11 pulgadas e intenso fracturamiento. Por estas razones se descartó el uso del barreno como tubo-roca.



Figuras 39 y 40. Grabación interna del barreno piloto

- **Tubería de acero al carbón.** Por las condiciones de la acidez, no era viable este tipo de material, además de la rigidez que tendría la tubería al estar soldada no podría entrar verticalmente por la inclinación del barreno piloto, automáticamente se descartó.



- **Tubería de acero inoxidable 316L.** Cumple con la resistencia a la acidez por lo que se invitó al proveedor JABL Ingeniería y Construcción SA de CV de Hermosillo para que realizara su propuesta técnica.

El primer bombeo del nivel 790 al nivel 1160 se compone de los siguientes datos para su cálculo:

- Q=40 L/s
- Longitud de tubería: 440 m
- Z=altura estática: 360 m
- Fluido: agua ácida con pH de 2 a 3 promedio
- Diámetro de tubería: a recomendar con la limitante de que existe un barreno de 11 pulgadas de diámetro.

El segundo bombeo (rebombeo) del nivel 1160 a superficie se compone de los siguientes datos para su cálculo:

- Q=40 L/s
- Longitud de tubería: 450 m
- Z=altura estática: 280 m
- Fluido: agua ácida con pH de 2 a 3 promedio
- Diámetro de tubería: a recomendar con la limitante de que existe una tubería de acero existente la cual tiene un diámetro interno de 7.99 pulgadas.

El diámetro de la tubería a utilizar estará basado en la velocidad óptima del fluido para que este se comporte en una forma laminar evitando la pérdida de energía en el recorrido; a su vez la velocidad estará dada por la cantidad de flujo que se desea mover, es decir cantidad de volumen por un determinado tiempo para esto se parte del modelo de continuidad que expresa lo siguiente.

$Q = V * A$, donde:

Q es el caudal

V la Velocidad

A el área del conducto o tubería.

La velocidad es directamente proporcional al área de la tubería en cuestión, por lo que si tenemos un Q ya definido hay que definir una velocidad laminar (3 m/s) para poder obtener un diámetro promedio aceptable.

El caudal máximo que se desea mover será de 40 L/s (144 m³/h) por lo que se utiliza este flujo como referencia para estimar el diámetro óptimo.

Estimando diámetro óptimo de conducción:

$$Q = V * A \rightarrow A = Q / V \rightarrow A = [(144 \text{ m}^3/\text{h}) * (1 \text{ h} / 3600 \text{ s})] / (3 \text{ m/s})$$



$$A = 0.0133 \text{ m}^2$$

$$A = (\pi * D^2) / 4; D = \sqrt{4A/\pi}$$

$$D = 0.130 \text{ m} = 130.13 \text{ mm} = (5.12 \text{ pulgadas})$$

Por lo tanto, se requerirá de una tubería cuyo diámetro interno sea de un valor de 5.12 pulgadas (130.13 mm) y que pueda trabajar a una presión promedio de 37 bar ya que la altura estática desde el primer bombeo al rebombeo es de 360 m, más la fricción generada en el recorrido de la tubería en 440 m; del rebombeo al punto de descarga final existen 280 m de altura estática más la fricción generada en el recorrido en los 450 m de tubería.

Debido a la acidez presentada en el fluido a bombear y la presión generada en el sistema, el tipo de tubería óptimo a utilizar sería de acero inoxidable 316L, con el diámetro óptimo a utilizar para la conducción de 40 L/s y flujo laminar se podría utilizar una tubería de 6 pulgadas en SS316L cédula 40, la cual soporta hasta 1160 psi. En el caso de querer utilizar tubería de PEAD no sería viable ya que utilizaríamos un diámetro de 6 pulgadas RD5 la cual tiene un diámetro interno de 3.8 pulgadas (aumentaría muchísimo la fricción) y soporta una presión máxima de 500 psi (la cual es insuficiente).

Datos de tubería:

Tipo: SS316L 40S

Presión Nominal PN: 1160 psi (80 bar)

Diámetro externo: 6.625 pulgadas (168.28 mm)

Diámetro interno: 6.065 pulgadas (154.06 mm)

Espesor: 0.280 pulgadas (7.11 mm)

Pérdidas por fricción generadas en los recorridos.

Una vez definido un diámetro de tubería para el manejo de un fluido laminar lo cual ayuda a reducir en lo posible las pérdidas de energía durante la conducción podríamos estimar las pérdidas por fricción de una manera más precisa, ya con los datos exactos de la tubería que se podría emplear.

Del modelo Hazem-Williams podremos estimar la pérdida por fricción en la tubería, la fórmula es la siguiente (Tabla 8.3 del libro Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott):

$$h_L = L \left[\frac{Q}{0.85 A C_h R^{0.63}} \right]^{1.852} \quad h_{Acc} = k_{Acc} \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_L = Pérdida de energía durante la conducción;

R = Radio hidráulico ($D/4$);

L = Longitud de la conducción en m;

h_{Acc} = pérdida energía en accesorios

v = velocidad media del flujo

k_{Acc} = factor pérdida accesorio

g = aceleración de la gravedad



Q= Caudal en m³/s

A= Área en m²

Ch=coeficiente de Hazem-Williams

Calculo de pérdida de energía por fricción en tubería en primer bombeo:

R= 0.154 m/4 = 0.0385 m

L= 440 m

A= 0.0186 m²

Q= 0.040 m³/s

Ch= 130

h_L= 13.35 m, pérdida de energía en la conducción de 440 m tubería SS316L de 6 pulgadas 40S.

Cálculo de pérdidas de energía por accesorios en primer bombeo.

Estos cálculos son aproximados para la cantidad de accesorios que se utilizarán, y el valor está dado en equivalencia a longitud de tubería lineal y utilizándose el mismo proceso anterior para determinar las pérdidas por fricción.

		Pérdidas totales por accesorios				
Piezas	Accesorios	K	v ²	2g	hL/accesorio	hL Total
10	Válvulas de control de 6 pulgadas	2.5	9.00	19.62	1.15	11.47
1	Válvula compuerta de 6 pulgadas	5.0	9.00	19.62	2.29	2.29
3	Codos de 6 pulgadas x 90°	0.9	9.00	19.62	0.41	1.24
1	Conexión "T" de 6 pulgadas	0.1	9.00	19.62	0.05	0.05
					TOTAL	15.05

Cálculo de pérdida de energía por fricción en tubería en segundo bombeo

R= 0.154 m/4 = 0.0385 m

L= 450 m

A= 0.0186 m²

Q= 0.040 m³/s

Ch= 130

h_L= 13.63 m, pérdida de energía en la conducción de 450 m tubería SS316L de 6 pulgadas 40S.

Cálculo de pérdidas de energía por accesorios en segundo bombeo.

		Pérdidas totales por accesorios				
Piezas	Accesorios	K	v ²	2g	hL/accesorio	hL Total
8	Válvulas de control de 6 pulgadas	2.5	9.00	19.62	1.15	9.17
1	Válvula compuerta de 6 pulgadas	5.0	9.00	19.62	2.29	2.29
3	Codos de 6 pulgadas x 90°	0.9	9.00	19.62	0.41	1.24
1	Conexión "T" de 6 pulgadas	0.1	9.00	19.62	0.05	0.05
					TOTAL	12.75

Otra característica que debía cumplir la tubería es que debe ser auto soportable, ya que no se podrá colocar ningún tipo de soporte práctico que permita ir sosteniendo la línea a lo largo de esta distancia. La soldadura entre tubos sería el factor de éxito en esta instalación, sin embargo la inclinación de 87° no permitió concretar esta opción, ya que la tubería al ir soldada y colocada verticalmente llegaría a un punto donde se atoraría con la desviación del barreno. Por otro lado habría un 15% de costo adicional sobre la cotización de la instalación, debido a las pruebas en la soldadura entre cada tubo. La opción fue descartada a pesar de que se realizó el diseño preliminar.

- **Tubería de polietileno de alta densidad (PEAD).** Se consideró este tipo de material, sin embargo, de manera instantánea se descartó ya que uno de los proveedores que fue invitado IOHISA de Gómez Palacio, Durango argumentó que la distancia vertical era demasiada y el producto tendría una deformación (elongación) a los 50 m en la posición vertical.
- **Tubería de fibra de vidrio.** Este tipo de tubería fue una alternativa fuera de lo comercial para la industria minera subterránea, sobre todo porque su campo fuerte de aplicación es la industria del petróleo.

Por medio de la División de Ingeniería y Construcción de Peñoles (DIC) se realiza el contacto con la empresa Fiber Glass Systems NOV a quien se le plantea el proyecto como al resto de los proveedores.

La tubería flexible Fiberspar es una tubería “compuesta” enrollable (SCP), que consta de 4 capas como se muestra en la Figura 41.

- 1.- Barrera de presión termoplástica
- 2.- Capa de unión (su propósito es unir plenamente el revestimiento con la capa de refuerzo)
- 3.- Capa de refuerzo que consiste en fibras de vidrio de alta resistencia unidas por resinas epóxicas
- 4.- Capa resistente al desgaste termoplástico (chaqueta)

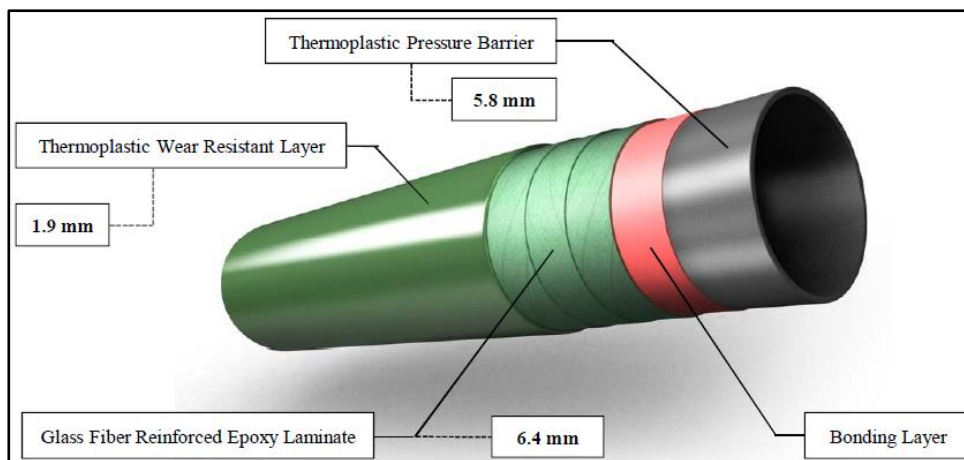


Figura 41. Componentes de la tubería Fiberspar.



La experiencia del uso de la tubería Fiberspar ha sido principalmente en la industria del petróleo y el gas para todas sus aplicaciones las cuales incluyen líneas de producción, líneas de descarga, líneas de inyección a alta presión y líneas de recolección tanto para gas como petróleo y agua. La primera instalación de tubería de Fiberspar se realizó en el año 1999 en el oeste de Texas, después de 15 años de estar operando la línea se encuentra en perfecto estado de funcionamiento.

Desde la primera instalación de tubería flexible de fibra de vidrio Fiber Glass Systems NOV, se han instalado más de 24,000 Km de este tipo de tubería, donde en su mayoría han sido instalaciones que se encuentran sobre el terreno en posición horizontal y totalmente apoyadas a lo largo del eje longitudinal. Sin embargo, también se tiene experiencia en aplicaciones de pozos petroleros e instalaciones en terreno montañosos con pendientes bastante severas de hasta 70° de inclinación. De tal forma que haciendo la selección del producto correcto para esta aplicación la instalación puede llevarse a cabo con la tubería flexible de fibra de vidrio.

