

## MEMORANDO TÉCNICO

**FECHA:** 10 de enero, 2019 **PROYECTO:** 3531.06

**PARA:** Julio Torres, Aldo Espinosa, Gerencia Servicios Técnicos de SSR Mining

**DE:** Luis Gomez, Edwin Giraldo, Mike Rosko- Montgomery and Associates Ltda.

**PROYECTO:** Supervisión de construcción de pozo de abastecimiento de agua y sondaje de caracterización hidrogeológica mina Chinchillas

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo solicitado por la Gerencia de Servicios Técnicos de la mina Chinchillas, perteneciente a Silver Standard Resources Mining (SSR), Montgomery & Associates Consultores Limitada. (M&A) ha preparado el siguiente reporte para dar a conocer los resultados de la perforación, habilitación, desarrollo y pruebas hidráulicas del pozo de abastecimiento PW-01A y sondaje de caracterización hidrogeológica CW-01, ubicados en el sector de Truck Shop y Pit Chinchillas respectivamente (**Figura 1**). El objetivo del pozo PW-01A es suministrar agua a las instalaciones en mina Chinchillas, en tanto el sondaje CW-01 permite evaluar las condiciones geológicas e hidrogeológicas presentes en el sector del pit.

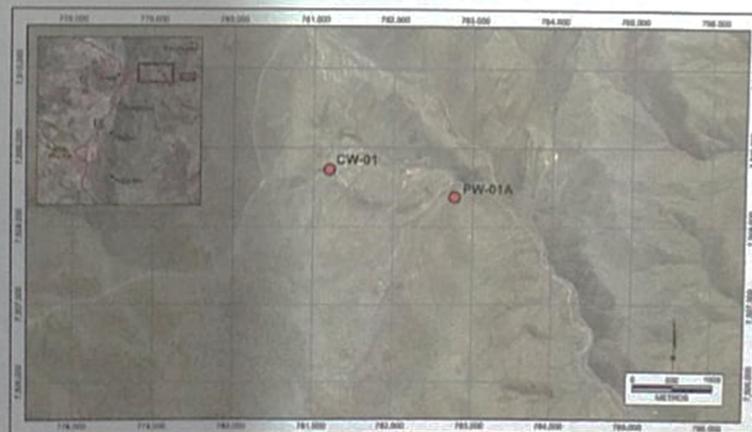


Figura 1. Ubicación de puntos de los pozos construidos



El presente memorando técnico describe las tareas realizadas y los resultados obtenidos de la supervisión del pozo de abastecimiento PW-01A y del sondaje de caracterización CW-01. Los trabajos de supervisión incluyen: la perforación, construcción, habilitación, desarrollo del pozo y la parte analítica incluye la realización e interpretación de pruebas hidráulicas. La campaña de terreno fue realizada durante el año 2018, específicamente entre los meses de septiembre a diciembre. La **Tabla 1** resume las características principales de los pozos, y la **Figura 1** muestra la ubicación de los pozos construidos en el área de la mina Chinchillas.

**Tabla 1. Resumen de características de los pozos construidos**

NOMBRE DEL POZO/ SONDAJE	COORDENADAS DEL POZO <sup>a</sup>		ALTITUD (metros, am) <sup>b</sup>	BONDAJE		TUBERÍA DE LA HABILITACIÓN		
	NORTE	ESTE		DIÁMETRO (pulgadas)	PROFUNDIDAD (metros, bis) <sup>c</sup>	DIÁMETRO (pulgadas)	PROFUNDIDAD (metros)	INTERVALO CRIBA Acero 6" (metros, bis)
PW-01A	7,808,379.00	782,767.00	4,068.00	17 9 7/8	0 - 12 12 - 104	14 6	0 - 12 0 - 102.14	17.19 - 95.19
CW-01	7,808,729.00	781192.61	4,141.62	13 1/4 8 1/2	0 - 18 18 - 202	14	0 - 18	-

<sup>a</sup> Coordenadas en Sistema Mercator Transverse Universal, en metros. Medición con GPS, M&A, Datum WGS 84.

<sup>b</sup> metros, am = metros sobre nivel del mar

<sup>c</sup> metros, bis = metros bajo la superficie

## POZO DE ABASTECIMIENTO PW-01A

La perforación del pozo de abastecimiento PW-01A estuvo a cargo de la empresa perforista MAJOR Perforaciones S.A. (MAJOR), utilizando una máquina de perforación modelo Schramm T685WS y se efectuó con sistema convencional y circulación reversa. El objetivo del pozo PW-01A es proporcionar una fuente de agua fresca sustentable para las operaciones de la mina en el futuro. Debido a que los trabajos previos de exploración no fueron realizados para el proyecto, la perforación y la realización de pruebas del pozo PW-01A son consideradas por nosotros como una actividad de “exploración”.

