

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**T E S I S**

**Diseño y desarrollo técnico de estrategias de pozas para drenaje de las aguas subterráneas y mejorar la profundización en el cuerpo mineralizado Magistral Sur – Mina Santander S.A.C. – Región Pasco**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Jorge Luis MANDUJANO QUINTANA**

**Asesor:**

**Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA**

**Cerro de Pasco – Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**T E S I S**

**Diseño y desarrollo técnico de estrategias de pozas para drenaje de las aguas subterráneas y mejorar la profundización en el cuerpo mineralizado Magistral Sur – Mina Santander S.A.C. – Región Pasco**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg Teodoro SANTIAGO ALMERCÓ**  
**PRESIDENTE**

---

**Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA**  
**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**  
**Facultad de Ingeniería de Minas**  
**Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas**



### **INFORME DE ORIGINALIDAD N° 004-2024**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:  
**Jorge Luis, MANDUJANO QUINTANA**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:  
**Tesis**

Título del trabajo  
**DISEÑO Y DESARROLLO TECNICO DE ESTRATEGIAS DE POZAS  
PARA DRENAJE DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y MEJORAR LA  
PROFUNDIZACION EN EL CUERPO MINERALIZADO MAGISTRAL  
SUR – MINA SANTANDER S.A.C. – REGION PASCO**

Asesor:  
**Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA**

Índice de Similitud: **19 %**

Calificativo  
**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 18 de abril de 2024.

Sello y Firma del responsable  
de la Unidad de Investigación

## DEDICATORIA

A Dios, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar.

A Abraham y Elena, mis padres por sus consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles

A Mauricio Nicolás, mi hijo, por creer en mi capacidad, y demostrarle que todo esfuerzo tiene su recompensa.

A Pedro Pachari Huamán, mi hermano que nunca dejo de creer en mí, y juntos lograr este objetivo.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros profesores a quien le debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias por su paciencia, enseñanza, dedicación.

A la empresa minera Trivali Corp. La unidad minera Santander por brindarnos toda la información y conocimiento necesarios para desarrollar el presente trabajo de investigación.

Los resultados de este informe, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, fueron de gran ayuda para su culminación, y su aplicación en la Unidad Minera Santander, que me brindaron información relevante, en el desarrollo del proyecto que plasmaron los resultados útiles de gran realce para el éxito del trabajo cumpliendo con la Gerencia de operaciones en la Unidad Minera.

## RESUMEN

Trevali Corporation (Trevali) de Lima, Perú contrató FloSolutions SAC (FloSolutions) para ayudar a mejorar el drenaje profundo de la Mina Santander en Pasco, Perú. La mina está experimentando actualmente entradas de aguas subterráneas en el rango 570 L/s, un aumento de más de 200 L/s desde enero del 2017, por una profundidad total de aproximadamente 420 m. La mayor parte de ingresos de flujos de agua se producen en los niveles más profundos del cuerpo mineralizado Magistral Sur, donde las labores de desarrollo encuentran estructuras de orientación aproximadamente este-oeste y en donde la flexura del cuerpo mineral lo sitúa cerca aproximadamente a 10 m al este de la tendencia NNE sub-vertical de la falla Santander, tendencia regional de la estructura brechada de falla, que puede ser significativamente permeable.

El proyecto para su desarrollo en sus cuatro capítulos, explica los detalles e información relativa a la investigación cuyo alcance de trabajo incluye el análisis el monitoreo y seguimiento del problema para elaborar las soluciones técnicas y científicas del problema y establecer las soluciones respectivas a nuestro problema. Enfocados en los cuatro capítulos de importancia, como son:

Capítulo I: problema de investigación

Capitulo II: marco teórico

Capitulo III: metodología y técnicas de la investigación

Capitulo IV: resultados y discusión

Contenidos orientados a cumplir con el desarrollo de las siguientes tareas propuestas:

- Tarea 1: Instalación de pozos de drenaje y puntos de monitoreo;
- Tarea 2: Monitoreo de ingresos de agua a la mina, pruebas hidráulicas e instalación de puntos de monitoreo;
- Tarea 3: Investigación de las opciones de drenaje superficial;

- Tarea 4: Prueba con trazador y sellamiento de una dolina con conexión potencial con la mina; y
- Tarea 5: Instalación de la Galería de Drenaje, Nivel 4230, Sub-nivel 3 ó 4.

**Palabras claves:** Sistema de drenaje, alcances y mejoramiento en el abastecimiento del sistema del manejo de fluidos.

## ABSTRACT

Trevali Corporation (Trevali) of Lima, Peru contracted FloSolutions SAC (FloSolutions) to help improve deep drainage at the Santander Mine in Pasco, Peru. The mine is currently experiencing groundwater inflows in the 570 L/s range, an increase of more than 200 L/s since January 2017, for a total depth of approximately 420 m. Most of the incoming water flows occur in the deeper levels of the Magistral Sur mineralized body, where development work encounters approximately east-west oriented structures and where the flexure of the ore body places it at approximately 10 m. east of the NNE sub-vertical trend of the Santander fault, regional trend of the breccia fault structure, which can be significantly permeable.

The project for its development in its four chapters, explains the details and information related to the investigation whose scope of work includes the analysis of monitors and monitoring of the problem to develop technical and scientific solutions to the problem and establish the respective solutions to our problem. Focused on the four important chapters, such as:

**Chapter I; Research Problem**

Chapter II; theoretical framework

Chapter III; research methodology and techniques

Chapter IV; Results and discussion

Contents oriented to fulfill the development **of the following proposed tasks:**

- Task 1: : Instalación de pozos de drenaje y puntos de monitoreo;
- Tarea 2: Monitoreo de ingresos de agua a la mina, pruebas hidráulicas e instalación de puntos de monitoreo;
- Tarea 3: Investigación de las opciones de drenaje superficial;
- Tarea 4: Prueba con trazador y sellamiento de una dolina con conexión potencial con la mina; y



- Tarea 5: Instalación

**Keywords:** Drainage system, scope and improvement in the supply of the fluid management system.

## INTRODUCCIÓN

En la Empresa Minera Santander operada actualmente por la Internacional Trevali Corporation, está experimentando actualmente entradas de aguas subterráneas en el rango 570 L/s, un aumento de más de 200 L/s desde enero del 2019, por una profundidad total de aproximadamente 420 m. La mayor parte de ingresos de flujos de agua se producen en los niveles más profundos del cuerpo mineralizado Magistral Sur, donde las labores de desarrollo encuentran estructuras de orientación aproximadamente este-oeste (Figura 1-1) y en donde la flexura del cuerpo mineral lo sitúa cerca aproximadamente a 10 metros al este de la tendencia NNE sub-vertical de la falla Santander, tendencia regional de la estructura brechada de falla, que puede ser significativamente permeable como se muestra en la figura.

Nuestra investigación está orientado al tipo de investigación explicativo, predictiva y proyectiva porque aborda el problema de drenaje en las zonas críticas de profundización del yacimiento Magistral sur. (Marisol Hernández 2012)

El estudio se orienta, al enfoque cualitativo cuantitativo, porque utilizamos procedimientos metodológicos usando, textos, gráficos y técnicas graficas de interpretación. (Según, Hernández Sampietri 2017).

“La investigación explicativa tiene como fundamento la prueba de hipótesis y busca que las conclusiones lleven a la formulación o al contraste de leyes o principios científicos. Las investigaciones en que el investigador se plantea como objetivos estudiar el porqué de las cosas, los hechos, los fenómenos o las situaciones, se denominan explicativas” (BERNAL, 2010)

El yacimiento minero Santander se localiza en el flanco Occidental de la Cordillera Central de los Andes del Perú, políticamente se encuentra en el paraje de Yanacocha, distrito de Santa Cruz de Andamarca, provincia de Huaral, departamento de Lima, a 150 kilómetros en promedio al noreste de la ciudad de Lima.

Se ha compilado las pruebas realizadas anteriores, inclusive con el re análisis de unas pruebas anteriores, para compilar una tabla de valores promedios de

conductividad hidráulica para las diferentes unidades hidrogeológicas en el sitio, presentado en la Figura 2-7 y Tabla B-1, Apéndice B. Los análisis de las pruebas realizadas durante la campaña actual, y el re-análisis de las pruebas realizadas anteriormente se incluyen en el Apéndice B. Mientras que la base de datos está limitada a fecha, se puede ver una similitud entre unidades en el sitio, aparte de los relaves, con todos en el rango de conductividad alto moderado, entre  $1.0 \times 10^{-6}$  (Fm Jumasha) hasta  $8.9 \times 10^{-6}$  (Fm Chulec). Las unidades de materiales cuaternarios y el Fm Chulec muestran una menor variabilidad en sus propiedades de las demás unidades.

## INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la Investigación .....	3
1.2.1.	Delimitación espacial .....	3
1.2.2.	Delimitación temporal .....	3
1.3.	Formulación del problema .....	3
1.3.1.	Problema General.....	3
1.3.2.	Problema específico .....	4
1.4.	Formulación de Objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo General.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos .....	4
1.5.	Justificación de la Investigación .....	4
1.6.	Limitaciones de la Investigación .....	5

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	6
2.2.	Bases Teóricas - Científicas .....	11
2.2.1.	Drenaje .....	11
2.2.2.	Drenajes alcalinos o aguas residuales con bajo potencial de solubilización .....	12
2.2.3.	Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización .....	12
2.3.	Definición de Términos básicos .....	13
2.4.	Formulación de la hipótesis .....	19
2.4.1.	Hipótesis general .....	19
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	19
2.5.	Identificación de Variables.....	19
2.5.1.	Variables para la hipótesis general .....	19
2.5.2.	Variables para las hipótesis específicas.....	19
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	20

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación.....	21
3.2.	Nivel de investigación.....	21
3.3.	Métodos de Investigación.....	21
3.4.	Diseño de la Investigación.....	22
3.5.	Población y Muestra .....	22
3.5.1.	Población.....	22
3.5.2.	Muestra.....	22
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	22
3.6.1.	Técnicas .....	22

3.6.2.	Instrumentos.....	23
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
3.8.	Tratamiento Estadístico.....	24
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica .....	24

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo .....	26
4.1.1.	Monitoreo de caudal y parámetros de calidad básica del agua .....	29
4.1.2.	Análisis de riesgos asociados a la seguridad, salud y medio ambiente .....	30
4.1.3.	Control de seguridad.....	32
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	33
4.2.1.	Ubicación Geográfica de la Minas.....	33
4.2.2.	Descripción General de la Unidad Minera Santander.....	35
4.3.	Prueba de Hipótesis .....	36
4.3.1.	Monitoreo de ingresos de agua a la mina .....	36
4.3.2.	Establecimiento de un Punto de Monitoreo de Etapa Continuo.....	41
4.3.3.	Monitoreo de Presiones Piezométricas .....	46
4.3.4.	Investigación de las opciones de drenaje superficial.....	47
4.3.5.	Instalación de Pozos de Drenaje y Puntos de Monitoreo .....	65
4.3.6.	Ingresos de agua subterránea hacia la mina .....	74
4.3.7.	Ingresos Futuros.....	79
4.3.8.	Manejo de ingresos de agua subterránea .....	86
4.4.	Discusión de resultados .....	89
4.4.1.	Instrucciones para la recolección de datos Hidrogeológicos desde taladros de perforación Diamantina. ....	89

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>figura 1</b> Estructuras de tendencia este-oeste vinculando la falla Santander y labores de Subniveles (falla Magistral removida) .....	2
<b>Figura 2</b> Cuerpo mineralizado Magistral Sur y desarrollo de labores.....	3
<b>Figura 3</b> Puntos de filtraciones interior mina-Magistral sur. ....	23
<b>figura 4</b> Mediciones de caudal en las cunetas llegando a las pozas de sedimentación .....	24
<b>Figura 5</b> Mapeo de presiones, interior de la mina, Magistral Sur, Nv 4230-4.....	25
<b>Figura 6</b> Instalaciones de administración de la Unidad Minera Santander.....	34
<b>Figura 7</b> Ingreso Principal Operaciones subterráneas UM. Santander Túnel Don David.....	35
<b>Figura 8</b> Filtraciones de agua desde (a) taladros (b) y (c) por el piso y (d) por fracturas .....	37
<b>Figura 9</b> Mediciones de caudal en las cunetas llegando a las pozas de sedimentación .....	39
<b>Figura 10</b> Aforos junto con la instalación de punto de medición de nivel de agua TP-2 <sup>a</sup> .....	44
<b>Figura 11</b> Curva de etapa-descarga, punto de monitoreo TP-2 <sup>a</sup> .....	45
<b>Figura 12</b> Mapeo de presiones, interior de la mina setiembre 2021, Magistral Sur, Nv 4230-4.....	46
<b>Figura 13</b> Caudal bombeado vs. Precipitación diaria, Estación Yantac .....	47
<b>Figura 14</b> Dolina, laguna Yanacocha, Setiembre 2021.....	50
<b>Figura 15</b> Ubicación de la dolina y presencia de lineamientos.....	51
<b>Figura 16</b> Prueba de trazador.....	53
<b>Figura 17</b> Precipitación mensual, descarga observado y modelado en TP-01 y descarga de la mina .....	60
<b>Figura 18</b> .....	61



<b>Figura 19</b> El sumidero (a) inmediatamente después de cementación (19-12-21 @ 17:00h) y (b) el día siguiente (20-12-22 @ 8:00h) .....	64
<b>Figura 20</b> Esquema de taladros de drenaje en plano .....	66
<b>Figura 21</b> Imagen 3D de taladros de drenaje .....	66
<b>Figura 22</b> .....	67
<b>Figura 23</b> Valores de conductividad promedio por unidad hidrogeológica compilada	73
<b>Figura 24</b> Cuenca hidrográfica, Rio Baños superior, sub-cuenca de laguna Yanacocha .....	78
<b>Figura 25</b> Límite de escurrimiento laguna Yanacocha.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables e indicadores .....	20
<b>Tabla 2</b> Detalle de mezcla para sellado del sumidero .....	27
<b>Tabla 3</b> Detalle estaciones de control - paquetes de carbón activado.....	29
<b>Tabla 4</b> Análisis de riesgos en el trabajo a realizar – Superficie. ....	31
<b>Tabla 5</b> Resumen de ingresos de agua a la mina, 14 a 19 setiembre.....	38
<b>Tabla 6</b> Resumen de ingresos de agua a la mina, 25 a 26 abril.....	40
<b>Tabla 7</b> Resumen de la mezcla de cemento-bentonita inyectado .....	62
<b>Tabla 8</b> Detalles de taladros de drenaje .....	65
<b>Tabla 9</b> Ingresos estimados a la mina Santander .....	86

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

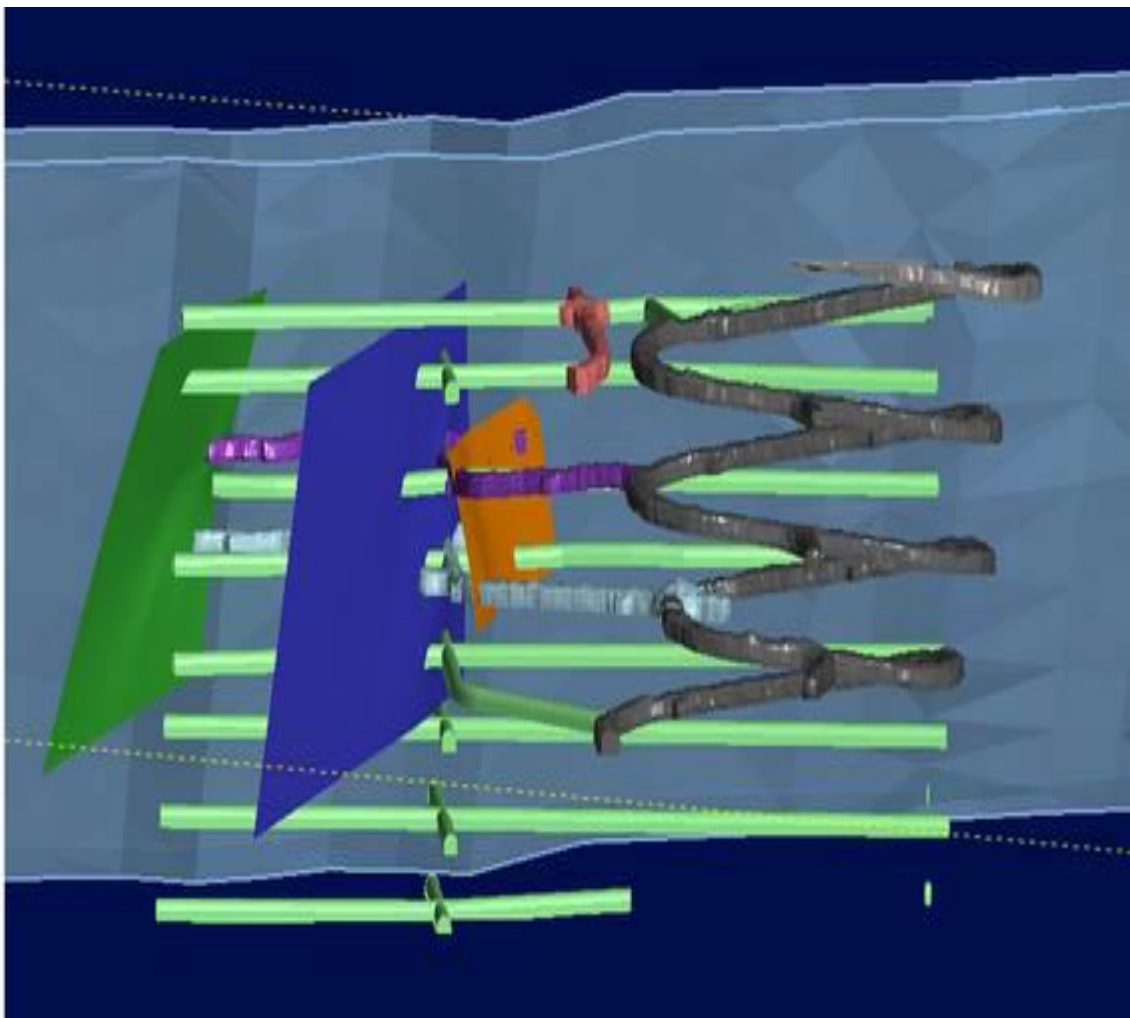
#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Es conocido que las empresas mineras subterráneas en el País, tiene dificultades respecto a la existencia en mayor y menor flujo de agua que dificulta sus operaciones de desarrollos y explotación propiamente que son causa de preocupación en la producción y la productividad, por ello debe buscar las soluciones respectivas a estos fenómenos hidrogeológicos mediante la aplicación de sistema de drenaje efectivos.

En la Empresa Minera Santander operada actualmente por la Internacional Trevali Corporation, está experimentando actualmente entradas de aguas subterráneas en el rango 570 L/s, un aumento de más de 200 L/s desde enero del 2019, por una profundidad total de aproximadamente 420 m. La mayor parte de ingresos de flujos de agua se producen en los niveles más profundos del cuerpo mineralizado Magistral Sur, donde las labores de desarrollo encuentran estructuras de orientación aproximadamente este-oeste (Figura 1-1) y en donde la flexura del cuerpo mineral lo sitúa cerca aproximadamente a 10 metros al este de la tendencia NNE sub-vertical de la falla Santander, tendencia regional de la estructura brechada de falla, que puede ser significativamente permeable como se muestra en la figura.

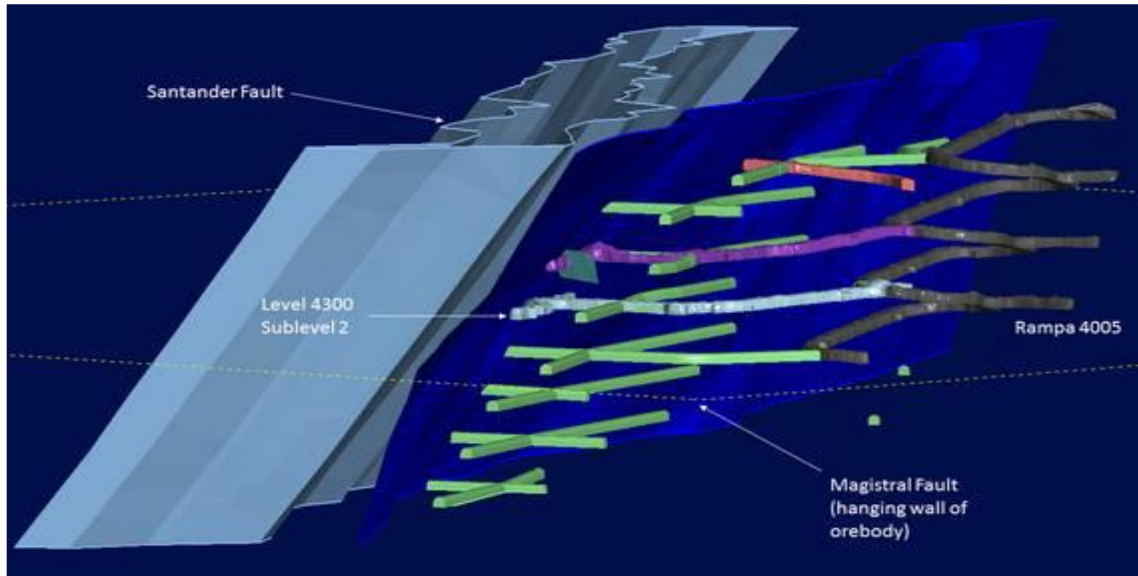
La estructura de esta zona Magistral está formada por la formación Oyon, compuesto de areniscas y capas de lutitas carbonáceas, que tienen una resistencia menor que las unidades adyacentes, rocas carbonatadas de la formación Chulec, en la caja piso y cuarcitas de la formación Chimú, en la caja techo. La formación tiene un ancho de hasta 40 metros y se considera que tiene una porosidad significativa y por lo tanto tiene el potencial de almacenamiento de agua.

**figura 1** Estructuras de tendencia este-oeste vinculando la falla Santander y labores de Subniveles (falla Magistral removida)



Fuente; Planeamiento Minera Trevali-Corp. Mina Santander

**Figura 2** Cuerpo mineralizado Magistral Sur y desarrollo de labores



Fuente; Planeamiento Minera Trevali-Corp. Mina Santander

## **1.2. Delimitación de la Investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

El estudio se desarrolla en la Empresa Mina Santander, Subsidiaria de la Empresa Trevali-Corp. Ubicado en el Departamento de Pasco, Región Pasco.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

El proyecto tendrá una duración de ocho meses, de agosto a abril del 2022.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema General**

¿Los planes de mejora en sistema de drenajes implementados en la zona profunda del yacimiento Magistral sur, controlan el régimen hidrogeológico y permiten minimizar el ingreso de agua a la mina-SANTANDER-MINERA TIVALI CORP.?

### **1.3.2. Problema específico**

- a) ¿Los planes de mejora en el drenaje en la zona Magistral Sur, responde las expectativas de mejorar el drenaje en toda la mina-SANTANDER-MINERA TRIVALI CORP?
- b) ¿Los planes de mejora en el sistema de drenaje, permitirá evaluar las rutas potenciales de entrada de aguas superficiales a la mina y las oportunidades de desviar el flujo de la mina-SANTANDER-MINERA TRIVALI CORP.?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Establecer modelos hidrogeológicos conceptuales y estratégicos de drenaje para la mina mediante el uso potencial de labores de drenaje superficial mediante la identificación permeables claves para el desarrollo de galerías de drenaje de la Mina-SANTANDER-MINERA TRIVALI CORP.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Predecir posibles impactos hidráulicos en la superficie y la calidad de efluente asociado con la interacción del agua con la profundización y nuevas labores mineras en la mina-SANTANDER-MINERA TRIVALI CORP.
- b) Establecer redes de monitoreo del sistema de drenaje, controlar y evaluar la efectividad de las labores de drenaje en la mina-SANTANDER-MINERA TRIVALI CORP.

## **1.5. Justificación de la Investigación**

El estudio se justifica por su aporte teórico, práctico dentro del área del ambiente minero.

Desde el punto de vista teórico, permitirá establecer áreas potenciales de fallas, fracturas y acuíferos asociados con el agua en la profundización de

labores mineras, desarrollando un sistema integrado respecto al flujo, presión y caudal de agua que mejore y se mantenga el drenaje de acuerdo con lo planificado.

Asimismo, desde el punto de vista práctico, permitirá diseñar un sistema de gestión de aguas a profundidad a mediano y largo plazo prediciendo la estimación de volúmenes de agua esperados en el sistema de drenaje planteado.

En lo que respecta al ambiente minero, el aporte será mejorar las condiciones de humedad y mantener los estándares de cantidad y calidad de agua en minería, de acuerdo con el DS:023-2015 MEM. En la mina: SANTANDER-MINERA TRIVALI CORP.

#### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

En cuanto se refiere a las limitaciones de la Investigación, no se han presentado ninguna salvo el factor en algunos aspectos del personal especializado para la prestación de servicios para el desarrollo del estudio.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Los antecedentes que nos servirán como sustento de nuestro proyecto, por su importancia experimental nacional e internacional son los siguientes.

##### **Antecedentes nacionales:**

- a) En el XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, se dijo, que es frecuente observar en las minas de Perú el desarrollo de trabajos de drenaje somero y profundo de aguas subterráneas para la explotación de yacimientos mineros, por lo que, es necesario el conocimiento previo de la hidrogeología del área, las características de explotación, unidades de bombeo disponibles, así como las instalaciones de beneficio para el procesamiento del mineral. Las explotaciones mineras a menudo se concentran sobre rocas ígneas cristalinas asociadas con rocas calcáreas y/o detríticas, que son productoras de agua subterránea, y otras que limitan ó controlan la migración de los flujos del agua, lo que complica en diferente grado la extracción mineral por la presencia de aguas subterráneas.

Se ejemplifica lo siguiente, para el presente artículo es el caso de mina Animón, trabajada desde inicios del pasado siglo, próximos a cumplir 100



años de operación continua, ubicada en el distrito de Huayllay, Dpto. Junín, en la altiplanicie de los Andes centrales del Perú. Es una minería polimetálica de Pb, Zn, Ag, Cu, que explota minerales como; galena, esfalerita, calcopirita y plata en cobres grises, tenantita a tetrahedrita. (Pub. Esp. N° 9 (2010), (Cusco p. 91-95)

- b) El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre, Jorge A. TOVAR PACHECO, que nos menciona; los impactos o caminos en los acuíferos locales, por acción directa de la minería son muy notorios. Por acción del bombeo y desagüe de minas, se producen variaciones de los niveles freáticos, y cambios localizados en el caudal de los manantiales y la dirección del flujo; mientras que por la acción de lixiviación de sulfuros se producen alteraciones en la calidad del agua (aguas ácidas).
- c) Asimismo, concluye; que la hidrología, la geología y la hidrogeología son disciplinas que se complementan para determinar la evaluación de los impactos de determinado proyecto en el agua subterránea y con ello establecer las correspondientes medidas de mitigación que permiten evitar y/o minimizar los impactos del recurso.
- d) Dr. R. Poncela (16 nov.2020, en su exposición de sobre la Hidrogeología en la explotación Minera en CAMIPER, dice, con su amplia experiencia que ha participado como experto hidrogeólogo en el U.S. Geological Survey, afirma que los métodos de explotación en la minería dependen de varios factores.

“Desde el punto de vista de la minería, encontrar agua es un problema; pero es un problema que genera puestos de trabajo. Al problema hay que buscarle soluciones y la minería ha sabido adaptarse a las circunstancias. Concluye que Conocer cómo están las aguas superficiales, sino la influencia que tienen con las aguas subterráneas, se necesita todo ese conocimiento

en hidrogeología para reducir o minimizar las interferencias con las labores de explotación minera”.