Fiber Glass Systems NOV cuenta con técnicos certificados para realizar la instalación, que, si bien nunca habían realizado una en interior mina, se buscó la mejor alternativa para el ganar-ganar ya que para ellos sería una carta de presentación en la industria minera.

Se realiza el cálculo de las presiones (Tabla 5) muy parecido al de la opción con tubería de acero inoxidable 316L entre los niveles 790 y 1160 (Figura 42) para determinar el diámetro a proponer y que, además, como ya se sabe, está condicionado por un barrenado de 11 pulgadas.

Tabla 5. Cálculo de la presión de trabajo de la primera línea

Project Information

Client: Milpilla Penoles Mine	Agent: Sergio Hernandez
Project: Dewatering Lines AB, BD, and DE	Calcs By: J. Ramos
Location: Mexico	Date: September 30, 2015

Operating Conditions

Line Length	See below	ft	Fluid Temperature	77	°F
Absolute Roughness	0.00028	in	Fluid Density	72	lb/ft ³
Elevation Change	See below	ft	Fluid Specific Gravity	1.16	
Flow Rate	20,572	bpd	Fluid Viscosity	1.67	cP

Results

Pipe Description	Line	Pipe ID (in)	Length (ft)	Δ Elev. (ft)	Velocity (ft/s)	P inlet (psi)	P drop (psi)	P outlet (psi)
FS LPS 5" 2250 (E)	AB	4.52	83	0	12	682.7	4.2	678.5
FS LPS 5" 2250 (E)	BD	4.52	1,165	+ 1,165	12	678.5	644	34.5
FS LPS 5" 2250 (E)	DE	4.52	89	0	12	34.5	4.5	30

Comments

Pressure drop Includes a 10% contingency factor. See illustration below.

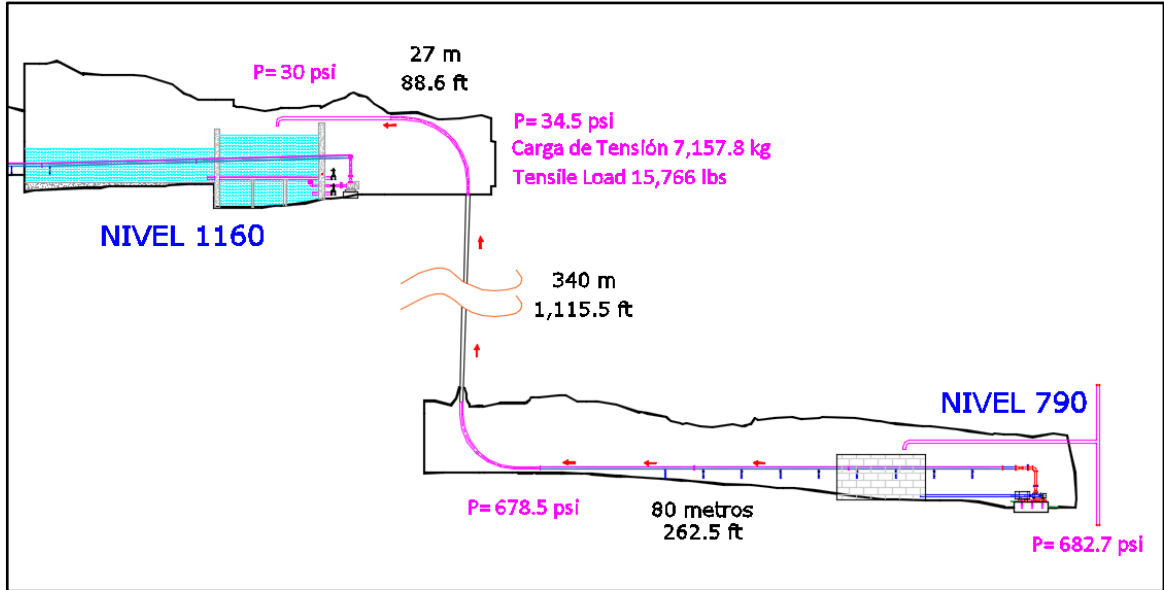


Figura 42. Sección del primer bombeo del nivel 790 a nivel 1160

De igual manera se realiza el cálculo para la segunda ruta entre el nivel 1160 y superficie (Tabla 6), en esta parte se hace mención que, se busca utilizar una tubería de servicios de acero al carbón de 6 u 8 in instalada por todo lo largo del tiro de ventilación 57 pero sólo como soporte o “encamisado” para la tubería de fibra de vidrio (Figura 43).

Tabla 6. Cálculo de la presión de trabajo de la segunda línea

Project Information

Client:	Milpilla Penoles Mine	Agent:	Sergio Hernandez
Project:	Dewatering Lines FG, GH, and HI	Calcs By:	J. Ramos
Location:	Mexico	Date:	September 30, 2015

Operating Conditions

Line Length	See below	ft	Fluid Temperature	77	°F
Absolute Roughness	0.00028	in	Fluid Density	72	lb/ft ³
Elevation Change	See below	ft	Fluid Specific Gravity	1.16	
Flow Rate	20,572	bpd	Fluid Viscosity	1.67	cP

Results

Pipe Description	Line	Pipe ID (in)	Length (ft)	Δ Elev. (ft)	Velocity (ft/s)	P inlet (psi)	P drop (psi)	P outlet (psi)
FS LPS 5" 2250 (E)	FG	4.52	338	0	12	563.7	17.1	546.6
FS LPS 5" 2250 (E)	GH	4.52	919	+ 919	12	546.6	508.2	38.4
FS LPS 5" 2250 (E)	HI	4.52	165	0	12	38.4	8.4	30

Comments

Pressure drop Includes a 10% contingency factor. See illustration below.

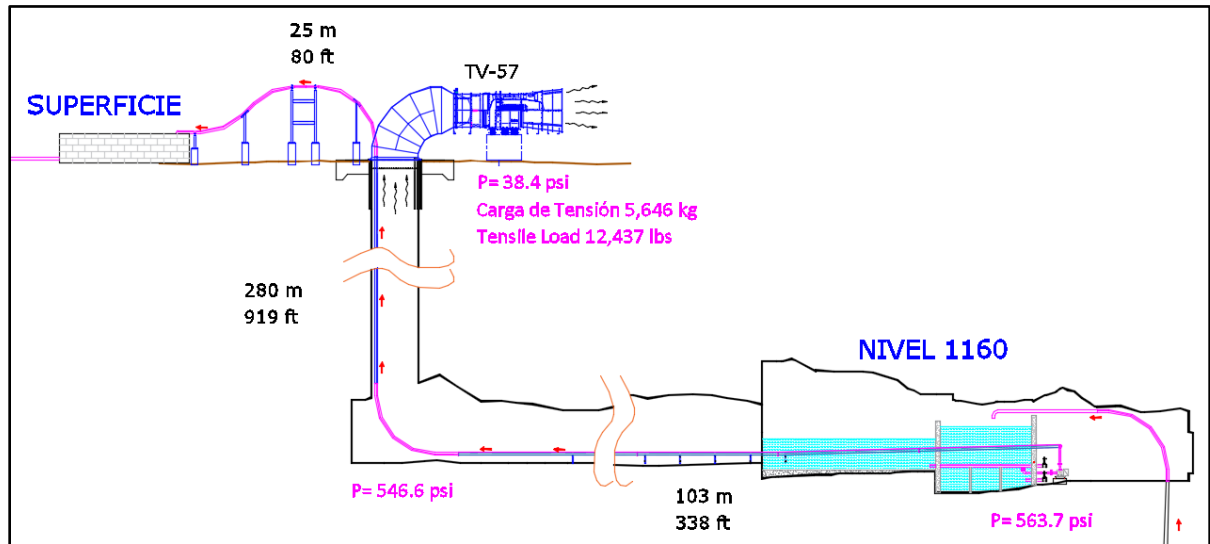


Figura 43. Sección del segundo bombeo del nivel 1160 a superficie

Los resultados obtenidos después de haber realizado todos los cálculos correspondientes muestran que la tubería Fiberspax FS LPS 5", serie 2,250 (E) puede soportar las condiciones de funcionamiento para esta aplicación. En la Tabla 7 se describen los datos técnicos de la misma.

Por la parte técnica quedó seleccionada la tubería, ahora se podía trabajar en la inversión total de la misma incluyendo su instalación y la selección del tipo de bombas.



Tabla 7. Especificaciones técnicas de la tubería Fiberspar seleccionada

FS LPS 5" 2,250 (E)

5 Inch Nominal, 2,250 Series Fiberspar LinePipe w/HDPE Pressure Barrier & HDPE External Wear Layer

Product Data Sheet (Metric Units)

ASTM 2996 Designation:

RTRP-11HZ1-4112

Physical Properties:*

NOV FGS p/n:

JEFN050030

Geometry		Tensile Modulus	
Outside Diameter (mm)	143	Axial (MPa)	6,340
Inside Diameter (mm)	115	Hoop (MPa)	8,195
Inside Flow Area (mm ²)	10,352	Poisson's Ratio	
Total Wall Thickness (mm)	14.2	Major	0.49
C/S Area (mm ²)	5,742	Minor	0.63
Linear Weight		Thermal Exp. Coeff.	
Linear Weight - Air (kg/m)	8.25	Axial (mm/mm -°C)	2.18E-05
Linear Weight - Water (kg/m)	2.52	Hoop (mm/mm -°C)	1.26E-05
Specific Gravity (g/cm ³)	1.44	Thermal Conductivity	
Flow Coefficients		(W/(m -°K))	0.273
Hazen - William's	150	Resin T_g	
Darcy-Wiesbach	0.0004	(°C)	125°
Manning	0.009	(°F)	257°

* properties listed are valid for entire temperature range of the product unless otherwise specified

Mechanical Performance:

Maximum Operating Temperature	60 °C		
Minimum Operating Temperature	-34 °C	26 °C	60 °C
Max. Recommended Operating Pressure (MPa) ⁽¹⁾		15.51	15.51
Nominal Ultimate Burst Pressure (MPa)		45.5	38.6
Maximum Recommended Tensile Load (kg)		11,660	10,060
Nominal Ultimate Tensile Load (kg)		29,160	25,120
Nominal Ultimate Compressive Load (kg)		-33,340	-27,360
Nominal Ultimate Collapse Pressure (kPa)		6,800	6,800
Minimum Operating Bend Radius (cm)		348	348
Minimum Spooling Diameter (cm)		396	396

(1) Max. recommended operating pressure is for non-cyclic, water service. For other applications please consult NOV FGS engineering



5.6 Selección del equipo de bombeo

La carga dinámica total (CDT), está compuesta por la carga estática y la carga dinámica, se denomina carga estática a la distancia en vertical existente entre el punto de donde se tomará el fluido a bombear y el punto más elevado al que se pretende hacer llegar durante su conducción y carga dinámica a la pérdida de energía que se genera por la conducción del mismo por medio de una tubería, es la fricción que se genera en las paredes del tubo al estar el fluido en contacto con el mismo, esta pérdida se estima tanto para tuberías y accesorios.

