

# Aumento de capacidad del sistema de desaguado de tajo con la implementación de estructuras de protección de pozos contra voladura.

Juan Antonio La Torraca Ruiz<sup>1</sup>, Gilmer Johnny Engracio Huaman<sup>2</sup> y Christian Leonidas Villalobos Nuñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Panamerican Silver Perú, La Arena, Huamachuco, Perú (jlatorraca@panamericansilver.com)

<sup>2</sup> Panamerican Silver Perú, La Arena, Huamachuco, Perú (gilmer.engracio@panamericansilver.com)

<sup>3</sup> Panamerican Silver Perú, La Arena, Huamachuco, Perú (cvillalobos@panamericansilver.com)

## RESUMEN

En junio del 2018, el minado de las fases profundas del Tajo Calaorco en la unidad minera La Arena, interceptó el nivel freático, lo cual no permitió continuar con el minado en dichas fases, poniendo en riesgo la extracción de 1600 onzas de oro, en el primer año, 800 onzas de oro para el segundo y tercer año respectivamente, y 500 onzas de oro para el último año, por lo que fue necesario realizar la revisión y actualización del estudio Hidrogeológico, el cual recomendaría la implementación de una batería de pozos profundos con el fin de desaguar el agua subterránea y así poder cumplir con el plan de minado establecido. Por esta razón era necesario contar con los pozos operativos a una utilización cercana al 100%. Los pozos profundos de producción de agua se ubicaban en el centro del tajo calaorco, por lo que la interacción con los procesos de voladura y minado, eran constantes. Debido a esto era necesario el desmontaje de la configuración superficial de los pozos, lo que ocasionó la reducción de la capacidad de bombeo requerida; por tal motivo es que se diseñó y se implementan estructuras de protección de componentes superficiales de pozos de bombeo, para que sigan operando aun cuando se encuentren cercanas a proyectos de voladura.

Luego de la implementación de los controles de voladura en pozos profundos se obtuvo un aumento en la utilización del sistema desde un rango de 17% - 35% a un rango de 95% a 98%. En relación con el aumento de la capacidad de bombeo se tiene un incremento en un 70% con respecto a no emplear los protectores de pozos de bombeo.

*Palabras clave: Pozos profundos de producción de agua, sistema de bombeo de agua subterránea, utilización, capacidad de bombeo, plan de minado.*

## 1. Introducción

El agua transita por las diversas «esferas» que componen el planeta Tierra: se precipita desde la atmósfera, se incorpora al suelo, a las rocas y a los seres vivos, se escurre hacia los océanos y vuelve a la atmósfera. Es el llamado ciclo hidrológico, que puede ser presentado por un modelo de flujos y reservas. (Sanchez, L., 1995)

Todas las actividades humanas de alguna manera interfieren con las aguas, y la explotación minera no es una excepción.

El crecimiento de la demanda de metales durante la década presente, de forma más o menos sostenida desde 2007, favorece que su precio sea históricamente alto y que muchos proyectos mineros se lleven a cabo desde su concepción hasta su puesta en marcha. De forma similar, operaciones que están en curso han visto plasmar sus proyectos de ampliación por fases. Todo ello ha motivado un aumento de los impactos de los proyectos mineros en las aguas subterráneas y, de forma recíproca, del agua sobre las minas. (Amphos 21, 2018)

Desde el punto de vista de la minería, encontrar agua subterránea es un problema; pero conlleva a generar puestos de trabajo de manera indirecta. Al problema hay que buscarle soluciones y la minería ha sabido adaptarse a las circunstancias. Conocer cómo están no solo las aguas superficiales, sino la influencia que tienen con las aguas subterráneas. Los conocimientos en hidrogeología son necesarios, para reducir o minimizar las interferencias con las labores de explotación minera, ello a fin de que no se produzcan inundaciones, ni inestabilidades en macizos rocosos, y

que ninguna infraestructura pueda verse dañada como consecuencia del agua. (Camiper, 2020)

Comparándose con la mayoría de las actividades industriales y agrícolas, la explotación minera no es una gran consumidora de agua. Muchas veces el problema es el inverso y tiene que liberar grandes cantidades de agua no deseables. Este es el problema del drenaje de las minas, el captar, transportar y eliminar al medio ambiente flujos de agua de manera que no ocasionen daños.

Un aspecto en los estudios de los problemas de drenaje de minas es la gestión de las interferencias de la operación en la hidrosfera. Esta gestión tiene normalmente objetivos, como minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas, el reaprovechamiento máximo de agua utilizada en el proceso industrial, y la eliminación de las aguas con ciertas características, para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor. (Sanchez, L., 1995)

Para alcanzar estos objetivos, la gestión incluye la implementación y operación de un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de cada mina.