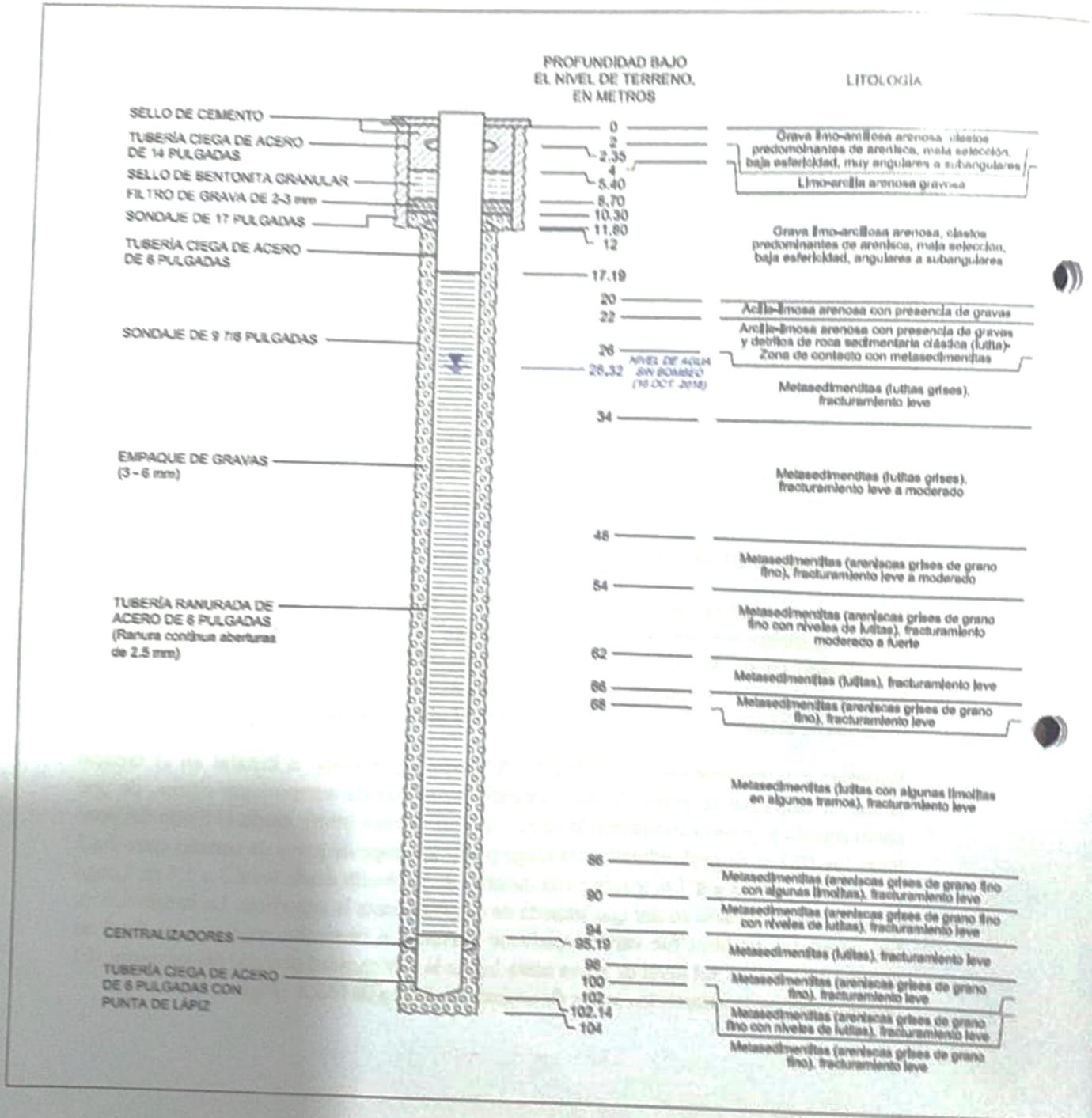
Las tareas de perforación se iniciaron el día 10 de septiembre del 2018 y finalizaron el 21 de septiembre de 2018. La **Tabla 1** resume los detalles de la perforación y habilitación final del pozo. La **Figura 2** muestra el diagrama de construcción del pozo. La perforación del antepozo se tuvo un diámetro de 17 pulgadas (") hasta los 12 metros (m) de profundidad, para luego instalar y cementar una tubería de acero de 14" de diámetro hasta 12 m. Se continuó la perforación del pozo mediante el sistema aire reverso con martillo y bit de 5 ½" de diámetro hasta alcanzar la profundidad de 102 m para luego ensanchar desde los 12 m, con tricono de diámetro de 9 7/8" hasta la profundidad final de 104 m (**Tabla 1** y **Figura 2**). Durante la perforación solo se utilizó agua del pozo y aditivo AMC - Drill Foam para ayudar a retirar los detritos de perforación desde el interior del pozo.

### HABILITACIÓN Y DESARROLLO

Posterior a la perforación del pozo PW-01A, se procedió a su habilitación, la cual se realizó mediante tubería ciega de acero carbono y filtro de ranura continuada acero galvanizado de 6" de diámetro, con una “punta de lápiz” en su extremo inferior. Los intervalos ciegos corresponden a: 0 – 17.19 m; 95.19 – 102.14 m mientras que la tubería ranurada se instaló en el tramo 17.19 – 95.19 m (**Tabla 1** y **Figura 2**).

Posterior a la perforación y habilitación del pozo, se procedió a instalar en el espacio anular el empaque de grava, la cual consistió en gravas de composición silícea, de tipo canto rodado y tamaño comprendido entre 3 a 6 milímetros (mm), desde el fondo del pozo hasta los 10.3 m de profundidad, para luego poner una capa de grava de tamaño entre 2 a 3 mm desde los 10.3 a 8.7 m y sobre ella un sello de bentonita desde los 8.7 a 5.4 m. Luego se completó el espacio anular con lechada de cemento hasta la superficie. La instalación de los materiales anulares fue vertida mediante gravedad a intervalos regulares, se llevó un control del ascenso del nivel de grava hasta lograr la profundidad deseada del empaque, del mismo modo se instalaron los sellos de acuerdo al diseño de M&A (**Figura 2**).

Figura 2. Diagrama esquemático del pozo de abastecimiento PW-01A



Una vez finalizada la instalación del filtro de grava en el espacio anular del pozo, se procedió a realizar el desarrollo y limpieza mediante aplicación de aire con herramienta jet en todos los intervalos de la tubería ranurada con el objetivo de optimizar el empaquetamiento, limpiar y remover los sedimentos finos de la perforación y del acuífero. El proceso de desarrollo se realizó entre el 28 de septiembre al 02 de octubre, durante el proceso M&A realizó el monitoreo de sedimentos finos mediante un cono Imhoff, medición de caudal y los parámetros básicos de calidad del agua (conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, temperatura y aforo de caudal).