Carga estática: la carga estática para este caso en particular está dada por la diferencia de altura existente entre el punto de bombeo y el punto más elevado a vencer durante la conducción; en el primer bombeo 360 m y en el segundo 280 m. Por lo tanto:

Carga dinámica total (CDT) = carga estática + carga dinámica generada en tubería y accesorios:

$$\text{CDT primer bombeo} = 340 \text{ m} + 13.35 \text{ m} + 15.05 \text{ m} = 368.4 \text{ m} \approx 368 \text{ m}$$

$$\text{CDT segundo bombeo} = 280 \text{ m} + 13.63 \text{ m} + 12.75 \text{ m} = 306.38 \text{ m} \approx 307 \text{ m}$$

Las cargas dinámicas en tuberías y accesorios se calcularon en las páginas 39, 40 y 41.

Por lo que nuestros puntos de operación para el primer y segundo bombeo quedarían de 40 l/s a 368 m y 40 l/s a 307 m; respectivamente.

Sin lugar a duda en el mercado existe un gran número de marcas y modelos de bombas que pueden cubrir la necesidad de este proyecto.

Los equipos que se adquirieron fueron 3 bombas multipasos horizontales marca Vogel modelo MP 100.1/4-SW6720, construcción en acero inoxidable con sello mecánico y motor de 300 HP, los datos técnicos se muestran en las Tablas 8 y 9.

De las 3 bombas, una está de repuesto para cualquier contingencia.



INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA

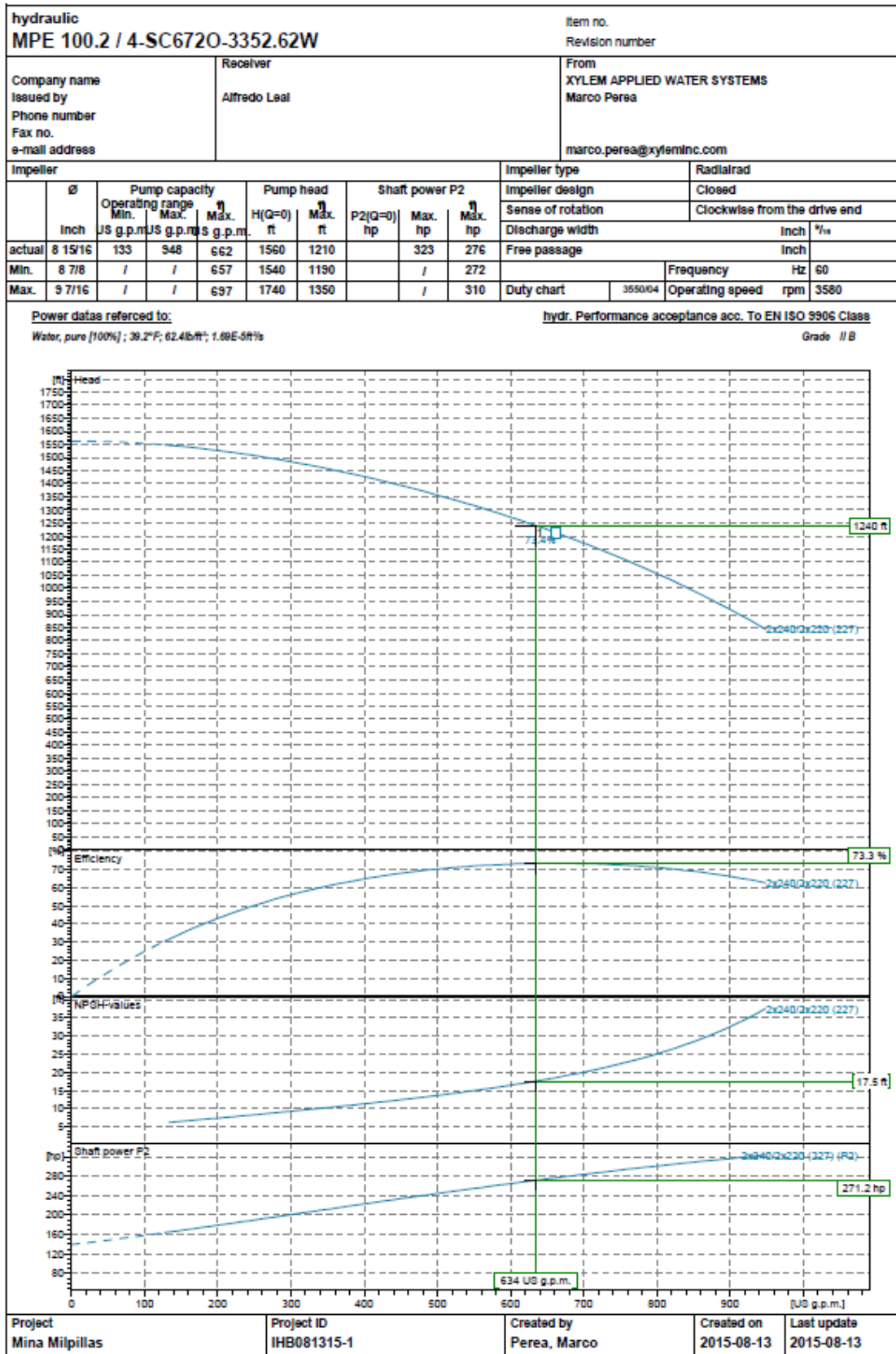


Tabla 8. Datos técnicos de la bomba Vogel

Technical Data					Item no.	
MPE 100.2 / 4-SC6720-3352.62W					Revision number	
Company name			Receiver		From	
Issued by			Alfredo Leal		XYLEM APPLIED WATER SYSTEMS	
Phone number					Marco Perea	
Fax no.						
e-mail address					marco.perea@xyleminc.com	
Operating data						
1	Pumpe type	Single head pump		Fluid		Water, pure
2	No. of pumps	1		Operating temperature t A		°F 39.2
3	Nominal flow	US g.p.m.	634	pH-value at t A		7
4	Nominal head	ft	1240	Density at t A		lb/ft ³ 62.4
5	Static head	ft	0	Kin. viscosity at t A		ft ² /s 1.689E-5
6	Inlet pressure	psi	1.4	Vapor pressure at t A		psi 0.114
7	Environmental temperature	°F	39.2	Content of solid %		Solid size inch 0 0
8	Available system NPSH	ft	0	Altitude		ft 3281
Pump data						
9	Pump designation	MPE 100.2 / 4-SC6720-3352.62W			Max. inch 9 7/16	
10	Design	Multistage pumps, with bearings at both ends			Impeller Ø designed inch 8 15/16	
11	Execution	LO, DN5-left/ DN4-above standard coupling (standard)			Min. inch 8 7/8	
12	Operating speed	rpm	3580	Flow		Nominal US g.p.m. 634 (634)
13	Number of stages	4		Max- US g.p.m.		948.1
14	Suction nozzle	5" / Class 300 / ASME B16.5		Min- US g.p.m.		133.2
15	Discharge nozzle	4" / Class 600 / ASME B16.5		Head		Nominal ft 1240.2
16	Max. casing pressure	psi		at Qmax		ft 844.2
17	Max. working pressure	psi	678.8	at Qmin		ft 1546.8
18	Impeller type	Impeller design	Radialrad	Closed	Shaft power hp 271.2 (271.2)	
19	Bearing bracket				Max. shaft power hp 322.7	
20	Head H(Q=0)	ft	1600	Efficiency		% 73.33
21	Pump weight / Total weight	lb	/ 4101	NPSH 3%		ft 17.5
Materials						
22	Pump			Shaft Seal		
23	Impellers	Duplex, 1.4517		Mechanical seal		
24	Diffusors	Duplex, 1.4517		SC = balanced, at both sides		AQ1EMG1/AQ1EMG1
25	Suction casing	Duplex, 1.4517		suction side mech. Seal		
26	Discharge casing	Duplex, 1.4517		1.1 Rotating ring		Carbon graphite
27	Stage casing	Duplex, 1.4517		1.2 Stationary ring		Silicon carbide pressureless sintered
28	Bearing frame, bearing cover	Cast iron, 0.6025		1.3 Secondary seal		EPDM
29	balancing drum	Duplex, 1.4462		1.4 Springs		Nickel alloy
30	balancing bush	cast stainless steel, 1.4313		1.5 Others		Duplex, 1.4517
31	Shaft	Duplex, 1.4462		discharge side mech. Seal		
32	Shaft sleeve	Duplex, 1.4462		2.1 Rotating ring		Carbon graphite
33				2.2 Stationary ring		Silicon carbide pressureless sintered
34				2.3 Secondary seal		EPDM
35				2.4 Springs		Nickel alloy
37				2.5 Others		Duplex, 1.4517
36						
38						
Motor data				Coupling		
39	Manufacturer	WEG	Electric voltage	380 V	Manufacturer	Flender
40	Specific design	IE3 motors - Cast Iron Frame - Premium Efficiency		Series	N-EUPEX - Type B	
41	Type	W22 - 315 L - 250	Electric current	431.6 A	Type	B 160/0-55/65
42	Rated power	335.26 hp	Degree of protection	IP55	Frame size	160
43	Nominal speed	3580 rpm	Explosion protection	-- -- --	Spacer length inch	(No data)
44	Frame size	315 L2	Type of protection	--	Weight	lb 20.723
45	Weight	2976.2 lb	direction of rotation		Coupling protection	yes Werkstoff :
46	Terminal box		Shaft diameter	2 9/16 inch		
Base plate				Accessories		
47	Description	MPE100.2_4_315 L2_NK		Piping		
48	Weight	lb	0	heating jacket (casing)		<input type="checkbox"/> yes / no
Remarks				heating jacket (casing cover)		<input type="checkbox"/> yes / no
49				Constant level Oiler		<input type="checkbox"/> yes / no
50				Anchorbolts		<input type="checkbox"/> yes / no
51						<input type="checkbox"/> yes / no
52						<input type="checkbox"/> yes / no
Project		Project ID		Created by		Created on
Mina Milpillas		IHB081315-1		Perea, Marco		2015-08-13
						Last update
						2015-08-13



Tabla 9. Curva de trabajo de la bomba Vogel



5.7 Instalación tubería.

La tubería seleccionada llegó en 2 rollos de 440 m cada uno desde la fábrica en Houston, Texas tal y como se muestra en las Figuras 44 y 45.

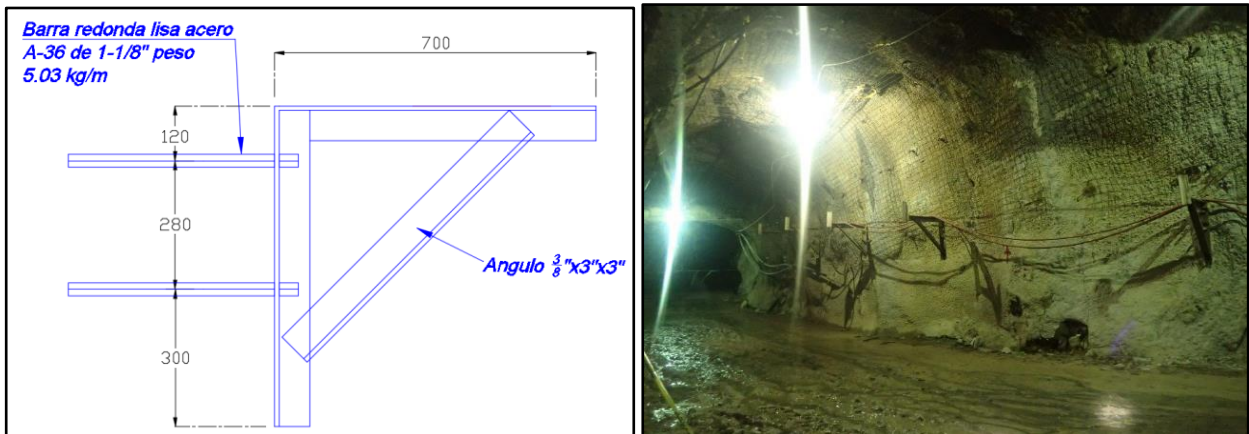
Con los técnicos de Fiber Glass Systems NOV en Milpillás, para iniciar el plan de trabajo se realizó el análisis de los riesgos de todas las actividades.