En junio del 2018, el minado de las fases profundas del Tajo Calaorco en la unidad minera La Arena, interceptó el nivel freático, lo cual no permitió continuar con el minado en dichas fases.

A modo de emergencia, se construyeron sumideros dinámicos, donde fueron colocados sistemas de bombeo horizontales, que evacuarían las aguas subterráneas hacia las pozas de pre-tratamiento y tratamiento, para finalmente ser vertidas en los puntos de monitoreo autorizados.

Se hizo necesaria la revisión y actualización del estudio hidrogeológico del tajo, el cuál a posterior recomendaría la construcción de los pozos profundos de agua, así como la construcción de piezómetros de monitoreo del nivel freático.

La presencia de agua subterránea en fondo del tajo significó un impedimento en el minado de las fases profundas, poniendo en riesgo la extracción de 1600 onzas de oro, solo para el primer año, 800 onzas de oro para el segundo y tercer año respectivamente, y 500 onzas de oro para el último año. Además de que la presencia de aguas subterráneas en superficie trae consigo, un mayor costo operativo en las plantas de

tratamientos, debido a su interacción con las actividades antrópicas.

Se inició el abatimiento del nivel freático con la puesta en marcha del sistema de bombeo en solo un pozo profundo de agua. La complicación que se presentó con la construcción de los pozos fue la ubicación de estos. Se requería deprimir el nivel freático del fondo del tajo, por lo cual éstos deberían ser ubicados necesariamente en la parte central y profunda del mismo.

El minado y las voladuras estaban en constante interacción con los pozos profundos, por lo cual el montaje y desmontaje de los accesorios superficiales de los pozos profundos, debía ser desinstalado e instalado en cada proceso cercano de voladura.

Estas actividades de instalación y desinstalación no hacían posible que la utilización de los sistemas de bombeo llegue a un 100%, lo cual era necesario para cumplir con las tasas de bombeo y por consiguiente de descenso del nivel freático.

Es así, que fue necesaria la implementación de controles contra voladura, de los cuales uno de ellos fue la construcción de unos protectores metálicos para los componentes superficiales del sistema de bombeo de pozos profundos.

Con la construcción de los protectores, la utilización de los pozos de agua se elevó de un rango de 17% - 35% a un rango de 95% a 98%. Lo cual incrementó el bombeo de agua subterránea y consigo deprimió más el nivel freático del fondo del tajo.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Aumentar la capacidad del sistema de desaguado del Tajo Calaorco, con la implementación de estructuras de protección de pozos de producción de agua, con el fin de abatir el nivel freático garantizando el cumplimiento del plan de minado en fases profundas.

### **2.2. Objetivos específicos**

*2.2.1. Diseñar, elaborar e implementar estructuras de protección de los componentes superficiales del sistema de bombeo de pozos, contra voladura.*

*2.2.2. Garantizar el abatimiento del nivel freático de acuerdo con el avance de minado vertical según LOM. (Por debajo del nivel inferior del tajo).*

2.2.3. Aumentar la utilización del sistema de bombeo.

2.2.4. Cumplir con el plan de minado según LOM garantizando la continuidad de minado en bancos inferiores.

2.2.5. Disminuir costos de montaje y desmontaje de pozos de producción, mano de obra y alquiler de equipos.

### 3. Desarrollo

#### 3.1. Sistema de desaguado en Tajo Calaorco

Como es sabido, durante la vida de explotación de una mina a cielo abierto, se pasan por diversas etapas y fases.

El agua subterránea es un punto de inflexión muy importante para la continuidad de la explotación en cotas más profundas.

Es así que para poder cumplir con los panes de minado, y poder seguir profundizando, se hace necesario evacuar dicha agua subterránea.

Los conocimientos hidrogeológicos del ámbito de una concesión minera, constituyen una herramienta de gestión de los recursos hídricos: en prevención, evaluación, control, remediación. Orienta la actividad minera a la conservación, protección de los recursos hídricos y promueve el desarrollo sostenible de la actividad minera.

Debido a que en el mes de julio 2018, el minado de las fases profundas interceptó el nivel freático, se hizo necesario, la revisión y actualización del estudio Hidrogeológico del Tajo, el cuál a posterior recomendaría la construcción de una batería de pozos de bombeo de agua profunda, y la construcción de piezómetros de monitoreo.

Para el desaguado del Tajo Calaorco, fue recomendada la construcción de 10 pozos de bombeo de agua subterránea; de los cuáles se han construido 4 pozos con profundidades superiores a los 150 m.