Durante el desarrollo se efectuaron mediciones del flujo de agua en descarga mediante método airlift, hacia el fondo del pozo, tramo 84 a 102 m se obtuvieron mediciones de caudal entre 2.2 a 4.5 litros por segundo (L/s). El contenido de finos en suspensión del agua extraída del pozo, medido mediante cono Imhoff, fue menor a 0.5 mililitros por litro (mL/L) y los parámetros de calidad del agua registrados son estables con pH de 7.3 y conductividad eléctrica del orden de 267 microsiemens por centimetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL POZO DE ABASTECIMIENTO PW-01A

Durante la perforación del pozo se recolectaron muestras de detritos a intervalos regulares de 2 m. Las muestras se conservaron en cajas de cutting debidamente rotuladas, en fracción gruesa y fina (lavada y sin lavar). En el **Anexo A (Tabla A.1)** se presenta la descripción litológica de las muestras, mientras que el **Anexo B** incluye el registro fotográfico de las muestras de detritos. Las muestras de cutting quedaron almacenadas en dependencias de SSR en la mina Chinchillas para consultas futuras. A partir de la descripción de las muestras obtenidas, se define el siguiente resumen litológico:

- 0 – 2 m: Grava limo-arcillosa arenosa, clastos predominantes de arenisca, mala selección, baja esfericidad, muy angulares a subangulares
- 2 – 4 m: Limo-arcilla arenosa gravosa
- 4 – 20 m: Grava limo-arcillosa arenosa, clastos predominantes de arenisca, mala selección, baja esfericidad, muy angulares a subangulares
- 20 – 22 m: Arcilla-limosa arenosa con presencia de gravas
- 22 – 26 m: Arcilla-limosa arenosa con presencia de gravas y detritos de roca sedimentaria clástica (lutita)-zona de contacto con metasedimentitas
- 26 – 34 m: Metasedimentitas (lutitas grises), fracturamiento leve
- 34 – 48 m: Metasedimentitas (lutitas grises), fracturamiento leve a moderado



## **MONTGOMERY & ASSOCIATES**

48 – 54 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino), fracturamiento leve a moderado

54 – 62 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino con niveles de lutitas), fracturamiento moderado a fuerte

62 – 66 m: Metasedimentitas (lutitas), fracturamiento leve

66 – 68 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino), fracturamiento leve

68 – 86 m: Metasedimentitas (lutitas con algunas limolitas en algunos tramos), fracturamiento leve

86 – 90 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino con algunas limolitas), fracturamiento leve

90 – 94 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino con niveles de lutitas), fracturamiento leve

94 – 98 m: Metasedimentitas (lutitas), fracturamiento leve

98 – 100 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino), fracturamiento leve

100 – 102 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino con niveles de lutitas), fracturamiento leve

100 – 102 m: Metasedimentitas (areniscas grises de grano fino), fracturamiento leve

### **PRUEBA DE BOMBEO EN EL POZO PW-01A**

Al concluir el pozo PW-01A, se efectuó una prueba de bombeo de pre-test, la cual permitió determinar el caudal óptimo para el ensayo de caudal constante. La **Tabla 2** presenta un resumen de los datos de la prueba de bombeo de caudal constante. La **Figura 3** muestra el montaje de descarga utilizado durante las pruebas hidráulicas. La **Figura 4** muestra el gráfico de descenso y recuperación para la prueba de caudal constante.

Para la prueba se instaló una bomba sumergible marca RotorPump, modelo 4RXSP 7025, ubicada a 97 m de profundidad con una manguera flexible tipo Rylbrun. La **Figura 3** muestra el diagrama esquemático del montaje de descarga utilizado durante la prueba de bombeo. Para medir el nivel de agua en el pozo se instaló una línea de aire de PVC de 1 1/4" de diámetro, la cual se utilizó para el monitoreo manual mediante pozómetro y para instalar un transductor de presión. La supervisión de la prueba de bombeo se realizó con personal de M&A en conjunto con Hydroar S.A.



Durante esta prueba de bombeo se midió el nivel dinámico, caudal instantáneo y volumen acumulado de agua bombeada. Los datos de la prueba de bombeo a caudal constante se presentan en el Anexo C Tabla C.1. En la descarga se instaló una válvula de compuerta antes del medidor de flujo en la cañería de descarga para regular el caudal de bombeo.

#### **PRUEBA DE BOMBEO DE CAUDAL CONSTANTE**

Posterior a la prueba de pre-text se efectuó una prueba de caudal constante con duración de 48 horas de bombeo seguido de 48 horas de recuperación. El equipo y las herramientas de bombeo para realizar la prueba en el pozo PW-01A fueron provistos por la empresa contratista Hidrosar S.A.

El día 13 de diciembre de 2018 se da inicio al ensayo de bombeo a caudal constante. El caudal promedio para las 48 horas de bombeo fue de 4.15 L/s y el mayor descenso del nivel de agua se produjo tras 2,880 min y fue de 17.49 m según datos manuales (Anexo C, Tabla C.1). La capacidad específica después de 1 hora de bombeo fue de 0.85 litros por segundo por metro de descenso (L/s/m) (Tabla 2). La capacidad específica de un pozo se obtiene dividiendo el caudal bombeado por el descenso máximo del nivel en metros, obtenido por ese caudal.

**Tabla 2. Resumen de datos de la prueba a caudal constante en pozo de abastecimiento PW-01A**

NOMBRE DEL POZO	PROFUNDIDAD DEL POZO (m) <sup>1</sup>	FECHA INICIO DEL BOMBEO	DURACIÓN DEL BOMBEO (minutos)	PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUA (METROS, bpm) <sup>2</sup>	DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA (metros, mbsl) <sup>3</sup>	TASA DE BOMBEO (L/s) <sup>4</sup>	CAPACIDAD ESPECIFICA (L/s/m) <sup>5</sup>
PW-01A	104	13-dic.-18	48	28.84	4.88	4.15	0.85

<sup>1</sup> m = Metros

<sup>2</sup> bpm = Metros bajo el punto de medición

<sup>3</sup> mbsl = Metros, bajo la superficie del terreno 1 hora de bombeo

<sup>4</sup> L/s = Litros por segundo

<sup>5</sup> L/s/m = Calculado a partir de la tasa de bombeo dividida entre el descenso del nivel de agua después de 60 minutos de bombeo, en litros por segundo por metro de descenso<sup>3</sup>

Durante la prueba de bombeo se midió el pH y la conductividad eléctrica del agua. El pH registrado varió de 6.6 a 7.1 y la conductividad eléctrica entre 200 a 237.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De acuerdo con los valores de pH, obtenidos durante la prueba de bombeo, el agua del pozo PW-01A, se clasifica como neutra. En la etapa final del bombeo se tomaron muestras de agua para análisis de constituyentes comunes y metales traza.