Evitando con Ello “que no se produzcan inundaciones, ni inestabilidades en macizos rocosos, y que ninguna infraestructura pueda verse dañada como consecuencia de una avalancha de agua”.

### **Antecedentes Internacionales**

a) *Mina La Mejicana (Argentina)*: Esta mina fue explotada por métodos subterráneos fundamentalmente durante el siglo XIX y en ella todavía existe un cable carril que llevaba mineral de Au, Ag y Cu a Chilecito (pequeño Chile) con un recorrido de más de 34 km y un desnivel de más de 3100 m., la zona de explotación se encuentra en un escudo de oxidación que desemboca en el Rio Amarillo. Este río tiene en las cercanías de la mina y por ende en su nacimiento un pH de 3, con aproximadamente 1200 ppm de Fe, y cerca de 3000 ppm de S. Se menciona la presencia de As, Mo, Cu, Pb y Zn y se menciona por otro lado que la carga de Fe y de S disminuye a 1.2 ppm y 160 ppm respectivamente al llegar a la zona baja.

Esta mina está en estudio para su reactivación en la actualidad y resulta impensable tal cometido si no se tienen en cuenta en el proyecto todos los mecanismos pasivos para el tratamiento de estos drenajes que se están produciendo tanto de la mina como del escudo de oxidación circundante.

Sin tener en cuenta la necesaria caracterización de los posibles DAM de la mina, así como de la predicción de su caudal es posible que un proceso de Barreras Permeables Reactivas sea el mejor modo de lidiar con este problema, combinados con un conjunto de lagunas de decantación.

Existen otras alternativas interesantes como los canales de caliza en interior mina que podrían construirse sin mayores inconvenientes.

Mina Lilly/ Orphan Boy Montana (USA): Explotada básicamente por Pb, este emprendimiento dejó de operar en 1950. Es una región de abundante cantidad de nieve con derretimientos en primavera que producen grandes crecidas.

El agua presenta un nivel estático ubicado en la galería E, por donde vierte al ambiente un caudal promedio de 11l/min con ciertas cantidades de Al, Cd, Cu, As, Mn, Fe, Zn sulfatos en general, así como una acidez de pH 3.

La US Environment Protection Agency diseñó un sistema que fue finalmente construido y que consiste en un biorreactor que se ubica "colgado" en el pique principal B por medio de una serie de cables que se sostienen desde la boca A. Este biorreactor es básicamente un substrato de materia orgánica (básicamente aserrín y guano de vaca) que mantiene una población de bacterias sulforeductoras.

A los fines de agregado de materia orgánica se han perforado los pozos C y se ha hecho lo propio con el pozo D como punto de control de efluente. Los resultados son más que interesantes en cuanto a que el efluente saliendo en E está neutralizado y la cantidad de metales disueltos es la permitida por las regulaciones ambientales.

- b) HERRERA HERBET, J. Madrid 2009, En sus escritos, "Introducción al drenaje de explotaciones mineras", Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, indica cuáles son los efectos perjudiciales que más frecuentemente se presentan en las operaciones mineras: en explotaciones mineras a cielo abierto (erosión de taludes de excavación y corta, pistas y zanjas de drenaje y arrastre

de los materiales erosionados; reducción de los rendimientos de las unidades de carga y transporte al circular sobre pisos embarrados y por mayor formación de baches; incremento de costes de mantenimiento al aumentar el porcentaje de averías originadas por la acción abrasiva del barro, corrosión de la humedad; incremento de la presión hidráulica en fracturas tensionales; reducciones de las resistencias de suelo y roca; reducción de la estabilidad de los taludes de la excavación, requiriéndose acudir a ángulos más tendidos), en explotaciones mineras de interior (inundaciones repentinas a gran escala, que pueden llegar incluso a parar la producción y requieren muchos recursos para su eliminación; reducción de los rendimientos de las unidades de carga y transporte al circular sobre pisos embarrados y por mayor formación de baches; incrementos de la corrosión de sistemas; reducción de la vida útil del sostenimiento; producción de daños en las instalaciones y necesidad de costosos equipos de control y evacuación; reducción de la productividad de maquinaria y personal como consecuencia de entornos húmedos; aumento en el coste del drenaje y desagüe por la necesidad de construcción de plantas de tratamiento de aguas, adopción de medidas correctoras de la contaminación de las aguas y mayores cánones de vertido (pp. 7-10).

- c) J. Enrique, R. Sánchez, J. Ferreira, Comenta que, el agua de bajo pH es producida por un proceso natural en el que la percolación hídrica aeróbica por un substrato que contenga sulfuro de hierro activa y promueve el desarrollo de bacterias específicas tales como el Thiobacillus Ferrooxidans y Thibacillus Thiooxidans.

La ponencia se resume, en hacer un análisis crítico de los métodos que podrían aplicarse en el caso de drenajes ácidos de minas cerradas o abandonadas en América y ciertas recomendaciones sobre aquellas

metodologías pasivas que parecen más prometedoras, el involucramiento de la industria que se llama, tratamiento de pasivos ambientales y algunas disquisiciones sobre el ahorro de recursos mediante el recupero de materiales.

## 2.2. Bases Teóricas - Científicas

### 2.2.1. Drenaje

En 1968 White hace una clasificación de las aguas residuales de mina en función al pH y los agrupa en 6 categorías:

CLASE	pH
Altamente ácidas	1,5 a 4,5
Blandas, ligeramente ácidas	5,0 a 7,0
Duras, neutras a alcalinas	7,0 a 8,5
Blandas, alcalinas	7,5 a 11,0
Muy salinas	6,0 a 9,0
Blandas ácidas	3,5 a 5,5

Teniendo en cuenta el pH del drenaje y los contenidos de metales o especies minerales presentes en el mismo, este puede agruparse en cuatro tipos:

Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales (Morin y Hutt, 2001).

CLASE	pH	DESCRIPCIÓN
Acido	< 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros.</li> <li>- Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros.</li> <li>- Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.</li> </ul>
Alcalino	> 9 ó 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos.</li> <li>- Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros.</li> <li>- Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón.</li> </ul>
Casi neutro	6 – 9 ó 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados períodos pueden ser ácidos o alcalinos.</li> <li>- Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.</li> </ul>
Otros	Irrelevante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede afectar la concentración de metales.</li> <li>- Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.</li> </ul>

Fuente; Tratamiento de Aguas Acidas de Mina: Osvaldo Aduvire

### 2.2.2. Drenajes alcalinos o aguas residuales con bajo potencial de solubilización

Las aguas alcalinas en las explotaciones mineras se producen cuando las filtraciones desde superficie o desde acuíferos supra yacentes circulan a través de materiales calizos y dolomíticos. La disolución del carbonato cálcico tiene lugar debido a la presencia de anhídrido carbónico en el agua y da lugar a la siguiente reacción:



### 2.2.3. Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización

(Skousen and Ziemkiewics, 1996), En drenajes ácidos el anión principal es el SO<sub>4</sub> y los cationes mayoritarios son Fe, Mn y Al. En cambio, en drenajes alcalinos el HCO<sub>3</sub> es más significativo que el SO<sub>4</sub> y los contenidos de Ca, Mg y Na son más elevados que los de Fe y Al.

Tipos de drenajes de mina

TIPO	pH	DESCRIPCIÓN
I	< 4,5	Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales. Alto contenido de oxígeno. Muy ácido (llamado Drenaje Ácido de Mina)
II	< 6,0	Alta cantidad de sólidos disueltos. Alta concentración de ión ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en Tipo I.
III	> 6,0	Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos. Bajo a moderado contenido de ion ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Alta alcalinidad (llamado Drenaje Alcalino de Mina). Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	> 6,0	Alta cantidad de partículas disueltas. Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua. A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser similar al de Tipo V.
V	> 6,0	Agua del drenaje es neutralizado. Alta cantidad de sólidos disueltos. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn. Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

Fuente; Tratamiento de Aguas Acidas de Mina: Osvaldo Aduvire.}

### **2.3. Definición de Términos básicos**

#### **Drenaje de aguas subterráneas**

Las operaciones de minería subterránea y a rajo abierto que se excavan por debajo del nivel freático requieren acciones de drenaje para poder garantizar la seguridad y mantener una producción minera eficiente.

Nuestros hidrogeólogos, hidrólogos, modeladores de aguas superficiales y subterráneas y científicos ambientales tienen amplia experiencia en realizar evaluaciones de drenaje para operaciones mineras subterráneas y superficiales. (RSK-consulting 2018.)

#### **Avoca:**

Método de minado minero se desarrolla en la empresa Trevali, que consiste en el avance por subniveles profundos mediante procedimiento de taladros largos, con voladura masiva. (flo solutions Trevali Corporation 2017)

#### **Agua capilar**

Agua que se mantiene por encima de la tabla de agua o nivel freático, como consecuencia de la atracción capilar. (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

#### **Agua de drenaje de mina**

Aguas que se bombean de los frentes de trabajo de minería, bien sea a cielo abierto o subterráneas. (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

#### **Abatimiento del nivel de agua**

Descenso del nivel del agua subterránea observado en pozos de extracción, medido en metros y centímetros en un tiempo dado. (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

**Agua de formación (connata)**

Aguas en las que están embebidos los sedimentos cuando se depositan y que se van perdiendo en el proceso de compactación. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

**Agua fuerte Ácido nítrico diluido.**

Agua juvenil Agua proveniente del interior de la Tierra, que no ha existido antes en forma de agua atmosférica o superficial. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

**Agua magmática**

Agua impulsada hasta la superficie terrestre desde gran profundidad, por el movimiento ascendente de magma que origina rocas ígneas intrusivas o extrusivas. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

**Agua meteórica**

Agua procedente de la atmósfera. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

**Agua regia**

Mezcla de tres partes de ácido clorhídrico y una parte de ácido nítrico.

Agua subterránea (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

**Agua subterránea**

Es el agua del subsuelo, que ocupa la zona saturada.

**Agua vadosa**

Cualquier agua que aparece en la zona no saturada. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)



### **Aguas ácidas**

Se forman por meteorización de minerales sulfurosos, simultáneamente a la acción catalizadora de bacterias. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

### **Anomalías en aguas**

Anomalía geoquímica presente en aguas naturales (superficiales y subterráneas). (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

Las anomalías hidro geoquímicas, especialmente en aguas superficiales, pueden ser de origen complejo y muestran una fuerte dependencia de cambios climáticos (precipitación, escorrentía y otros), hechos que dificultan su uso en prospección de minerales. (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

### **Clasificación hidráulica**

Es un medio de clasificación de material en el cual el agua es usada para lavar los materiales sobre el tope de mallas de clasificación. Canaletas dobles y triples son ejemplos de sistemas de clasificación hidráulica. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

### **Escala de medida**

Sistema de cuantificación de las observaciones de acuerdo con reglas preestablecidas, que define el grado de precisión de los datos (nominal, ordinal, intervalo y ratio). (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

### **Flujo de lodo**

Tipo de movimiento en masa. Masa de partículas heterogéneas, predominantemente de grano fino, lubricada por gran cantidad de agua que se mueven en forma de olas o lenguas, en sentido descendente, por líneas preexistentes de drenaje. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogotá D.C agosto 2006)

**Hidrogeología**

Rama de la geología que estudia las aguas subterráneas y especialmente su formación. (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

**Residuo líquido**

Residuo que se encuentra en estado líquido o fluido. Bajo condiciones normales, puede ser bombeado y debe estar contenido en un recipiente adecuado. (Tratamiento de efluentes mineros-Nural Kuyucak /PUCP 2015).

**PH:**

Se refiere al grado de acidez o basicidad de una solución, el cual se mide por la concentración del ión hidrogeno en ésta. Se expresa en valores que van desde 0 hasta 14, siendo el valor medio 7, que corresponde a una solución neutra, por debajo del 7 se considera soluciones ácidas, y por encima del 7 serán soluciones básicas. (Glosario técnico Minero-Ingeominas. Bogota D.C agosto 2006)

**Sistema de bombeo**

Consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, desde interior mina hasta la superficie, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas (Hidrostal soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

**Rodete**

Para grandes y medianos caudales, se emplean rodetes centrífugos de álabes radiales y semiaxiales; su producción y fabricación es en base de bronce, acero inoxidable, fierro, entre otros. Su función es impulsar un fluido mediante un conducto. (Hidrostal soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

## **Carcasa**

Fierro fundido es el material que generalmente se emplea para su elaboración para su uso en agua potable; sin embargo, presenta ciertos problemas cuando se trata de otro tipo de fluidos como lo son aguas residuales o químicos. Acero inoxidable es el material usado para fabricar aquellas que trabajan con líquidos cáusticos. Su función principal es proteger a la bomba sumergible de la oxidación. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

## **Tazones**

Presentan formas de cilindro y en su interior poseen formas de diseños elaborados con una técnica especial para así evitar chocarse con el agua en su paso. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

## **Eje impulsor**

Su función principal es sostener el impulsor, de manera que este gire sobre él. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

## **Motor**

Es aquel que permite el **movimiento del eje** y, a su vez, el del impulsor para que el fluido se traslade de un lado a otro. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

## **Retenedores**

Como su nombre lo dice, estos permiten que toda la **bomba** esté sellada, haciendo que se comprima internamente. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

## **Panel de control**

Son botones o switches para accionar la bomba: encendido y otras **funciones** adicionales. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

**Flujo turbulento:**

En el flujo turbulento las partículas del fluido se mezclan a escala molar, de modo que durante el movimiento se produce un intercambio de cantidad de movimiento entre partículas adyacentes ocasionando una rápida y continua agitación y mezcla en el seno del fluido. En la práctica el flujo turbulento se produce para números de Reynolds por encima de valores entre 6.000 a 10.000. Distancia: la distancia es el trayecto espacial medido en metros o pies (Longitud de la manguera / tubería a la descarga). Determina si el tamaño de la tubería debe ser incrementado para reducir las pérdidas por fricción. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

**Caudal:**

Es el volumen de líquido desplazado por la bomba en una unidad de tiempo; se expresa generalmente en litros por segundo (L/s), metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup> /h), galones por minutos (Gpm). (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

**Bombas:**

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica que permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y velocidades. Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016)

**Sistema de bombeo:**

Consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes

sistemas y procesos. (Hidrostral soluciones con tecnología-Manual Bombas sumergibles-2016

## **2.4. Formulación de la hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

El diseño y desarrollo de pozas para drenar las aguas subterráneas mejorara la profundización del cuerpo mineral Magistral Sur en la Minera Santander S.A.C. Región Pasco.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

Mediante el diseño de pozas de drenaje en superficie podremos predecir los impactos hidráulicos en los recursos naturales de la zona Magistral sur en la Minera Santander S.A.C. Región Pasco.

## **2.5. Identificación de Variables**

### **2.5.1. Variables para la hipótesis general**

**Variable Dependiente:** Escala de humedad en las labores de profundización del cuerpo mineralizado Magistral sur de la Minera Santander S.A.C. Región Pasco

**Variable dependiente:** Sistema de control y monitoreo e instalación de galerías de drenaje en cuerpo mineralizado Magistral Sur, Minera Santander S.A.C. Región Pasco.

### **2.5.2. Variables para las hipótesis específicas**

**Variable Dependiente:** Protección ambiental en área superficiales de la zona Mineralizada Magistral sur, Minera Santander. Región Pasco.

**Variable independiente;** control y monitoreo de calidad de aguas en superficie en pozas de drenaje en el cuerpo Mineralizado Magistral Sur. Minera Santander S.A.C. Región Pasco.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 1** Operacionalización de variables e indicadores

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES				
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
<p>3.4 Identificación de Variables</p> <p>3.4.1 Variables para la hipótesis general</p> <p>- Variable Dependiente: Escala de humedad en las labores de profundización del cuerpo mineralizado Magistral sur de la Minera Santander S.A.C. Región Pasco</p> <p>- Variable dependiente: Sistema de control y monitoreo e instalación de galerías de drenaje en cuerpo mineralizado Magistral Sur, Minera Santander S.A.C. Región Pasco.</p> <p>3.4.2 Variables para la hipótesis específicas</p> <p>- Variable Dependiente: Protección ambiental en área superficiales de la zona Mineralizada Magistral sur, Minera Santander. Región Pasco.</p> <p>- Variable independiente; control y monitoreo de calidad de aguas en superficie en pozas de drenaje en el cuerpo Mineralizado Magistral Sur. Minera Santander S.A.C. Región Pasco.</p>	<p>Aguas que se bombean de los frentes de trabajo de minería, bien sea a cielo abierto o subterráneas.</p> <p>Un <b>sistema de bombeo</b> consiste en un conjunto de elementos <b>que</b> permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, desde interior mina hasta la superficie, de forma <b>que</b> se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes <b>sistemas</b>.</p>	<p>En nuestra investigación se han diseñado pozos para un sistema de drenaje que cumplan con los estándares óptimos de trabajo y minimicen los riesgos de inundaciones en las labores de profundización en el yacimiento de Magistral sur.</p>	<p>Parámetros de pozos, geometría de las labores, cantidad y calidad de vertiente de aguas subterráneas. Labores Magistral sur- Nv. 4230-4, Mapeo geológico superficial, Ingresos históricos de aguas.</p>	<p>Estándares del sistema de drenaje. MEM-Ds. 023- Volumen de filtraciones de aguas aluviales y subterráneas. Capacidad de drenaje de los pozos en profundidad. Velocidad del drenaje de las aguas subterráneas. Control y monitoreo del sistema de drenaje.</p>

Fuente: Propia

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Nuestra investigación está orientado al tipo de investigación explicativo, predictiva y proyectiva porque aborda el problema de drenaje en las zonas críticas de profundización del yacimiento Magistral sur. (Marisol Hernández 2012)

El estudio se orienta, al enfoque cualitativo cuantitativo, porque utilizamos procedimientos metodológicos usando, textos, gráficos y técnicas graficas de interpretación. (Según, Hernández Sampietri 2017).

#### **3.2. Nivel de investigación**

“La investigación explicativa tiene como fundamento la prueba de hipótesis y busca que las conclusiones lleven a la formulación o al contraste de leyes o principios científicos. Las investigaciones en que el investigador se plantea como objetivos estudiar el porqué de las cosas, los hechos, los fenómenos o las situaciones, se denominan explicativas” (BERNAL, 2010)

#### **3.3. Métodos de Investigación**

El estudio hace uso de los métodos de investigación científico en base a los métodos inductivo – deductivo de porque parte de la hipótesis principal para

obtener los resultados y conclusiones particulares que serán base para llegar a lo general. (B.Tamayo 2003).

### **3.4. Diseño de la Investigación**

El diseño empleado para el proyecto es no experimental porque no vamos a manipular las variables de estudio, sino recogeremos información y observaremos el proceso de sistema de drenaje que se realiza en Se ha realizado un mapeo de ingresos de agua subterránea claves, caudal y química del agua en toda la mina Magistral entre los meses de agosto 2021 a enero diciembre 2022.

Se ha medido caudales de ingreso donde las condiciones lo han permitido, utilizando un correntómetro calibrado para flujos de agua desde el piso, o balde y cronómetro para salidas desde taladros o puntos elevados. Se ha repetido las mediciones con correntómetro en 4 ubicaciones, con error observado entre 0 y 6%, con un promedio de 2.2%.las rampas y tajeos.

### **3.5. Población y Muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población es el mapeo hidrogeológico que incluye el registro de puntos de ingreso de agua, diferenciando los modos de ingreso de agua, ya sea desde taladros, pernos de roca, fallas, fracturas y zonas inundadas en la mina, del yacimiento Magistral Sur.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra se escogió en forma directa Instalación de la Galería de Drenaje, Nivel 4230, Sub-nivel 3 ó 4.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas**

Para obtener los datos tendremos como técnicas la observación, la recopilación documental e interpretación de datos.



### 3.6.2. Instrumentos

Durante el mapeo de filtraciones, se ha medido presiones dentro de taladros tapados con obturadores mecánicos/válvulas de bola, utilizando un manómetro. Las presiones medidas en Magistral Sur se muestran en la Figura 1.

**Figura 3** Puntos de filtraciones interior mina-Magistral sur.



Fuente: Elaboración propia.

Durante el mapeo de filtraciones, se ha repetido la medición de presiones dentro de taladros de drenaje MSFL-01, 02 y 03. Las presiones bajaron entre 10 (MSFL-01) y 27 psi (MSFL- 03), o la equivalente de 7 a 19 m de carga hidráulica dentro de los siete meses. La modesta reducción es probablemente debido a la reducción en avance descendente en la Rampa 4005 y los subniveles asociados durante este periodo.

**figura 4** Mediciones de caudal en las cunetas llegando a las pozas de sedimentación



Fuente: elaboración propia

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Habiendo reunido toda la información de campo, así como de los archivos, comenzaremos a procesar los datos obtenidos de las muestras escogidas para poder generar resultados y sacar las conclusiones

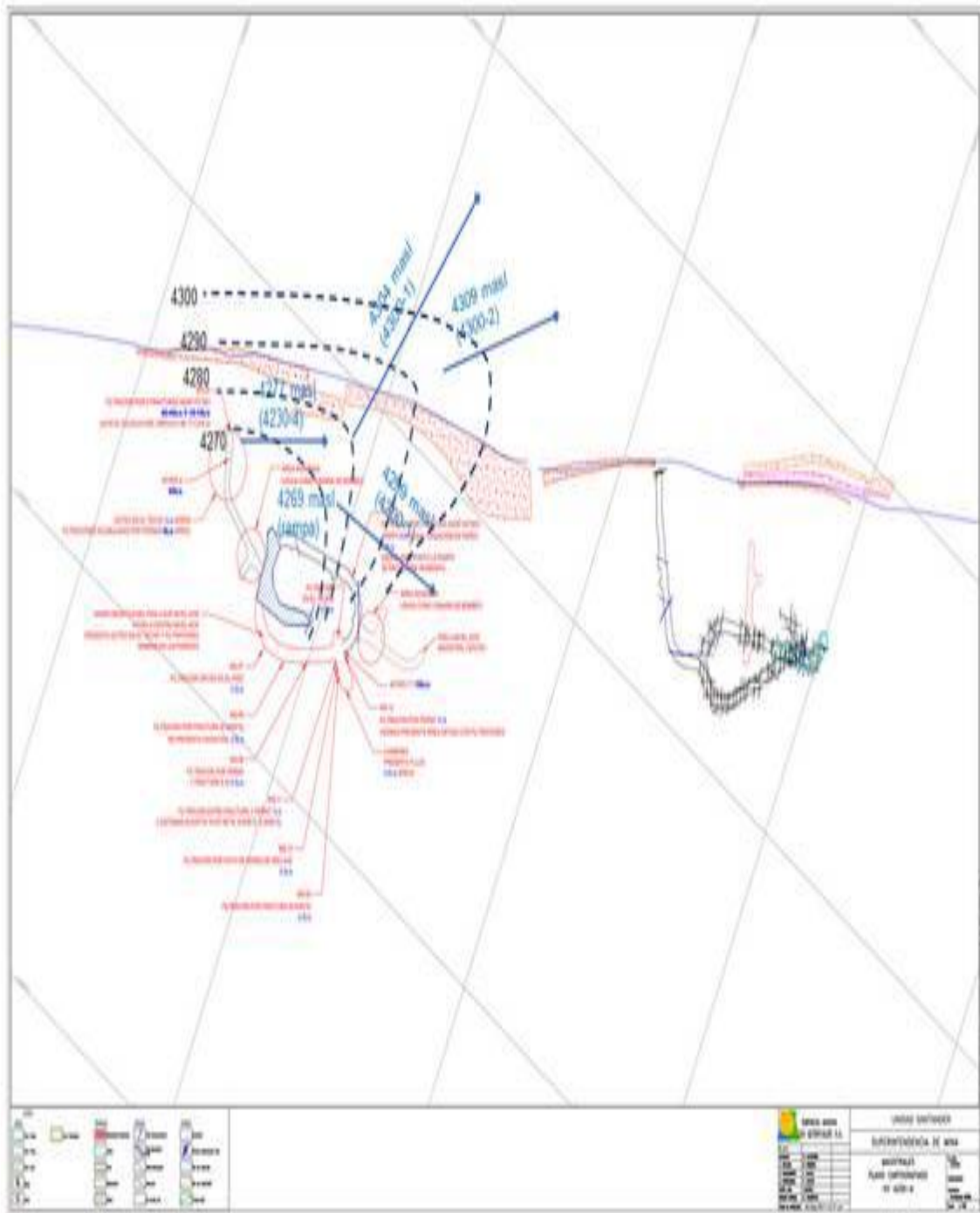
### **3.8. Tratamiento Estadístico**

En los estudios se utilizarán programas especializados de Excel, para la tabulación de datos y interpretar los resultados respectivamente.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

En el Proyecto se orienta conservando valores éticos, donde se utilizarán la verdad de los datos e información en forma verídica que corresponde y el nivel que exige estos tipos de investigación, siempre teniendo presente la veracidad, honestidad, responsabilidad, respeto por los demás, la propiedad ajena.

**Figura 5** Mapeo de presiones, interior de la mina, Magistral Sur, Nv 4230-4



Fuente- elaboración propia

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **Sellado de sumidero**

Debido a la falta de tiempo, equipos y disponibilidad para ejecutar estudios en el sumidero antes de sellarlo adecuadamente, sumado a esto la cercanía de la temporada de lluvias que puede ocasionar que el espejo de agua de la Laguna ascienda rápidamente y esto lleve a ocasionar que el agua se filtre por el sumidero, se vio la necesidad de ejecutar el sellado del sumidero por gravedad con una mezcla de cemento y bentonita.

Para el proyecto se ha consultado la asesoría de un experto en inyecciones de cemento y con la experiencia que se tiene en estos trabajos, se ha elaborado un procedimiento adecuado de sellado del sumidero.

##### **Procedimiento:**

- El procedimiento consistirá en agregar una mezcla de cemento bentonita de viscosidad baja que irá incrementando gradualmente su viscosidad con volúmenes de inyección como límite de 1000 litros de mezcla, considerando que la proporción de mezcla no debe exceder el 3% del peso seco del cemento;

- Con estas indicaciones los diseños de mezcla serán como sigue:

**Tabla 2** *Detalle de mezcla para sellado del sumidero*

Secuencia	Volumen de Lechada (Litros)	Proporción por peso			Cantidades requeridas				
		Agua	Cemento	Bentonita	Agua	Cemento		Bentonita de sodio	
						kg	Bolsas de 50kg	kg	Bolsas de 50kg
1	1000	2	0.50	0.0150	837	209	4.2	15	0.3
2	1000	2	0.75	0.0225	774	290	5.8	20	0.4
3	1000	2	1.00	0.0300	720	360	7.2	25	0.5
4	1000	2	1.50	0.0450	632	474	9.5	33	0.7
5	1000	2	2.00	0.0600	562	562	11.2	39	0.8
6	1000	2	2.50	0.0750	507	634	12.7	44	0.9
7	1000	2	3.00	0.0900	462	692	13.8	48	1.0
8	1000	2	3.50	0.1050	424	741	14.8	51	1.0

### Consideraciones

- Se puede generar paradas entre inyectar una mezcla y otra de la secuencia de inyección mostrada en la tabla anterior;
- Se debe usar Cemento tipo Portland y bentonita de sodio pura;
- El equipo a usar para la mezcla de inyección debe tener la capacidad necesaria mostrada en la tabla anterior para cada secuencia de mezcla.