El agua extraída de estos pozos, es enviada a pozas de captación, donde pasan un pre-tratamiento, y luego de ello, dicha agua es re-bombeada a las plantas de tratamiento, donde dependiendo de la calidad del agua, se les trata para finalmente poder ser enviadas a los puntos de vertimiento autorizados.

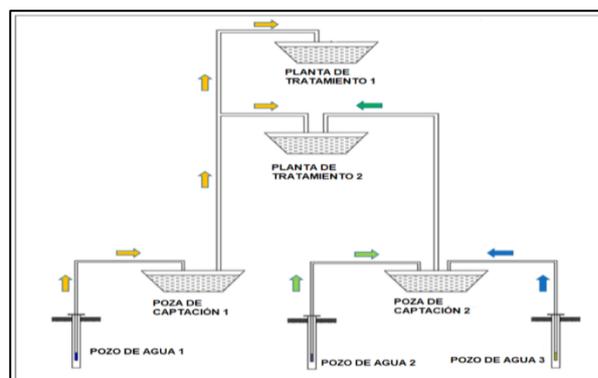


Gráfico N°1: Diagrama tipo de manejo de aguas subterráneas  
Fuente: Autores, 2022

#### 3.1.1. Diseño de pozos de producción

El estudio hidrogeológico anteriormente mencionado, no solo nos brinda la cantidad de pozos necesarios para poder abatir el nivel freático del Tajo, nos brinda información acerca de la ubicación de dicha instrumentación, así como las características de los mismos, para su construcción, pruebas hidráulicas, instalación de los tramos de filtros y casing, así como características del sistema de bombeo a utilizar.

Los 04 pozos que han sido construidos para el desaguado del Tajo, han cumplido con las características necesarias recomendadas en el estudio hidrogeológico, las cuáles son:

- Diámetro de pozo igual a 10".
- Sistema de bombeo constituido por un motor y bomba de 8".
- Cota de instalación de la succión de la bomba.

#### 3.1.3. Montaje y desmontaje de pozos de producción

Debido a la necesidad de deprimir el nivel freático del fondo del Tajo, la ubicación de los pozos profundos, se dio lugar en el centro del Tajo, lo cual ayudaría no solo con el abatimiento del Tajo en fases profundas, sino con alejar el agua de las paredes del Tajo, a más de 30 m, cumpliendo así con las recomendaciones de los estudios de estabilidad de este.

De acuerdo a lo mencionado, se estaba en constante interacción con procesos de voladura y minado, por lo cuál era necesario el montaje y desmontaje de los pozos, para evitar que los mismos sean dañados.

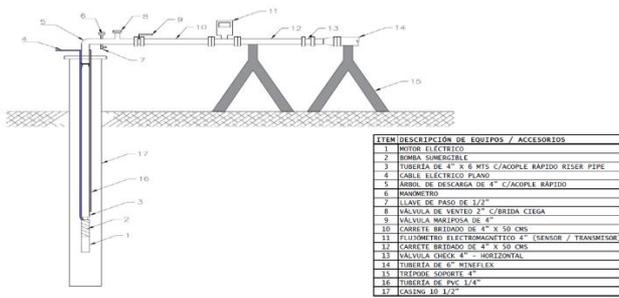


Gráfico N°2: Sistema típico de instalación superficial de un pozo profundo. Fuente: Autores, 2022.

### 3.2. Controles por voladura en pozos

De acuerdo con el avance vertical de minado, las infraestructuras hidráulicas en este caso los pozos profundos de bombeo, en algún momento tenían que sufrir recortes por el mismo avance de minado.

Para los proyectos de voladura cercanas a los pozos, se tenía que diseñar taladros de protección o también llamados anillos de protección, a fin de evitar cualquier daño a la infraestructura, para ello juntamente con el área de Perforación y voladura se diseñaron estos talados de protección.



Gráfico N°3: Diseño de protección de pozos profundos Fuente: Autores, 2022

#### 3.2.1. Diseño de malla cercana a pozos profundos

Los criterios de diseño para los anillos de protección de los pozos profundos fueron los siguientes:

Tomando como punto medio el pozo se diseñaron tres anillos de protección de acuerdo con el siguiente cuadro.

Tabla 1: Parámetros de diseño de taladros de protección de pozos profundos.