#### **RESULTADO DE LA PRUEBA DE BOMBEO DE CAUDAL CONSTANTE**

Los datos de la prueba de bombeo se interpretaron a través del software analítico AQTESOLV PRO 4.0 (HydroSOLVE, 2006). Los resultados computacionales se

verificaron mediante un análisis manual. Los parámetros hidráulicos calculados a partir del análisis de la prueba se incluyen en la **Tabla 3**. El registro y los datos de la prueba de gasto constante se incluyen en el **Anexo C, Tabla C.1**.

El análisis de la tendencia en los descensos observados en el pozo de bombeo no realizó mediante el método de Cooper y Jacob (1946) y de recuperación de Theis (1935). Los datos de descenso y de recuperación utilizados para calcular la transmisividad se presenta en la **Figura 4**.

**Tabla 3. Resumen parámetros hidráulicos de pozo de abastecimiento PW-01A**

NOMBRE	MÉTODO GRÁFICO SEMI-LOG		PARÁMETROS REPRESENTATIVOS DEL ACUÍFERO		
	MÉTODO DE DESCENSO DE COOPER Y JACOB (1946)	MÉTODO DE RECUPERACIÓN DE THEIS (1935)	TRANSMISIVIDAD OPERATIVA <sup>a</sup> (m <sup>2</sup> /d)	ESPESOR SATURADO (m) <sup>c</sup>	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA PROMEDIO (m/d) <sup>d</sup>
	TRANSMISIVIDAD (m <sup>2</sup> /d) <sup>a</sup>				
PW-01A	4.6	3.4	3.4	78	0.051

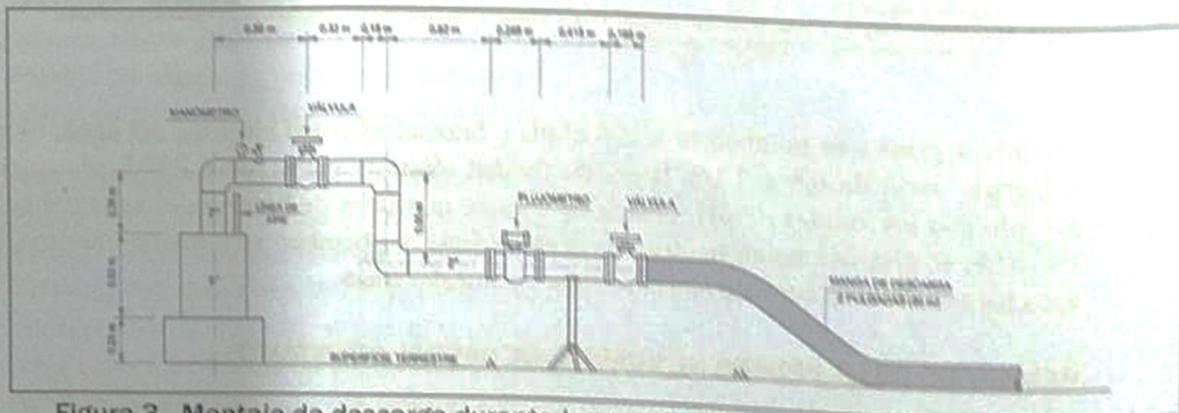
<sup>a</sup> m<sup>2</sup>/d = Metros cuadrados por día

<sup>b</sup> Transmisividad operativa = Valor de la transmisividad considerado como el más representativo del acuífero

<sup>c</sup> Espesor saturado (m) = Total de la longitud la tubería ranurada por debajo del nivel estático, en metros

<sup>d</sup> Conductividad hidráulica promedio (m/d) = Conductividad hidráulica en metros por día, es el cociente de la transmisividad dividido por el espesor saturado al inicio del bombeo

El análisis de los niveles de descenso, de acuerdo con el método de Cooper y Jacob (1946) presentan un valor de transmisividad aproximado de 4.6 metros cuadrado por día (m<sup>2</sup>/d) mientras que la recuperación de niveles, de acuerdo con el método de Theis (1935), presenta un valor aproximado de 3.4 m<sup>2</sup>/d (**Tabla 3**). De acuerdo con este rango de valores, se puede considerar que la transmisividad operativa en el entorno del pozo PW-01A es de 3.4 m<sup>2</sup>/d, y que su conductividad hidráulica promedio es de 0.051 m/d (**Tabla 5**).