### Cambio de paquetes de carbón

Debido a la presencia de un sumidero en la zona sur de la Laguna Yanacocha, se vio la necesidad de realizar una prueba con trazadores para establecer si tiene alguna conexión con las operaciones de mina. Para realizar esta prueba se ha seleccionado 5 puntos de control dentro y fuera de las operaciones de mina; tres puntos de control en áreas específicas dentro de las operaciones en interior mina y dos puntos de control en superficie. Los detalles de los puntos de control se muestran en la Tabla 2.

**Procedimiento:**

- Colocarse los guantes de látex y tomar una muestra de agua en un frasco oscuro de 50ml, anotando la hora y los parámetros de calidad básica del agua;
- Realizar el embalaje y etiquetado del frasco con muestra de agua;
- Retirar el paquete de carbón instalado anotando la hora;
- Realizar el embalaje y etiquetado de la muestra de carbón y guardarlo en el cooler;
- Instalar un paquete de carbón nuevo anotando la hora;
- El mismo procedimiento se aplicará en todas las estaciones de control.

**Consideraciones**

- Se usarán guantes de látex desechables, tanto para la toma de muestras de agua como para la instalación y cambio de los paquetes de carbón en los puntos de control; es decir, un par de guantes por punto de control, por actividad y por tipo de muestra;
- Los paquetes de carbón serán colocados dentro de una bolsa ziploc y esta a su vez dentro de una bolsa oscura; tratando en todo momento de evitar el contacto directo con la luz, que podría ocasionar degradación de la muestra contenida.

**Tabla 3** Detalle estaciones de control - paquetes de carbón activado.

Estación de Control	Ubicación	Muestras Consideradas*
MSFSE-01	Canal cerca de la Laguna Liacsacocha	2 paquetes de carbón activado. 1 muestra de agua de 50ml.
MSFSE-02	Poza 1 NV 4510	1 paquete de carbón activado. 1 muestra de agua de 50ml.
MSFSE-03	Poza BP-4440-1	1 paquete de carbón activado. 1 muestra de agua de 50ml.

MSFSE-04	Poza CX-4570-4	1 paquete de carbón activado. 1 muestra de agua de 50ml.
MSFSE-05	Rio Baños	1 paquete de carbón activado. 1 muestra de agua de 50ml.

\* Muestras consideradas en cada periodo de cambio.

#### 4.1.1. Monitoreo de caudal y parámetros de calidad básica del agua

Como parte del estudio hidrogeológico que se está realizando, se está recolectando información de los taladros que vienen ejecutando el área de Geología en interior mina, información que servirá para poder interpretar el comportamiento hidrogeológico en el área.

Parte de esta información consiste en el monitoreo de caudal en sondajes que tengan urgencia de agua y a su vez realizar la toma de parámetros de calidad básica del agua.

##### **Procedimiento:**

- Trasladarse hacia las cámaras de perforación en interior mina;
- Realizar contacto visual con personal de perforación y solicitar la autorización de ingreso a la cámara de perforación;
- Si el pozo es surgente realizar mediciones de caudal de salida y toma de parámetros de calidad de agua;

- Trasládarse hacia la siguiente cámara de perforación y realizar el mismo procedimiento hasta culminar el monitoreo en todos los sondajes en ejecución.

### **Reportes entregables**

Al finalizar el día se enviará reportes diarios del estado de los trabajos realizados y comentarios de seguridad u observaciones según sea el caso, mientras el personal se encuentre en proyecto.

### **4.1.2. Análisis de riesgos asociados a la seguridad, salud y medio ambiente**

La Tabla 4 y Tabla 10.2, muestran los riesgos asociados a la seguridad y salud del personal involucrado y además afecciones al medio ambiente, tanto para los trabajos que se realizarán en superficie como para los que serán ejecutados en interior mina respectivamente.



Tabla 4 Análisis de riesgos en el trabajo a realizar – Superficie.

Peligros	Riesgos
Traslado en camioneta desde oficina hacia lugar de trabajo	Volcaduras, choques
Radiación solar y temperaturas extremas	Insolación, quemaduras, hipotermia
Herramientas y accesorios	Golpes, cortes
Postura	Distensión, Torsión, Fatiga y DORT (disturbios osteo-musculares relacionados al trabajo)
Equipos y accesorio a usar en los trabajos de sellado del sumidero	Golpes, cortes, atrapamiento, lesiones

Tabla 10.2: Análisis de riesgos en el trabajo a realizar – Interior Mina.

Peligros	Riesgos
Traslado en camioneta desde oficina hacia Interior mina o hacia Interior mina	Volcaduras, choques
Caída de rocas desde el techo de la labor	Aplastamiento
Falta de iluminación	Caidas al mismo o a diferente nivel
Presencia de gases, polvo	Intoxicación
Zonas Inundadas	Ahogamiento, hipotermia
Máquina y equipos de perforación	Golpes, cortes, atrapamiento
Voladura en Interior mina, taladros que no detonaron	Fatalidad
Presencia de chimeneas, piques, zonas de explotación	Caidas a distinto nivel, fatalidad
Mangueras a presión	Golpes, cortes, heridas severas

Peligros	Riesgos
Postura	Distensión, Torsión, Fatiga y DORT (disturbios osteo-musculares relacionados al trabajo).

Fuente: Propia

#### **4.1.3. Control de seguridad**

- Se debe contar en campo con el Plan de Trabajo, procedimiento de las actividades a realizar, IPERC base y hojas de seguridad MSDS de las sustancias y materiales que se van a utilizar;
- El personal a cargo estará provisto del equipo de protección personal adecuado a la tarea, tanto para las labores en superficie como las actividades a desarrollarse dentro del socavón;
- Se realizarán charlas de seguridad de 5 minutos antes de iniciar la labor.
- Contar y llenar el IPERC continuo (Identificación de Peligros Evaluación de Riesgo y Control) con la participación de todos los involucrados con la tarea en campo;
- Todo el personal involucrado se asegurará de registrar su ingreso a interior mina;
- Se hará una inspección diaria del área de trabajo, ubicando los peligros y riesgos, de tal manera que el área de trabajo se encuentre ordenada, limpia y señalizada, se llenará el formato de inspecciones y observaciones de los técnicos encargados.
- Supervisar la seguridad en el sitio y apoyo ante cualquier emergencia. El supervisor se asegurará que todo el personal involucrado en la tarea cumpla con las normas de seguridad de la empresa;
- Se efectuará el desplazamiento por lugares seguros y autorizados, no se ingresará a zonas sin la autorización previa de supervisor de mina;

- En el traslado a pie en interior mina se establecerá contacto visual en todo momento con equipos y personal dentro de las operaciones;
- Personal no se acercará a la máquina de perforación sin antes realizar contacto visual con el operador, y solo para temas puntuales. En todo momento se establecerá una distancia segura de la máquina y equipos de perforación;
- Presentación de reportes diarios;
- Se paralizarán las actividades en caso de condiciones inadecuadas del trabajo, y se buscará refugio en lugares seguros;
- En el caso que ocurriera algún tipo de incidente que requiera atención especializada se procederá a comunicar siguiendo los lineamientos de Trevali en el Plan de respuesta ante Emergencias.

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Ubicación Geográfica de la Minas**

El yacimiento minero Santander se localiza en el flanco Occidental de la Cordillera Central de los Andes del Perú, políticamente se encuentra en el paraje de Yanacocha, distrito de Santa Cruz de Andamarca, provincia de Huaral, departamento de Lima, a 150 kilómetros en promedio al noreste de la ciudad de Lima.

Mapa N° Ubicación Geográfica de la la Unidad Minera



Fuente: Googlemap.

**Figura 6** Instalaciones de administración de la Unidad Minera Santander



Fuente: Planeamiento Santander

**Figura 7** Ingreso Principal Operaciones subterráneas UM. Santander Túnel Don David.



Fuente: minería-pa.com-Trivali Santander

#### **4.2.2. Descripción General de la Unidad Minera Santander**

La Unidad Minera Santander, es una mina de plata -plomo-zinc localizada en Perú que operó desde 1958 hasta 1991, la empresa Trevali adquirió los derechos de la mina el año 2005 y espera poder explotarla nuevamente a través de una nueva infraestructura, y para ello comenzó su exploración el año 2007. Los resultados de perforaciones llevadas a cabo durante 2009 y 2010, compuestas por 12,500 metros en 61 sondajes, señalaron que las perforaciones han sido exitosas en las cinco zonas del proyecto, destacando Magistral Norte, Magistral Central y Magistral Sur. En septiembre de 2010, Trevali Resources firmó un acuerdo definitivo con la empresa minera Los Quenuales, subsidiaria peruana de Glencore International AG, para el desarrollo, construcción y operación del proyecto Santander. En este acuerdo Glencore será la minera contratista del proyecto y comprará toda la producción.

Santander, tiene recursos indicados e inferidos de 534 millones de libras de zinc, 174 millones de libras de plomo y 7,8 millones de onzas de plata.

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

El alcance de trabajo incluye las siguientes tareas:

- Tarea 1: Instalación de pozos de drenaje y puntos de monitoreo;
- Tarea 2: Monitoreo de ingresos de agua a la mina, pruebas hidráulicas e instalación de puntos de monitoreo;
- Tarea 3: Investigación de las opciones de drenaje superficial;
- Tarea 4: Prueba con trazador y sellamiento de una dolina con conexión potencial con la mina; y
- Tarea 5: Instalación de la Galería de Drenaje, Nivel 4230, Sub-nivel 3 ó 4.

##### **4.3.1. Monitoreo de ingresos de agua a la mina**

Se ha realizado un mapeo de ingresos de agua subterránea claves, caudal y química del agua en toda la mina Magistral entre el 14 y 19 de setiembre del 2021 y entre el 25 y 26 de abril 2022. El mapeo incluyó el registro de puntos de ingreso de agua, diferenciando los modos de ingreso de agua, ya sea desde taladros, pernos de roca, fallas, fracturas y zonas inundadas en la mina.

Se ha medido caudales de ingreso donde las condiciones lo han permitido, utilizando un correntómetro calibrado para flujos de agua desde el piso, o balde y cronómetro para salidas desde taladros o puntos elevados. Se ha repetido las mediciones con correntómetro en 4 ubicaciones, con error observado entre 0 y 6%, con un promedio de 2.2%. Se muestra fotos del proceso en Foto 1.

Se ha realizado aforos en los flujos llegando a las cunetas dentro de la mina como revisión de las cantidades totales, como se muestra en el Foto 2.

**Figura 8** Filtraciones de agua desde (a) taladros (b) y (c) por el piso y (d) por fracturas



Fuente: propia

### **Resultados obtenidos Setiembre - 2021**

Se documentó un total de 342.5 L/s de puntos de ingresos de agua, unos 74% de los ingresos totales medidos en el punto de monitoreo TP-02 para esta fecha.

No se pudieron acceder a las siguientes áreas:

- Piso 4 Nivel 4230 Magistral Centro, acceso se encontraba inundado, usado como cámara de bombeo al momento de la evaluación;
- Piso 3 Nivel 4230 Magistral Sur, completamente inundado al momento de la evaluación;

- Piso 4 Nivel 4230 Magistral Norte, completamente inundado al momento de la evaluación. Los resultados se resumen en la Tabla 1 y en forma detallada en la Tabla A-1, Apéndice A.

**Tabla 5** Resumen de ingresos de agua a la mina, 14 a 19 setiembre

Sector	Caudal (L/s)	% de Caudal Total	Comentarios
Magistral Norte	34.5	10%	
Magistral Central	99.5	29%	
Magistral Sur	209	61%	
Sub-Nivel	Caudal (L/s)	% de Caudal Total	Comentarios
Nv. 4300 Piso 4	2.5	0.50%	
Nv. 4300 Piso 3	3.5	0.70%	
Nv. 4300 Piso 2	58	12%	
Nv. 4300 Piso 1	200	41%	
Nv. 4230 Pisos 3 y 4	223	46%	Desarrollo limitado en este nivel y solo se logró acceder en la zona Sur, demás áreas inundadas

Fuente: Propia

De la tabla, se establece que el porcentaje de flujos para Nv. 4230 Pisos 3 y 4 estimados en base de los ingresos totales registrados.

El mapeo detallado se presenta en las figuras A-1 a A-5, Apéndice A. De los ingresos documentados directamente desde fracturas en las paredes o techo, se nota que la gran mayoría tienen orientación mayormente este-oeste.

En general, las características fisicoquímicas básicas del agua fueron mayormente consistentes. En general el agua reportada a las labores es fresca, con una conductividad eléctrica entre 248 y 652  $\mu\text{S/cm}$ , de pH neutro hasta ligeramente alcalina (7.3 a 9.6), producto de contacto con rocas carbonatadas y reducida, con una potencial de oxidación-reducción de -86 m V en promedio.

Resultados - abril 2022



**Figura 9** Mediciones de caudal en las cunetas llegando a las pozas de sedimentación



Fuente: Propia

Se documentó un total de 537 L/s de puntos de ingresos de agua, unos 87.5% de los ingresos totales medidos en el punto de monitoreo TP-02 para esta fecha (614 L/s en promedio entre 25/04 y 26/04).

No se accedió a las áreas que Trevali consideraba secas:

- Nv. 4370 Piso 4;
- Nv. 4370 Piso 3;
- Nv. 4370 Piso 2.

Los resultados se resumen en la Tabla 2, y en forma detallada en la Tabla A-2, Apéndice A.

**Tabla 6** Resumen de ingresos de agua a la mina, 25 a 26 abril

Sector	Caudal (L/s)	% de Caudal Total	Comentarios
Magistral Norte	183	34.1%	
Magistral Central	163	30.4%	
Magistral Sur	191	35.5%	
Sub-Nivel	Caudal (L/s)	% de Caudal Total	Comentarios
Nv. 4370 Piso 4	-	-	No se registraron filtraciones importantes según Trevali.
Nv. 4370 Piso 3	-	-	No se registraron filtraciones importantes según Trevali.
Nv. 4370 Piso 2	-	-	No se registraron filtraciones importantes según Trevali.
Nv. 4370 Piso 1	6	1.1%	
Nv. 4300 Piso 4	-	-	No se registraron filtraciones importantes según Trevali.
Nv. 4300 Piso 3	6	1.1%	
Nv. 4300 Piso 2	10	1.8%	
Nv. 4300 Piso 1	106	19.7%	
Nv. 4230 Piso 4	143	26.8%	Se realizaron mediciones puntuales que n fueron consideradas en los aforos medidos con el Flujómetro. Es por eso que se suman individualmente.
Nv. 4230 Piso 3	62	11.6%	Se realizaron mediciones puntuales que n fueron consideradas en los aforos medidos con el Flujómetro. Es por eso que se suman individualmente.
Nv. 4230 Pisos 1 y 2	205	38.1%	Se realizaron mediciones puntuales que n fueron consideradas en los aforos medidos con el Flujómetro. Es por eso que se suman individualmente.

Fuente: Propia

Nota: El porcentaje calculado está en base al caudal total hallado (537 L/s).

El mapeo detallado se presenta en las figuras A-6 a A-10, Apéndice A. De los ingresos documentados directamente desde fracturas en las paredes o techo, se nota que la gran mayoría tienen orientación mayormente este-oeste. Se nota un incremento en la proporción de flujos descargando al Magistral Norte entre setiembre 2021 y abril 2022. Esto puede ser debido a la parada de desarrollo de la Rampa 4005 en la última mitad de 2017 debido de problemas de drenaje. Durante esta temporada, la Rampa 4577 de Magistral Norte llegó a

una elevación base casi al mismo nivel de la Rampa 4005 de Magistral Sur y Central. Unos 96% de los ingresos medidos está llegando a los cinco sub-niveles inferiores, o aproximadamente los 60 m inferior de la mina. La mayoría de ingresos importantes llegan del este de la mina por medio de estructuras con tendencia ENE-WSW, con algunas con tendencia ESE-WNW. En general, las características fisicoquímicas básicas del agua fueron mayormente consistentes. En general el agua reportada a las labores es fresca, con una conductividad eléctrica entre 286 y 840  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de pH neutro hasta ligeramente alcalina (6.74 a 9.14), producto de contacto con rocas carbonatadas. Los valores confiables de potencial de oxidación-reducción tuvo de -59 mV en promedio en Magistral Sur, indicativo de un ambiente reducido, mientras se ha medido valores promedios confiables de 364 mV en Magistral Central y 38 en Magistral Norte, indicativo de un ambiente oxidante. Es posible que los flujos entrantes en Magistral Central y Norte mayormente representan la infiltración vertical de precipitación, mientras que Magistral sur recibe flujos más profundos. Se nota un incremento gradual en el contenido de solidos disueltos con la profundización de la mina.

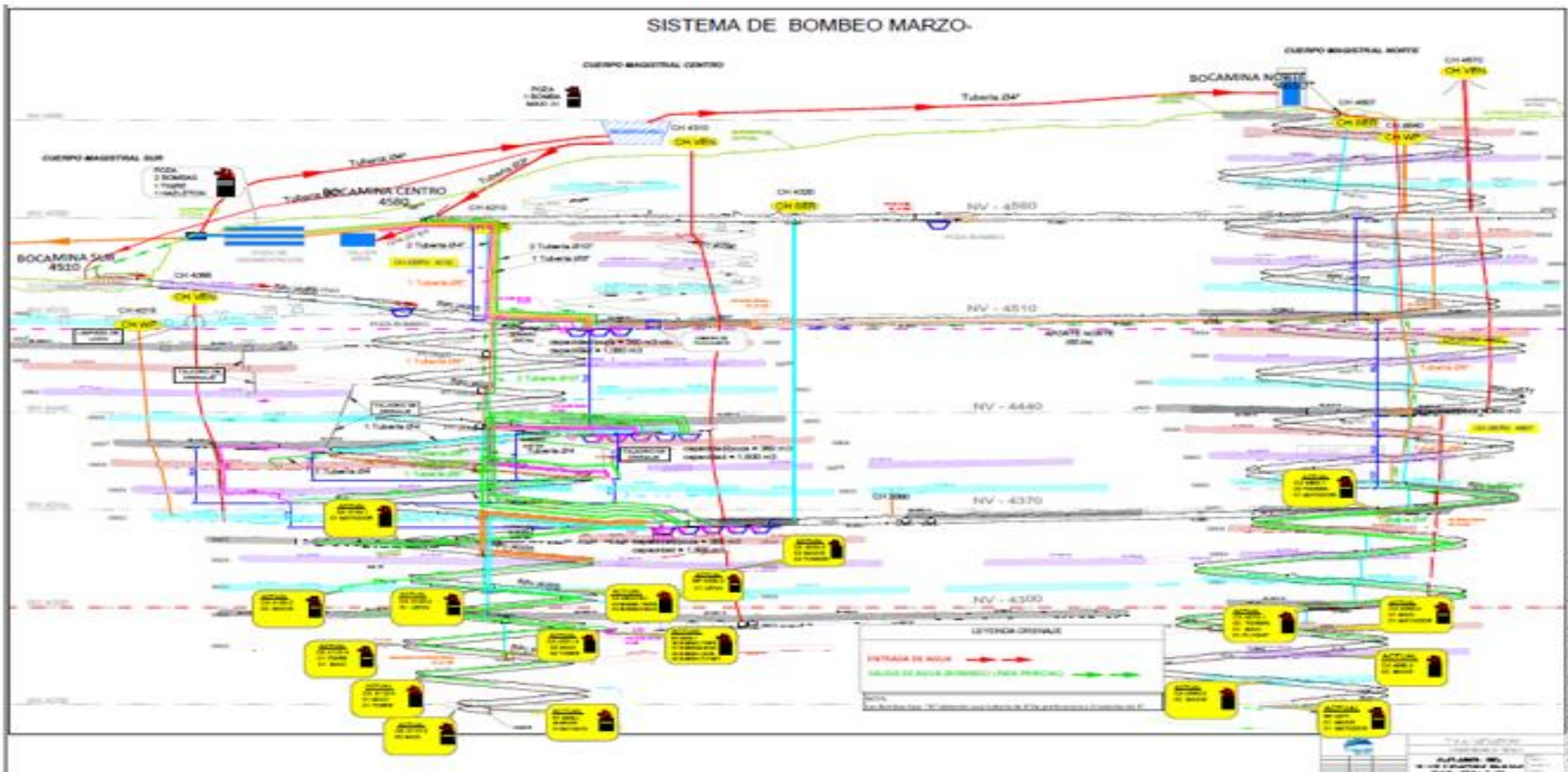
#### **4.3.2. Establecimiento de un Punto de Monitoreo de Etapa Continuo**

Durante los meses de noviembre 2017 a abril 2018, Trevali ha implementado un proyecto para aumentar la capacidad de su sistema de bombeo. La Figura 2 muestra una sección longitudinal de la mina con los detalles del nuevo sistema de bombeo. Actualmente el sistema incluye:

- 51 bombas sumergibles de potencia nominal entre 40 y 140 Hp;
- 4 bombas estacionarias de potencia nominal 800 Hp.

La potencia instalada actual es de 3178 Hp (2605 KVA), un incremento de 42%. La capacidad total del sistema se ha aumentado desde 500 L/s hasta 800 L/s. Un diagrama esquemático del sistema se muestra en la Figura 2.

Con el sistema de bombeo anterior, todas líneas de bombeo operaron en régimen constante. Con el sistema aumentado, la capacidad de bombeo por el momento subió hasta aproximadamente 800 L/s; por lo cual era necesario operara una línea de bombas a tiempo parcial. Por esta razón, la descarga de la mina ha fluctuado y se hizo necesario un mejoramiento del sistema de monitoreo de descarga para capturar todas las fluctuaciones en el caudal de descarga.



Fuente: Propia

La metodología usada por FloSolutions, que trabajo con el personal de la mina para instalar una tubería ranurada de PVC de diámetro 3.81 mm extiéndose por el lado izquierdo del canal de descarga, unos 150 m por debajo del punto de monitoreo actual TP-2, como se muestra en la Foto 2-3.

**Figura 10** Aforos junto con la instalación de punto de medición de nivel de agua TP-2<sup>a</sup>



Fuente: Propia

Se ha instalado un transducer de rango de presión de 30 m adentro del tubo ranurado para monitorear cambios en el nivel de agua. Se nota que la precisión de este transducer es aproximadamente 0.1% de su rango de presión; en futuro se va reemplazar el transducer actual con un transducer de rango de 5 m para dar más precisión a las medidas. Se ha iniciado la toma de datos el 24 de abril, con un intervalo de toma de datos de 10 segundos.

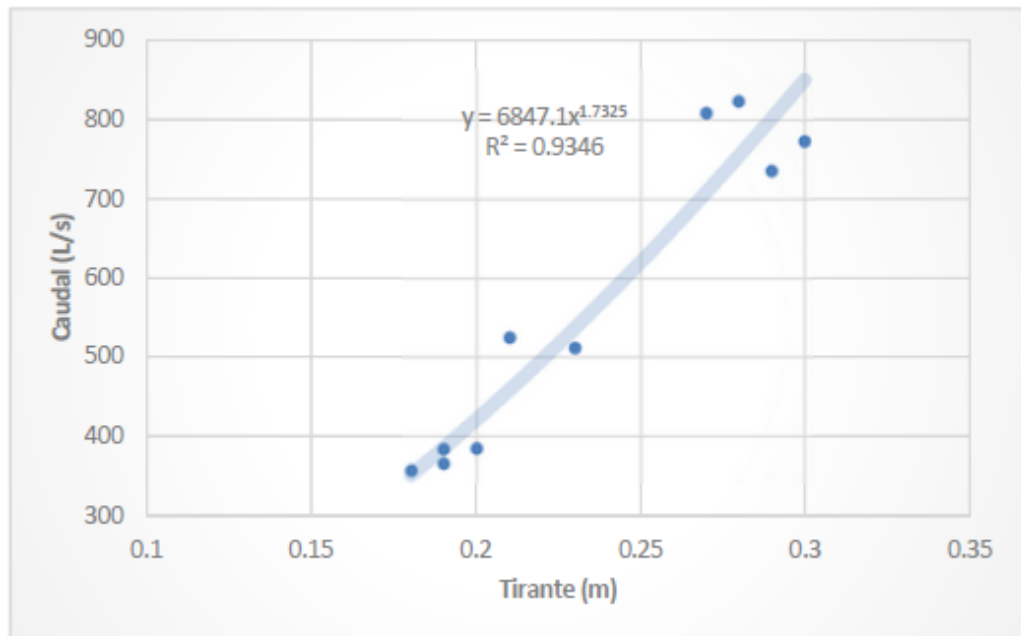
A la vez, FloSolutions ha realizado aforos dentro del canal dentro de 23 y 27 abril, bajo una variedad de condiciones de flujo y etapa, para poder desarrollar una curva de etapa-descarga para el punto de monitoreo. Se ha

utilizado un flujómetro de modelo Global Water FP 111, tomando medidas en perfiles cada 20 cm tras el ancho del canal.

### Resultados

Los resultados se presentan en el Apéndice A. Se ha medida un rango de flujo entre 357 y 824 L/s. La figura muestra un ploteo de los datos de descarga contra etapa para los aforos realizados, junto con una regresión de poder, para obtener la expresión aritmética de caudal en base de etapa.

**Figura 11** Curva de etapa-descarga, punto de monitoreo TP-2<sup>a</sup>



### Fuente Propia

La expresión aritmética correspondiente es el siguiente:

$D \text{ (L/s)} = 6847.1E1.735$

Donde:

D = Descarga (L/s)

E = Etapa (m)

### 4.3.3. Monitoreo de Presiones Piezométricas

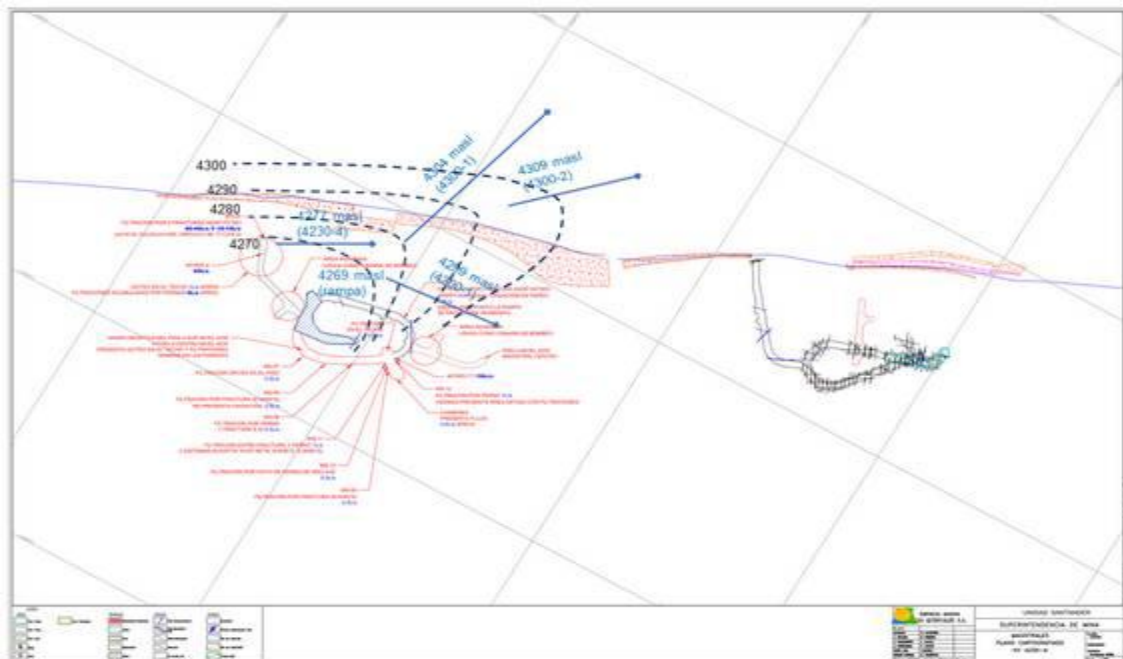
#### Setiembre 2021

Durante el mapeo de filtraciones, se ha medido presiones dentro de taladros tapados con obturadores mecánicos/válvulas de bola, utilizando un manómetro. Las presiones medidas en Magistral Sur se muestran en la Figura 1

#### Abril 2022

Durante el mapeo de filtraciones, se ha repetido la medición de presiones dentro de taladros de drenaje MSFL-01, 02 y 03. Las presiones bajaron entre 10 (MSFL-01) y 27 psi (MSFL- 03), o la equivalente de 7 a 19 m de carga hidráulica dentro de los siete meses. La modesta reducción es probablemente debido a la reducción en avance descendente en la Rampa 4005 y los sub-niveles asociados durante este periodo.