Anillo	Distancia (m)	Espaciamiento (m)	Ø (") Perforación	Sobreperforación (m)
Primer	4	1.5	5	1.2
Segundo	8	2	6 1/8	0.8
Tercer	13	Espaciamiento de diseño	6 1/8	0.8

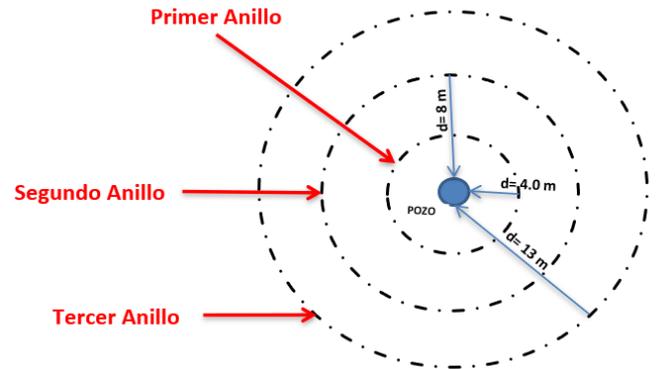


Gráfico N°4: Esquema de anillos de protección. Fuente: Autores, 2022.

Donde:

El primer anillo de protección no es inyectada con ningún tipo de explosivo, trabajando como filtro.

Segundo anillo, con carga desacoplada de 50 kg (30 kg en fondo del taladro y 20kg como segunda carga.)

Usando emulsión.

Tercer anillo, de igual forma carga desacoplada con 50 kg como carga de fondo y 40 kg como segunda carga.

#### • Controles adicionales:

- ✓ Reducción del taco.
- ✓ Material de Tapado grava.
- ✓ Secuencia de salida electrónica; tiempos largos (100 ms, 150 ms, 200 ms).
- ✓ Carga explosiva 100% Emulsión (Explosivo menos energético que el que se suele usar en producción).
- ✓ Densidad final del explosivo 1.10 gr/cc.

#### 3.2.2. Protección de componentes de pozos contra voladura

Debido a que los proyectos de voladura se realizan cercanos a los pozos profundos de bombeo, se realiza el diseño de protectores para los componentes superficiales del sistema de bombeo, con el fin de tener continuidad en el desaguado de aguas subterráneas, inclusive con voladuras cercanas a ellas.

Para ello, se tomaron medidas de las longitudes de los generadores y tableros eléctricos obteniendo lo siguiente:

- *Generador eléctrico*  
Alto: 3.0 m (Incluyendo tubo de escape superior)  
Largo: 5.8 m  
Espesor: 1.5 m
- *Tablero eléctrico*  
Alto: 2.0 m  
Largo: 1.5 m

Espesor: 0.9 m

Teniendo las longitudes de los componentes superficiales del sistema, se diseñan los protectores considerando lo siguiente:

- Espacio entre protectores y componentes eléctricos.
- El protector para los generadores se diseña con ranuras a un lado para ventilación por combustión del motor.
- Se considera en los protectores los puntos de anclaje para traslados con camión grúa.
- Bases para nivelación en piso de 10 x 10 cm

Obteniendo las siguientes longitudes de diseño para las estructuras de protección:

- **Protector para generador (ver Anexo 1)**  
Alto: 3.45 m (Incluyendo base)  
Largo: 6.2 m  
Espesor: 2.0 m
- **Protector para tablero eléctrico (ver Anexo 2)**  
Alto: 2.425 m (Incluyendo base)  
Largo: 2.85 m  
Espesor: 2.65 m

Para la construcción de los protectores metálicos se emplearon los siguientes materiales:

- Pletina: Placa de acero plana de 75x6 cm
- Tubo: Soporte usado como vigas para la colocación de placas de 75x3 cm

Se realiza la memoria de cálculo para los componentes considerando los tubos como vigas, columnas y las pletinas de manera rígida. Este análisis fue realizado por una empresa especializada, donde se describe el modelo estructural, la combinación de cargas, y las deformaciones máximas obtenidas. **ver Anexo 3 y 4**

Obteniendo un factor de seguridad mayor a 1.1 y unas deformaciones máximas en los protectores de tablero eléctrico y generador; de 2.2 mm y 3.6 mm respectivamente.



**Gráfico N°5: Implementación de protectores en componentes superficiales del sistema de bombeo.**

Con los datos obtenidos, se decide implementar los protectores metálicos como un control contra las voladuras y para incrementar la capacidad del sistema de bombeo ya que nos permitirá tener operativo el sistema inclusive en voladuras cercanas.

#### 4. Recolección de datos

La relación existente entre el volumen de bombeo y el abatimiento del nivel freático, es simple, a mayor volumen extraído de agua subterránea, mayor es el descenso del nivel freático en el fondo del Tajo.

Luego de la implementación de los protectores de los componentes del sistema de desaguado, se registraron mayores descensos del nivel freático en relación con el aumento de la utilización de la disponibilidad mecánica del sistema de bombeo; estos datos fueron tomados desde junio del 2018 a junio del 2022.

El aumento de volumen de bombeo pasó de 33,372 m<sup>3</sup> a 131,411 m<sup>3</sup> de agua subterránea extraída.