Sin lugar a duda la técnica para instalar la tubería en 2 secciones desde superficie provocaba un gran reto ya que no se tenía evidencia en México de algo similar.



Figuras 44 y 45. Presentación y llegada de la tubería a unidad Milpillás

Se fabrican e instalan los soportes por toda la ruta en interior mina (Figuras 46 a 49), donde en los tramos horizontales se coloca una tubería de PEAD (polietileno de alta densidad) de 10 pulgadas de diámetro con el objetivo de proteger la tubería de fibra de vidrio de algún impacto producido por equipos móviles.



Figuras 46 y 47. Diseño y colocación de soportes para la tubería en interior mina



Figuras 48 y 49. Diseño y colocación de los soportes nivel 790 y 1160

A la par, se realizaron los preparativos en superficie para el descenso de la tubería hacia el nivel 1160, como se muestra en la Figuras 50 a 53.

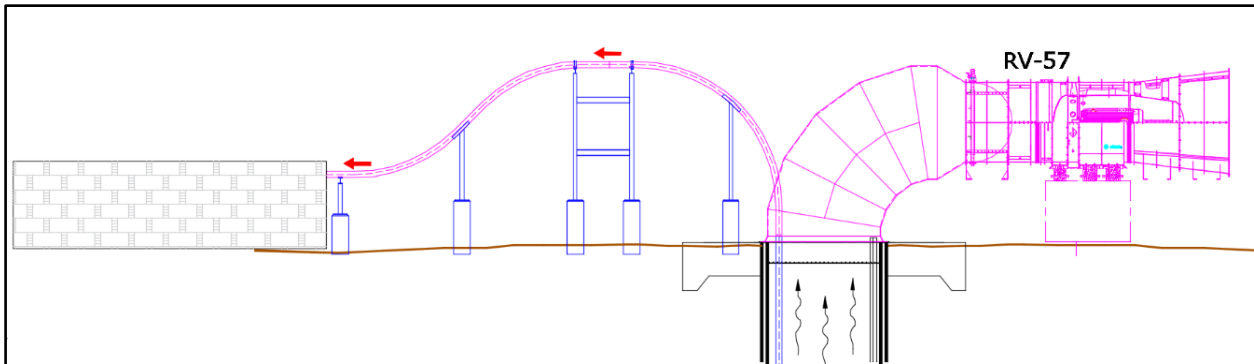


Figura 50. Diseño de la estructura final de descarga en superficie



Figura 51. Estructura en superficie terminada

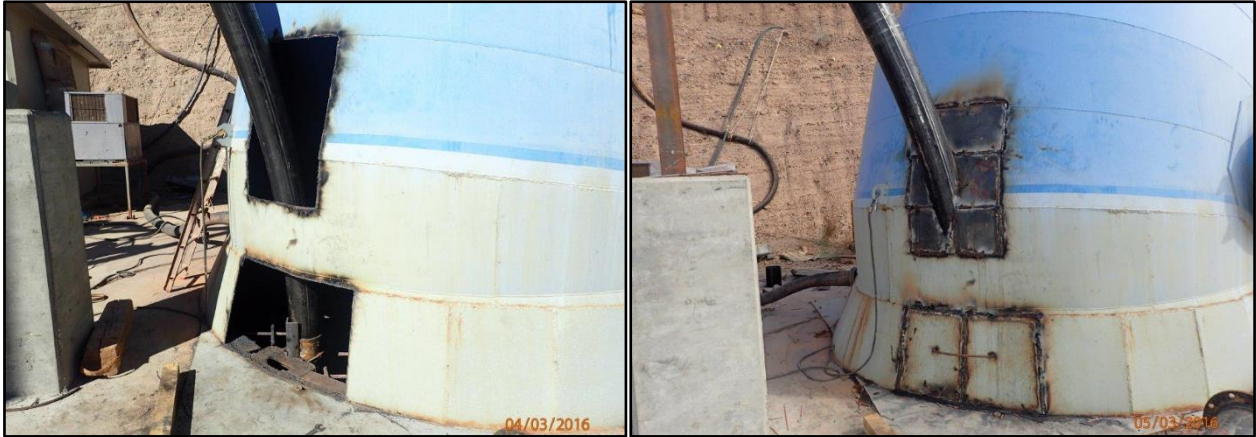


Figura 52 y 53. Conexión de la estructura nueva con la existente en el TV-57

Para la bajada de la tubería, se construyó una cimentación para colocar un freno hidráulico que a su vez soportara cada rollo con la tubería, las maniobras para colocar este mecanismo, así como la presentación de los carretes se realizaron con ayuda de 2 grúas con capacidad mayor a 10 toneladas (Figuras 54 a 59).



Figuras 54 y 55. Armado del freno hidráulico



Figuras 56 y 57. Instalación del primer carrete



Figuras 58 y 59. Instalación del primer carrete (continuación)

Una vez terminada la estructura, se colocó en el nivel 1160 un malacate de motor diésel con variador de velocidad que jaló la punta de la tubería desde la parte inferior por medio de un cable acerado que se introdujo por la tubería de acero al carbón como se muestra en las Figuras 60 y 61. El freno en superficie, controló la velocidad de movimiento del carrete al bajar la tubería de fibra de vidrio.

Al inicio la fuerza la realizó el malacate en el nivel 1160 y aproximadamente cuando más del 50% de la longitud del carrete estuvo dentro de la tubería de acero, el freno en superficie hizo el trabajo de retener el carrete para que la tubería de fibra de vidrio no bajara de golpe por la repartición del peso.



Figuras 60 y 61. Malacate diésel utilizado en nivel 1160 para jalar la tubería de superficie

En el nivel 1160 se acomodó la tubería de fibra de vidrio conforme fue bajando y se introdujo en la tubería PEAD ensamblada y colocada en el piso para que no sufriera daños, ya que posteriormente se bajó por el barreno piloto hacia el nivel 790.

Es importante mencionar que una vez que la punta de la tubería de fibra de vidrio llegó al nivel 1160, se desacopló del malacate y se conectó a un equipo diésel de servicios marca Normet para extenderla por el mismo nivel.

Al terminar de bajar toda la tubería de fibra de vidrio del primer carrete, se realizó una conexión especial con el segundo carrete para poder introducir el resto de la tubería en la misma maniobra.

Cuando la punta del primer carrete llegó al nivel 1160, ésta se desacopló y se siguió bajando la tubería de fibra de vidrio del segundo carrete hasta su posición final, donde se aseguró por medio de mordazas especiales tanto abajo, como en superficie. La secuencia descrita se muestra desde la Figura 62 a la 69.



Figuras 62 y 63. Instalación del primer carrete



Figura 64. Bajada de la tubería desde superficie



Figuras 65 y 66. Se tiende la tubería de fibra de vidrio del primer carrete por el nivel 1160 y se protege con la tubería PEAD



Figura 67. Se termina de bajar la tubería de fibra de vidrio del primer carrete



Figura 68. Maniobra para el cambio de carrete



Figura 69. Se ensambla el final de la tubería del primer carrete con el inicio del segundo

El primer carrete que se introdujo en el nivel 1160, se preparó para bajarlo por el barreno piloto de 11 pulgadas, en ambos casos se fabricó una estructura especial que cumpliera con el radio de curvatura de 16 pies de la tubería para que no sufriera daño por un sobre esfuerzo al doblarla fuera de su límite (Figura 70). Se bajó el malacate al nivel 790 y se repitió la maniobra de introducir el cable de acero ahora por el barreno piloto para poder guiar la punta de la tubería de fibra de vidrio.

Para esta actividad es conveniente mencionar que, por el acabado de tablas y cielo de la obra minera, la maniobra de la tubería requirió el apoyo de unas guías aceradas con pequeñas poleas, tipo patines para que la tubería de fibra de vidrio no se dañara.

Las dimensiones del freno en superficie no permitieron que se pudiera instalar en el nivel 1160 para detener la tubería que iba al nivel 790, por lo que se utilizaron 2 equipos diésel de servicios para poder asegurar la bajada (un equipo Normet y una retroexcavadora).

Una vez introducida la tubería de fibra de vidrio en el barreno piloto, se ancló de una manera muy similar a la de la sección 1160 – superficie. La última parte de esta actividad consistió en instalar las bridas de acero inoxidable en los extremos de la tubería y dejarla bien acomodada en los soportes por toda la tabla de la obra minera. La secuencia se muestra desde la Figura 71 a 77.



Figura 70. Fabricación de la estructura de soporte en el barreno piloto (nivel 1160)



Figuras 71 y 72. Llegada de la tubería de fibra de vidrio del segundo carrete al nivel 1160, tubería soportada con eslingas de carga y retroexcavadora



Figuras 73 y 74. Extremo final de la tubería del segundo carrete con brida y abrazaderas de soporte



Figura 75. Abrazadera de soporte y colocación de brida en nivel 1160



Figuras 76 y 77. Llegada de la tubería de fibra de vidrio al nivel 790 y colocación de brida

5.8 Obra Civil

La obra civil se divide en 3 actividades.

- Diseño y construcción de los dados de concreto que soportarán la estructura metálica por donde se metió la tubería desde superficie (Figuras 78 y 79)



Figuras 78 y 79. Obra civil realizada en superficie

- Diseño y construcción de los muros en las piletas en los niveles 790 y 1160 (Figuras 80 a 85, 92 y 93), así como la pileta en superficie que recibe la descarga final del bombeo del nivel 1160 con sus respectivos electroniveles (Figuras 85 a 90).



Figuras 80, 81, 82, 83, 84 y 85. Obra civil en pileta nivel 790



Figuras 86, 87, 88, 89 y 90. Construcción de la pileta en superficie



Figura 91. Acabado interior de la pileta en superficie con recubrimiento epóxico



Figura 92. Armado de la pileta en el nivel 1160



Figuras 93. Acabado del muro de la pileta en el nivel 1160

- Diseño y construcción de las bases de las bombas en los niveles 790 y 1160 como se muestra en las Figuras 94 a 97.



Figuras 94 y 95. Armado de las bases para las bombas Vogel



Figuras 96 y 97. Cimbrado y vaciado de las bases para las bombas

5.9 Instalación de bombas

Una vez terminadas las bases para las bombas en los 2 niveles, se procedió a su instalación con apoyo de una grúa tipo Hiab como se aprecia en las Figuras 98 a 100, se realizó su debida alineación y se terminaron los trabajos eléctricos de los motores con su respectivo arrancador.