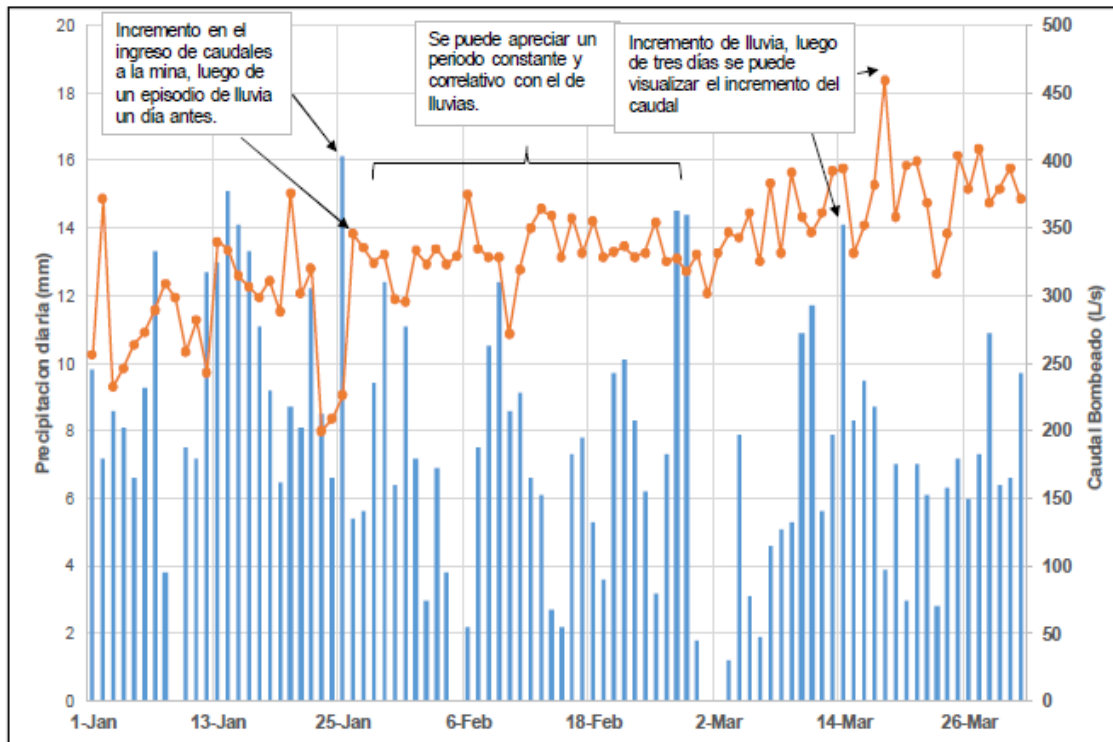
**Figura 12** Mapeo de presiones, interior de la mina setiembre 2021, Magistral Sur, Nv 4230-4



Fuente Propia



Figura 13 Caudal bombeado vs. Precipitación diaria, Estación Yantac



fuelle: propia

#### 4.3.4. Investigación de las opciones de drenaje superficial

➤ **Evaluar los Potenciales Ingresos de Agua Superficial a la Mina**

Recientes datos minuciosos (tres veces al día) de los flujos de agua entrantes a la mina sugieren que una cantidad de agua de superficie está ingresando a la mina durante la estación de lluvias. Para obtener estimaciones de este componente de entrada, se propuso adquirir datos de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas más cercanas y revisar con los datos de descarga de la mina. Una comparación de precipitación diaria de la estación Yantac, ubicada unos 23.5 km al suroeste de Santander, a una elevación parecida, se presenta en la Figura 2.

En base de la revisión de datos para los meses lluviosos de enero a marzo 2017, hay indicaciones de incrementos significativos en la tasa de bombeo entre uno y tres días después un día lluvioso.

Trevali ha indicado que una serie de perforaciones de recursos tienen collares abiertos en áreas topográficamente bajas, incluyendo áreas inundadas estacionalmente. Junto con geólogos de Trevali, se buscó activamente estos collares para evaluar el potencial drenaje hacia la mina por medio de los sondajes. Un mapa con los collares inspeccionados se adjunta en la Figura A-6, Apéndice A. Prácticamente todos los collares situados dentro de las áreas con potencial de inundación fueron inspeccionados, y no se encontró ningún collar con la capacidad de aportar ingresos de agua hacia la mina.

Una cantidad de agua superficial puede entrar a la mina por medio del portal de la bocamina de la Rampa 4005. La mayoría de este flujo se concentra dentro de los meses lluviosos de diciembre a abril.

➤ **Revisión de los datos de perforación subterránea**

En Setiembre 2017, se ha dado una guía a los geólogos de Trevali para la colección de datos hidrogeológicos desde sondajes diamantinos, perforados de superficie y desde el socavón.

Una copia de la guía se adjunta en el Apéndice B. Se ha compilado la revisión los datos hidrogeológicos obtenidos del programa de perforación profunda 2021 y datos claves de los programas de perforación que se hayan realizado con anterioridad (por ejemplo, zonas identificadas de alta presión o pérdidas de circulación, estructuras clave) para identificar zonas permeables claves que podrían representar zonas de ingreso de flujos de agua a las labores mineras. Estos datos contribuirán a la construcción de un modelo

conceptual hidrogeológico para la mina. El programa está en marcha y los datos están en proceso de recopilación y análisis.

Un enfoque del programa ha sido para determinar si la falla Santander esta transmisiva y una fuente importante de agua hacia la mina. Hasta ahora, no hay indicaciones positivas que esta falla transmita una cantidad significativa de agua hacia la mina. Sin embargo, el programa de monitoreo de las perforaciones y la realización de pruebas de inyección continua.

➤ **Descubrimiento, evaluación y sellamiento de dolina, laguna**

**Yanacocha**

**Antecedentes**

En setiembre 2021, personal de Trevali han notado una dolina ubicada al margen sur de la laguna Yanacocha. El rasgo ha sido expuesto por la recesión del nivel de agua durante la estación seca. Fotos del rasgo se presenta en la Foto2. La dolina tiene un diámetro de aproximadamente 2.5 m. y una profundidad de aproximadamente 1.2 m.

**Figura 14** Dolina, laguna Yanacocha, Setiembre 2021



Fuente: Propia



Fuente Propia

Se interpretó la potencial conexión entre la dolina y la mina en base a la presencia de lineamientos observados en una imagen satelital, e interpretados como fallas/fracturas en la Foto 3. La dolina está ubicada en sedimentos lacustrinos sobre cuarcitas de la formación Chimú, cerca del contacto con la formación Santa, al suroeste de la dolina. Se observan afloramientos de Chimú y lineamientos con tendencia este-noreste en la imagen. Fallas y fracturas con rasgos de disolución, con un rumbo parecido se observan en afloramientos de la Formación Jumasha, inmediatamente al este de la mina. La bocamina de la rampa 4005 (Magistral Sur y Central) se muestra en la margen derecha de la foto.

**Figura 15** *Ubicación de la dolina y presencia de lineamientos*



Fuente: Propia

### **Prueba con trazadores**

En base de este descubrimiento, se ha recomendado realizar una prueba con trazadores para establecer y caracterizar la conexión con la mina. Se colocó muestreadores de carbón y se tomaron muestras de agua el 14 de octubre, 2021 en los siguientes puntos (ver Foto 4 (a) y (b)):

- 2 paquetes de carbón colocados y una muestra de agua colectada en la salida del canal de TP-02;
- 1 paquete de carbón colocado y una muestra de agua colectada en la poza CX4570-4. Se hizo el cambio debido a que la poza CX4610-1 seleccionada anteriormente se encontraba inundada;
- 1 paquete de carbón fue instalado y una muestra de agua colectada en la poza BP-4440-1;

1 paquete de carbón fue instalado y una muestra de agua colectada en la poza 1 Nivel 4510. Se hizo el cambio debido a que la Estación de bombeo principal H previamente seleccionada se encontraba inundada;

1 paquete de carbón fue instalado en el rio Baños, aproximadamente dos km aguas abajo la salida del túnel de drenaje (TP-05).

**Figura 16 Prueba de trazador**

(a) colocación de muestreador en poza 1 del nivel 4510



(b) colocación muestreador en TP-02



(c) mezcla de fluoresceína en polvo en 20 litros de agua



(d) vertido del trazador





(e) plataforma de bombeo



(f) inyección de agua



Fuente: Propia

Se inició la prueba el 15 de octubre de la siguiente manera (ver Foto 2-4 (c) a (f)):

- Se inicia el día coordinando con Geología Trevali para la realización de la prueba con trazadores;
- Se procede con preparación de materiales, equipos y traslado hacia la laguna Yanacocha;

- Instalación y conexión de accesorios a la bomba. Se cuenta con el apoyo de 2 personas de Contratista de perforación Spektra;
- Se procede con la dilución de 0.9 kg de trazador tipo Fluoresceína en un balde de 20 litros;
- Vertido del trazador en el sumidero;
- Preparación de una plataforma de madera para poder ingresar lo más cerca posible a la laguna, además de la instalación de bomba y mangueras en el lugar de trabajo;
- Adecuación de un punto de succión con una pala debido a la poca profundidad que se podía acceder dentro de la laguna. Se cuenta con el apoyo de un personal de Geología Trevali;
- Arranque de bomba para probar caudal de salida. Debido a la distancia del punto de succión y condiciones del sitio, el caudal máximo de salida de la bomba es de 3 litros/segundo.
- Inyección de agua a un caudal de 3 L/s aproximadamente por un periodo de 2 horas, por un total de 21,600 litros inyectado. El espejo de agua del sumidero nunca llegó a subir en las dos horas de inyección de agua;
- Desinstalación de mangueras y bomba, traslado de materiales y equipos del sitio de trabajo hasta la oficina de Trevali.
- Se inyectó agua por un caudal de 4 L/s por un periodo de 2 horas el 19 de octubre, 2021, por un total adicional de 28,800 litros de agua y un total de 50,400 litros inyectado. Se notó, con el caudal de inyección aumentado, que el espejo de agua subió unos 10 cm dentro de la dolina. Se interpreta que el caudal máximo que se puede pasar la dolina no puede pasar unos 25 L/s. Se recogieron los muestreadores, y colocaron nuevos después de 2, 5, 10, 20 y 30 días de la prueba. Se colocó los últimos

muestreadores el 3 de noviembre, 2021 y se recogió el 20 de diciembre, 2022.

El primer análisis, de los muestreadores de 2 y 5 días después del vertido del trazador, se realizó en Ozark Underground Laboratory. Los análisis no mostraron ningún contenido de fluoresceína, tampoco en la muestra de agua tomado el 14 de octubre 2020 desde TP-02. No hubo ninguna observación de trazador dentro de la mina. Los siguientes análisis, para las muestras de 10, 19, 67 y 136 días después del vertido del trazador mostraron ninguna evidencia de trazador en los paquetes. Los certificados de análisis se adjuntan en Apéndice C.

### **Balance hídrico, laguna Yanacocha**

Trevali obtuvo datos de precipitación para la estación Yantac, ubicado unos 23.5 km al sureste de Santander, a una elevación similar a las bocaminas de la mina Magistral. Se analizó los datos históricos de descarga de la laguna Yanacocha (punto TP-01) junto con los datos de precipitación de la estación Yantac. Se ha realizado un balance hídrico sencillo para la Laguna Yanacocha de la siguiente manera:

- Se ha estimado la precipitación de la cuenca de la laguna Yanacocha, utilizando la relación orográfica determinado por (Hydro-Geo, 2011) y un estimado de la altitud promedio (4850 msnm) para la cuenca de la laguna Yanacocha;
- Se ha convertido los datos de la estación Yantac a Yanacocha, utilizando la relación orográfica;
- Se ha realizado un balance hídrico climático mensual desde el 2010 hasta 2021 utilizando el método balance hídrico de suelos

de Thornthwaite-Mather (1955) para determinar el excedente hídrico;

- Se estimó infiltración a la cuenca asumiendo un factor de infiltración profundo 5%. En otras palabras, se ha asumido que 5% del excedente infiltra y no se reporta a la laguna Yanacocha;
- Se ha ignorado cambios en el almacenamiento de la laguna Yanacocha, y determinado caudales de descarga desde la laguna.

La Figura 3 muestra un ploteo de precipitación mensual interpretado para la cuenca Yanacocha, descarga observada, basada en medidas de frecuencia mensual, descarga modelada con el balance hídrico y observación de descarga de la mina, para el periodo 2010 a 2017. Mientras que este balance es sencillo, y existe una incertidumbre importante en la precipitación actual de la cuenca Yanacocha, el factor de infiltración profundo y en la descarga mensual real en TP-01, es aparente que el drenaje de la mina ha tenido un efecto importante en la descarga en TP-01. La estación de lluvias entre diciembre 2016 y abril 2017 ha sido la estación más lluviosa en el periodo 2010-2017, sin embargo, la descarga desde TP-01 ha sido casi nulo, con descarga menor durante abril a junio solamente. Se interpreta que la mina ha derivado en el orden de 90% del flujo de escurrimiento y descarga de agua subterránea normalmente reportando a la laguna hacia la mina. Para 2021, el estimado de flujo desviado se estima en 150 a 180 L/s.

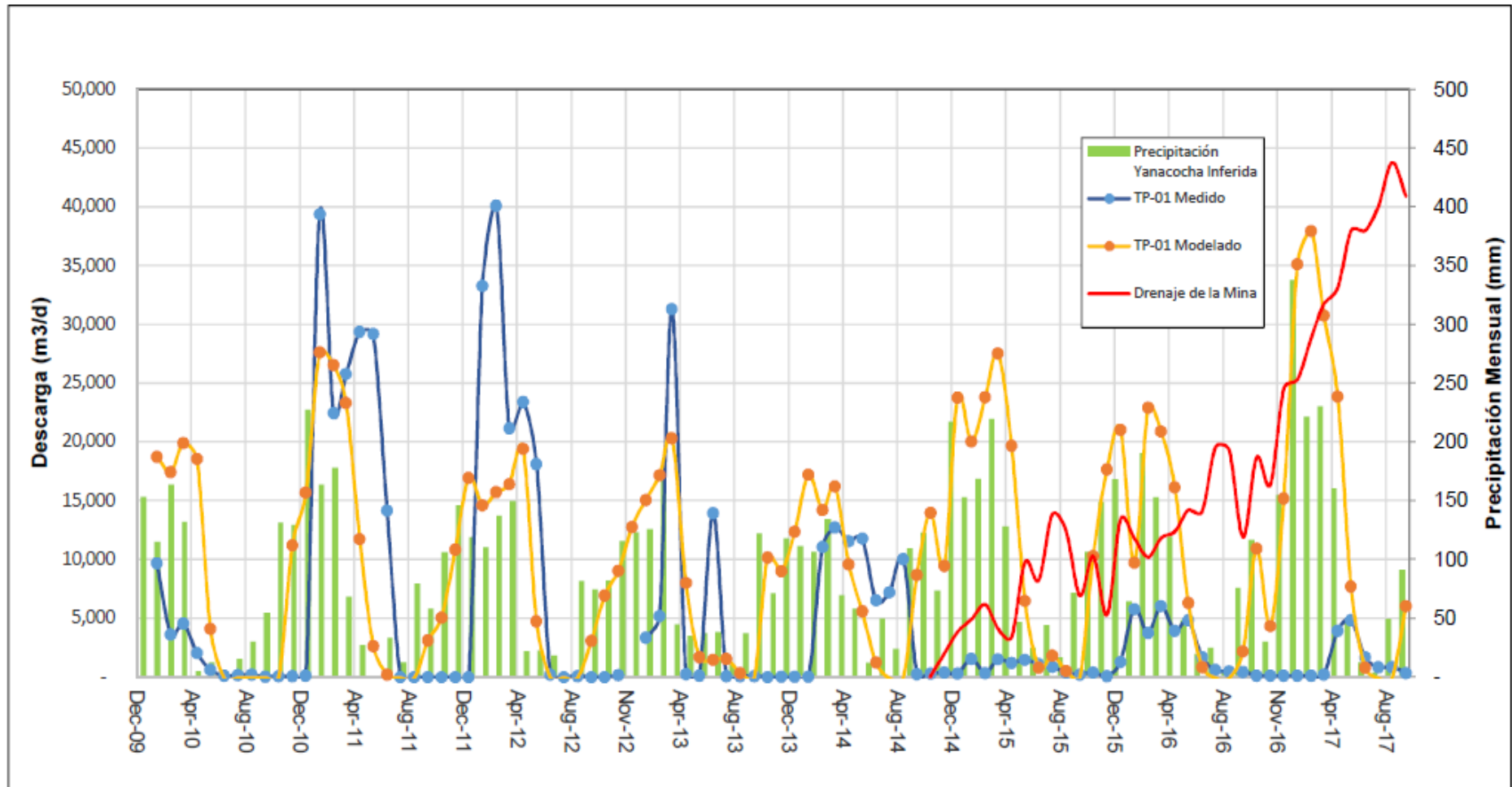
Se ha considerado una porción de este flujo como resultado del agua de la laguna drenándose por la dolina.

### **Sellado de la Dolina**

Mientras que aún no se ha observado la llegada del trazador a la mina, en vista del balance hídrico y la apariencia reciente de la dolina, se consideró prudente sellarla.

Se consultó con una especialista de cimentación, Multiurethanes Ltd. de Toronto, Canadá y diseñaron un programa de cimentación. Este procedimiento se incluye en el Apéndice C y se incluye la perforación de taladros inclinados alrededor a la dolina, la realización de pruebas hidráulicas con obturador en cada uno y la cimentación de cada taladro que mostro una permeabilidad adecuada. Sin embargo, en vista de la falta de disponibilidad de una máquina de perforación y la proximidad del comienzo de la temporada de lluvias, se optó por un programa más sencillo, que se adjunta en el Apéndice C. La idea fue para inyectar una mezcla de cemento-bentonita progresivamente más espeso para poder asegurar que la mezcla infiltrara a las fracturas en el lecho rocoso. El sellamiento se ha efectuado el 19 de diciembre 2021, por personal de Trevali con supervisión técnica. El día de las obras de sellado, se observó que un flujo aproximado de 3 a 4 L/s estaba llegando al sumidero desde la Laguna Yanacocha, como se muestra en el Foto 5 (a).

**Figura 17** Precipitación mensual, descarga observado y modelado en TP-01 y descarga de la mina



Fuente Propia

**Figura 18**

(a) Ingreso de un flujo de aproximadamente 3 a 4 L/s proveniente de la laguna Yanacocha



Fuente: Propia

(b) Introducción de la mezcla de cemento-bentonita



Al iniciar el día se trasladaron los equipos para el sellado del sumidero. 01 Motobomba, 01 Grupo electrógeno y 01 máquina mezcladora de 210 litros de capacidad. Y se procedió a la instalación de los mismos.

Se empezó las obras por el bloqueó de todos ingresos de agua al sumidero. Se realizó una limpieza al sumidero antes de iniciar con el vertido de las secuencias.

El día anterior (lunes 18-12-21) el personal de Trevali movilizó los siguientes materiales a la laguna Yanacocha para realizar los trabajos: 60 bolsas de cemento de 42.5 kg y 7 sacos de bentonita de 22.5kg. Debido a la capacidad de la máquina mezcladora (210 litros) cada secuencia a verter (8 secuencias) fue dividida en 5 partes de 200 litros cada una. Al final del vertido de las 5 partes, éstas suman lo planteado por cada secuencia en el plan de trabajo. Un resumen de las mezclas y cantidades introducidas se proporcionan en la Tabla 7

**Tabla 7** Resumen de la mezcla de cemento-bentonita inyectado

Secuencia	Volumen Total (L)	Agua (L)	Cemento		Bentonita	
			Peso (kg)	Bolsas de 42.5kg	Peso (kg)	Bolsas de 22.5kg
1	1000	837	209.00	4.9	15	0.67
2	1000	774	290.00	6.8	20	0.89
3	1000	720	360.00	8.5	25	1.11
4	1000	632	474.00	11.2	33	1.47
5	1000	562	562.00	13.2	39	1.73
6	1000	507	634.00	14.9	44	1.96
7	1000	462	692.00	16.3	48	2.13
8	1000	424	741.00	17.4	51	2.27
<b>Totales</b>	<b>8000</b>	<b>4918</b>	<b>3962</b>	<b>93.2</b>	<b>275</b>	<b>12.2</b>

Fuente Propia



Una vez iniciado el vertido de las secuencias (09:00h) se observa que al finalizar la secuencia 1, 2 y 3 las mezclas siguen filtrando por el sumidero. Sin embargo, al finalizar la secuencia 4 se observa que la filtración de la mezcla había disminuido considerablemente llegando a subir el nivel de mezcla 50 cm desde el fondo del sumidero. El vertido de la secuencia 4 finalizó a las 12:00h.

Al regresar de almorzar a las 13:30h se observó que el nivel de mezcla se mantuvo y no hubo filtración considerable. En horas de la tarde se continuó con el vertido de la secuencia 5 y 6 y el nivel de la mezcla continuó subiendo hasta ubicarse a 60cm de la superficie del terreno viéndose una filtración casi nula del sumidero.

Se finalizó las labores a las 17:00h debido a la falta de materiales. Se usaron 60 bolsas de cemento Portland Tipo I de 42.5kg y 6  $\frac{1}{4}$  sacos de bentonita en polvo de 22.5kg. Se inyectó un total de aproximadamente 6 m<sup>3</sup> de cemento-bentonita.

En horas del día siguiente se inspeccionó el estado del sellado en el sumidero. El nivel de la mezcla registrado el día de ayer no varió con relación a la inspección del día anterior, por lo que el sellado reaccionó exitosamente, como se muestra en las fotos 6 (a) y (b).

**Figura 19** El sumidero (a) inmediatamente después de cementación (19-12-21 @ 17:00h) y (b) el día siguiente (20-12-22 @ 8:00h)



Fuente: Propia

➤ **Seleccionar la Ubicación y Detalles de Perforaciones en Superficie**

Se ha revisado las opciones disponibles de las perforaciones en superficie para el drenaje de la mina. Se ha establecido el rol de estructuras con rumbo este-oeste para ingresos hacia la mina. Como se presenta en la Sección anterior, se estima que un total de aproximadamente 30 a 35% del flujo llegando a la mina esta derivado desde la laguna Yanacocha. Se prevé que una porción importante de este flujo llega hacia la mina por medio de las estructuras este-oeste a este-noreste-oeste-suroeste. Pozos de drenaje ubicados para interceptar estas estructuras entre la laguna y la mina podría derivar cantidades importantes desde la mina.

Hasta la fecha, el rol de la falla Santander, con rumbo sursureste en el sistema de flujo no ha sido establecida con certeza. Si se establece, por medio del programa de perforación profundo actualmente en marcha, que la falla presenta una permeabilidad importante, pozos de drenaje ubicados para interceptar esta falla, al

norte y al sur de la mina pueden proporcionar un beneficio adicional reduciendo los ingresos de agua a la mina.

#### 4.3.5. Instalación de Pozos de Drenaje y Puntos de Monitoreo

##### ➤ Instalación de Obturadores/Válvulas y Perforación de Taladros de Investigación

##### Metodología

Tres taladros fueron perforados con el fin de:

- Confirmar la posición de la falla de Santander en relación con Magistral Sur Nivel 4300 Piso 1;
- Proporcionar una indicación preliminar de la permeabilidad y las presiones de los poros del agua subterránea en la caja piso y techo de la falla Magistral, y dentro de la falla Santander;
- Proporcionar puntos fijos de monitoreo de presión y química del agua subterránea y un cierto potencial de drenaje según sea necesario.

Los taladros se perforaron dentro del nivel 4230 Piso 4, ubicados como se muestra en las adjuntas y en la Tabla siguiente.

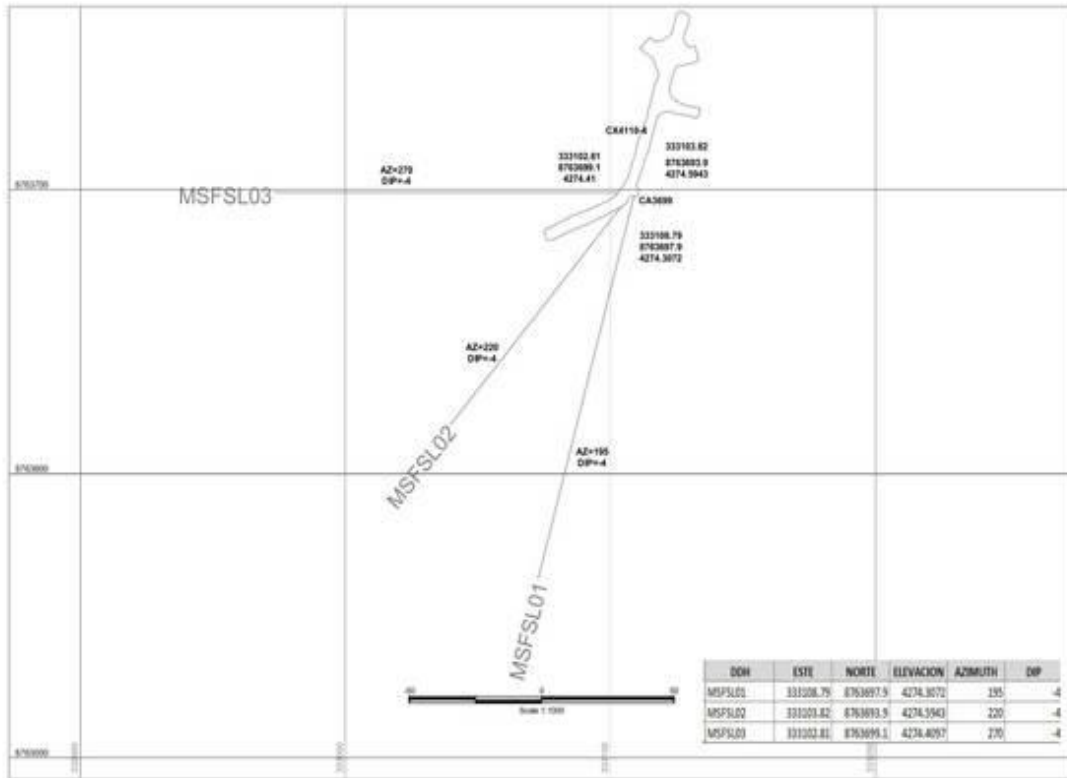
**Tabla 8** *Detalles de taladros de drenaje*

DDH	Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Profundidad Propuesta (m)	Profundidad Final (m)
MSFSL-01	333108	8763698	4273.888	190	1	140	116.6
MSFSL-02	333105	8763695	4273.770	211	-4	100	92.0
MSFSL-03	333103	8763699	4273.824	271	-4	130	49.0

N.B. Coordenadas UTM de sistema WGS 84.