##### 4.1. Aumento de capacidad de bombeo.

Se tomaron datos del agua bombeada en m<sup>3</sup> antes y después de la implementación de los protectores en los pozos de bombeo, obteniendo los siguientes datos con los mismos caudales de bombeo.

**Tabla 2: Datos de capacidad de bombeo - 2018-2022**

Mes	Caudal Real (l/s)	m3 pumped	Observación
Jun-18	12.7	33,372.00	Sin protector
Jul-18	12.7	23,662.80	Sin protector
Ago-18	12.7	33,306.75	Sin protector
Set-18	12.7	50,017.41	Sin protector
Oct-18	12.3	45,363.24	Sin protector
Nov-18	41.4	45,539.81	Sin protector
Dic-18	41.4	76,899.60	Con protector

<b>Ene-19</b>	63	131,411.99	Con protector
<b>Feb-19</b>	46	119,024.64	Con protector
<b>Mar-19</b>	42	107,761.06	Con protector
<b>Abr-19</b>	47	73,442.81	Con protector
<b>May-19</b>	50.6	75,234.23	Con protector
<b>Jun-19</b>	62	112,751.25	Con protector
<b>Jul-19</b>	52	96,040.12	Con protector
<b>Ago-19</b>	47	96,770.15	Con protector
<b>Set-19</b>	47	73,700.17	Con protector
<b>Oct-19</b>	46	88,364.15	Con protector
<b>Nov-19</b>	46	110,399.03	Con protector
<b>Dic-19</b>	46	153,450.77	Con protector
<b>Ene-20</b>	46	174,292.35	Con protector
<b>Feb-20</b>	46	154,519.80	Con protector
<b>Mar-20</b>	46	173,635.59	Con protector
<b>Abr-20</b>	46	173,554.57	Con protector
<b>May-20</b>	38	98,280.56	Con protector
<b>Jun-20</b>	38	77,759.69	Con protector
<b>Jul-20</b>	38	89,684.89	Con protector
<b>Ago-20</b>	38	90,459.51	Con protector
<b>Set-20</b>	38	81,199.39	Con protector
<b>Oct-20</b>	38	90,903.94	Con protector
<b>Nov-20</b>	38	85,557.07	Con protector
<b>Dic-20</b>	38	93,392.07	Con protector
<b>Ene-21</b>	38	84,323.97	Con protector
<b>Feb-21</b>	38	80,916.25	Con protector
<b>Mar-21</b>	38	96,819.02	Con protector
<b>Abr-21</b>	40	99,793.58	Con protector
<b>May-21</b>	60	162,155.36	Con protector
<b>Jun-21</b>	53	139,853.84	Con protector
<b>Jul-21</b>	54.3	148,648.16	Con protector
<b>Ago-21</b>	47.4	123,964.72	Con protector
<b>Set-21</b>	30.0	76,463.12	Con protector
<b>Oct-21</b>	30.0	79,711.17	Con protector
<b>Nov-21</b>	39.0	89,022.96	Con protector
<b>Dic-21</b>	39.6	90,641.93	Con protector
<b>Ene-22</b>	50	120,595.11	Con protector
<b>Feb-22</b>	50	116,674.27	Con protector
<b>Mar-22</b>	50	136,984.19	Con protector
<b>Abr-22</b>	51	142,833.90	Con protector
<b>May-22</b>	51	152,730.20	Con protector
<b>Jun-22*</b>	51	96,124.58	Con protector

Fuente: Geotecnia e Hidrogeología, 2022

\*: Hasta el 20/06/2022

#### 4.2. Utilización del sistema de bombeo

Se realizó el cálculo de la utilización del sistema recolectando las horas ejecutadas en el bombeo de los pozos obteniendo los siguientes datos