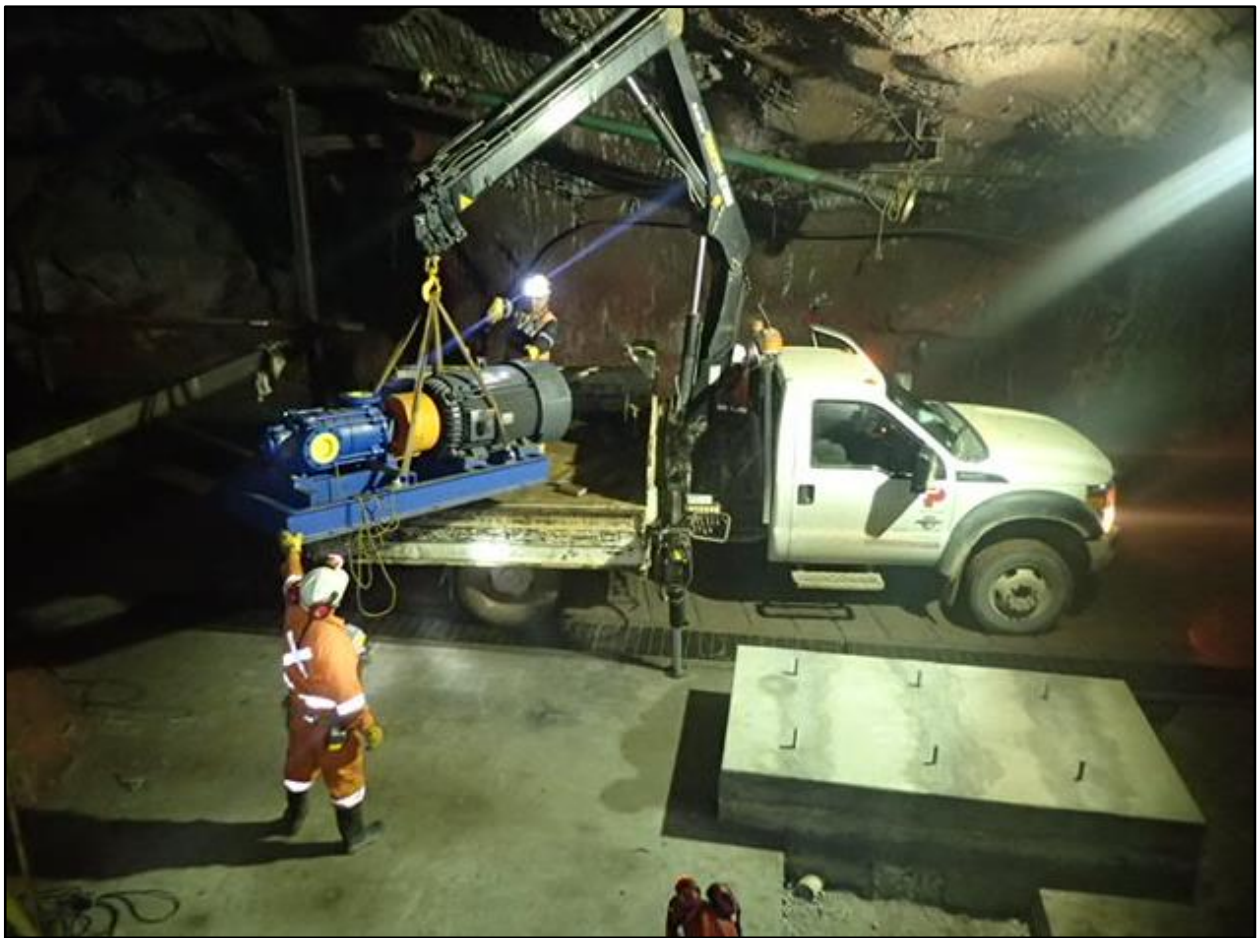


Figura 98. Montaje de la bomba Vogel en su base



Figuras 99 y 100. Bombas instaladas en nivel 790 y 1160 respectivamente

5.10 Instalación de válvulas de control y flujómetro

Junto con el cierre eléctrico se inició también el de la tubería de fibra de vidrio con la de acero inoxidable, esto para dar el ajuste final a todo el cabezal de cada uno de los 2 circuitos de bombeo, se instalaron sus respectivas válvulas de control modelo 210 marca Rite pro de 6 pulgadas, una válvula anticipadora de presión marca Bermad de 4 pulgadas y varias válvulas de control tipo mariposa de alto rendimiento marca Bray en 8, 6 y 4 pulgadas, estas últimas para el control en la succión y descarga de las líneas al realizar mantenimientos o cambios de componentes. Todo en acero inoxidable 316L, la tubería fue de 6 y 4 pulgadas, cédula 40 sin costura como se muestra en las Figuras 101, 102, 104, 105, 107 y 108.

Los portafiltros que ayudan a retener la basura en la succión de cada bomba fueron también en acero inoxidable de acuerdo con la Ingeniería realizada en las Figuras 103 y 106.

Se colocó un flujómetro en la última sección del bombeo (nivel 1160 a superficie) para poder cuantificar los m^3 bombeados que se están enviando a los patios de lixiviación, así como sus respectivos manómetros a la descarga de cada bomba (Figuras 109 a 111).



Figuras 101 y 102. Fabricación de accesorios en acero inoxidable 316L

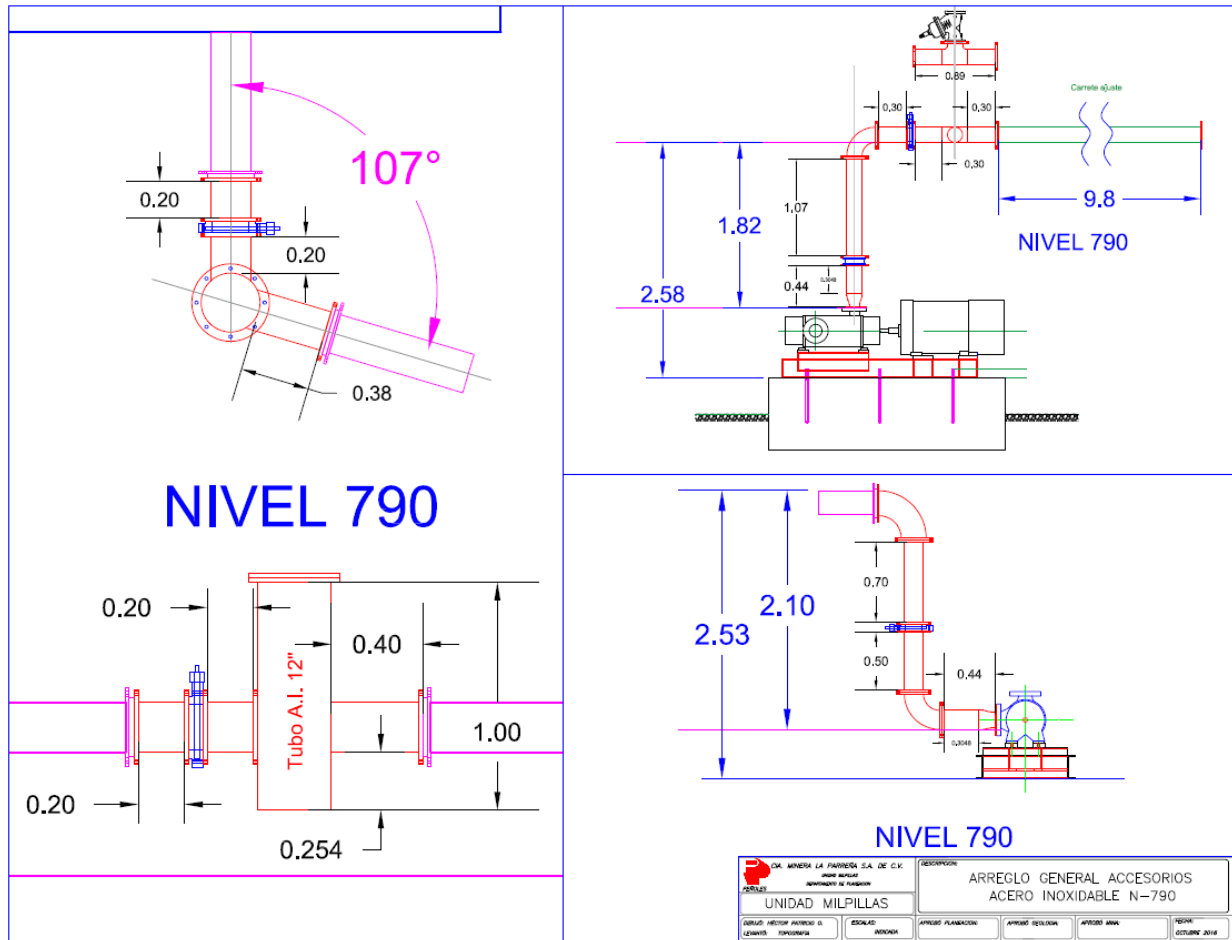
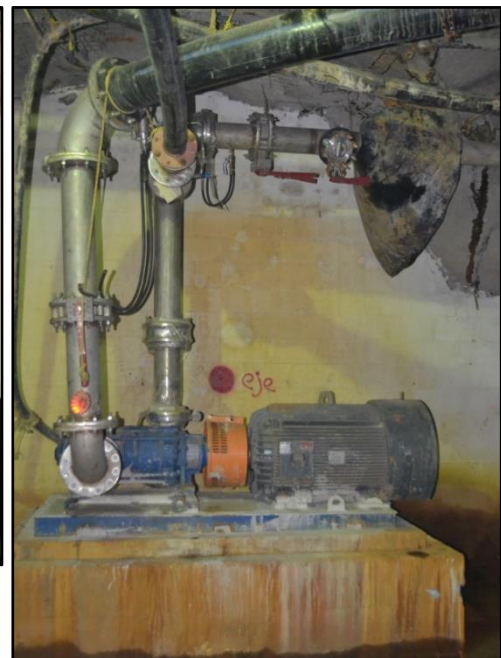


Figura 103. Diseño del cierre de la línea con bomba en nivel 790



Figuras 104 y 105. Ensamble de accesorios para cierre con la tubería de fibra de vidrio en nivel 790