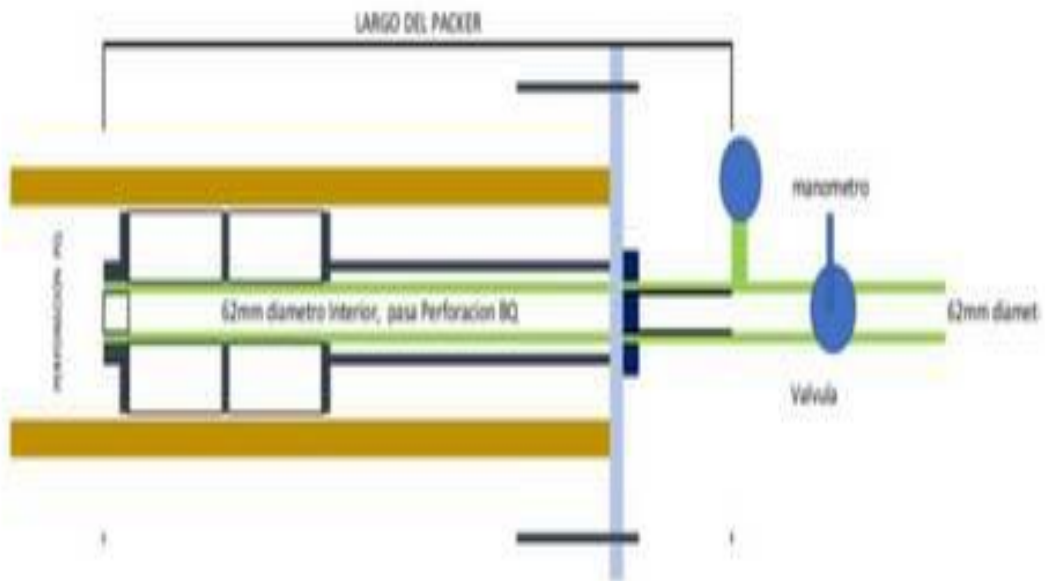
Fuente: Propia

**Figura 20** Esquema de taladros de drenaje en plano



Fuente: Propia

**Figura 21** Imagen 3D de taladros de drenaje



Fuente: Propia

El procedimiento de instalación fue el siguiente:

- Perforar "ante-pozo" a PQ (120 mm) de diámetro a 2 m de profundidad;
- Instalación de obturadores mecánicos de acero inoxidable/válvula de bola/manómetro, como se muestra en Figura 6;
- Perforar taladros de investigación en diámetro BQ dentro de los obturadores, cruzando la falla Santander, o hasta que las presiones de agua subterránea lo permitan (máximo longitud de 50 m cada uno);
- Monitoreo de las zonas de ingreso de agua subterránea, los caudales progresivos, calidad básica del agua y presiones donde sea factible;
- Retirar las barras de perforación.

Una vez que se completó el ante-pozo, se decidió perforar sin válvula, para dar más espacio por el movimiento de la torre de la máquina.

### **Figura 22**

(a) Cámara de perforación con maquina diamantina



(b) Contacto con Falla Santander a los 110.70 metros, MSFL-01. Falla compuesta de lutitas carbonosas de color negro.



(c) Manómetro y válvula instaladas en MSFL-01



(d) Aforo de caudal en MSFL-01



Fuente: Propia

## Resultados

Se perforó los taladros entre el 17 de octubre y el 28 de octubre, 2017. Los logueos de perforación se presentan en el Apéndice B.

### Los taladros encontraron:

- Calizas de color gris claro a gris oscuro, con tramos de tonalidades verdosas cuando se está cerca del cuerpo mineralizado, no se ha evidenciado meteorización salvo en el taladro MSFSL-01 que presenta una zona con presencia de óxidos de 27.45 a 27.60m, ligeramente Silicificadas y poco fracturadas a fracturadas (RQD entre 75 y 100%) con tramos de roca fragmentada (RQD 0%) que se asocian directamente a la entrada de flujos de agua en el dren, de dureza alta y resistente a muy resistente (Formación Chúlec);
- Zonas de fallas dentro de la caliza, moderadamente a completamente alterada, brechada con panizo (MSFSL-03 15.7 a 16.75 m, 40.9 a 42.8 m);
- Cuarcitas poca fracturadas a fracturadas (RQD mayor al 80%) con tramos de roca fragmentada (RQD 0%) de dureza muy alta y muy a extremadamente resistentes, no se ha evidenciado aumento de flujo de agua al entrar a esta área (Formación Oyón);
- Lutita carbonosa fresca, de dureza suave a medianamente dura, de débil a muy débil resistencia, extremadamente fracturada a fragmentada (RQD de 0%), con capas de arenisca cuarzosa muy resistentes, con RQD entre 50% y 70%. Falla Santander interpretada (Formación Oyón).
- Cada taladro terminó antes de la profundidad propuesta, por las siguientes razones:
- Atrapamiento de las barras de perforación dentro de la falla Santander (Taladro MSFSL-01 (entró unos 5.9 m dentro en la falla) y MSFSL-02

(entró unos 3.9 m dentro de la falla), quedando 10 barras NQ (32 metros) más barril con el tubo interior con muestra;

- Se encontró flujos altos antes que de interceptar la falla Santander y no se pudo avanzar por la presión del flujo (Taladro MSFL-03, a un caudal de salida de 25 litros/segundo). Durante las actividades de perforación se registraron los siguientes caudales y calidad de agua básica del agua (Tabla 4):

Tabla 5: Caudales estimados y calidad básica del agua registrada durante la perforación

DDH	Día	Hora	Profundidad (m)	Caudal Estimado (L/s)	CE (uS/cm)	pH	ORP (mV)	T (°C)
MSFSL-01	22/10/17	10:35	116.6	4	555	8.08	-119	6.7
MSFSL-03	23/10/17	11:40	49.0	25	528	8.17	-112	7.8
MSFSL-02	26/10/17	16:00	49.1	2	622	8.83	-165	8.6
MSFSL-02	27/10/17	15:45	89.8	3	581	8.57	-147	6.9
MSFSL-02	28/10/17	15:30	92.0	1.5	589	8.10	-102	6.8

Fuente: Propia

El taladro MSFSL-01 encontró agua a una profundidad de 15 m, con caudal de 0.3 L/s. El flujo se incrementó hasta 4 L/s en el tramo de 86.8 a 92.9m, zona de roca extremadamente fracturada a fragmentada, manteniendo este caudal hasta el fin del taladro. No hubo un incremento de caudal observado dentro de la falla Santander.

El taladro MSFSL-03 no encontró su presencia agua hasta que ocurrió inesperadamente a una profundidad de 49 m, con un caudal estimado en 25 L/s. Se encontró dificultades para instalar la máquina para perforar el taladro MSFSL-02 y fue necesario cambiar la orientación del



taladro para poder perforarlo. Este taladro encontró agua a los 29 m a razón de 1 L/s, y su caudal progresivo incluyó:

- 2 L/s a los 49 m;
- 2.5 L/s a los 78 m;
- 3 L/s a los 90 m; y
- 1.5 L/s a los 92 m (con barras de perforación y muestra dentro del sondaje).

➤ **Ensayos Hidráulicos y Muestreo de Aguas Subterráneas**

**Metodología**

Una vez que cada pozo de drenaje fue terminado, las pruebas hidráulicas se llevaron a cabo de la siguiente manera:

- Cierre de la válvula de bola, para monitorear el incremento de presión con el cronómetro y el manómetro instalado;
- Cuando las presiones se estabilizaron, se abrió la válvula y se realizó una prueba de descarga constante (CD) de 15 minutos duración;
- Se ha medido la caudal de descarga con un contenedor de 1 m<sup>3</sup> y un cronómetro para el caso del taladro MSFSL-03 y un contenedor de 20 litros para los demás taladros;
- Se monitoreo los parámetros físicos y químicos del agua subterránea. Resultados Se realizó las pruebas hidráulicas el 29 de octubre, 2021. Los resultados de las pruebas se presentan en la Tabla 5. Se ha utilizados las soluciones analíticas de Cedergren (1977), Cooper-Jacob (1946) y Hvorslev (1951) para analizar las pruebas de carga constante, recuperación y carga en ascenso.

Tabla 6: Caudales, presión, conductividad hidráulica, y calidad básica del agua, pruebas hidráulicas

DDH	Profundidad (m)	Presión estática (m agua)	Q promedio medido (L/s)	K promedio interpretada (m/s)	CE (uS/cm)	pH	ORP (mV)	T (°C)
MSFSL-01	116.6	37.0	4.2	$1.6 \times 10^{-6}$	611	8.16	-109	6.0
MSFSL-02	92.0	39.4	6.3	$7.3 \times 10^{-6}$	629	8.16	-119	6.1
MSFSL-03	49.0	49.2	26	$1.6 \times 10^{-6}$	524	8.20	-109	6.0

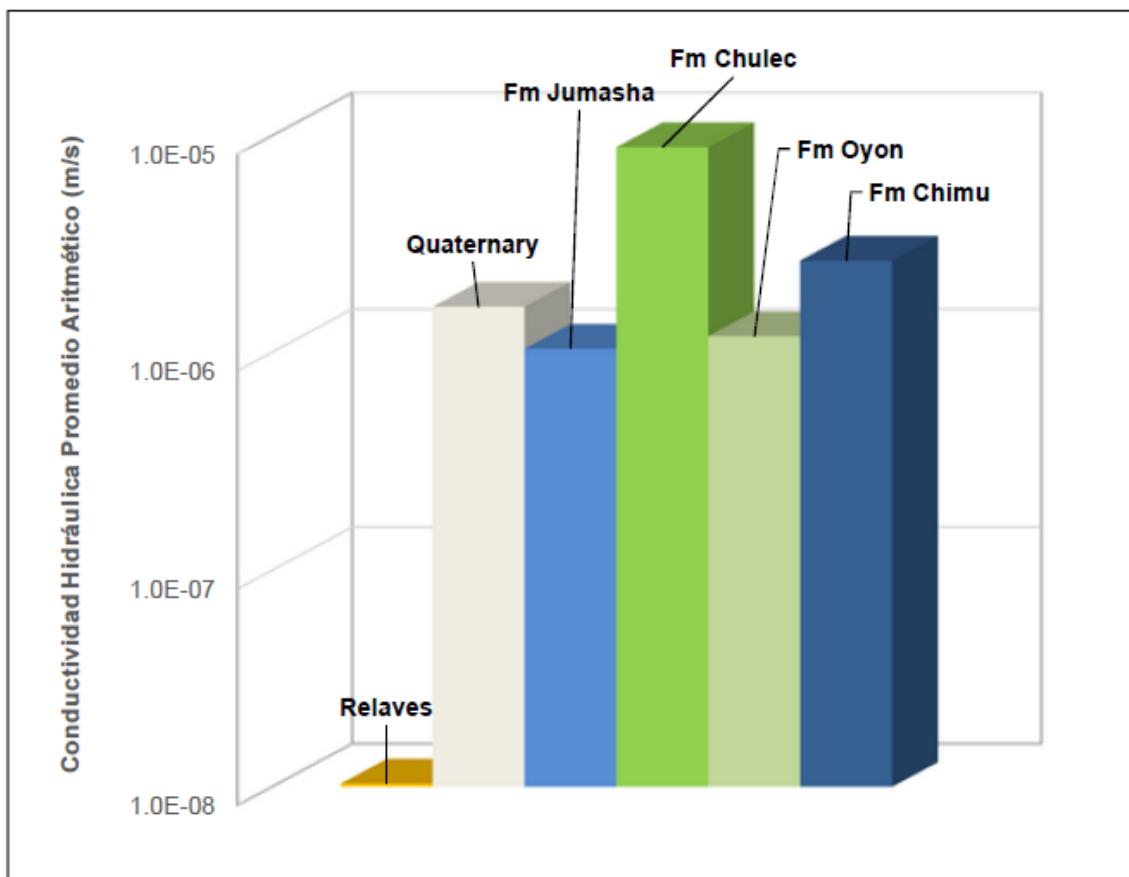
Los resultados quedan en el rango de permeabilidad moderado (MSFSL-01 y MSFSL-02) a alta (MSFSL-03).

Fuente: Propia

- Se ha compilado las pruebas realizadas anteriores, inclusive con el re análisis de unas pruebas anteriores, para compilar una tabla de valores promedios de conductividad hidráulica para las diferentes unidades hidrogeológicas en el sitio, presentado en la Figura 2-7 y Tabla B-1, Apéndice B. Los analices de las pruebas realizadas durante la campaña actual, y la re análisis de las pruebas realizadas anteriormente se incluyen en la Apéndice B.
- Mientras que la base de datos está limitado a fecha, se puede ver una similitud entre unidades en el sitio, aparte de los relaves, con todos en el rango de conductividad alto moderado, entre  $1.0 \times 10^{-6}$  (Fm Jumasha) hasta  $8.9 \times 10^{-6}$  (Fm Chulec). Las unidades de materiales cuaternarios y el Fm Chulec muestran una menor variabilidad en sus propiedades de las demás unidades. Las formaciones Chimú y Jumasha muestran un alto

grado de variabilidad. Se nota que no hay suficientes medidas hechos en la formación Jumasha para evaluar efectivamente la permeabilidad de esta unidad, notablemente dentro de taladros inclinados que podría interceptar las importantes estructuras sub-verticales. Se nota que los valores determinados hasta la fecha, incluyendo el re análisis de pruebas realizadas entre 2011 y 2015 por Hydro-Geo y Gidahatari resultan en valores de conductividad hidráulica significativamente más elevados de los reportados en Hydro-Geo (2011) y en Gidahatari (2015).

**Figura 23** Valores de conductividad promedio por unidad hidrogeológica compilada



Fuente: Propia

Las presiones medidas tienen un rango entre 39 y 50 m de carga hidráulica sobre Nv. 4230 Piso 4, o 54 a 65 m arriba del nivel inferior desarrollado.

La calidad básica del agua es consistente, fresca con conductividad eléctrica entre 524 y 629  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH neutro (8.16 a 8.20), reducida (potencial oxidación-reducción entre -109 y -119 mV) y temperatura entre 6.0 y 6.1 °C.

#### **4.3.6. Ingresos de agua subterránea hacia la mina**

##### **➤ Ingresos históricos y actuales**

La Figura 1 muestra los ingresos hacia la mina histórica y actual, junto con las elevaciones bases de las Rampas 4005 y 4577. Se nota, con el comienzo del monitoreo diario de flujos saliendo la mina en setiembre 2016, hubo una menor fluctuación aparente en los flujos mensuales calculados. Hemos realizado aforos entre el 24 y 27 abril, y se considera estas mediciones confiables. Se ha medido unos flujos diarios para el 25 y 26 abril de 497 L/s y 496 L/s. En los datos históricos, se puede notar un incremento en la tasa de ingreso de agua hacia la mina aparte de octubre 2016. Los ingresos hacia la mina han tenido picos anuales que demoran tres a cuatro meses después la terminación de la estación de lluvias en abril. Sobre todo, los ingresos están relacionados con la tasa de hundimiento de la mina, representada en esta figura por las elevaciones bases de la Rampa 4005 (Magistral Sur y Central) y Rampa 4577 (Magistral Norte).

##### **➤ Modelo conceptual de ingreso de agua**

Se ha notado en la mina el rol que tiene las fallas y fracturas sub-verticales con rumbo ENE-OSO en conducen agua hacia las labores. En el mapa geológico superficial (Figura 3-2) y en el Foto 4-1, que

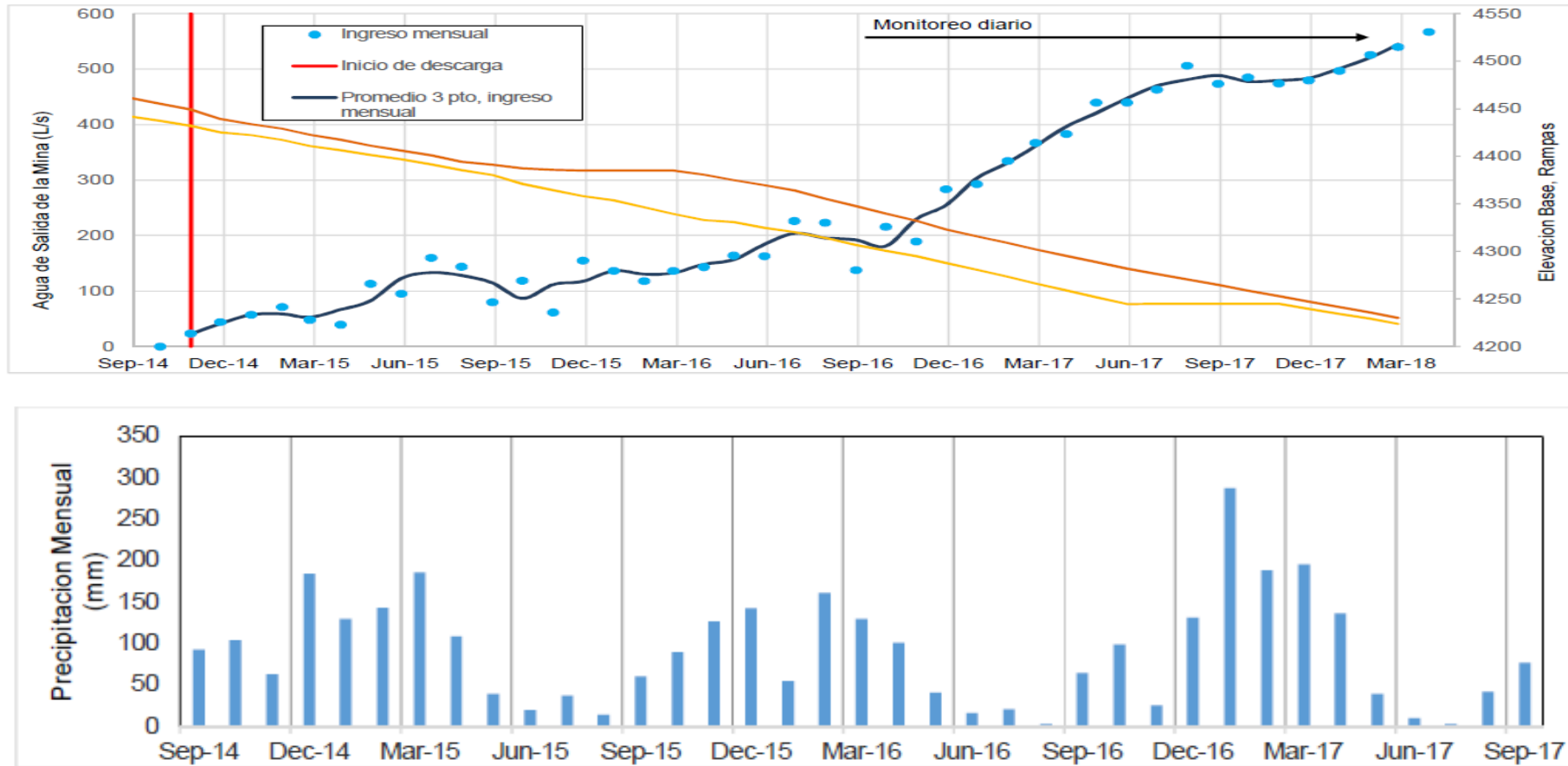
muestra afloramientos de la formación Jumasha al este del yacimiento, se puede notar la presencia de estructuras con rumbo ENE-OSO al NE-SO.

Foto 4-1: Afloramientos de caliza de la formación Jumasha mostrando fallas con orientación NE-SO



Fuente: Propio

Figura 4-1: Ingresos históricos de agua subterránea hacia la mina con precipitación mensual estimado, cuenca laguna Yanacocha

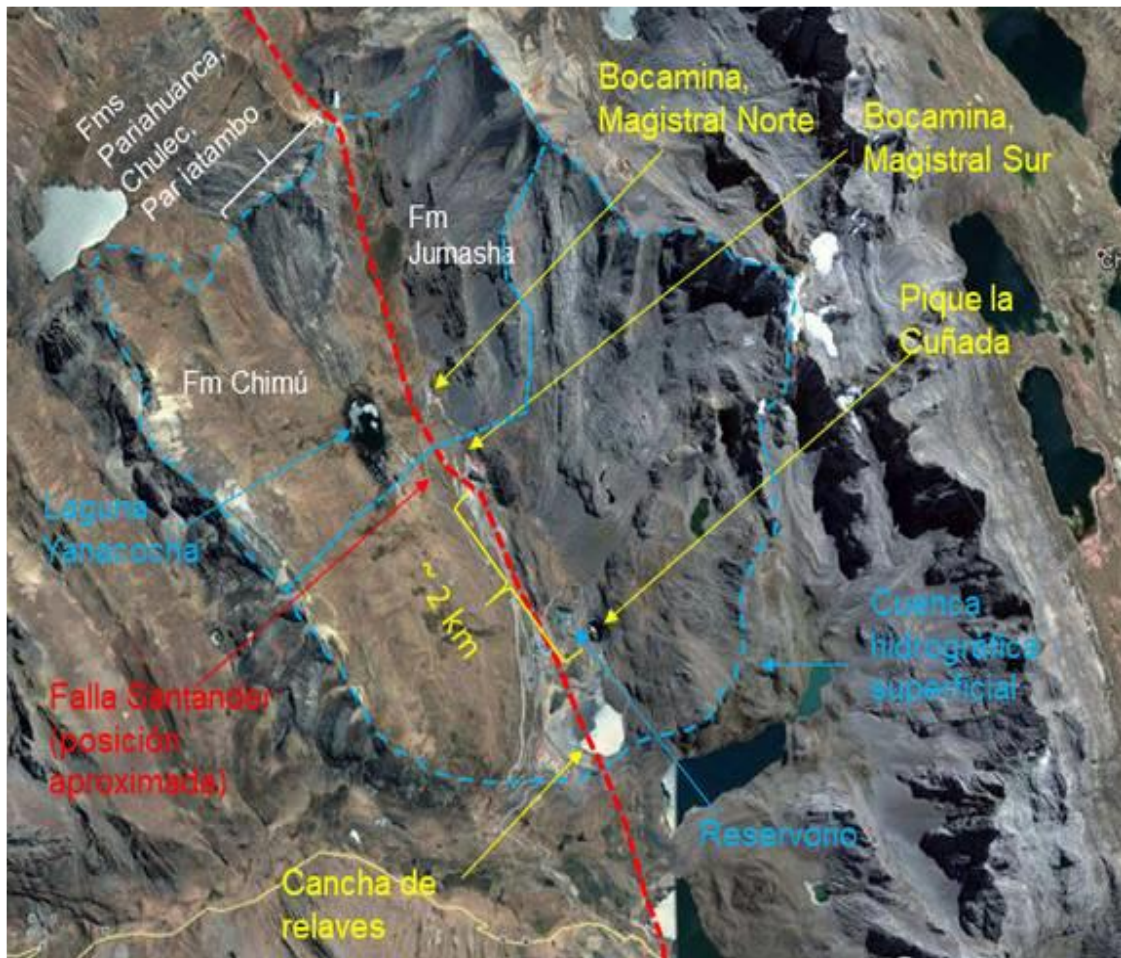


Fuente: Propia



Como se muestra en la Sección 2.2.3 y la Figura 2-5, hasta ahora, se estima que la mina toma un estimado promedio de 150 a 180 L/s de agua superficial y subterránea anualmente desde la sub-cuenca de la laguna Yanacocha. El Foto 3-2 muestra la cuenca hidrográfica del río Baños hasta la relavera de la mina Santander.

**Figura 24** Cuenca hidrográfica, Río Baños superior, sub-cuenca de laguna Yanacocha

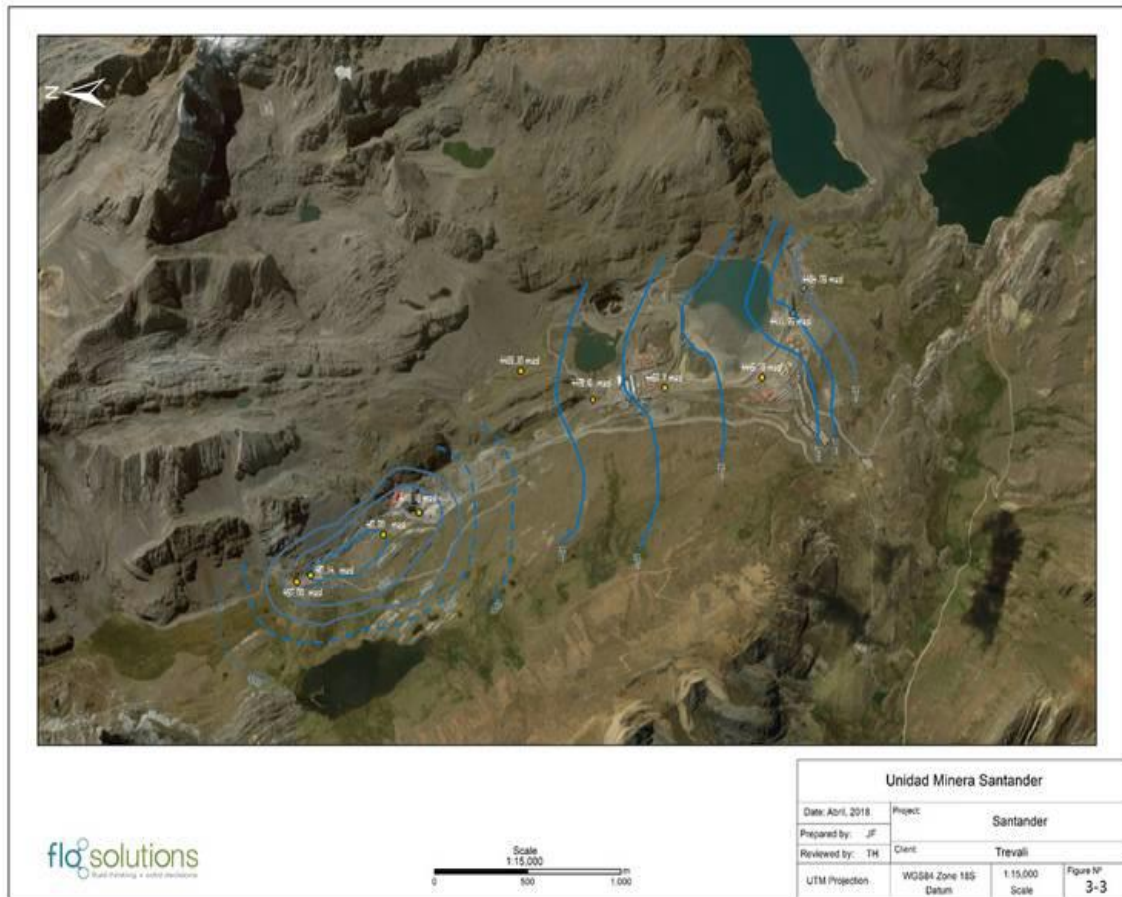


Fuente Propia

La Figura 2 Muestra la capa freática alrededor de la mina. Falta puntos de monitoreo en esta zona.



Figura 3-3: Plan de la capa freática interpretada, abril 2021



Fuente: Propia

#### 4.3.7. Ingresos Futuros

##### ➤ Metodología

Se ha realizado un estimado de ingresos futuros hacia la mina Magistral en base de:

- Una revisión de los ingresos históricos relacionado con la tasa de hundimiento de la mina;
- El plan de mina hasta diciembre 2022;
- Consideración de los cambios potenciales en las propiedades hidráulicas de la roca en profundidad;
- Consideración de las pérdidas hidráulicas que puede reducir los futuros ingresos.