Tabla 3: Datos obtenidos de horas de bombeo - 2018- 2022

Meses	Utilización (%)	Observación
<b>Jun-18</b>	25.0%	Sin protector
<b>Jul-18</b>	28.0%	Sin protector
<b>Ago-18</b>	24.0%	Sin protector
<b>Set-18</b>	36.7%	Sin protector
<b>Oct-18</b>	17.5%	Sin protector
<b>Nov-18</b>	54.5%	Sin protector
<b>Dic-18</b>	76.6%	Con protector
<b>Ene-19</b>	93.5%	Con protector
<b>Feb-19</b>	98.6%	Con protector
<b>Mar-19</b>	94.5%	Con protector
<b>Abr-19</b>	83.3%	Con protector
<b>May-19</b>	85.7%	Con protector
<b>Jun-19</b>	96.1%	Con protector
<b>Jul-19</b>	93.9%	Con protector
<b>Ago-19</b>	94.0%	Con protector
<b>Set-19</b>	92.1%	Con protector
<b>Oct-19</b>	97.3%	Con protector
<b>Nov-19</b>	96.2%	Con protector
<b>Dic-19</b>	95.1%	Con protector
<b>Ene-20</b>	95.8%	Con protector
<b>Feb-20</b>	90.0%	Con protector
<b>Mar-20</b>	96.3%	Con protector
<b>Abr-20</b>	97.5%	Con protector
<b>May-20</b>	94.9%	Con protector
<b>Jun-20</b>	88.5%	Con protector
<b>Jul-20</b>	87.7%	Con protector
<b>Ago-20</b>	88.4%	Con protector
<b>Set-20</b>	83.6%	Con protector
<b>Oct-20</b>	90.8%	Con protector
<b>Nov-20</b>	86.4%	Con protector
<b>Dic-20</b>	97.7%	Con protector
<b>Ene-21</b>	98.7%	Con protector
<b>Feb-21</b>	98.4%	Con protector
<b>Mar-21</b>	95.1%	Con protector
<b>Abr-21</b>	96.2%	Con protector
<b>May-21</b>	97.8%	Con protector
<b>Jun-21</b>	97.7%	Con protector
<b>Jul-21</b>	91.6%	Con protector
<b>Ago-21</b>	90.2%	Con protector
<b>Set-21</b>	100.0%	Con protector
<b>Oct-21</b>	99.4%	Con protector
<b>Nov-21</b>	93.8%	Con protector
<b>Dic-21</b>	93.8%	Con protector

Ene-22	93.8%	Con protector
Feb-22	96.9%	Con protector
Mar-22	97.0%	Con protector
Abr-22	98.3%	Con protector
May-22	98.8%	Con protector
Jun-22*	98.7%	Con protector

Fuente: Geotecnia e Hidrogeología, 2022

\*: Hasta el 20/06/2022

### 4.3. Abatimiento del nivel freático y cumplimiento del plan de minado.

En relación con el abatimiento del nivel freático se tomaron datos de los descensos en el nivel freático en los puntos de medición que son los piezómetros de tubo abierto instalados para el control del descenso, obteniendo los siguientes datos: descenso mensual de 1.5 m en el mes de junio 2018 a 9.03 m en el mes de enero 2019.

Tabla 4: Datos obtenidos de descenso del nivel freático - 2018-2022

Meses	Plan de minado (msnm)	Nivel freático actual (msnm)	Descenso Mensual Real (m)	Descenso Mensual Proyectado (m)	Observación
Jun-18	3296.00	3304.00	-1.50	-3.00	Sin protector
Jul-18	3296.00	3301.12	-2.88	-3.00	Sin protector
Ago-18	3296.00	3297.98	-3.14	-3.10	Sin protector
Set-18	3292.00	3295.83	-2.15	-3.50	Sin protector
Oct-18	3288.00	3292.20	-3.63	-3.39	Sin protector
Nov-18	3284.00	3289.15	-3.05	-3.50	Sin protector
Dic-18	3280.00	3281.17	-7.98	-3.39	Con protector
Ene-19	3272.00	3272.14	-9.03	-4.00	Con protector
Feb-19	3272.00	3269.77	-2.37	-4.00	Con protector
Mar-19	3272.00	3268.25	-1.52	-4.00	Con protector
Abr-19	3272.00	3265.76	-2.49	-4.97	Con protector
May-19	3272.00	3261.46	-4.31	-4.48	Con protector
Jun-19	3264.00	3255.55	-5.91	-4.48	Con protector
Jul-19	3256.00	3250.85	-4.69	-5.27	Con protector
Ago-19	3248.00	3246.65	-4.20	-4.70	Con protector
Set-19	3248.00	3242.25	-4.41	-4.50	Con protector
Oct-19	3240.00	3237.22	-5.03	-7.30	Con protector
Nov-19	3240.00	3232.07	-5.15	-9.40	Con protector
Dic-19	3224.00	3225.35	-6.72	-9.90	Con protector
Ene-20	3224.00	3219.85	-5.50	-9.90	Con protector
Feb-20	3216.00	3214.08	-5.77	-9.90	Con protector
Mar-20	3216.00	3206.34	-7.74	-9.90	Con protector
Abr-20	3216.00	3199.89	-6.45	-1.34	Con protector
May-20	3216.00	3200.80	0.91	-1.34	Con protector
Jun-20	3216.00	3200.62	-0.18	-1.34	Con protector