**Figura 3. Montaje de descarga durante las pruebas hidráulicas en pozo PW-01A**

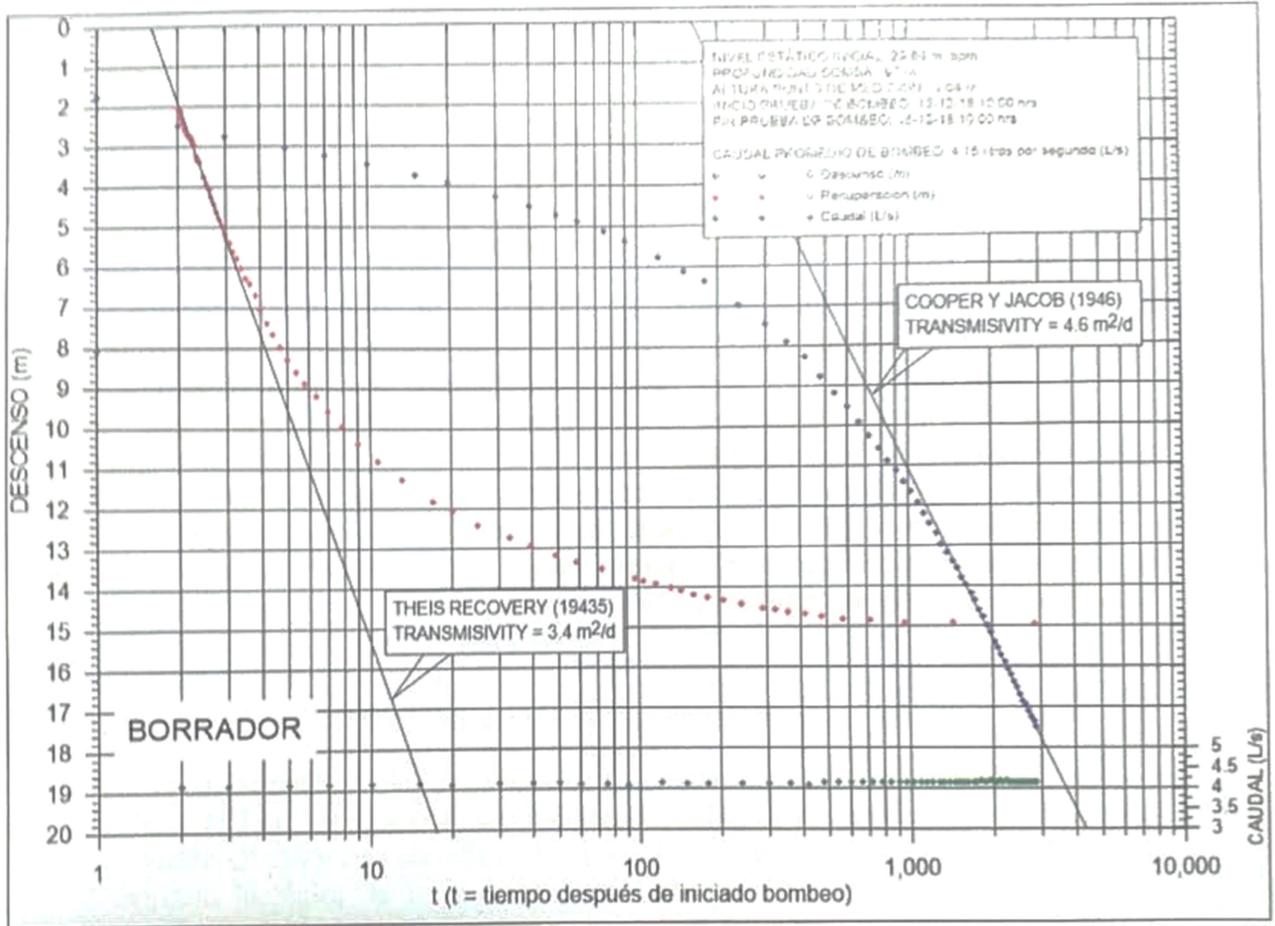


Figura 4. Gráfico de descenso para prueba de bombeo de 48 horas a caudal constante en pozo de abastecimiento PW-01A

La descripción hidrogeológica de las muestras de cutting junto con la información de flujo de agua obtenida durante la perforación permitió reconocer zonas de roca fracturada que serían las zonas de principal aporte de agua. Por otra parte, los valores de conductividad hidráulica estimados a partir de los datos obtenidos en la prueba, son típicos de rocas sedimentarias fracturadas ( $10^{-1} - 10^{-5}$  metros por día), según la tabla de clasificación de permeabilidades de Freeze and Cherry (1979), y confirmarían que el aporte de agua es principalmente por fracturas o zonas de fracturas presentes en la formación reconocida como metasedimentitas. Los acuíferos de roca fracturada son típicamente heterogéneos en



términos de permeabilidad y/o transmisividad con zonas de fracturas más transmisivas que pasan a ser menos transmisivas lejos de las zonas fracturadas, donde la roca es más competente o menos fracturada.

Considerando los datos de niveles, el análisis del gráfico y que el tiempo de duración de la prueba de gasto constante fue de solo 48 horas, no se observó ninguna condición de borde. Sin embargo, el caudal de 4.15 L/s utilizado para la prueba de bombeo parece ser demasiado alto y no permitió una estabilización del nivel dinámico como se puede observar en el gráfico de descensos. No se descarta que pueda existir una condición de borde impermeable debido a que el pozo está ubicado en una quebrada entre dos afloramientos de roca.

Para poder evaluar si existe alguna condición de borde, realizar proyecciones del descenso a largo plazo y así poder fijar una tasa de bombeo adecuada se requiere realizar una prueba de bombeo de larga duración con un tiempo mayor a 10 días y con un caudal igual o menor al utilizado durante la prueba. Debido a que los acuíferos en roca fracturada no presentan estabilización del nivel dinámico durante el bombeo a largo plazo, es crítico monitorear los niveles dinámicos durante el periodo de funcionamiento del pozo para evitar la sobreexplotación del acuífero y al mismo tiempo poder satisfacer la demanda de agua durante la operación de la mina.

## SONDAJE DE CARACTERIZACIÓN CW-01

La perforación del sondaje de caracterización CW-01 también fue realizada por MAJOR utilizando la máquina de perforación modelo Schramm T685WS y se efectuó con sistema convencional y circulación reversa. El objetivo de este sondaje es estimar los parámetros hidráulicos para la unidad de brechas y metasedimentitas en el área del pit y así poder mejorar el modelo de flujo numérico de agua subterránea. El modelo será utilizado para simular posibles flujos de entrada al pit en el futuro y obtener datos empíricos a partir de las pruebas hidráulicas realizadas en pozos es esencial para la calibración del modelo y para mejorar la proyección de los flujos de entrada al sistema.