➤ **Plan de Mina**

La Figura 3 muestra el avance planificado para la mina Magistral hasta fin de diciembre 2022. La Figura 3-4 muestra las elevaciones bases de las rampas históricas y planificadas, junto con los ingresos de agua subterránea hacia la mina históricos y predichos. El plan muestra la siguiente:

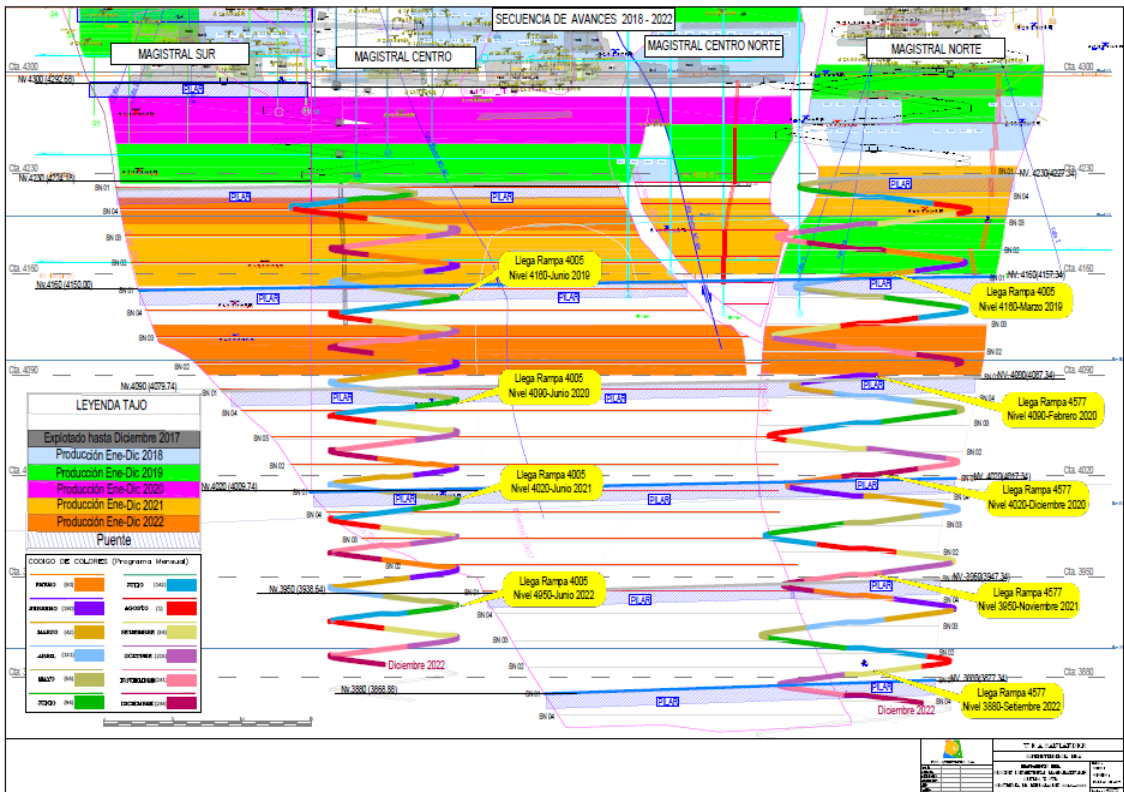
- La tasa de hundimiento de la Rampa 4005 (Magistral Sur y Central) va a disminuir ligeramente desde su tasa de hundimiento actual, aparte del periodo de parada de excavación de la rampa en 2020, llegando por una elevación aproximada de 3915 msnm, unos 305 m por debajo del base actual;
- La tasa de hundimiento de la Rampa 4577 (Magistral Norte) va continuar mayormente con la misma tasa del presente, llegando a una elevación aproximada de 3859 msnm, unos 365 m por debajo de la base actual.
- Mientras que la Rampa 4005 está actualmente en el punto más bajo de la mina, la Rampa 4577 sería el punto más profundo antes del fin de 2020;
- La longitud del cuerpo mineralizado, y por ende, los labores de desarrollo, disminuye con profundidad, desde 700 m actualmente hasta aproximadamente 455 m al fin de diciembre 2022.

➤ **Controles en los Ingresos**

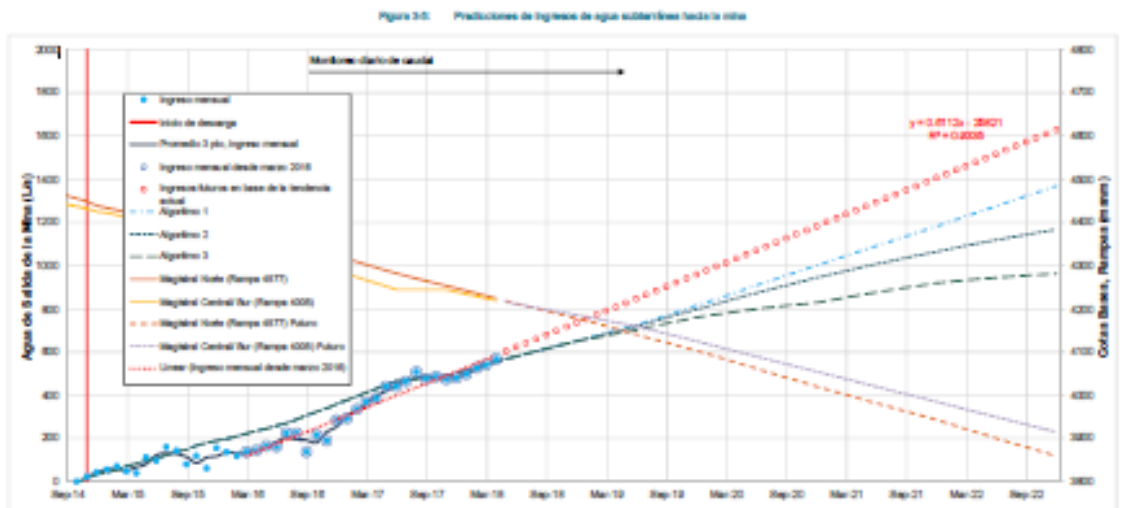
Hasta ahora, en base de los datos limitados de investigación por medio de perforación, no se prevé un cambio importante en la geometría del depósito o las unidades hidrogeológicas claves con profundidad.

- Actualmente la mina esta aproximadamente 420 m de profundidad. El plan de mina va profundizar hasta una profundidad de aproximadamente 780 m. Con la profundización de la mina, se espera cinco factores que puede disminuir los ingresos de agua hacia la mina:
  - Una reducción en la tasa de hundimiento de la mina;
  - Incremento de la carga litostática, lo que resulta en incremento de estrés y la reducción gradual de la apertura de fracturas.
  - En la literatura, se nota reducciones marcadas desde profundidades de aproximadamente 500 m en profundidad;
  - Incremento en la gradiente hidráulica, lo que genera flujo no-Darcian, o turbulento, en las fracturas, que sirven para reducir la velocidad de flujo;
  - Una reducción en la longitud de las labores con profundidad desde 700 hasta 280 m, que debe reducir la intersección de la mina con estructuras llevando agua hacia la mina;
  - Un límite en el escurrimiento desde la laguna Yanacocha. Como se muestra en la Figura 5, queda poca agua descargando desde la Laguna Yanacocha, ya que la mina está derivando un estimado 150 a 180 L/s. Para el año 2021, se estima que hubo solo un promedio de 12 L/s de descarga. Entonces la fuente de agua superficial llegará a un límite que limitará los ingresos hacia la mina.

Figura 25 Límite de escurrimiento laguna Yanacocha.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

La Figura 3-4 muestra la tendencia de ingresos promedio si no hubo ningún cambio a los parámetros que afectan los ingresos hacia la mina, llegando a un ingreso de 1629 L/s al fin de 2022. Se muestra adicionalmente.

**El Algoritmo 1**, que considera los cambios en la tasa de hundimiento de la mina. Se ha utilizado los datos del último mapeo para derivar la siguiente expresión.

$$I_{i+1} = I_i + 2.5 (0.34TH_{4577} + 0.66TH_{4005})$$

Donde:

I: Ingresos de agua subterránea

i: mes

TH<sub>4577</sub>: Tasa de hundimiento, Rampa 4577

Se nota que esta expresión acomoda bien los ingresos hacia la mina desde julio 2021 hasta ahora. Esta expresión resulta en un ingreso final de 1369 L/s al fin de 2022.

**El Algoritmo 2:** considera la reducción gradual en la conductividad hidráulica y el incremento en el componente de flujo turbulenta con profundidad. Se ha estimado estos efectos, y queda una incertidumbre importante. Se ha derivado la siguiente expresión para los ingresos futuros, que asume una reducción gradual desde la profundidad actual hasta una reducción total en 1000 m de profundidad.

$$I_{i+1} = I_i + 2.5 (0.34TH_{4577} + 0.66TH_{4005}) \times (1 - (D - 420)/580)$$

Donde:

D: Profundidad total (m)

Se nota una reducción hasta 1167 L/s al fin de 2022. Es posible que estas reducciones son las mínimas, pero se ha dejado el cálculo de forma conservadora.

**El Algoritmo 3:** contempla la reducción en longitud de las labores, utilizando un factor para reducir los ingresos progresivamente hasta 50% de proporción de longitud inicial hasta longitud final.

$$I_{i+1} = I_i + 2.5 (0.34TH_{4577} + 0.66TH_{4005}) (1 - (D - 420)/580) \times \text{promedio} (L_{i+1}/L_{0,1})$$

Donde:

$L_{i+1}$ : Longitud de la etapa (m)

$L_0$ : Longitud inicial (m)

Se nota una reducción hasta 963 L/s al fin de 2022.

De forma conservadora, no se ha considerado el efecto de recarga desde agua superficial reportado a la Laguna Yanacocha. Se considera el ingreso de Algoritmo 3 como el mejor estimado de ingresos finales a la mina. La Tabla 3 presenta los ingresos estimados al fin de cada año. Se estima que los ingresos finales pueden variar entre 800 y 1300 L/s.

### **Tabla 3: Ingresos estimados a la mina Santander**

La Figura 3-4 muestra la tendencia de ingresos promedios si no hubo ningún cambio a los parámetros que afectan los ingresos hacia la mina, llegando a un ingreso de 1629 L/s al fin de 2022.

Se muestra adicionalmente el Algoritmo 1, que considera los cambios en la tasa de hundimiento de la mina. Se ha utilizado los datos del último mapeo para derivar la siguiente expresión.

$$I_{i+1} = I_i + 2.5 (0.34TH_{4577} + 0.66TH_{4005})$$

Donde:

$I$ : Ingresos de agua subterránea

$i$ : mes

$TH_{4577}$ : Tasa de hundimiento, Rampa 4577

Se nota que esta expresión acomoda bien los ingresos hacia la mina desde julio 2020 hasta ahora. Esta expresión resulta en un ingreso final de 1369 L/s al fin de 2022.

**El Algoritmo 2**, considera la reducción gradual en la conductividad hidráulica y el incremento en el componente de flujo turbulento con profundidad. Se ha estimado estos efectos, y queda una incertidumbre importante. Se ha derivado la siguiente expresión para los ingresos futuros, que asume una reducción

gradual desde la profundidad actual hasta una reducción total en 1000 m de profundidad.

$$li+1 = li + 2.5 (0.34TH4577 + 0.66TH4005) \times (1-(D-420))/580$$

Donde:

D: Profundidad total (m)

Se nota una reducción hasta 1167 L/s al fin de 2022. Es posible que estas reducciones son las mínimas, pero se ha dejado el cálculo de forma conservadora.

**El Algoritmo 3:** contempla la reducción en longitud de las labores, utilizando un factor para reducir los ingresos progresivamente hasta 50% de proporción de longitud inicial hasta longitud final.

$$li+1 = li + 2.5 (0.34TH4577 + 0.66TH4005) (1-(D-420))/580 \times \text{promedio} (Li+1/L0,1)$$

Donde:

Li+1: Longitud de la etapa (m)

L0: Longitud inicial (m)

Se nota una reducción hasta 963 L/s al fin de 2022.

De forma conservadora, no se ha considerado el efecto de recarga desde agua superficial reportado a la Laguna Yanacocha. Se considera el ingreso de Algoritmo 3 como el mejor estimado de ingresos finales a la mina. La Tabla 9 presenta los ingresos estimados al fin de cada año. Se estima que los ingresos finales pueden variar entre 800 y 1300 L/s.

**Tabla 9 Ingresos estimados a la mina Santander**

Mes/ Año	Elevación Base (msnm)	Mejor Estimado de Ingresos (L/s)
Diciembre 2018	4178	651
Diciembre 2019	4103	760
Diciembre 2020	4020	828
Diciembre 2021	3943	919
Diciembre 2022	3859	963

Fuente: Propia

#### **4.3.8. Manejo de ingresos de agua subterránea**

El incremento en los ingresos de agua subterránea hacia la mina presentará un incremento en la dificultad en avanzar las labores de acceso y en la extracción de mineral. Se recomienda la implementación del siguiente procedimiento para poder avanzar las labores de forma confiable y extraer mineral de forma eficiente y minimizando los riesgos asociados con agua subterránea.

##### **➤ Instalación de taladros de drenaje y obturadores**

Proponemos el establecimiento de galerías de drenaje / taladros de drenaje en un punto de dos o tres subniveles por debajo del nivel activo más bajo.

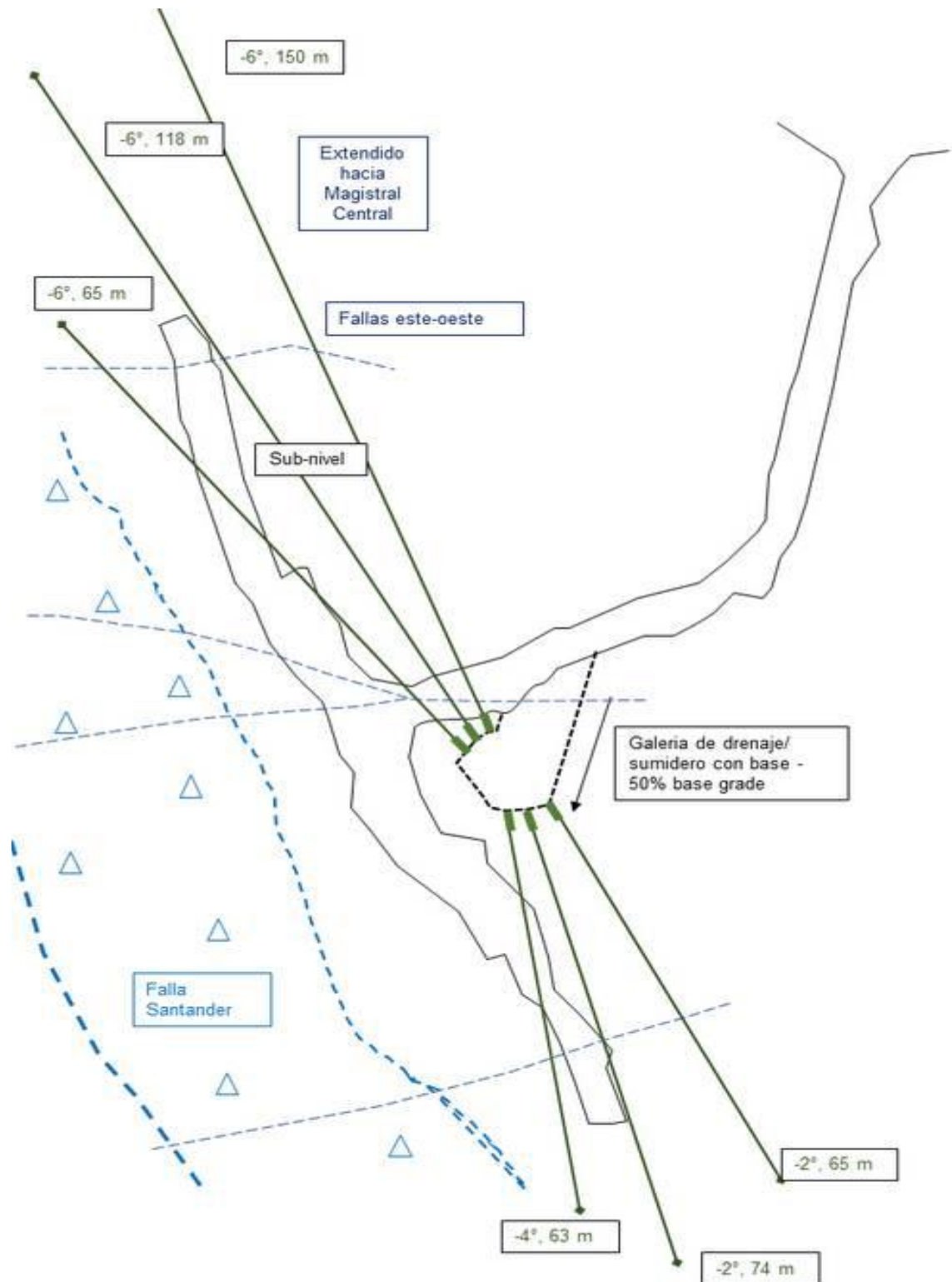
Requiere las siguientes acciones:

- Impermeabiliza la masa de roca con inyección de cemento antes de la excavación de la rampa, crucero y la galería de drenaje/ sumidero antes de su excavación. Avanzar la rampa y el corte transversal utilizando taladros de 2 - 20 m perforados en un ligero ángulo de declive (-5 a - 10°), e inyección de cemento donde se encuentra el agua. Luego excavar la labor hasta cerca del alcance final de los taladros (por ejemplo, 6 rondas) y luego repetir el proceso.



- Excavar una estación de perforación de 6 x 6, y excavación del piso de -30 a -50%, dejando un espacio adecuado para poder ubicar y orientar la máquina de perforación. En la excavación en el piso se debe dejar los bloques de roca que servirán como piso para la plataforma de perforación.
- Perforar ante pozos de 1.5 m de longitud y 200 mm (8 ") de diámetro e instalar obturadores mecánicos.
- Perforación diamantina HQ a través de los obturadores para apuntar a las estructuras E-W, evitando la Falla Santander, reduciendo el tiempo, el costo y las dificultades en la perforación a través de la Falla Santander.
- La capacidad máxima de cada taladro es estimada en el rango de 50 a 70 L/s.
- Una vez que los sondajes se hayan completado, cerrar las válvulas y extraer los bloques de roca para dejar un sumidero, dejando acceso a las válvulas.
- Instalar las bombas y abrir las válvulas. Dado que en cualquier caso se requerirá la impermeabilización de la rampa y las labores de acceso, el incremento del costo se estima en alrededor de \$ 80,000 por nivel de drenaje. Estos podrían espaciarse cada 2 o 3 subniveles.

Figura 4-1: Esquema de la galería de drenaje y taladros de drenaje



Fuente: Propia

- Los "pre-sondajes" de 2 m de longitud y los obturadores se construirían del mismo diámetro para cada uno de los taladros de drenaje, perforados en un patrón de ventilación de la galería de drenaje. El diámetro del "pre-sondaje" dependerá de la capacidad del contratista; sin embargo, se prevé que se necesitará un diámetro de hasta 150 mm (6"). Los taladros de drenaje de diámetro HQ serían perforado para pasar justo debajo del subnivel, atravesar y pasar a través de la falla de Santander. Como ensayo inicial, el objetivo sería interceptar la falla de Santander a intervalos de 25 m a lo largo del subnivel propuesto. Los obturadores se diseñaron para su reutilización en niveles más profundos, construidos en acero inoxidable 304.

➤ **Pruebas Hidráulicas / Monitoreo de Presión**

Se realizarán pruebas hidráulicas en los taladros de drenaje instalados de la misma manera que fueron realizados en los drenes de pruebas similares a los realizados en las pruebas descritas a continuación:

**4.4. Discusión de resultados**

**4.4.1. Instrucciones para la recolección de datos Hidrogeológicos desde taladros de perforación Diamantina.**

La perforación de taladros diamantinos de recursos y geotécnicos brindará la

oportunidad de realizar lo siguiente:

- Recolectar datos con respecto a la intersección de las zonas con agua;
- Recolectar información hidráulica;
- Recolectar información piezométrica;
- Recolección de datos de química básica de agua; y
- Instalación de piezómetros de alambre vibrante para una monitorización piezométrica en curso.

### **Monitoreo de zonas de ingreso de agua (perforadores)**

- El monitoreo de las zonas de alta presión de agua o pérdidas de circulación debe realizarse en todos los pozos de recursos. Registro de profundidad en las zonas de alta presión, hueco y zonas de pérdida de circulación se pierdan y se encuentren nuevamente y si alguna medida fue tomada para remediarlas.
- Documentación de las zonas de flujo artesiano (agua que fluye del taladro de perforación).

### **Datos hidráulicos (hidrogeólogos y perforistas)**

Si se encuentran zonas de flujo artesiano durante la perforación, o al final de la perforación, se debe detener la circulación de la perforación y registrar los volúmenes de flujo de descarga, utilizando un contenedor de 10 o 20 litros y un cronómetro u otro método. La medición del flujo debe incluir el caudal, la fecha, la hora, la profundidad del orificio de perforación en el momento de la medición y la calidad básica del agua (temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (EC) y potencial redox (Eh)). Las pruebas hidráulicas de cierre también se pueden llevar a cabo utilizando un obturador y válvula de compuerta en ambos orificios subverticales profundos y en los orificios de perforación sub horizontales

### **Datos piezométricos**

Las mediciones periódicas del nivel del agua deben tomarse de los pozos profundos de perforación de recursos, particularmente donde el taladro ha permanecido inactivo por un período. La medición del nivel de agua debe incluir la fecha, la hora, la profundidad del agua por debajo del nivel de deriva y la profundidad del agujero de perforación en el momento de la medición. Las mediciones de presión también se pueden recoger de los pozos artesianos que fluyen o de los pozos subhorizontales que fluyen usando un obturador mecánico y la configuración del manómetro.

### **Recopilar datos de calidad del agua**

Los agujeros de perforación artesianos que fluyen proporcionarán la oportunidad de recolectar fácilmente muestras de calidad del agua de la profundidad que pueden analizarse y usarse para predecir la calidad futura de la mina y también para ayudar a interpretar el sistema de flujo de agua subterránea. Los parámetros de monitoreo deben incluir aniones clave (cloruro, sulfato, flúor, nitrato y nitrato), metales disueltos (incluyendo calcio, magnesio, sodio, potasio y otros monitoreados rutinariamente) y parámetros fisicoquímicos básicos, incluyendo sólidos disueltos totales, alcalinidad total y pH.

El muestreo debe incluir la recolección de muestras duplicadas y ciegas para fines de control de calidad.

## Equipos y materiales

ACTIVIDAD	Equipos, Materiales y Herramientas	Cantidad	Unidades	Responsable de suministrar equipos y materiales
<b>SELLADO DEL SUMIDERO</b>	Camioneta 4 x 4 + Conductor	1	Und	Trevall
	Equipo para mezcla de cemento y accesorios para inyección	1	Und	Trevall
	Boisas de cemento	100*	Und	Trevall
	Boisas de bentonita	10*	Und	Trevall
	Cámara fotográfica	1	Und	FS
<b>CAMBIO DE PAQUETES DE CARBÓN, MONITOREO DE CAUDAL Y PARÁMETROS DE CALIDAD BÁSICA DEL AGUA</b>	Camioneta 4 x 4 + Conductor	1	Und	Trevall
	Paquete de carbón	6	Und	FS
	Medidor de parámetros de calidad básica del agua	2	Und	FS
	Medidor de Conductividad eléctrica + TDS	2	Und	FS
	Balde graduado de 20 litros	2	Und	FS
	Jarra de 1 litro	1	Und	FS
	Agua destilada	1	Li	FS
	Cooler para paquetes de carbón instalados	1	Und	FS
	Guantes de latex cortos	20	Und	FS
	Boisas Ziploc por caja	1	Und	FS
	Boisas oscuras	20	Und	FS
	Frasco de 50 ml oscuro	10	Und	FS
	Cámara fotográfica	1	Und	FS
	Cronómetro	1	Und	FS
	Equipo celular móvil de comunicación	1	Und	FS
	Equipo de comunicación - Radio	1	Und	Trevall
	Cuter	1	Und	FS
	Cuerda de Nylon de 50m	1	Und	FS
	Laptop	1	Und	FS

Pizarra acrílica pequeña	1	Und	FS
Marcador de punta gruesa color negro	2	Und	FS
Marcador de punta delgada color negro	2	Und	FS

\* Se está considerando una cantidad de materiales holgada.

Fuente: Propia

**Los equipos de protección personal para el presente trabajo son:**

**EPP Básico:**

- Casco;
- Lentes de seguridad con protección UV;
- chaleco con cintas reflectivas;
- Zapatos de seguridad.

**EPP específico:**

- Guantes de látex;
- Protector auditivo;
- Protector solar;
- Lámpara minera con cinturón de cuero;
- Mameluco con cintas reflectivas;
- Respirador con filtro para gases;
- Botas de jebe con punta de acero.

## CONCLUSIONES

En base de las investigaciones realizadas y análisis subsiguiente, podemos hacer las siguientes conclusiones:

1. Un estimado promedio de 570 L/s está actualmente descargando a la mina Magistral, lo que se encuentra desarrollado unos 420 metros bajo superficie. Este valor está ligeramente elevada debido de los efectos de la estación de avenidas. Aproximadamente 2/3 de esta agua reporta al sector de Magistral Sur/ Central y 1/3 hacia el sector de Magistral Norte. Un incremento en los caudales llegando al Magistral Norte esta probablemente relacionado a la profundización de la Rampa espiral 4577, lo que ahora se encuentra en cerca de lo mismo nivel de la Rampa espiral 4005, mientras que antes la Rampa 4005 siempre quedó unos 30 a 35 m por debajo de la Rampa 4577.
2. Un estimado 150 a 180 L/s de esta agua este derivado desde agua superficial y agua subterránea que normalmente fluiría a Laguna Yanacocha, con resultado que esta laguna descarga un promedio anual de 12 L/s o menos, mientras la descarga anterior frecuentemente llego hasta 150 L/s.
3. En setiembre 2017, se descubrió una dolina en la cama de lago de laguna Yanacocha, y se estima que agua de la laguna fluyo por la dolina hasta en caudal de 25 L/s. Por la fecha de descubrimiento y su posición cerca de la mina, se asume que esta agua fluyo a la mina; sin embargo, una prueba con trazadores fluorescente no llego en confirmar esta conexión. En 19 diciembre 2017, se ha sellado esta dolina con una mezcla de cemento y bentonita.
4. En base del mapeo de filtraciones en la mina subterránea y en la revisión de la geología superficial, se interpreta que la mayoría de agua subterránea que entra mina pasa por estructuras con orientación NE-SO hasta ENE-OSO. Estas estructuras están bien demarcadas en superficie, particularmente adentro de afloramientos de caliza de la formación Jumasha, donde se observa rasgos



kársticos bien desarrolladas asociadas con estas estructuras. Se postula que el agua entra estas estructuras por afloramientos de la formación Jumasha y por las cuarcitas de la formación Chimú al sur del depósito, además por las formaciones Chulec, Oyon y Carhuaz entre ellos, que quedan por debajo una cobertura de sedimentos aluviales.