Jul-20	3216.00	3199.14	-1.48	-1.34	Con protector
Ago-20	3216.00	3197.32	-1.82	-1.34	Con protector
Set-20	3208.00	3195.46	-1.86	-1.34	Con protector
Oct-20	3208.00	3193.95	-1.51	-1.34	Con protector
Nov-20	3208.00	3191.98	-1.97	-9.40	Con protector
Dic-20	3208.00	3189.75	-2.23	-9.40	Con protector
Ene-21	3208.00	3187.63	-2.12	-2.00	Con protector
Feb-21	3208.00	3188.23	0.60	-2.00	Con protector
Mar-21	3208.00	3189.77	1.54	-2.00	Con protector
Abr-21	3208.00	3189.77	0.00	-3.40	Con protector
May-21	3192.00	3188.33	-1.44	-6.60	Con protector
Jun-21	3184.00	3185.67	-2.66	-6.23	Con protector
Jul-21	3184.00	3180.65	-5.02	-6.23	Con protector
Ago-21	3184.00	3179.80	-0.85	-4.25	Con protector
Set-21	3184.00	3179.36	-0.44	-2.83	Con protector
Oct-21	3184.00	3180.36	1.00	-2.83	Con protector
Nov-21	3184.00	3181.19	0.83	-4.25	Con protector
Dic-21	3184.00	3181.57	0.38	-4.03	Con protector
Ene-22	3184.00	3182.40	0.83	-1.42	Con protector
Feb-22	3184.00	3181.65	-0.75	-1.42	Con protector
Mar-22	3184.00	3184.91	3.26	-1.56	Con protector
Abr-22	3184.00	3184.64	-0.27	-1.56	Con protector
May-22	3184.00	3181.69	-2.95	-1.56	Con protector
Jun-22*	3184.00	3179.01	-2.68	-1.56	Con protector

Fuente: Geotecnia e Hidrogeología, 2022

\*: Hasta el 20/06/2022

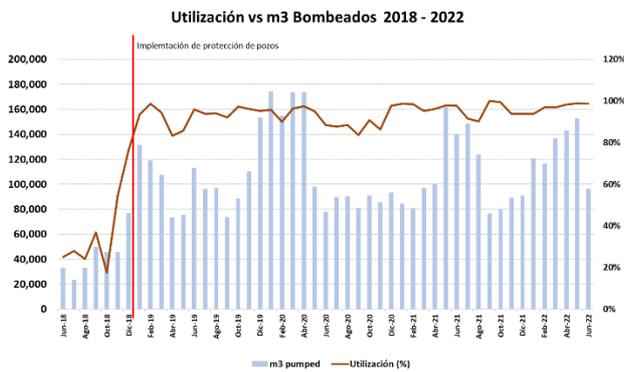
Este mayor descenso nos permitió dar continuidad al minado en las fases inferiores del tajo, lo que conllevó a un aumento en onzas colocadas en la pila de lixiviación, según indica los siguientes datos.



Gráfico N°6: Onzas adicionales 2018-2022. Fuente: Autores, 2022

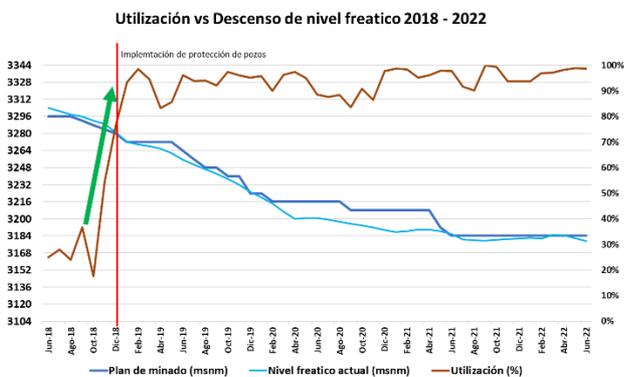
## 5. Presentación y discusión de resultados [rango 1]

En relación con el aumento de la capacidad de bombeo se tiene un incremento en un 70% con respecto a no emplear los protectores de pozos de bombeo.



**Gráfico N°7: Aumento de capacidad de bombeo. Fuente: Autores, 2022**

Con la implementación de los protectores se tiene un aumento del 30-40% de la utilización del sistema de bombeo con respecto a no emplear dichos protectores.



**Gráfico N°8: Aumento de la utilización del sistema de bombeo. Fuente: Autores, 2022**

Este aumento en la utilización trajo consigo un incremento en el descenso del nivel freático de 160%



**Gráfico N°9: Aumento en el descenso del nivel freático. Fuente: Autores, 2022**

Permitiendo así tener una continuidad en el minado en las fases inferiores obteniendo una mayor producción de onzas coladas en la pila de lixiviación, a la fecha de 3,700 onzas de Au y con una proyección al

2025 de adicionar unas 2,500 onzas de Au en la producción total.