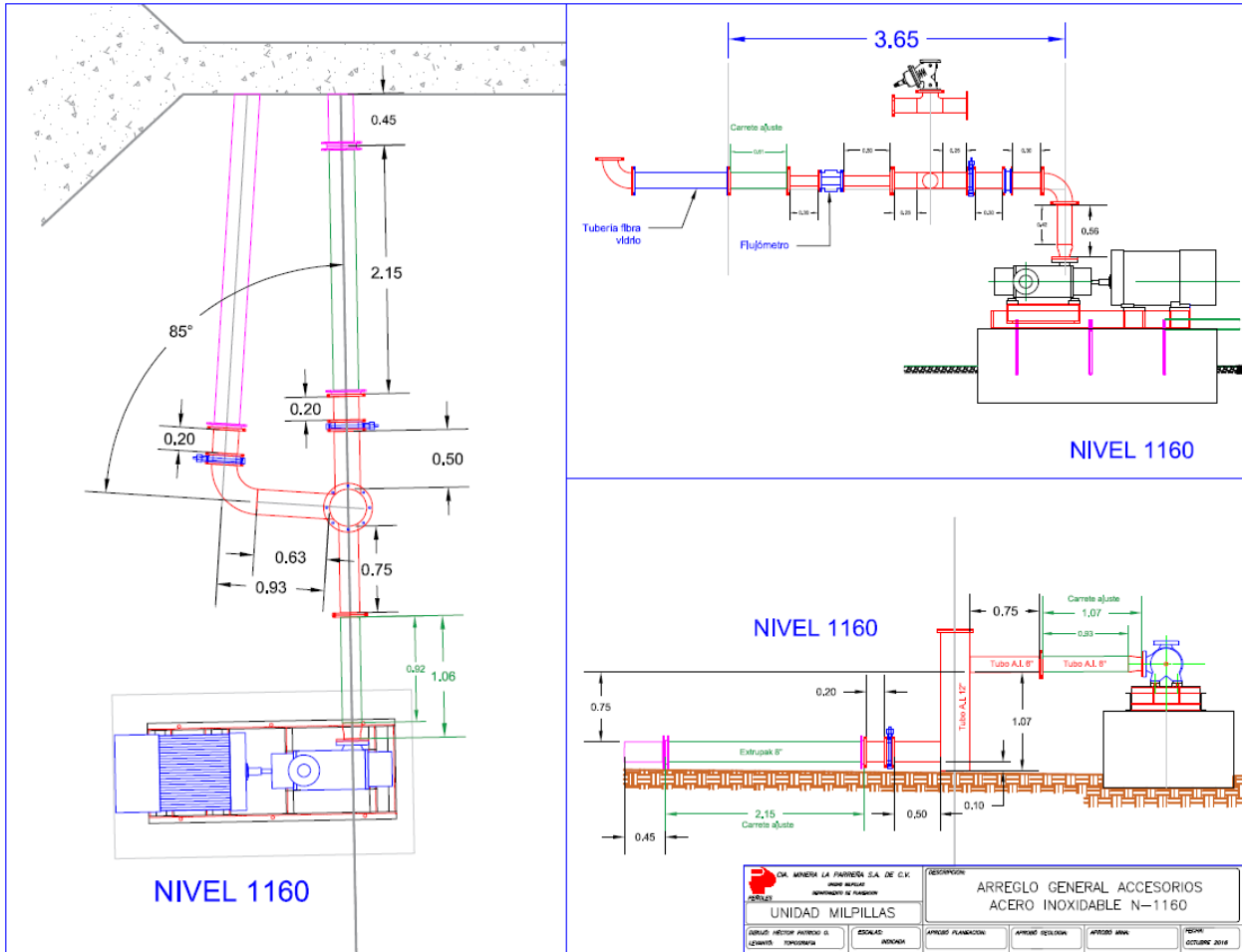
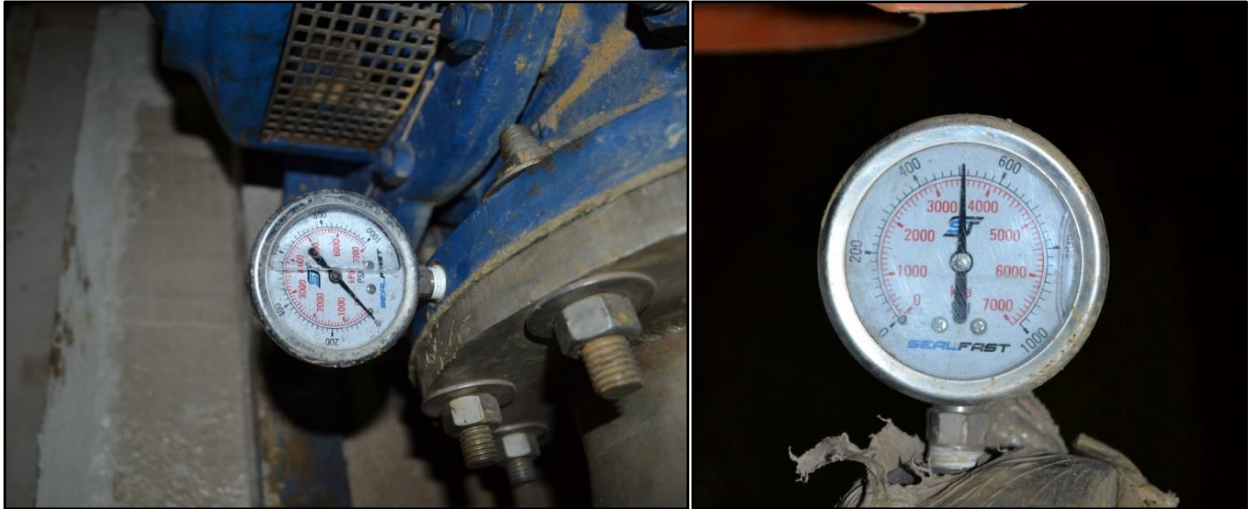


Figura 106. Diseño del cierre de la línea con bomba en nivel 1160



Figuras 107 y 108. Cierre de cabezales con cada bomba



Figuras 109 y 110. Instalación de manómetros en cada sistema de bombeo



Figura 111. Instalación de flujómetro en el nivel 1160

5.11 Descarga de superficie a pileta de refino

Por último, se habilitó la línea final con tubería de PEAD de 8 pulgadas de la pileta de superficie hacia la pileta de refino para poder cerrar el circuito del agua ácida y que esta pueda ser utilizada en el proceso de los patios de lixiviación (Figura 112).

La longitud de la descarga en este punto fue de 200 m, donde el flujo llegaba por gravedad hasta la pileta de refino.

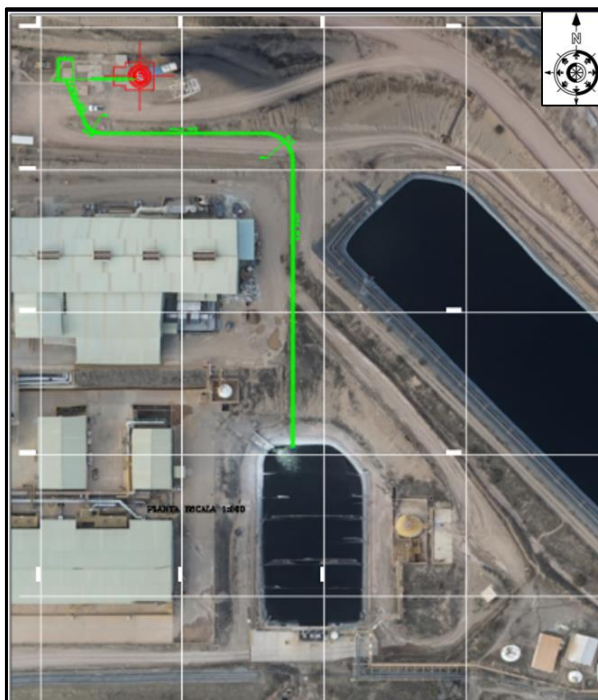


Figura 112. Mostrando descarga de agua ácida hacia pileta de refino

5.12 Costos

En la Tabla 10 se muestra que la inversión planeada del proyecto fue de \$1'000,000 usd vs una inversión real de \$826,059 usd, desglosada en los siguientes conceptos generales.

Tabla 10. Resumen de la inversión real del proyecto

Cuenta	Descripción	Inversión USD		
		Real	Plan	Diferencia
Contratistas	Obra minera	\$243,037	\$380,000	\$136,963
Materiales	Materiales y equipos	\$556,144	\$600,000	\$43,856
Fletes	Transporte tubería	\$26,878	\$20,000	-\$6,878
TOTAL		\$826,059	\$1,000,000	\$173,941

En la parte de conclusiones se analizará cómo es que la recuperación de cobre hasta el cierre de abril 2019 ha pagado el proyecto en un tiempo muy corto. Considerando que este punto de análisis no era el objetivo principal de este informe

6. Operación y resultados

6.1 Arranque del proyecto

El diagrama del proyecto quedó como se muestra en la Figura 113, las pruebas de arranque del nuevo sistema se realizaron en los meses de noviembre y diciembre de 2016, incluyendo los respectivos ajustes que demanda un nuevo proceso en la operación.

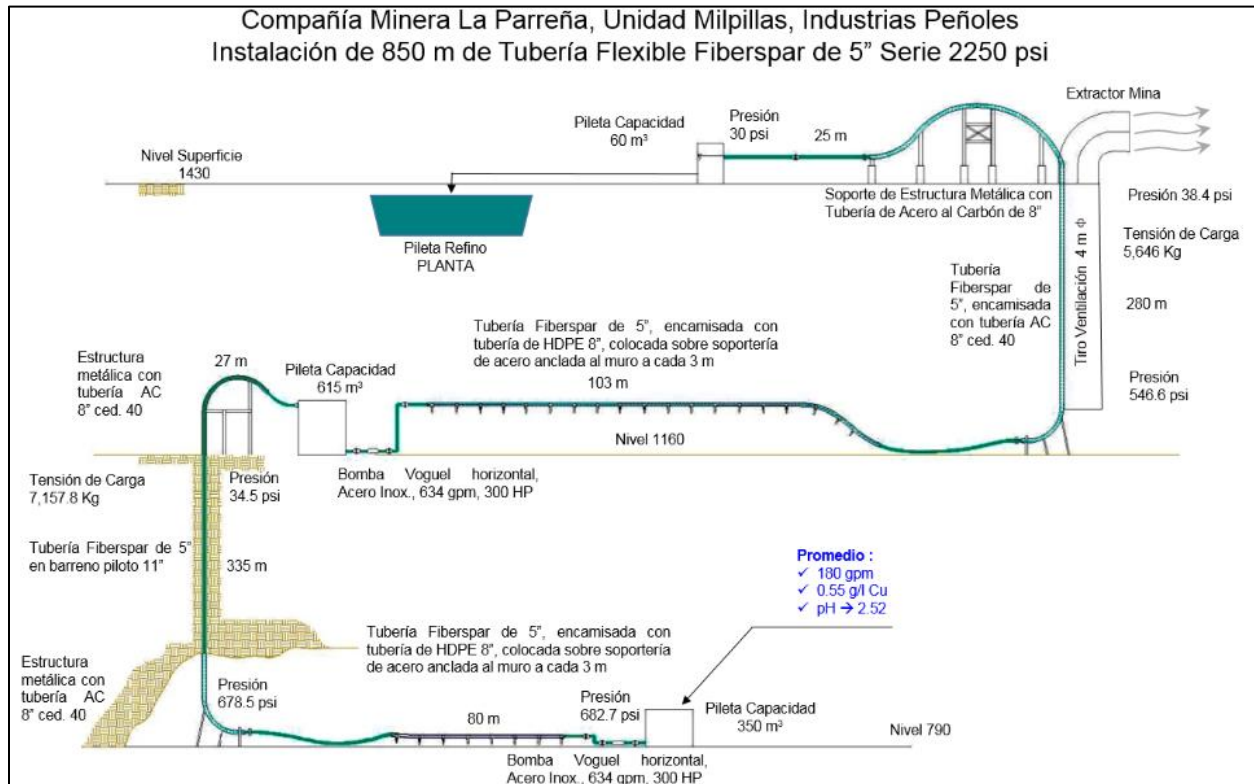


Figura 113. Diagrama final de la operación del proyecto

El proyecto ayudó a mantener el control en la calidad del agua que se descarga en superficie, al canalizar el agua con acidez y presencia de cobre disuelto a un sistema de bombeo totalmente nuevo e independiente en la operación. Prueba de esto es el continuo muestreo que se realiza en superficie del agua bombeada, donde se ha mantenido el control con respecto al pH y al contenido de cobre, donde éste último punto al rebasar los límites permitidos crea una tonalidad azul-verdosa en el agua que sin duda podría generar incertidumbre en la comunidad si se vertiera al arroyo.

6.2 Análisis del agua descargada al arroyo

En la Tabla 11 se muestran los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 a cumplir. En el apartado 4.1 de la norma señalada se menciona que la concentración de contaminantes básico, metales pesados y cianuros tienen un rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) entre 5 y 10 unidades.

Tabla 11. Límites de la NOM-001-SEMARNAT-1996

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RÍOS									
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)			Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)					
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.				
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40											
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2				
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2				
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	Cianuro	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0				
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0				
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0				
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01				
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	Níquel	2	4	2	4	2	4				
							Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4				
							Zinc	10	20	10	20	10	20				



Figuras 114 y 115. Muestreo de la descarga del último represo



Figura 116. Muestreo arroyo

En las Figuras 114, 115 y 116 se aprecia el muestreo realizado por Laboratorio Analítica del Noroeste S. A. de C. V. en la descarga del agua de laboreo mina en el último represo de las instalaciones hacia el arroyo. Esta actividad ya se realizaba con anterioridad, sin embargo, al quitar el agua ácida que se empezaba a generar en la mina los resultados muestran que se sigue manteniendo el control en este punto.