5. La falla Santander, con orientación NNO y con buzamiento al OSW, que ocupa el espesor de la formación Ayón, compuesto de areniscas y capas de carbón subverticales, que se encuentra entre las formaciones competentes de Chimú, Chulec y Jumasha es un rasgo estructural de la zona. Esta falla queda muy cercana de la falla subparalela Magistral y el cuerpo mineralizado Magistral. Sin embargo, no hay evidencia a fecha que indica esta falla es una fuente importante de agua subterránea al proyecto.
6. Se ha realizado una estimación de ingresos futuros hacia la mina Magistral, utilizando métodos analíticos y un plan de mina hasta fin de 2022, proporcionado por Trevali. Se ha notado que la geología del yacimiento, incluso de su asociación con las fallas Magistral y Santander es relativamente consistente con profundidad, y los ingresos de agua están mayormente relacionadas con la tasa de hundimiento de las Rampas 4005 y 4577. Se ha desarrollado un algoritmo calibrado a los ingresos históricos. En adición se ha modificado este algoritmo por los efectos futuros esperadas de reducción en conductividad hidráulica con profundidad, incremento en flujo turbulento y la reducción en longitud del cuerpo mineralizado. Se prevé un ingreso máximo de fin del año 2022 entre 800 y 1300 L/s con un mejor estimado de 963 L/s.

## RECOMENDACIONES

Se hace las siguientes recomendaciones para avanzar el manejo de ingresos de agua subterránea hacia la mina:

1. Sigue con el modelamiento numérico de agua subterránea para dar más confianza a los ingresos estimados por métodos analíticos y para hacer una evaluación preliminar de la utilidad de un túnel de drenaje descargando en el Pique Cuñada.
2. Instalar un transductor de alta precisión en el punto TP-2<sup>a</sup> para dar datos confiables para el monitoreo constante de caudal.
3. Sigue con el programa de instalación de una galería de drenaje, implementando un programa de perforación de cobertura con cimentación para poder avanzar y construir la galería.
4. Realiza un programa de investigación hidrogeológica para evaluar las condiciones hidrogeológicas en profundidad. Esta investigación debe incluir pruebas con obturador y spinner logger para evaluar la conductividad hidráulica y perfil piezométrico en profundidad.
5. Instalación de obturadores mecánicos equipados con válvula y manómetro dentro de taladros perforados desde la mina subterránea, para proporcionar datos hidráulicos, piezométricos y de calidad de agua.
6. Actualizar el modelo numérico de agua subterránea para dar estimados más confiables de ingresos de agua subterránea por la vida de la mina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amphos 21, 2016. Evaluación Hidrogeológica y Establecimiento de Balance de Aguas Preliminar Interior Mina. Estudio Hidrogeológico e Hidrológico.
- Cerdergren, H., 1977. Seepage, Drainage and Flow Nets. 2nd Ed. Wiley-Interscience.
- Cooper, H.H. and C.E. Jacob, 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. A., Geophys. Union. Trans. 27, pp. 526-534.
- Hvorslev, J, 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations. Bull. 36, Waterways Experiment Station, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss.
- Thornthwaite, C.W. and J.E. Mather, 1955. The Water Balance. Pub. Clim. Vol. 8, No. 1.

## **ANEXOS**

## INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla A-1: Monitoreo de Ingresos de Agua Subterránea, Mina Magistral

ESTACION	ZONA	FUENTE	FECHA	HORA	CAUDAL (L/s)			METODO DE MEDICION	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS			
					Desde	A	Mejor Estimado		pH	EC (uS)	ORP (mV)	T (°C)
<b>Nv. 4300 Piso 4</b>												
MN-05	Rampa Piso 4-3 - N.4300		17-Sep	9:22			1.0		8.37	353	162	5.7
MN-06	Rampa Piso 4-3 - N.4300		17-Sep	9:29			0.5		8.48	369	167	6.3
MN-07	Rampa Piso 4-3 - N.4300		17-Sep	9:36			1.0		8.31	300	-47	5.6
<b>TOTAL Nv. 4300 Piso 4</b>									8.39	341	94	5.9
<b>Nv. 4300 Piso 3</b>												
MN-08	Rampa Piso 4-3 - N.4300		17-Sep	9:43			1.0		8.34	421	71	6.3
	Otros	Salida de la rampa			2.0	3.0	2.5					
<b>Sub-total Magistral Norte</b>												
MS-01	Piso 03 - N.4300	??	14-Sep	10:12					8.48	438	-65	6.4
<b>TOTAL Nv. 4300 Piso 3</b>									8.41	430	3	6.4
<b>Nv. 4300 Piso 2</b>												
MN-04	Piso 02 - N.4300		15-Sep	11:47	4.0	5.0	4.5		8.63	336	32	6.5
MN-09	Rampa Piso 2-1 - N.4300		17-Sep	10:37			1.0		9.07	482	253	6.5
<b>Sub-total Magistral Norte</b>												
MC-19	Piso 02 - N.4300		18-Sep	11:29			1.0		7.84	492	-123	6.1
AFORO 19	Piso 02 - N.4301						5.5					
AFORO 187 / MC-18	Piso 02 - N.4300		18-Sep	11:01			15		7.55	503	42	6
<b>Sub-total Magistral Central</b>												
AFORO 1	Galería Sur	Taladros, fracturas, pemos					22					
AFORO 2	Galería Sur	Taladros, fracturas, pemos					10					
<b>Sub-total Magistral Sur</b>												
<b>TOTAL Nv. 4300 Piso 2</b>									8.27	453	51	6.3
<b>Nv. 4300 Piso 1</b>												
MN-01	Piso 01 - N.4300	Piso	15-Sep	10:45			0.5		8.01	483	44	6.4
MN-02	Piso 01 - N.4300	Piso	15-Sep	10:59			3.0		8.55	276	-91	5.6
MN-10	Rampa Piso 2-1 - N.4300	Fracturas	17-Sep	10:44	4.0	5.0	4.5		9.22	297	-71	5.5
MN-11	Rampa Piso 2-1 - N.4300	Fractura 250/85	17-Sep	10:55			0.5		8.24	296	-50	5.5
MN-12	Rampa Piso 2-1 - N.4300	Fractura	17-Sep	10:58			1.0		8.14	293	-106	5.4
MN-13	Rampa Piso 2-1 - N.4300	Fractura 270/85	17-Sep	11:01			0.5		8.27	300	-45	6
MN-03/ AFORO 5	Rampa Piso 2-1 - N.4300; Aguas abajo de MN-10 a 13		15-Sep	11:34			22		8.42	300	-27	6
Otros							1.0					
<b>Sub-total Magistral Norte</b>												
<b>TOTAL Nv. 4300 Piso 1</b>												

Fuente Propia

Tabla A-1: Monitoreo de Ingresos de Agua Subterránea, Mina Magistral

ESTACION	ZONA	FUENTE	FECHA	HORA	CAUDAL (L/s)			METODO DE MEDICION	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS				
					Desde	A	Mejor Estimado		pH	EC (µS)	ORP (mV)	T (°C)	
MC-07	Piso 01 - N.4300		17-Sep	15:03					8.7	467	-109	6.4	
AFORO 9		Aguas abajo de galería del sur?					2.0	Flujometro					
AFORO 11		Aguas abajo del fondo de galería al norte?					2.7	Flujometro					
MC-08	Piso 01 - N.4300	Tech y piso	17-Sep	15:23					8.95	414	-179	5.9	
MC-12	Piso 01 - N.4300	Fracturas 270/80	17-Sep	15:41			0.5		8.21	446	-140	6.1	
MC-09	Piso 01 - N.4300	Piso	17-Sep	15:27			0.5		8.34	389	-167	6	
MC-10	Piso 01 - N.4300	Pernos	17-Sep	15:32			0.5		8.36	350	-100	6.5	
MC-11	Piso 01 - N.4300	Pernos	17-Sep	15:38			0.5		8.44	370	-135	6.9	
AFORO 10		Aguas abajo de galería al norte?					2.5	Flujometro					
MC-02	Piso 01 - N.4300	Piso	15-Sep	17:04			0.5		9.56	466	-244	6.4	
MC-03	Piso 01 - N.4300	Perno	15-Sep	17:12			0.5		8.76	474	-138	6.6	
MC-04	Piso 01 - N.4300	Falla 280/85	15-Sep	17:22			3.0		8.42	445	-132	5.9	
MC-05	Piso 01 - N.4300	Taiadro	15-Sep	17:28			1.0		8.81	469	-191	6.4	
MC-06	Piso 01 - N.4300	Taiadro	15-Sep	17:33			1.0		8.5	529	-140	6.2	
AFORO 8		Aguas abajo de MC-02, galería sur de veta caja ple					7.2	Flujometro					
MC-14	Piso 01 - N.4300	Falla 90/80	17-Sep	16:04	1.0	2.0	1.5		8.34	399	-133	5.8	
AFORO 13		Aguas abajo de MC-14 y galería sur de veta caja ple					10						
AFORO 14		Aguas abajo de galerías de veta principal y veta caja ple, AFOROS 8, 9, 10 Y 13??					48						
MC-15	Piso 01 - N.4300	Perno	17-Sep	16:30			1.0		8.52	430	-146	6.1	
MC-16	Piso 01 - N.4300	Perno	17-Sep	16:35			0.5		8.48	429	-135	6.1	
MC-17/ AFORO 15	Piso 01 - N.4300	Taiadro	17-Sep	16:42			5.6		8.7	380	-122	6	
AFORO 16		Aguas abajo de AFOROS 14 y 15					55						
MC-01/ AFORO 6	Piso 01 - N.4300	Taiadros	15-Sep	16:40			2.4	Flujometro	8.34	353	-192	6.8	
AFORO 7		Aguas abajo de Aforo 6 y filtraciones desde relleno					20	Flujometro					
MC-13	Piso 01 - N.4300	??	17-Sep	15:52					8.08	446	68	6.2	
Sub-total Magistral Central							75						
MS-02	Piso 02 - N.4300	Taiadros	14-Sep	10:58					8.55	433	-113	6.5	
MS-03	Piso 02 - N.4300	Falla E-O	14-Sep	11:04					8.16	248	-154	6.3	
MS-04	Piso 01 - N.4300	Filtraciones por relleno	14-Sep	11:09					8.2	268	-52	6.1	
AFORO 3		Aguas abajo de MS-02, 03, 04					102	Flujometro					
Sub-total Magistral Sur							102	Promedio	8.52	410	-133	6.3	
TOTAL Nv. 4300 Piso 1							200						
Nv. 4230 Piso 4													
MS-05A	Piso 04 - N.4230	Fracturas 60°/70°	15-Sep	9:51	50	60	59		8.04	495	-46	6.5	
MS-05B	Piso 04 - N.4231	Pernos y fracturas	16-Sep				6						
AFORO 4	Aguas abajo MS-05						65	Flujometro					

Fuente Propia

Tabla A-1: Monitoreo de Ingresos de Agua Subterránea, Mina Magistral

ESTACION	ZONA	FUENTE	FECHA	HORA	CAUDAL (L/s)			METODO DE MEDICION	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS				
					Desde	A	Mejor Estimado		pH	EC (µS)	ORP (mV)	T (°C)	
MS-07	Rampa entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Piso	18-Sep	9:05			0.5		7.86	387	-120	5.8	
MS-06	Rampa entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230		18-Sep	8:57			0.5		7.28	463	167	5.5	
MS-08	Rampa entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Perno y fractura E-O	18-Sep	9:15			0.5		7.45	652	49	5.8	
MS-09	CX entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Fractura D/85	18-Sep	9:33			0.5		7.41	414	-25	5.3	
MS-10	CX entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Perno	18-Sep	9:44			0.5		7.43	445	12	5.1	
MS-11	CX entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Fracturas (180/20, 120/85, 90/85), Perno	18-Sep	9:47			1.0		7.39	424	11	5	
MS-12	CX entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Perno, fracturas	18-Sep	9:55			1.0		7.61	395	-11	4.6	
AFORO 17	MS-06 HASTA MS-12						10	Flujometro					
Sub-total Magistral Sur							75						
MC-20	Rampa entre Piso 1 centro (N.4300) y piso 4 sur (N.4230)	Fracturas bajo shotcrete?	19-Sep	16:48			1.0		7.71	473	-103	6	
MC-21	Rampa entre Piso 4 centro (N.4230) y piso 3 sur (N.4230)	Fractura 240/40	19-Sep	17:19	1.0	2.0	1.5		7.75	520	114	5.9	
Otros	CX entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro- N.4230	Chimenea, techo	18-Sep				1.5						
Sub-total Magistral Central							4.0	Promedio	7.59	467	5	5.6	
TOTAL Nv. 4230 Piso 4							79						

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro							
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno				
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128				
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal		Hidrogeólogo				
$v_c = av + b$ v = Velocidad medida. v <sub>c</sub> = Velocidad corregida.	a	b	$Q_1 = d_1 \times \left( \frac{h_1 + h_{1-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_1 + v_{1-1}}{2} \right)$		Jocsan Vargas / Eduardo Ávila				
	1.0125	0.0027							
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)	
1	Aforo_01	0.15	0.07	0.10	0.10	0.00	1	47	
		0.15	0.09	0.80	0.81	0.01	5	475	
	Fecha de medición	0.15	0.09	0.80	0.81	0.01	11	948	
		0.15	0.02	0.30	0.31	0.00	5	399	
	2017-09-14	0.02	0.00	0.10	0.10	0.00	0	4	
	h <sub>0</sub> (m)								
	0.00								
	v <sub>0</sub> (m/s)								
	0.10								
<b>Total</b>							<b>22</b>	<b>1873</b>	
OBSERVACIONES: Piso 3, Magistral Sur.									

Fuente: Propia



## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método		Correntómetro						
			Marca	Modelo	Serie	Código Interno			
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".		Global Water	FP 111	1226004861	6000128			
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal			Hidrogeólogo			
$V_c = aV + b$ V = Velocidad medida. V <sub>c</sub> = Velocidad corregida.	a	b	$Q_i = d_i \times \left( \frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right) \times \left( \frac{V_i + V_{i-1}}{2} \right)$			Jocsan Vargas / Eduardo Ávila			
	1.0125	0.0027							
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)	
2	Aforo_02	0.10	0.06	0.10	0.10	0.00	0	27	
		0.10	0.09	0.70	0.71	0.00	3	264	
	Fecha de medición	0.10	0.08	0.50	0.51	0.01	5	448	
		0.10	0.03	0.10	0.10	0.00	2	146	
	2017-09-14	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0	13	
	h <sub>y</sub> (m)								
	0.00								
	V <sub>y</sub> (m/s)								
	0.10								
<b>Total</b>							<b>10</b>	<b>898</b>	
OBSERVACIONES: Piso 3, Magistral Sur.									

Fuente Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro							
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno				
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128				
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal			Hidrogeólogo			
$v_c = av + b$ <small>v = Velocidad medida. v<sub>c</sub> = Velocidad corregida.</small>	a	b	$Q_v = d_v \times \left( \frac{h_1 + h_{1-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_1 + v_{1-1}}{2} \right)$			Jocsan Vargas / Eduardo Ávila			
	1.0125	0.0027							
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)	
3	Aforo_03	0.20	0.11	1.00	1.02	0.01	10	894	
		0.20	0.12	1.10	1.12	0.02	24	2072	
	Fecha de medición	0.20	0.11	1.20	1.22	0.03	26	2269	
		0.20	0.09	1.10	1.12	0.02	23	1966	
	2017-09-14	0.20	0.05	0.80	0.81	0.01	14	1167	
		0.20	0.05	0.30	0.31	0.01	6	483	
	h <sub>v</sub> (m)								
	0.08								
	v <sub>v</sub> (m/s)								
	0.10								
	<b>Total</b>							<b>102</b>	<b>8852</b>
	OBSERVACIONES: Piso 2, Magistral Sur.								

Fuente Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro						
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno			
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128			
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal		Hidrogeólogo			
$V_c = aV + b$ V = Velocidad medida. V <sub>c</sub> = Velocidad corregida.	a	b	$Q_i = d_i \times \left( \frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \right)$		Jocsan Vargas / Eduardo Ávila			
	1.0125	0.0027						
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)
4	Aforo_04	0.30	0.09	0.20	0.21	0.00	2	180
		0.30	0.12	0.40	0.41	0.01	10	834
	Fecha de medición	0.30	0.10	0.30	0.31	0.01	12	1018
		0.30	0.10	0.50	0.51	0.01	12	1057
	2017-09-15	0.30	0.10	0.40	0.41	0.01	14	1188
		0.30	0.09	0.40	0.41	0.01	12	1004
	h <sub>v</sub> (m)	0.30	0.00	0.10	0.10	0.00	3	298
	0.00							
	v <sub>v</sub> (m/s)							
	0.10							
<b>Total</b>							<b>65</b>	<b>5579</b>
OBSERVACIONES: Piso 4, Magistral Sur, nivel 4200.								

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro						
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno			
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128			
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal		Hidrogeólogo			
$v_c = av + b$ v = Velocidad medida. v <sub>c</sub> = Velocidad corregida.			$Q_1 = d_1 \times \left( \frac{h_1 + h_{1-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_1 + v_{1-1}}{2} \right)$		Jocaan Vargas / Eduardo Ávila			
a	b	1.0125				0.0027		
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)
5	Aforo_05	0.10	0.05	0.30	0.31	0.00	1	44
		0.10	0.07	0.80	0.81	0.00	3	290
	Fecha de medición	0.10	0.06	1.00	1.02	0.01	6	513
		0.10	0.05	0.60	0.61	0.00	4	386
	2017-09-15	0.10	0.06	0.40	0.41	0.00	3	242
		0.10	0.06	0.40	0.41	0.00	2	211
	h <sub>0</sub> (m)	0.10	0.05	0.30	0.31	0.00	2	170
		0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	1	44
	0.00							
	v <sub>0</sub> (m/s)							
	0.10							
	<b>Total</b>							<b>22</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>		Salida de la rampa entre Piso 1 y Piso 2 de Magistral Norte.						

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro							
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno				
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128				
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal			Hidrogeólogo			
$v_c = av + b$ v = Velocidad medida. v <sub>c</sub> = Velocidad corregida.			a	b	$Q_i = d_i \times \left( \frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \right)$	Jocsan Vargas / Eduardo Ávila			
			1.0125	0.0027					
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)	
6	Aforo_06	0.13	0.05	0.40	0.41	0.00	1	69	
		0.25	0.00	0.10	0.10	0.00	2	138	
	Fecha de medición								
	2017-09-15								
	h <sub>v</sub> (m)								
	0.00								
	v <sub>v</sub> (m/s)								
	0.10								
	<b>Total</b>							<b>2.4</b>	<b>207</b>
	<b>OBSERVACIONES:</b>		Piso 1, Magistral Centro.						

Fuente: Propia

REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología		Descripción		Hidrogeólogo					
Método del Flotador		Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.		J. Vargas / E. Ávila					
N°	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD						
7	2017-09-15	Aforo_07	Presencia o no de viento			k			
			No existe presencia de viento.			0.90			
			Longitud total del tramo (m)	2.5	Medición de Tiempo (s)				
					1ra	2da	3ra		
					5.3	5.8	6.0		
					Promedio (s)			5.7	
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL						
			N° Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)
			1	0.10	0.00	0.00	0.40	0	0
			2	0.10	0.10	0.01	0.40	2	172
3	0.10	0.30	0.02	0.40	8	686			
4	0.10	0.10	0.02	0.40	8	686			
5	0.10	0.00	0.01	0.40	2	172			
6									
7									
8									
9									
10									
Total					20	1715			
OBSERVACIONES: Piso 1, Magistral Centro.									

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro							
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno				
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128				
Ecuación de Calibración			Fórmula para el Cálculo de Caudal		Hidrogeólogo				
$v_c = av + b$	a	b	$Q_1 = d_1 \times \left( \frac{h_1 + h_{1-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_1 + v_{1-1}}{2} \right)$		Jocsan Vargas / Eduardo Ávila				
v = Velocidad medida. v <sub>c</sub> = Velocidad corregida.	1.01250	0.00270							
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m³/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m³/día)	
8	Akro_08_1	0.10	0.05	0.10	0.10	0.00	0	22	
		0.10	0.08	0.30	0.31	0.00	1	115	
	Fecha de medición	0.10	0.08	0.20	0.21	0.00	2	177	
		0.10	0.06	0.30	0.31	0.00	2	155	
	2017-09-15	0.10	0.05	0.20	0.21	0.00	1	122	
		0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0	33	
	h <sub>1</sub> (m)								
	0.00								
	v <sub>1</sub> (m/s)								
	0.10								
	<b>Total</b>							7.2	624

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología			Descripción				Hidrogeólogo			
Método del Flotador			Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.				J. Vargas / E. Ávila			
Nº	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD							
8	2017-09-15	Aforo_08_2	Presencia o no de viento					k		
			No existe presencia de viento.					0.90		
			Longitud total del tramo (m)	2.9	Medición de Tiempo (s)					
					1ra	2da	3ra			
					6.5	6.4	6.8			
					Promedio (s)			6.6		
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL							
			Nº Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	
			1	0.10	0.03	0.00	0.40	1	86	
			2	0.10	0.04	0.00	0.40	1	111	
3	0.10	0.05	0.00	0.40	2	154				
4	0.10	0.04	0.00	0.40	2	154				
5	0.10	0.03	0.00	0.40	1	111				
6										
7										
8										
9										
10										
Total						7.1	618			
OBSERVACIONES: Piso 1, Magistral Centro. Se realiza este aforo por otro método en el mismo punto como medida de comprobación de toma de datos.										

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología			Descripción				Hidrogeólogo			
Método del Flotador			Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.				J. Vargas / E. Ávila			
Nº	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD							
9	2017-09-17	Aforo_09	Presencia o no de viento					k		
			No existe presencia de viento.					0.90		
			Longitud total del tramo (m)	2.3	Medición de Tiempo (s)					
					1ra	2da	3ra			
					7.2	6.9	8.1			
					Promedio (s)			7.4		
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL							
			Nº Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	
			1	0.10	0.03	0.00	0.28	1	72	
			2	0.20	0.01	0.00	0.28	1	97	
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
Total						2.0	169			
OBSERVACIONES: Piso 1, Magistral Centro.										



## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología		Descripción		Hidrogeólogo					
Método del Flotador		Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.		J. Vargas / E. Ávila					
Nº	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD						
10	2017-09-17	Aforo_10	Presencia o no de viento			k			
			No existe presencia de viento.			0.90			
			Longitud total del tramo (m)	2.6	Medición de Tiempo (s)				
					1ra	2da	3ra		
					7.3	7.1	7.7		
					Promedio (s)			7.4	
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL						
			Nº Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)
			1	0.10	0.01	0.00	0.32	0	27
			2	0.10	0.03	0.00	0.32	1	55
3	0.10	0.03	0.00	0.32	1	82			
4	0.10	0.01	0.00	0.32	1	55			
5									
6									
7									
8									
9									
10									
Total					2.5	219			
OBSERVACIONES: Piso 1, Magistral Centro.									

Fuente: Propia

## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología		Descripción		Hidrogeólogo					
Método del Flotador		Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.		J. Vargas / E. Ávila					
Nº	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD						
11	2017-09-17	Aforo_11	Presencia o no de viento			k			
			No existe presencia de viento.			0.90			
			Longitud total del tramo (m)	2.8	Medición de Tiempo (s)				
					1ra	2da	3ra		
					5.7	5.5	5.8		
					Promedio (s)			5.7	
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL						
			Nº Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)
			1	0.10	0.01	0.00	0.45	0	39
			2	0.10	0.04	0.00	0.45	1	96
3	0.10	0.01	0.00	0.45	1	96			
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
Total					2.7	231			
OBSERVACIONES: Piso 1, Magistral Centro.									

## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología		Descripción		Hidrogeólogo				
Método del Flotador		Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.		J. Vargas / E. Ávila				
N°	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD					
			Presencia o no de viento			k		
			No existe presencia de viento.			0.90		
			Longitud total del tramo (m)	2.3	Medición de Tiempo (s)			
					1ra	2da	3ra	
					4.4	4.2	4.4	
					Promedio (s)	4.3		
CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL								
N° Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)		
1	0.10	0.04	0.00	0.48	1.9	165		
2	0.10	0.04	0.00	0.48	2	165		
3	0.10	0.04	0.00	0.48	2	165		
4	0.10	0.04	0.00	0.48	2	165		
5	0.10	0.04	0.00	0.48	2	165		
6								
7								
8								
9								
10								
Total					9.6	826		
OBSERVACIONES: CX entre Piso 04 Sur y Piso 04 Centro del Nivel 4230. Se realiza este aforo por otro método en el mismo punto como medida de comprobación de toma de datos.								

## REPORTE DE CAUDALES POR EL MÉTODO DEL CORRENTÓMETRO

Metodología	Descripción del método	Correntómetro							
		Marca	Modelo	Serie	Código Interno				
ASTM D 3858-95 (2003)	"Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".	Global Water	FP 111	1226004861	6000128				
Ecuación de Calibración		Fórmula para el Cálculo de Caudal			Hidrogeólogo				
$v_c = av + b$ v = Velocidad medida. v <sub>c</sub> = Velocidad corregida.	a 1.0125	b 0.0027	$Q_i = d_i \times \left( \frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right) \times \left( \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \right)$		Jocsan Vargas / Eduardo Ávila				
N°	Estación de aforo	Ancho de segmento (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Velocidad corregida (m/s)	Caudal en segmento (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	
18	Aforo_18_1	0.10	0.04	0.10	0.10	0.00	0	22	
		0.10	0.05	0.20	0.21	0.00	1	60	
	Fecha de medición	0.10	0.05	0.40	0.41	0.00	2	132	
		0.10	0.08	0.60	0.61	0.00	3	286	
	2017-09-17	0.10	0.08	0.60	0.61	0.00	5	422	
		0.10	0.06	0.20	0.21	0.00	3	247	
	h <sub>0</sub> (m)	0.10	0.06	0.10	0.10	0.00	1	80	
		0.10	0.05	0.10	0.10	0.00	1	49	
	0.01	0.10	0.01	0.10	0.10	0.00	0	27	
	v <sub>0</sub> (m/s)								
	0.10								
	Total							15	1326
OBSERVACIONES: Piso 02, Magistral Centro.									

## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología		Descripción		Hidrogeólogo					
Método del Flotador		Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.		J. Vargas / E. Ávila					
Nº	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD						
18	2017-09-17	Aforo_18_2	Presencia o no de viento			k			
			No existe presencia de viento.			0.90			
			Longitud total del tramo (m)	3.7	Medición de Tiempo (s)				
					1ra	2da	3ra		
					9.1	8.6	8.9		
						Promedio (s)	8.9		
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL						
			Nº Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)
			1	0.20	0.02	0.00	0.38	2	130
			2	0.20	0.03	0.01	0.38	2	162
3	0.20	0.03	0.01	0.38	2	195			
4	0.20	0.04	0.01	0.38	3	227			
5	0.20	0.03	0.01	0.38	3	227			
6	0.20	0.03	0.01	0.38	2	195			
7	0.20	0.02	0.01	0.38	2	162			
8									
9									
10									
Total					15	1299			
OBSERVACIONES: Piso 02, Magistral Centro. Se realiza este aforo por otro método en el mismo punto como medida de comprobación de toma de datos.									