**Tabla 5: Onzas adicionales proyectadas**

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Onzas adicionales	100	1500	800	800	1000	1000	500	500

Fuente: Geotecnia e Hidrogeología, 2022

Con la implementación de los protectores se tuvo una disminución en costos del 90% en costo de alquiler de equipos por traslado y mano de obra.

## 6. Conclusiones

Con la implementación de los protectores metálicos se logró aumentar la capacidad de bombeo del desaguado del Tajo Calaorco. Con un volumen de bombeo pasando de rangos de 33,000 m3 a 131,000 m3 de agua subterránea extraída por mes. Lo cual representa un 70% de diferencia al no utilizar dicho control.

Con la implementación de los controles de voladura se obtuvo un abatimiento del nivel freático de 9.03 m por mes en enero 2019 a diferencia del 1.5 m obtenido por el mes de junio 2018, a. Lo cual representa un incremento en casi un 160%

Implementar los controles de voladura aumentó la utilización de los sistemas de bombeo de un rango 17% - 35% a un rango de 95% a 98%.

Con la implementación de los controles de voladura, el plan de minado en las fases profundas del tajo calaorco, obtuvo una continuidad necesaria para extraer 1600 onzas de oro en el primer año, las 800 onzas de oro del segundo y tercer año respectivamente, y las 500 onzas de oro del último año.

Se logró disminuir los costos de montaje y desmontaje de pozos de producción, mano de obra y alquiler de equipos, en un 90% en promedio por año.

## Agradecimientos

Agradecimiento especial al equipo profesional y técnico de la U.M. La Arena que han sido un soporte fundamental en la preparación, puesta en marcha y cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

## Referencias

- Sanchez, L.E (1995) Drenaje de minas a cielo abierto, Departamento de Engenharia de Minas Escola Politécnica da Universidad de São Paulo, c. 16, p. 251.
- AGUIRRE JR., J. C. 1979. A sedimentação no controle da poluição por atividades mineradoras. Anais. Seminário sobre técnicas exploratórias em geologia, II, Gravatal (SC), DNPM, Brasília.
- FERGUSON, K. D. Y ERICKSON, P. M. 1987. Will it generate AMD? An overview of methods to predict acid mine drainage. En: Environment Canada, Proceedings. Acid Mine Drainage Seminar/Workshop, p. 215-244, Halifax.
- LA RIVIERE, J. W. M. 1989. Threats to the world's water. Scientific American, 261(3):80-94.
- LYLE JR., E. S. 1987. Surface mine reclamation manual. Elsevier, New York, 268 p.
- RASTOGI, V. 1995. ProMac: Bacterial Inhibition. Mining Environmental Management 3(2):27-29.
- ROBERTSON, J. 1994. Mount Milligan Watershed. Mining Environmental Management 2(1):6-8.
- SOUSA PINTO, N. L. et al. 1976. Hidrología Básica. Edgard Blücher, São Paulo.
- Amphos 21 (2018) Curso de Hidrogeología aplicada a minería.
- Camara de Comercio del Perú (2020) Diplomado en Hidrogeología y explotación minera.

## Anexos:

- 1: Diagrama de protector de generador.**
- 2: Diagrama de protector de tablero.**
- 3: Memoria descriptiva de protector de generador.**
- 4: Memoria descriptiva de protector de tablero.**

Ingeniero Geólogo, egresado de Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Piura. Más de 10 años de experiencia en la perforación de pozos tubulares para petróleo y agua subterránea. Actualmente se desempeña como Hidrogeólogo para la U.M. La Arena de Panamerican Silver Perú, revisando los temas de manejos de aguas superficiales y drenaje de agua subterránea mediante Pozos de bombeo.

Juan Antonio La Torraca Ruiz  
Ingeniero hidrogeólogo  
Panamerican Silver Peru La Arena  
jlatorraca@pe.panamericansilver.com  
950209017  
Los Parques del Chipe J-12

Bachiller de Ingeniería de Minas, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Trujillo, con más de 4 años de experiencia en el áreas de operaciones mina, productividad, perforación y voladura, geotecnia e hidrogeología.

Christian Leonidas Villalobos Nuñez  
Asistente de Productividad  
Panamerican Silver Peru La Arena  
cvillalobos@pe.panamericansilver.com  
942231596  
Venturina Mz A' Lote 6 – Urb. Los Cedros

Ingeniero de Minas, egresado de Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. Más de 12 años de experiencia en el área de geotecnia e hidrogeología. Actualmente se desempeña como jefe de Geotecnia para la U.M. La Arena de PanamericanSilver Perú.

Gilmer Jhonny Engracio Huaman  
Jefe de Geotecnia e Hidrogeología  
Panamerican Silver Peru La Arena  
gilmer.engracio@pe.panamericansilver.com  
950209017  
Los Parques del Chipe J-12