Una vez que se reciben los resultados, se lleva una base de datos histórica de cada parámetro que permite monitorear la calidad con la que se descarga el agua de mina al arroyo, en la Tabla 12 se pueden ver algunos resultados aleatorios.

Tabla 12. Resultados aleatorios de laboratorio 2016 - 2017

PARAMETROS	L. C. / C. M. C.	UNIDADES	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	ene-17	mar-17	may-17	jun-17
Grasas y aceites	7	mg/L	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.	13	63	<C.M.C.	<C.M.C.
pH	N.A	U de pH	9.08	8.87	7.45	7.6	8	8.8	7.9	7.2
Nitrógeno Total	N.A	mg/L	1	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.	1	<C.M.C.	0.8	2.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	mg/L	7	3	5	6	3	4	9	3
Fósforo Total	1	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Sólidos Suspendidos Totales	5	mg/L	14.6	28	20.5	22.4	100	54	20	<C.M.C.
Coliformes Fecales	2	NMP/100ml	2	<L.C	13	2	5	17	49	110
Cianuro Total	0.012	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	0.015
Cromo	0.25	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Arsénico	0.010	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Cadmio	0.05	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Cobre	0.25	mg/L	1.05	1.34	2.21	1.98	2.96	0.74	<L.C	<L.C
Mercurio	0.0005	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Níquel	0.20	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Plomo	0.20	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Zinc	0.25	mg/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Demanda Química de Oxígeno	30	mg/L	<L.C	<L.C	33	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Huevos de Helmitos	1	H/L	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
Material Flotante	N.A		AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
Nitratos (N) + Nitritos (N)	0.10	mg/L	1.7	5	1.9	2.1	2.7	1.3	0.8	2.3
Nitrogeno Total Kjeldahl (N)	1	mg/L	1	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.	1	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.
Solidos Sedimentales	0.3	mL/L	<C.M.C.	<C.M.C.	20.5	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.	<C.M.C.
Temperatura	N.A	°C	29	26	24	22	14	21	16	27



INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA



En las Tablas 13 y 14 se puede observar el formato de resultados que entrega Analítica del Noroeste a la unidad Milpillás, de los cuales se tiene todo respaldado.

Tabla 13. Resultados de laboratorio de mayo 2017

ANTECEDENTES:	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: AGUA DE LABOREO LIMITE DE PREDIO	
MUESTREADO POR: ADNSA	EN FECHA: 2017/05/16
TIPO DE MUESTREO: INSTANTANEO	HORA DE MUESTREO: 14 h 00
REFERENCIA DE MUESTREO: PROCEDIMIENTO INTERNO FQ-003	

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	LIMITE DE CUANTIFICACIÓN/ CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA	
Arsénico (As)	mg/L	< L.C.	0,010	2017/05/23 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2016 ^(a)
Cadmio (Cd)	mg/L	< L.C.	0,05	2017/05/23 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2016 ^(a)
Cobre (Cu)	mg/L	< L.C.	0,25	2017/05/23 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2016 ^(a)
Cianuro Total (CN)	mg/L	< L.C.	0,012	2017/05/18 ALG	NMX-AA-058-SCFI-2001 ^(a)
Coliformes Fecales ¹	NMP/100 mL	49	2	2017/05/17 LCD/ROA	NMX-AA-042-SCFI-2015 ^(a)
Cromo Total (Cr)	mg/L	< L.C.	0,25	2017/05/23 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2016 ^(a)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	9	2	2017/05/17 JLEC	NMX-AA-028-SCFI-2001 ^(a)
Demanda Química de Oxígeno (DQO-TS)	mg/L	< L.C.	30	2017/05/19 CVG	NMX-AA-030/2-SCFI-2011 ^(a)
Fósforo Total (P)	mg/L	< L.C.	1,0	2017/05/29 MMG	NMX-AA-029-SCFI-2001 ^(a)
Grasas y Aceites	mg/L	< C.M.C.	7	2017/05/19 IAVG	NMX-AA-005-SCFI-2013 ^(a)
Huevos de Helminthos	H/L	< L.C.	1	2017/05/22 ECM	NMX-AA-113-SCFI-2012 ^(a)
Mercurio (Hg)	mg/L	< L.C.	0,000 5	2017/05/18 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2016 ^(a)
Materia Flotante		AUSENTE	N.A.	P.C. FBM	NMX-AA-006-SCFI-2010 ^(a)
Nitratos (N) + Nitritos (N)	mg/L	0,8	0,1	2017/05/22 IJHL	NMX-AA-079-SCFI-2001 ^(a)

Tabla 14. Reporte de Analítica del Noroeste SA de CV

ANTECEDENTES:	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: AGUA LIMITE DEL PREDIO	
MUESTREADO POR: ADNSA	EN FECHA: 2017/01/24
TIPO DE MUESTREO: INSTANTANEO	HORA DE MUESTREO: 15 h 45
REFERENCIA DE MUESTREO: PROCEDIMIENTO INTERNO FQ-003	

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	LIMITE DE CUANTIFICACIÓN/ CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA	
Arsénico (As)	mg/L	< L.C.	0,010	2017/01/30 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2001 ^(a)
Cadmio (Cd)	mg/L	< L.C.	0,05	2017/01/30 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2001 ^(a)
Cobre (Cu)	mg/L	2,96	0,25	2017/01/30 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2001 ^(a)
Cianuro Total (CN)	mg/L	< L.C.	0,012	2017/01/26 ALG	NMX-AA-058-SCFI-2001 ^(a)
Coliformes Fecales ¹	NMP/100 mL	5	2	2017/01/25 MCFP/CRAV	NMX-AA-042-SCFI-2015 ^(a)
Cromo Total (Cr)	mg/L	< L.C.	0,25	2017/01/30 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2001 ^(a)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	2	2017/01/25 JLEC	NMX-AA-028-SCFI-2001 ^(a)
Demanda Química de Oxígeno (DQO-TS)	mg/L	< L.C.	30	2017/01/26 CVG	NMX-AA-030/2-SCFI-2011 ^(a)
Fósforo Total (P)	mg/L	< L.C.	1,0	2017/01/25 MMG	NMX-AA-029-SCFI-2001 ^(a)
Grasas y Aceites	mg/L	13	7	2017/01/30 MLB	NMX-AA-005-SCFI-2013 ^(a)
Huevos de Helminthos	H/L	< L.C.	1	2017/02/01 ECM	NMX-AA-113-SCFI-2012 ^(a)
Mercurio (Hg)	mg/L	< L.C.	0,000 3	2017/01/26 BSTB	NMX-AA-051-SCFI-2001 ^(a)
Materia Flotante		AUSENTE	N.A.	P.C. GBQ	NMX-AA-006-SCFI-2010 ^(a)
Nitratos (N) + Nitritos (N)	mg/L	2,7	0,1	2017/01/30 MMC	NMX-AA-079-SCFI-2001 ^(a)

6.3 Gasto bombeado

Para la cuestión de los contenidos de cobre en el agua se observa en la Figura 117 que existen altibajos en el gasto enviado a planta de manera mensual, esto se debe principalmente a que el manto freático se tiene que recargar cada año en temporadas de lluvias, haciendo que entre los meses de abril a julio suceda este fenómeno, existen desviaciones operativas y de mantenimiento que también influyen en que el bombeo de agua ácida no sea constante a superficie.

- Al cierre de abril 2019 se ha bombeado un total de 782,091 m³ a la Pileta de Refino.
- Lo anterior da un promedio de 982 m³/día o 180 gpm.
- El contenido promedio es de 0.565 g/L de Cu+ disuelto.
- En total se han enviado 442 t de cobre en solución al riego de los patios.

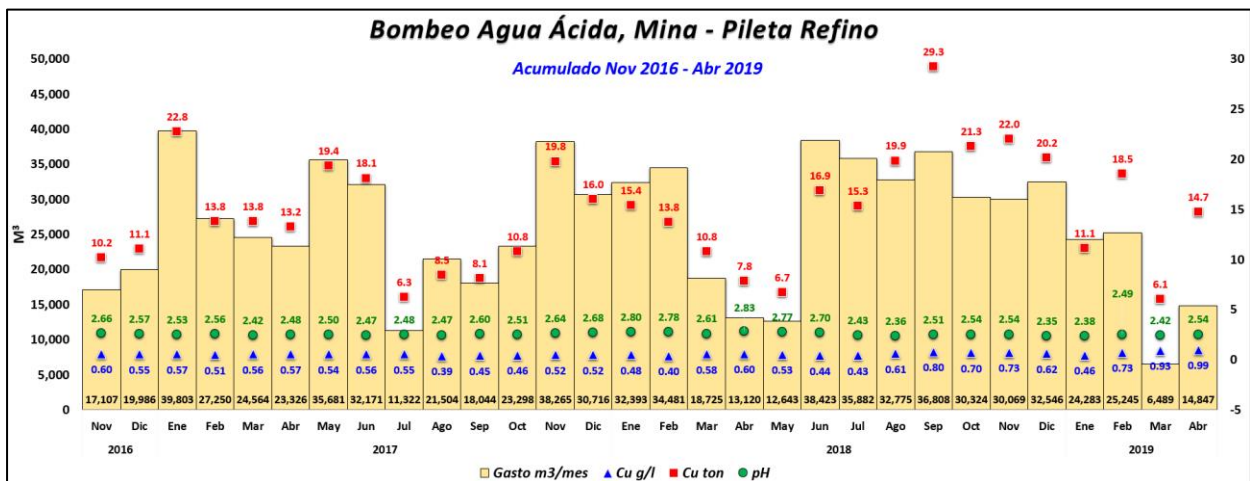


Figura 117. Gráfica de contenidos enviados a patios

Desde otra perspectiva es importante citar que el agua ácida de mina está alimentando los patios de lixiviación (Figura 118) a una razón de 555 kg/día de cobre en solución, considerando la recuperación promedio de la planta de 2017 a la fecha de 87%, tendremos que, de las 442 t de cobre, se han recuperado aproximadamente 383 t.



Figura 118. Descarga de agua ácida en superficie

6.4 Monitoreo del proyecto en tiempo real

El monitoreo de este sistema quedó instrumentado, por lo que se da seguimiento en tiempo real a los parámetros de bombeo como son gasto diario y acumulado, nivel de piletas, amperaje y velocidad de las bombas, pH y temperatura del agua, como se muestra en las Figuras 119 y 120.