Las actividades operativas iniciaron el día 5 de octubre del 2018 y finalizaron el 17 de octubre de 2018. La **Tabla 1** resume los detalles de la perforación del sondaje. La **Figura 5** muestra el diagrama del sondaje de caracterización. La perforación del antepozo se realizó con un diámetro de 13 ¼" hasta los 18 m de profundidad, para luego instalar y cementar una tubería de acero de 12" de diámetro hasta la misma profundidad. Se continuó la perforación del sondaje mediante el sistema aire reverso con martillo y bit de 5 ½" de diámetro hasta alcanzar la profundidad de 202 m (**Tabla 1**). Por instrucciones del cliente (SSR mining) el sondaje no se habilitó con tubería de 6", según lo indicado en las especificaciones técnicas. Durante las actividades de perforación solo se utilizó agua del sondaje para recuperar los detritos de la roca perforada.

### DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL SONDAJE DE CARACTERIZACION CW-01

Durante la perforación del sondaje se recolectaron muestras de detritos a intervalos regulares de 2 m. Las muestras se conservaron en cajas de cutting debidamente rotuladas, en fracción gruesa y fina (lavada y sin lavar). En el **Anexo A Tabla A.2** se presenta la descripción litológica de las muestras, mientras que el **Anexo B** incluye el registro fotográfico de las muestras de detritos. Las muestras de cutting quedaron almacenadas en dependencias de SSR en la mina Chinchillas para consultas futuras. A partir de la descripción de las muestras obtenidas, se define el siguiente resumen litológico:

0 – 4 m: Arena limo-arcillosa gravosa, clastos predominantes de arenisca, mala selección, baja esfericidad, angulares

4 – 10 m: Limo-arcilla gravosa arenosa clastos predominantes de arenisca, mala selección, baja esfericidad, angulares

10 – 12 m: Toba fuertemente argilizada, fracturamiento moderado a fuerte, moderado a abundante óxidos de hierro con limonitas (Goe, Hem), lixiviado

12 – 48 m: Toba fuertemente argilizada, fracturamiento nulo

48 – 84 m: Brecha, levemente argilizada fracturamiento nulo



- 84 – 88 m: Brecha, levemente argilizada fracturamiento leve a moderado
- 88 – 90 m: Brecha, levemente argilizada fracturamiento leve a moderado, moderada a abundante arcilla
- 90 – 130 m: Brecha, levemente argilizada fracturamiento leve a moderado
- 130 – 168 m: Brecha, fracturamiento leve
- 168 – 178 m: Transición roca sedimentaria brechizada y metasedimentitas (lutitas-areniscas)
- 178 – 200 m: Metasedimentitas, lutitas con niveles de areniscas de grano muy fino

Es relevante mencionar que durante el avance de la perforación se obtuvo un incremento importante del aporte de agua del pozo a partir de los 80 metros de profundidad. Esto se pudo comprobar mediante la realización de pruebas de airlift, las que mostraron un incremento de caudal desde 1 L/s a 2.3 L/s promedio. De acuerdo a los antecedentes de los trabajos de exploración en el sector, la unidad de brechas presenta valores de conductividad mayor a las unidades de tobas y metasedimentitas, verificando que la brecha es una unidad hidrogeológica importante.