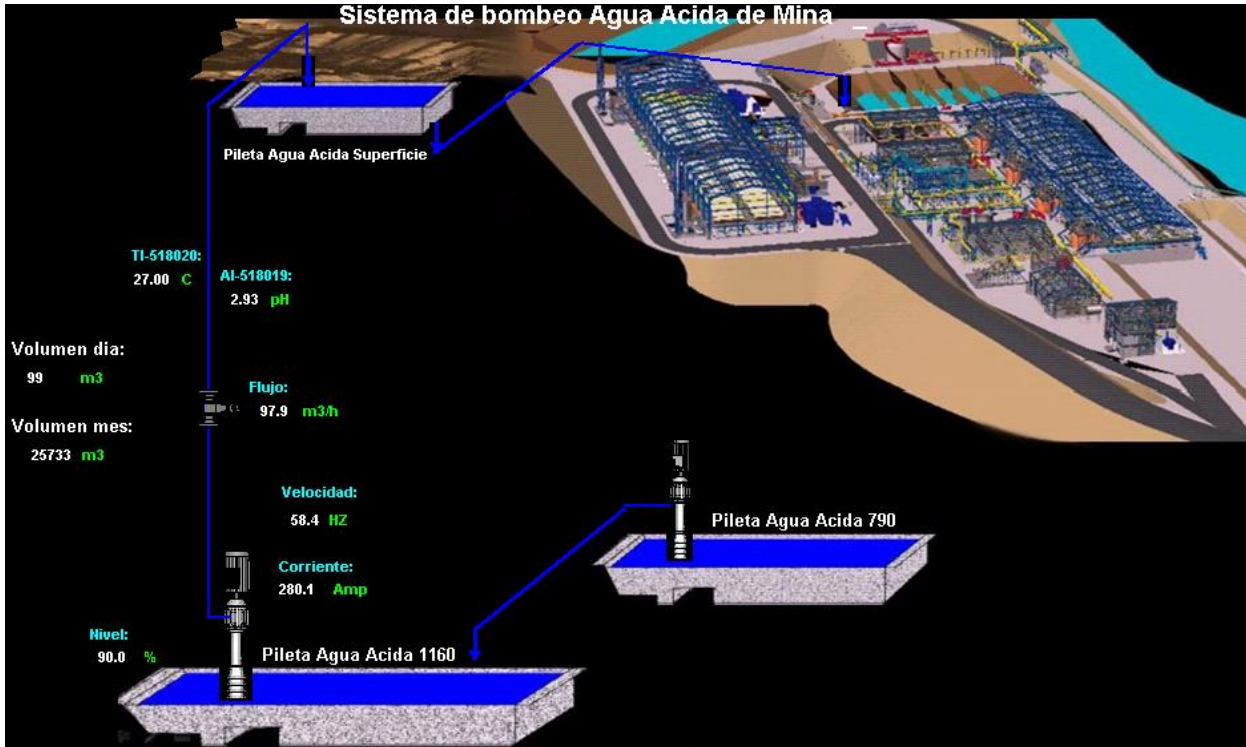


Figura 119. Monitoreo del bombeo en sistema Delta V

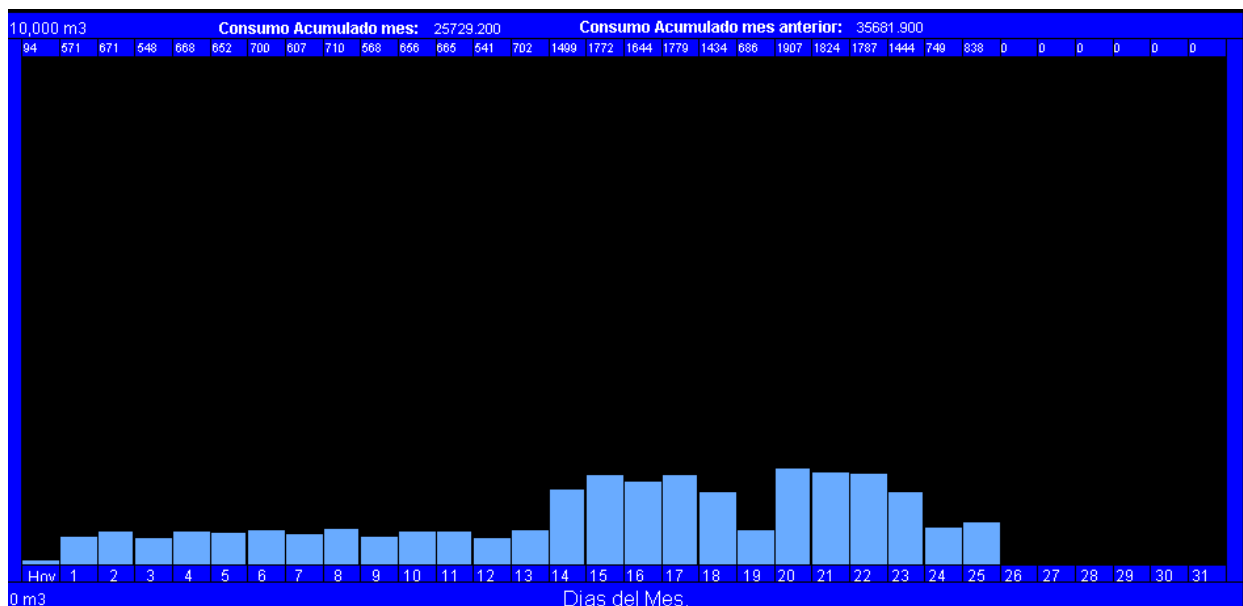


Figura 120. Seguimiento del gasto por día



7. Conclusiones

- Lo primero que se resalta es que durante toda la ejecución de las actividades no se tuvo ningún tipo de accidente, esto es de suma importancia para Industrias Peñoles, por lo que se hace el reconocimiento a todos los que participaron en este proyecto.
- El diseño y construcción del sistema independiente de bombeo para el agua ácida, así como su correcta canalización, disminuyó en gran medida la posibilidad de un impacto ambiental dentro de las Instalaciones de Milpillas y sus alrededores en la comunidad, al descargar este gasto en el circuito cerrado de planta, cumpliendo así el objetivo principal.
- La innovación de utilizar un producto de la industria del petróleo a la industria minera como lo es la tubería de fibra de vidrio podría marcar la pauta para que otras operaciones mineras en México utilicen algo similar en sus minas y tomen como caso de éxito lo realizado en Milpillas.
- Las especificaciones técnicas de la tubería de fibra de vidrio permiten que su mantenimiento preventivo sea de muy bajo costo, ya que su tiempo de vida está garantizada por al menos 15 años. El riesgo principal al que está expuesta la tubería es ser golpeada por algún equipo móvil o algún caído de roca, por tal motivo se “*encamisó*” en una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) para minimizar el riesgo.
- Se minimizaron los daños a los componentes internos de las perforadoras de los jumbos, así como a las instalaciones de bombeo que presentaban desgaste prematuro por el ataque de la acidez a bombas y tuberías.
- Por la parte del beneficio económico, en el apartado 6 (Operación y resultados) se mencionó que la recuperación estimada de cobre era de 383 t, como referencia la cotización promedio del mismo período (2017 a la fecha) es de 2.75 usd/lb de cobre, por lo que el objetivo secundario del sistema de bombeo ha pagado el proyecto en menos de 30 meses de operación y a su vez ha generado ganancias adicionales por la recuperación de cobre.

$$1 \text{ Ton} = 2,204.6 \text{ lb}$$

$$383 \text{ Ton} = 844,371 \text{ lb}$$

$$\text{Cu } \$ 2.75 \text{ usd} = 1 \text{ lb}$$

$$\underline{\underline{\$ 2,322,019 \text{ usd} = 844,371 \text{ lb}}}$$

La inversión real del proyecto fue de \$826,059 usd vs \$2,322,019 usd de ingresos por cuestiones de recuperación de cobre.



De presentarse un proyecto similar, las recomendaciones que ofreceríamos para optimizar mano de obra, presupuesto, calidad y tiempo son las siguientes:

- Sin lugar a dudas la industria minera tiene riesgos muy específicos (*caído de roca, atropellamiento, trabajo subterráneo, engasamiento, uso de explosivo, incendio, electrocución, por citar los más importantes*) por lo que un punto importante es que todo contratista que no tenga conocimientos referente a esta industria, proponga un equipo de trabajo fijo desde el inicio del proyecto para dar un seguimiento continuo desde la inducción de seguridad al personal teniendo presente los posibles riesgos en todo momento.
- Al implementar un nuevo producto, como lo fue la tubería de fibra de vidrio, el programa realizado para su instalación tuvo modificaciones al largo de la ejecución del proyecto, por ejemplo, el malacate que se definió en un principio carecía de variador de velocidad, provocando falta de coordinación entre el personal que se encontraba en los diferentes puntos de la mina, se cambió el equipo por otro con variador, incrementando costo y tiempo.
- El envío de la tubería en carretes sobredimensionados para viajar por carretera, como se muestra en las figuras 43 y 44, se dio en la temporada vacacional de verano, por lo que se retrasó 15 días su llegada con base en la NOM-040-SCT-2-2012, esto no se contempló en los tiempos de entrega.
- Las conexiones de acero inoxidable que se solicitaron llegaron en acero al carbón con recubrimiento de níquel (*por la apariencia similar no se detectó al inicio*), por lo que después de 15 días presentaron desgaste y por consiguiente fugas en las bridas, se tuvieron que reemplazar tardando 15 días en la llegada de los accesorios correspondientes.

Estos puntos son los que tuvieron gran relevancia en el proyecto y algunos de ellos se tuvieron que dar debido a la curva de aprendizaje por implementar un nuevo producto.



Referencias

- SRK Consulting (2014, septiembre). *Reporte de Auditoría de Recursos y Reservas, mina MILPILLAS*. Sonora, México.
- Noguez-Alcántara B., Martín Valencia-Moreno, Jaime Roldán-Quintana y Thierry Calmus. *Enriquecimiento supergénico y análisis de balance de masa en el yacimiento de pórfido cuprífero Milpillas, Distrito Cananea, Sonora, México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 3, 2007, p. 368-388.
- Peñoles, Milpillas. *Plan de contingencias en Piletas de Emergencia*. Septiembre 2014.
- Peñoles – Sandvik, Milpillas. *Reportes de golpes y daños a equipo diésel*. 2015 – 2016.
- MET-MEX Peñoles, Laboratorio central. *Reporte final de resultados analíticos*. 2016
- Peñoles, Milpillas. *Reportes internos de aforamientos en mina*. 2015 – 2016.
- Patricio, H. (2017, octubre). “*Solución al manejo de agua ácida en el interior de la Mina, Unidad Milpillas*”. AIMMGM. Conferencia XXXII Convención Internacional de Minería Guadalajara 2017.
- Peñoles, Milpillas (2017, enero). *Presentación ejecutiva a la Dirección BAL*.
- Peñoles, Milpillas (2016, marzo). *Presentación ejecutiva a la Dirección Minas Peñoles*.
- Analítica del Noroeste, S. A. de C. V. Laboratorios (2017). *Informe periódico de resultados de muestreo de agua de laboreo en Milpillas*.
- Fiber Glass Systems (2015). *Memoria de cálculo de presiones de trabajo para selección de tubería de conducción*. <https://www.nov.com/>
- SEMARNAT (1996). NOM-001-CONAGUA SEMARNAT. *Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*.
- JABL Ingeniería y Construcción S.A. de C.V. (2015). *Memoria de cálculo de presiones de trabajo para selección de tubería y bombas*.
- Dirección de Ingeniería y Construcción (2016). *Cálculo de muros para piletas en interior mina*. Torreón, Coahuila.
- Bray Válvulas de México S.A. de C.V. (2015). *Cálculo y selección de válvulas compuerta y plato para sistema de bombeo*. Guadalajara, Jalisco. <https://www.bray.com/bray-world-locations/latin-america/>
- Bermad (2015). *Cálculo y selección de válvulas anticipadoras de presión para sistema de bombeo*. Ciudad de México, México. www.bermad.com
- BSNTOR México (2015). *Cálculo y selección de bombas con variador*. Torreón, Coahuila. www.bsntor.com.mx
- MOTT, ROBERT L. *Mecánica de fluidos*. Sexta edición. Pearson educación, México 2006, área Ingeniería