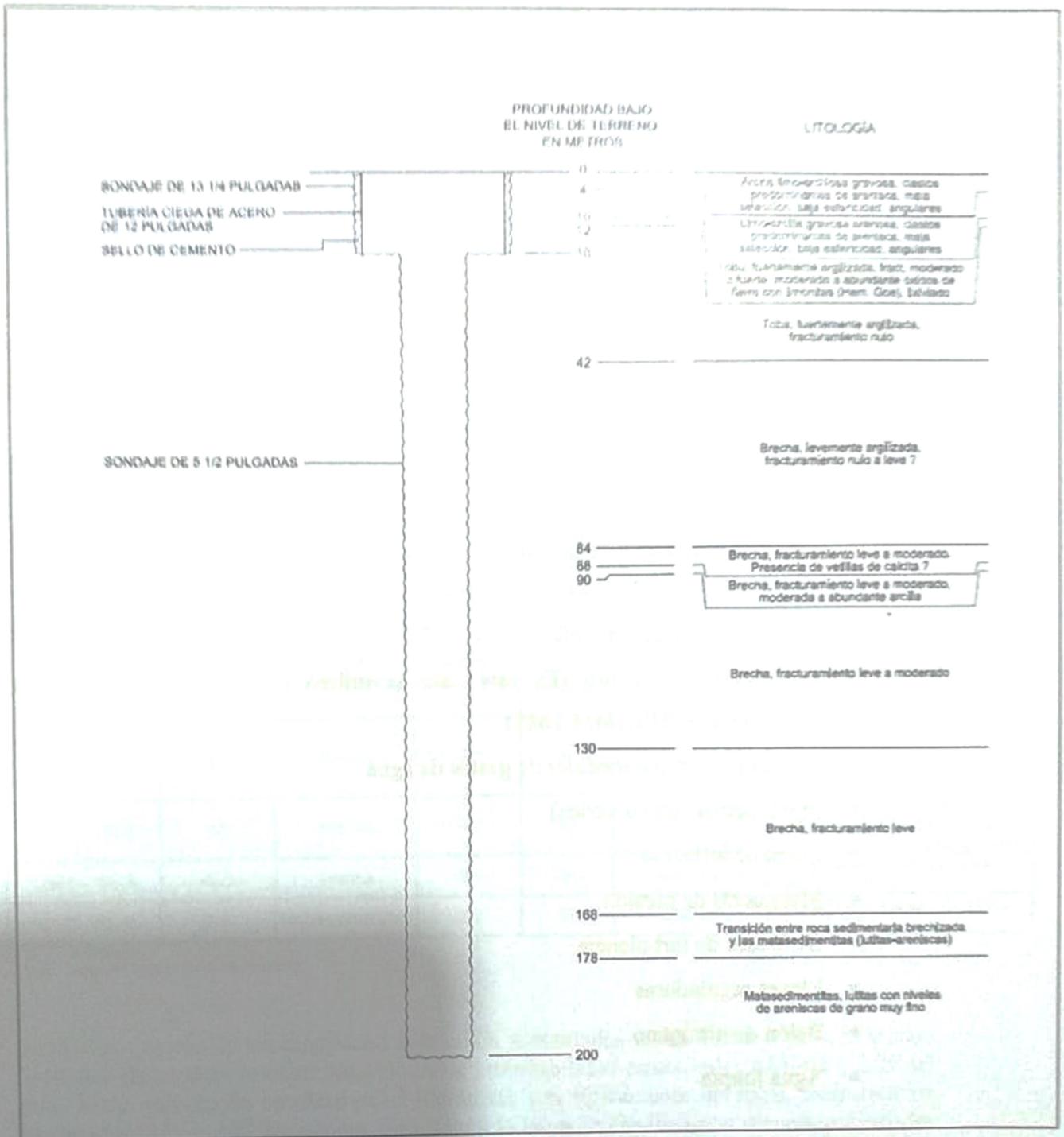


Figura 5. Diagrama esquemático del sondeo de abastecimiento CW-01

### PRUEBAS DE TIPO LUGEON EN SONDAJE DE CARACTERIZACION CW-01

Con el objetivo de obtener parámetros de conductividad hidráulica asociado a un tramo de la unidad litológica investigada se realizaron ensayos de permeabilidad tipo Lugeon



(packer). Para los ensayos de Lugeon se utilizó un equipo packer proveído por la empresa de perforista MAJOR, el que permite realizar solo packer simple al interior del pozo sin barras de perforación. La membrana del packer fue inflada con gas nitrógeno y se instaló a la profundidad deseada con una manguera. Se realizaron un total de cuatro ensayos en las unidades litológicas preseleccionadas (Tabla 4). Específicamente en las unidades de brechas y metasedimentitas que corresponden a las más importantes desde el punto de vista hidrogeológico.

El ensayo Lugeon o prueba hidráulica de tipo packer, es un ensayo en campo que se realiza con sondeos, únicamente en rocas consolidadas, confinándolos con obturadores simples o dobles, para medir la permeabilidad. Consiste en medir el volumen de agua (V) que se inyecta durante un tiempo (t), es decir, el caudal  $Q=V/t$ , en un tramo de sondeo de longitud (L) a una determinada presión (Ht).

La llamada unidad Lugeon corresponde a una absorción de 1 litro de agua por minuto, por metro de sondeo, con una presión de inyección de  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

El equipamiento utilizado para la realización de las pruebas fue el siguiente:

- Obturador o Packer simple
- Una bomba hidráulica (En este caso se utilizó la bomba de la máquina de perforación SCHRAMM T685)
- Un caudalímetro o medidor de gastos de agua
- Manómetros (uno o varios)
- Línea de inflación
- Mangueras de presión
- Disipador de turbulencia
- Llaves reguladoras
- Balón de nitrógeno
- Agua limpia

Una vez que se verifica que los materiales y equipos a utilizar para la prueba estén en buenas condiciones se aplica el siguiente procedimiento:

1. Primero se debe verificar y asegurar las condiciones del sondeo (estabilidad) y realizar un reconocimiento geológico e hidrogeológico de la zona a testear.
2. Luego se prepara el obturador y se introduce en el sondeo a la profundidad deseada en el tramo de prueba.

3. Realizar el cálculo de presión de obturación del packer, y la presión máxima para obtener las presiones de prueba. Proceder al inflado del packer.
4. Realizar y asegurar las conexiones del cuadro manifold en superficie
5. Proceder a inyectar flujo de agua, mantener presión constante y medir el caudal inyectado a durante un intervalo determinado de tiempo, generalmente de 5 a 10 minutos. Luego repetir la operación aumentando y o disminuyendo la presión.

### ETAPAS DEL ENSAYO DE LUGEON Y RESULTADOS

El ensayo se realiza en cinco estados, en los cuales la presión con la que el agua es inyectada varía entre cada uno de ellos. Antes de empezar, se define la presión máxima que va a ser utilizada, la presión aplicada debe ser adecuada para evitar la hidrofracturación de la roca. Una vez finalizada las mediciones a presiones crecientes, se realizaron ensayos con presiones decrecientes para efectuar un estudio cualitativo del ensayo mediante gráficos y obtener un análisis del comportamiento de la fisuración frente a la inyección.

**Tabla 4. Resumen parámetros hidráulicos de pozo de caracterización CW-01**

FECHA /HORA	INTERVALO DE PRUEBA (metros)	LONGITUD INTERVALO (metros) <sup>a</sup>	UNIDAD LITOLÓGICA	ANGULO DEL POZO	NIVEL DE AGUA (mbpm) <sup>b</sup>	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA* (m/d)	OBSERVACIONES
09/10/2018 11:50 hrs	82.0 - 87.0	5.0	Brecha	-90°	38	2.6E-01	No se pudo elevar presión a más de 55 PSI. Prueba se pudo realizar solo con 2 presiones 40 y 55 PSI.
13/10/2018 19:00 hrs	125.0 - 130.0	5.0	Brecha	-90°	38	2.2E-03	Prueba se realizó con solo un presión (180 PSI). No se registró flujo para la presión baja y media
15/10/2018 18:54 hrs	105.0 - 150.0	45.0	Brecha	-90°	38	5.5E-02	No se puede elevar presión a más de 40 PSI.
18/10/2018 11:45 hrs	195.0 - 202.0	7.0	Metasedimentitas	-90°	37	2.5E-07	Baja 290 PSI, media 362.5 PSI, alta 435 PSI

<sup>a</sup> m = Metros  
<sup>b</sup> bpm = Metros bajo el punto de medición

Según los valores de conductividad hidráulica presentados en la **Tabla 4** para la unidad litológica de brechas se observan valores de permeabilidad media entre 2.6E-01 y 2.2E-03 m/d. Estos valores de conductividad hidráulica son típicamente de rocas sedimentarias fracturadas ( $10^{-1} - 10^{-3}$  metros por día), según la tabla de clasificación de permeabilidades de Freeze and Cherry (1979). Para el caso específico del intervalo de prueba entre los 82 y los 87 metros, se muestra el valor de conductividad estimado más alto. Esto sería consistente con los antecedentes presentados anteriormente, que señalan que en la unidad de brechas, bajo la profundidad de 80 metros, se obtuvo un incremento del caudal medido por airlift con un valor cercano a los 2.5 L/s.



Por otra parte, el valor estimado para la unidad de metasedimentitas es de  $2.51 \cdot 10^{-7}$  m/d correspondiendo a un valor de permeabilidad bajo, típico de rocas sedimentarias con nulo fracturamiento.

Tabla 1. Características de las unidades geológicas.

Unidad Geológica	Permeabilidad (m/d)	Almacenamiento	Porosidad (%)
Metasedimentitas	$2.51 \cdot 10^{-7}$	0.05	10
Sedimentitas	$1.5 \cdot 10^{-6}$	0.15	15
Granitos	$1.0 \cdot 10^{-8}$	0.02	5
Basaltos	$1.0 \cdot 10^{-8}$	0.02	5

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. Se efectuó la perforación del pozo PW-01A hasta una profundidad de 104 m, en donde el pozo se habilitó con tubería ciega y raturada de 6" hasta los 102.97 m. La descripción litológica indica la presencia de materiales no consolidados hasta los 24 m para luego dar paso a una secuencia sedimentaria dominada por lutitas y areniscas de grano fino hasta los 104 m, denominados metasedimentitas.
2. Se efectuó una prueba de bombeo a caudal constante, con un caudal promedio de 4.15 L/s, la cual tuvo una duración de 48 horas, seguido por una etapa de recuperación de 48 horas. Durante el periodo de bombeo no se observó estabilización del nivel dinámico, manteniendo un descenso sostenido hasta la detención de la bomba.
3. Los datos de descenso fueron analizados mediante el método de Cooper y Jacob (1946) arrojando una transmisividad de  $4.6 \text{ m}^2/\text{d}$ , mientras que los datos de recuperación analizados mediante el método de recuperación de Theis (1935) arrojan una transmisividad de  $3.4 \text{ m}^2/\text{d}$ .
4. El análisis de la prueba de bombeo junto con la revisión de los antecedentes de la perforación permitió identificar que el acuífero se encuentra en un medio fracturado principalmente en la unidad de metasedimentitas, que corresponden a una intercalación de lutitas y areniscas de grano fino.
5. En base a lo expuesto en los resultados de la prueba de gasto constante, la tasa de bombeo de 4.15 L/s utilizada para la prueba es alta para la capacidad del pozo. Un caudal óptimo operativo para el pozo de abastecimiento PW-01A estaría en torno a los 2.5 L/s. Se recomienda monitorear el nivel dinámico durante el periodo de funcionamiento del pozo para poder evitar la sobreexplotación del acuífero. Debido a que los acuíferos presentes en medios fracturados no tienden a mostrar una estabilización de los niveles de agua a largo plazo.
6. Se recomienda realizar una prueba de bombeo de larga duración de 10 días o más, para verificar la existencia de barreras impermeables, debido a que el pozo se encuentra ubicado en un lugar que está próximo a afloramientos de roca y para poder complementar la información de parámetros hidráulicos del acuífero.
7. Se efectuó la perforación del pozo CW-01 hasta una profundidad de 202 m. La descripción litológica indica la presencia de materiales no consolidados hasta los 10 m para luego dar paso a una roca volcánica (toba) hasta los 42 m. Bajo la toba se encuentra la unidad de brecha hasta una profundidad de 168m para dar paso a una secuencia sedimentaria dominada lutitas y areniscas de grano fino hasta los 202 m denominadas metasedimentitas.



8. Se realizaron pruebas hidráulicas de tipo Lugeon con equipo packer. Las pruebas fueron con el método de inyección de agua. Los valores estimados de conductividad hidráulica para la unidad de brecha varían entre los  $2.6E-01$  y  $2.2E-03$ , mientras que para la unidad de metasedimentitas se obtuvo un valor de  $2.5E-07$ . Los valores obtenidos se consideran apropiados para roca fracturada en el caso de la brecha. En el caso de las metasedimentitas el valor obtenido coincide con los valores de permeabilidades de rocas sedimentarias consolidadas sin fracturamiento según la tabla de Freeze and Cherry (1979).

9. El análisis de las pruebas de Lugeon (packer) junto con la revisión de los antecedentes de la perforación permitió identificar que los aportes de agua se encuentran principalmente en la unidad de brechas. Esta unidad litológica consiste en brechas con diferente grado de fracturamiento y que en el sector del pit Chinchillas constituyen un acuífero importante. Por esto es importante tener en cuenta un programa de desagüe que permita extraer el agua para conservar la estabilidad de la mina.

10. Se recomienda perforar y construir más pozos de desagüe en el sector del pit que tengan como objetivo alcanzar la profundidad de las brechas y penetrar totalmente esta unidad, para realizar el desagüe y despresurización de taludes en el área del pit Chinchillas. Sin embargo, estos pozos deben estar ubicados en sectores que no estén afectados por la explotación minera para asegurar que su funcionamiento durante el bombeo sea a largo plazo.

10. Durante la construcción de nuevos pozos se debe considerar la realización de pruebas hidráulicas que permitan complementar la información de parámetros hidráulicos y poder utilizar estos datos en el modelo numérico de flujo de agua subterránea.

## REFERENCIAS

- Cooper, H.H., Jr., and Jacob, C.E., 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history: American Geophysical Union Transactions, vol. 27, no IV, pp. 526-534
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979, Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632. p. 29
- HydroSOLVE, Inc., 2006, AQTESOLV PRO 4.0 for Windows User's Guide: Hydrosolve, Inc., Reston, Virginia, 82 p.
- Theis, C.V., 1935, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage: American Geophysical Union Transaction, vol. 16, pp. 519-524.