## REPORTE DE CAUDALES POR MÉTODO DEL FLOTADOR

Metodología		Descripción		Hidrogeólogo					
Método del Flotador		Se registra el tiempo que toma trasladarse un objeto flotador en una distancia conocida dentro de un curso de agua.		J. Vargas / E. Ávila					
Nº	Fecha de Medición	Estación de aforo	DATOS DE VELOCIDAD						
18	2017-09-17	Aforo_19	Presencia o no de viento			k			
			No existe presencia de viento.			0.90			
			Longitud total del tramo (m)	3.0	Medición de Tiempo (s)				
					1ra	2da	3ra		
					5.6	6.2	6.9		
						Promedio (s)	6.2		
			CÁLCULO DE ÁREA Y CAUDAL						
			Nº Sección	Ancho de sección (m)	Profundidad de segmento (m)	Área de segmento (m <sup>2</sup> )	Velocidad media (m/s)	Caudal total (l/s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /día)
			1	0.09	0.02	0.00	0.43	1	67
			2	0.09	0.03	0.00	0.43	1	84
3	0.09	0.04	0.00	0.43	1	118			
4	0.09	0.03	0.00	0.43	1	118			
5	0.09	0.02	0.00	0.43	1	84			
6									
7									
8									
9									
10									
Total					5.5	471			
OBSERVACIONES: Piso 02, Magistral Centro.									

Fuente: Propia





Tabla A-2: Datos de calidad de agua subterránea, Mina Magistral.

MUESTRA	FECHA	HORA	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS				ZONA
			pH	EC (uS)	ORP (mV)	T (°C)	
MS-05	25/04/2018	09:30	6.74	772	-4	6.6	Piso 4 Nv. 4230 MS
MS-13	25/04/2018	15:30	No se logró la medición.				Piso 3 Nv. 4230 MS
MS-14	25/04/2018	15:32	No se logró la medición.				Piso 3 Nv. 4230 MS
MS-15	25/04/2018	15:34	No se logró la medición.				Piso 3 Nv. 4230 MS
MS-16	25/04/2018	15:36	No se logró la medición.				Piso 3 Nv. 4230 MS
MS-17	25/04/2018	15:38	No se logró la medición.				Piso 3 Nv. 4230 MS
MS-18	25/04/2018	15:50	8.02	429	407	5.4	Rampa desde piso 3 MS a piso 2 MC. Nv. 4230
MS-19	25/04/2018	16:00	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 MC a piso 2 MS Nv. 4230
MS-20	25/04/2018	16:02	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 MC a piso 2 MS Nv. 4230
MS-21	25/04/2018	16:04	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 MC a piso 2 MS Nv. 4230
MS-22	25/04/2018	16:06	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 MC a piso 2 MS Nv. 4230
MS-23	25/04/2018	16:08	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 MC a piso 2 MS Nv. 4230
MS-24	25/04/2018	16:10	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 MC a piso 2 MS Nv. 4230
MS-25	25/04/2018	16:15	7.95	483	165	6.6	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-26	25/04/2018	16:17	8.12	428	-90	6.2	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-27	25/04/2018	16:19	8	517	25	6.5	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-28	25/04/2018	16:20	8.04	514	-78	6.6	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-29	25/04/2018	16:22	8.02	525	-62	6.6	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-30	25/04/2018	16:27	8.07	410	-90	6.4	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-31	25/04/2018	16:30	8.05	415	-22	6.9	Piso 2 Nv. 4230 MS
MS-32	25/04/2018	16:35	8.09	527	-108	6.9	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-33	25/04/2018	16:38	8.12	535	-126	6.8	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-34	25/04/2018	16:41	8.12	534	-118	6.8	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-35	25/04/2018	16:45	8.15	536	-124	6.7	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-36	25/04/2018	16:48	8.13	535	-121	6.7	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-37	25/04/2018	16:52	8.14	535	-130	6.7	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-38	25/04/2018	17:01	8.17	535	-134	6.9	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-39	25/04/2018	17:05	8.18	535	-129	6.7	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-40	25/04/2018	17:10	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-41	25/04/2018	17:15	8.18	534	-135	6.9	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-42	25/04/2018	17:20	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-43	25/04/2018	17:25	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MS-44	25/04/2018	17:30	No se logró la medición.				Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MS
MC-22	25/04/2018	14:50	8.3	464	388	6	Piso 4 Nv. 4230 MC
MC-23	25/04/2018	14:53	8.18	415	357	5.5	Piso 4 Nv. 4230 MC
MC-24	25/04/2018	14:56	8.18	408	372	5.4	Piso 4 Nv. 4230 MC
MC-25	25/04/2018	14:58	8.18	405	370	6.3	Piso 4 Nv. 4230 MC
MC-26	25/04/2018	15:55	8.18	585	335	6.8	Piso 2 Nv. 4230 MC
MN-18	26/04/2018	11:24	8.47	306	-22	6.1	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-19	26/04/2018	11:27	8.25	305	-70	5.8	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-20	26/04/2018	11:30	8.27	306	-70	5.8	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-21	26/04/2018	11:32	8.23	306	-76	5.7	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-22	26/04/2018	11:35	8.21	310	-72	5.8	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-23	26/04/2018	11:37	8.29	310	-21	6.1	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-24	26/04/2018	11:38	8.23	310	-13	5.9	Piso 1 Nv. 4300 MN
MN-25	26/04/2018	12:15	9.14	840	230	6.6	Rampa desde piso 4 a piso 3 Nv. 4230 MN
MN-26	26/04/2018	14:30	8.19	425	218	5.9	Rampa desde piso 4 a piso 3 Nv. 4230 MN
MN-27	26/04/2018	14:40	8.24	463	95	6.2	Piso 3 Nv. 4230 MN
MN-28	26/04/2018	14:45	8.18	451	32	6.2	Piso 3 Nv. 4230 MN
MN-29	26/04/2018	14:52	8.17	494	109	6.7	Piso 3 Nv. 4230 MN
MN-30	26/04/2018	15:30	8.8	445	369	7.9	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-31	26/04/2018	15:35	8.53	288	155	6.7	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-32	26/04/2018	15:37	8.4	286	-43	6.6	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-33	26/04/2018	15:40	8.27	318	19	6.3	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-34	26/04/2018	15:45	8.25	287	-39	6.2	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-35	26/04/2018	15:50	8.24	286	-65	6.2	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-36	26/04/2018	16	8.22	338	53	6.9	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-37	26/04/2018	16:02	8.21	384	-26	6.1	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-38	26/04/2018	16:15	8.25	313	-79	6.1	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN
MN-39	26/04/2018	16:20	8.2	297	27	6.3	Rampa desde piso 2 Nv. 4230 MN

Fuente: Propia

Tabla A-3: Monitoreo de Ingresos de Agua Subterránea, Mina Magistral. Cálculo por subniveles y Sectores.

Aforos Magistral Sur y Centro			Aforos Magistral Norte			Nv. 4370 Piso 1		Nv. 4330 Piso 2 y 1	
Ubicación	Caudal (Lit)	Caudal(m <sup>3</sup> /día)	Ubicación	Caudal (Lit)	Caudal(m <sup>3</sup> /día)	Ubicación	Caudal (Lit)	Ubicación	Caudal (Lit)
Aforo_01	18	1579	Aforo_10	6	521	Aforo_10	6	Aforo_07	12
Aforo_02	28	2378	Aforo_11	6	503	Suma Total	6	Aforo_16	11
Aforo_03	43	3720	Aforo_12	10	851	Nv. 4300 Piso 3		Aforo_17	5
Aforo_04	71	6182	Aforo_13	15	1319	Ubicación	Caudal (Lit)	Aforo_18	22
Aforo_05-A	6	559	Aforo_14	5	441	Aforo_11	6	Aforo_19	33
Aforo_05-B	19	1656	Aforo_15	16	1378	Suma Total	6	Aforo_20	16
Aforo_06	14	1175	Aforo_16	11	924	Nv. 4300 Piso 2		Aforo_21	20
Aforo_07	12	1015	Aforo_18	22	1914	Ubicación	Caudal (Lit)	MS-25	2
Aforo_08	3	253	Aforo_19	33	2851	Aforo_12	10	MS-26	2
Aforo_09	60	5174	Aforo_20	16	1408	Suma Total	10	MS-27	2
Suma (Caudal Total)	274	23660	Aforo_21	20	1711	Nv. 4300 Piso 1		MS-28	2
Aforos puntuales Magistral Sur y Centro			Aforos puntuales Magistral Norte			Ubicación	Caudal (Lit)	MS-29	2
MC-26	5	432	Aforo_17 (volumétrico)	5	432	Aforo_02	28	MS-30	2
MS-13	1	86	MN-25	3	259	Aforo_08	3	MS-31	2
MS-14	1	86	MN-26	2	173	Aforo_09	60	MS-32	3
MS-15	1	86	MN-30	3	259	Aforo_13	15	MS-33	4
MS-16	2	173	MN-31	2	173	Suma Total	106	MS-34	3
MS-17	2	173	MN-32	3	259	Nv. 4320 Piso 4		MS-35	6
MS-25	2	173	MN-33	3	259	Ubicación	Caudal (Lit)	MS-36	6
MS-26	2	173	MN-34	2	173	Aforo_01	18	MS-37	6
MS-27	2	173	Suma de aforos puntuales	23	1907	Aforo_03	43	MS-38	3
MS-28	2	173	Suma (Caudal Total)	183	15808	Aforo_04	71	MS-39	3
MS-29	2	173	Suma (Caudal Total)	537	46380	Aforo_14	5	MS-40	4
MS-30	2	173				MN-25	3	MS-41	4
MS-31	2	173				MN-26	2	MS-42	3
MS-32	3	259				Suma Total	143	MS-43	4
MS-33	4	346				Nv. 4320 Piso 3		MS-44	5
MS-34	3	259				Ubicación	Caudal (Lit)	MC-26	5
MS-35	6	518				Aforo_05-A	6	MN-30	3
MS-36	6	518				Aforo_05-B	19	MN-31	2
MS-37	6	518				Aforo_08	14	MN-32	3
MS-38	3	259				Aforo_15	16	Suma Total	437
MS-39	3	259				MS-13	1	Suma Total	208
MS-40	4	346				MS-14	1		
MS-41	4	346				MS-15	1		
MS-42	3	259				MS-16	2		
MS-43	4	346				MS-17	2		
MS-44	5	432				Suma Total	62		
Suma de aforo puntuales (Caudal Total)	80	6912							
Suma (Caudal Total)	354	30572							

Tabla A-4: Aforos en TP-2<sup>a</sup>

Ubicación	Fecha	Caudal (L/s)	Caudal(m <sup>3</sup> /día)
Aforo_pozas_canal_1	2018-04-24	239	20612
Aforo_pozas_canal_3	2018-04-24	69	5958
Aforo_pozas_canal_4	2018-04-24	55	4732
Suma (Caudal Total)	2018-04-24	362	31302

Obs. Funcionó solo un tren de bombeo.

Canal TP-02	2018-04-24	366	31607
-------------	------------	-----	-------

Aforo_pozas_canal_1	2018-04-25	321	27769
Aforo_pozas_canal_2	2018-04-25	39	3412
Aforo_pozas_canal_3	2018-04-25	47	4063
Aforo_pozas_canal_4	2018-04-25	59	5139
Suma (Caudal Total)	2018-04-25	388	33560

Obs. Funcionó solo un tren de bombeo.

Se observa en una tubería descarga agua directa desde interior mina. Según Trevali pertenece a flujos superficiales que se bombea a las pozas. Esto puede explicar la variación de caudales.

Canal TP-02	2018-04-25	395	34103
-------------	------------	-----	-------

Tabla A-4: Aforos en Pozas de Sedimentación

Ubicación	Fecha	Caudal (L/s)	Caudal(m <sup>3</sup> /día)
Aforo_pozas_canal_1	2018-04-24	239	20612
Aforo_pozas_canal_3	2018-04-24	69	5958
Aforo_pozas_canal_4	2018-04-24	55	4732
Suma (Caudal Total)	2018-04-24	362	31302

Obs. Funcionó solo un tren de bombeo.

Canal TP-02	2018-04-24	366	31607
-------------	------------	-----	-------

Aforo_pozas_canal_1	2018-04-25	321	27769
Aforo_pozas_canal_2	2018-04-25	39	3412
Aforo_pozas_canal_3	2018-04-25	47	4063
Aforo_pozas_canal_4	2018-04-25	59	5139
Suma (Caudal Total)	2018-04-25	388	33560

Obs. Funcionó solo un tren de bombeo.

Se observa en una tubería descarga agua directa desde interior mina. Según Trevali pertenece a flujos superficiales que se bombea a las pozas. Esto puede explicar la variación de caudales.

Canal TP-02	2018-04-25	395	34103
-------------	------------	-----	-------







**MSFSL-01**

Initial\_Pressure (psi)      Hour      Depth (m)  
 54      8:59:00 AM      116.5

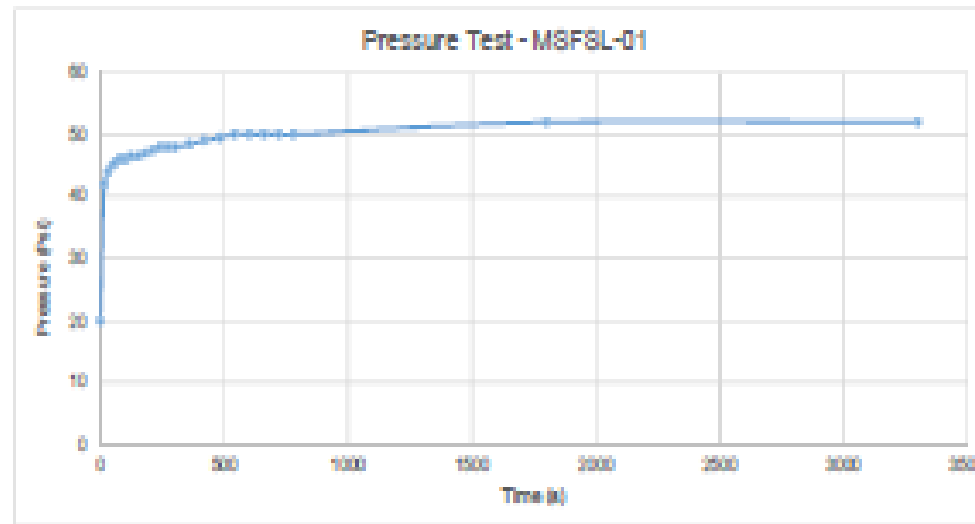
**Pressure\_Monitoring**

Hour	Pressure (psi)	Time (s)
8:25:00 AM	20	0
8:25:15 AM	40	15
8:25:30 AM	44	30
8:25:45 AM	45	45
8:26:00 AM	45.5	60
8:26:15 AM	46	75
8:26:30 AM	46	90
8:26:45 AM	46	105
8:27:00 AM	46.5	120
8:27:30 AM	46.5	150
8:28:00 AM	47	180
8:28:30 AM	47.5	210
8:29:00 AM	48	240
8:29:30 AM	48	270
8:30:00 AM	48	300
8:31:00 AM	48.5	360
8:32:00 AM	48	420
8:33:00 AM	48.5	480
8:34:00 AM	50	540
8:35:00 AM	50	600
8:37:00 AM	50	660
8:38:00 AM	50	720
8:41:00 AM	50	780
8:55:00 AM	50	1020
10:20:00 AM	52	3300

Pressure\_Recovery (%)      95.30

**Discharge\_test**

Hour	Volume (L)	Time (s)			Q (L/s)	Basic_Chemistry				
		T1	T2	T3		EC (µS/cm)	pH	TDS(ug/ml)	ORP(mV)	Temp
8:00:00 AM	20	4.73	4.7	4.79	4.22	800	8.14	299	-105	8.4
8:05:00 AM	20	4.6	4.75	4.61	4.15	811	8.15	308	-114	8
8:10:00 AM	20	4.75	4.75	4.7	4.23	829	8.18	304	-118	8.9
8:15:00 AM	20	4.61	4.75	4.76	4.18	811	8.18	308	-109	8



MSFSL-02

Initial Pressure (psi)  Hour  Depth (m)

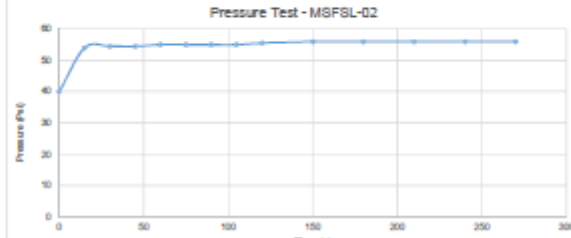
Pressure Monitoring

Hour	Pressure (psi)	Time (sec)
10:17:00 AM	47	0
10:17:15 AM	54	15
10:17:30 AM	54.5	30
10:17:45 AM	54.5	45
10:18:00 AM	56	60
10:18:15 AM	56	75
10:18:30 AM	56	90
10:18:45 AM	56	105
10:19:00 AM	57.5	120
10:19:15 AM	56	135
10:20:00 AM	56	180
10:20:30 AM	56	210
10:21:00 AM	56	240
10:21:30 AM	56	270

Pressure Recovery (%) 100.00

Discharge Test

Hour	Volume (L)	Time (s)			Q (L/s)	Basic Chemistry				
		T1	T2	T3		PC (uS/cm)	pH	TDS(ppm)	Ca(D/mg)	Mg(D/mg)
10:00:00 AM	20	3.18	3.13	3.19	6.32	695	8.12	318	-114	6.3
10:00:30 AM	20	3.16	3.17	3.17	6.32	634	8.13	317	-112	6.1
10:10:00 AM	20	3.19	3.15	3.16	6.32	628	8.14	314	-118	6.0
10:15:00 AM	20	3.16	3.15	3.14	6.36	625	8.15	305	-119	6.1



MSFSL-03

Initial Pressure (psi)  Hour  Depth (m)

Pressure Monitoring

Hour	Pressure (psi)	Time (s)
9:42:00 AM	68.0	0
9:42:15 AM	68.0	15
9:42:30 AM	68.0	30
9:42:45 AM	68.0	45
9:43:00 AM	68.0	60
9:43:15 AM	68.0	75
9:43:30 AM	68.0	90
9:43:45 AM	68.0	105
9:44:00 AM	68.5	120
9:44:15 AM	68.5	135
9:44:30 AM	68.5	150
9:44:45 AM	68.5	165
9:45:00 AM	68.5	180
9:45:15 AM	68.5	195
9:45:30 AM	68.5	210
9:45:45 AM	68.5	225
9:46:00 AM	68.5	240
9:46:15 AM	68.5	255
9:46:30 AM	68.5	270
9:46:45 AM	68.5	285
9:47:00 AM	68.5	300
9:47:15 AM	68.5	315
9:47:30 AM	68.5	330
9:47:45 AM	68.5	345
9:48:00 AM	68.5	360
9:48:15 AM	68.5	375
9:48:30 AM	68.5	390
9:48:45 AM	68.5	405
9:49:00 AM	68.5	420
9:49:15 AM	68.5	435
9:49:30 AM	68.5	450
9:49:45 AM	68.5	465
9:50:00 AM	68.5	480
9:50:15 AM	68.5	495
9:50:30 AM	68.5	510
9:50:45 AM	68.5	525
9:51:00 AM	68.5	540
9:51:15 AM	68.5	555
9:51:30 AM	68.5	570
9:51:45 AM	68.5	585
9:52:00 AM	68.5	600
9:52:15 AM	68.5	615
9:52:30 AM	68.5	630
9:52:45 AM	68.5	645
9:53:00 AM	68.5	660
9:53:15 AM	68.5	675
9:53:30 AM	68.5	690
9:53:45 AM	68.5	705
9:54:00 AM	68.5	720
9:54:15 AM	68.5	735
9:54:30 AM	68.5	750
9:54:45 AM	68.5	765
9:55:00 AM	68.5	780
9:55:15 AM	68.5	795
9:55:30 AM	68.5	810
9:55:45 AM	68.5	825
9:56:00 AM	68.5	840
9:56:15 AM	68.5	855
9:56:30 AM	68.5	870
9:56:45 AM	68.5	885
9:57:00 AM	68.5	900
9:57:15 AM	68.5	915
9:57:30 AM	68.5	930
9:57:45 AM	68.5	945
9:58:00 AM	68.5	960
9:58:15 AM	68.5	975
9:58:30 AM	68.5	990
9:58:45 AM	68.5	1005
9:59:00 AM	68.5	1020
9:59:15 AM	68.5	1035
9:59:30 AM	68.5	1050
9:59:45 AM	68.5	1065
10:00:00 AM	68.5	1080
10:00:15 AM	68.5	1095
10:00:30 AM	68.5	1110
10:00:45 AM	68.5	1125
10:01:00 AM	68.5	1140
10:01:15 AM	68.5	1155
10:01:30 AM	68.5	1170
10:01:45 AM	68.5	1185
10:02:00 AM	68.5	1200
10:02:15 AM	68.5	1215
10:02:30 AM	68.5	1230
10:02:45 AM	68.5	1245
10:03:00 AM	68.5	1260
10:03:15 AM	68.5	1275
10:03:30 AM	68.5	1290
10:03:45 AM	68.5	1305
10:04:00 AM	68.5	1320
10:04:15 AM	68.5	1335
10:04:30 AM	68.5	1350
10:04:45 AM	68.5	1365
10:05:00 AM	68.5	1380
10:05:15 AM	68.5	1395
10:05:30 AM	68.5	1410
10:05:45 AM	68.5	1425
10:06:00 AM	68.5	1440
10:06:15 AM	68.5	1455
10:06:30 AM	68.5	1470
10:06:45 AM	68.5	1485
10:07:00 AM	68.5	1500
10:07:15 AM	68.5	1515
10:07:30 AM	68.5	1530
10:07:45 AM	68.5	1545
10:08:00 AM	68.5	1560
10:08:15 AM	68.5	1575
10:08:30 AM	68.5	1590
10:08:45 AM	68.5	1605
10:09:00 AM	68.5	1620
10:09:15 AM	68.5	1635
10:09:30 AM	68.5	1650
10:09:45 AM	68.5	1665
10:10:00 AM	68.5	1680
10:10:15 AM	68.5	1695
10:10:30 AM	68.5	1710
10:10:45 AM	68.5	1725
10:11:00 AM	68.5	1740
10:11:15 AM	68.5	1755
10:11:30 AM	68.5	1770
10:11:45 AM	68.5	1785
10:12:00 AM	68.5	1800
10:12:15 AM	68.5	1815
10:12:30 AM	68.5	1830
10:12:45 AM	68.5	1845
10:13:00 AM	68.5	1860
10:13:15 AM	68.5	1875
10:13:30 AM	68.5	1890
10:13:45 AM	68.5	1905
10:14:00 AM	68.5	1920
10:14:15 AM	68.5	1935
10:14:30 AM	68.5	1950
10:14:45 AM	68.5	1965
10:15:00 AM	68.5	1980
10:15:15 AM	68.5	1995
10:15:30 AM	68.5	2010
10:15:45 AM	68.5	2025
10:16:00 AM	68.5	2040
10:16:15 AM	68.5	2055
10:16:30 AM	68.5	2070
10:16:45 AM	68.5	2085
10:17:00 AM	68.5	2100
10:17:15 AM	68.5	2115
10:17:30 AM	68.5	2130
10:17:45 AM	68.5	2145
10:18:00 AM	68.5	2160
10:18:15 AM	68.5	2175
10:18:30 AM	68.5	2190
10:18:45 AM	68.5	2205
10:19:00 AM	68.5	2220
10:19:15 AM	68.5	2235
10:19:30 AM	68.5	2250
10:19:45 AM	68.5	2265
10:20:00 AM	68.5	2280
10:20:15 AM	68.5	2295
10:20:30 AM	68.5	2310
10:20:45 AM	68.5	2325
10:21:00 AM	68.5	2340
10:21:15 AM	68.5	2355
10:21:30 AM	68.5	2370
10:21:45 AM	68.5	2385
10:22:00 AM	68.5	2400
10:22:15 AM	68.5	2415
10:22:30 AM	68.5	2430
10:22:45 AM	68.5	2445
10:23:00 AM	68.5	2460
10:23:15 AM	68.5	2475
10:23:30 AM	68.5	2490
10:23:45 AM	68.5	2505
10:24:00 AM	68.5	2520
10:24:15 AM	68.5	2535
10:24:30 AM	68.5	2550
10:24:45 AM	68.5	2565
10:25:00 AM	68.5	2580
10:25:15 AM	68.5	2595
10:25:30 AM	68.5	2610
10:25:45 AM	68.5	2625
10:26:00 AM	68.5	2640
10:26:15 AM	68.5	2655
10:26:30 AM	68.5	2670
10:26:45 AM	68.5	2685
10:27:00 AM	68.5	2700
10:27:15 AM	68.5	2715
10:27:30 AM	68.5	2730
10:27:45 AM	68.5	2745
10:28:00 AM	68.5	2760
10:28:15 AM	68.5	2775
10:28:30 AM	68.5	2790
10:28:45 AM	68.5	2805
10:29:00 AM	68.5	2820
10:29:15 AM	68.5	2835
10:29:30 AM	68.5	2850
10:29:45 AM	68.5	2865
10:30:00 AM	68.5	2880
10:30:15 AM	68.5	2895
10:30:30 AM	68.5	2910
10:30:45 AM	68.5	2925
10:31:00 AM	68.5	2940
10:31:15 AM	68.5	2955
10:31:30 AM	68.5	2970
10:31:45 AM	68.5	2985
10:32:00 AM	68.5	3000
10:32:15 AM	68.5	3015
10:32:30 AM	68.5	3030
10:32:45 AM	68.5	3045
10:33:00 AM	68.5	3060
10:33:15 AM	68.5	3075
10:33:30 AM	68.5	3090
10:33:45 AM	68.5	3105
10:34:00 AM	68.5	3120
10:34:15 AM	68.5	3135
10:34:30 AM	68.5	3150
10:34:45 AM	68.5	3165
10:35:00 AM	68.5	3180
10:35:15 AM	68.5	3195
10:35:30 AM	68.5	3210
10:35:45 AM	68.5	3225
10:36:00 AM	68.5	3240
10:36:15 AM	68.5	3255
10:36:30 AM	68.5	3270
10:36:45 AM	68.5	3285
10:37:00 AM	68.5	3300
10:37:15 AM	68.5	3315
10:37:30 AM	68.5	3330
10:37:45 AM	68.5	3345
10:38:00 AM	68.5	3360
10:38:15 AM	68.5	3375
10:38:30 AM	68.5	3390
10:38:45 AM	68.5	3405
10:39:00 AM	68.5	3420
10:39:15 AM	68.5	3435
10:39:30 AM	68.5	3450
10:39:45 AM	68.5	3465
10:40:00 AM	68.5	3480
10:40:15 AM	68.5	3495
10:40:30 AM	68.5	3510
10:40:45 AM	68.5	3525
10:41:00 AM	68.5	3540
10:41:15 AM	68.5	3555
10:41:30 AM	68.5	3570
10:41:45 AM	68.5	3585
10:42:00 AM	68.5	3600
10:42:15 AM	68.5	3615
10:42:30 AM	68.5	3630
10:42:45 AM	68.5	3645
10:43:00 AM	68.5	3660
10:43:15 AM	68.5	3675
10:43:30 AM	68.5	3690
10:43:45 AM	68.5	3705
10:44:00 AM	68.5	3720
10:44:15 AM	68.5	3735
10:44:30 AM	68.5	3750
10:44:45 AM	68.5	3765
10:45:00 AM	68.5	3780
10:45:15 AM	68.5	3795
10:45:30 AM	68.5	3810
10:45:45 AM	68.5	3825
10:46:00 AM	68.5	3840
10:46:15 AM	68.5	3855
10:46:30 AM	68.5	3870
10:46:45 AM	68.5	3885
10:47:00 AM	68.5	3900
10:47:15 AM	68.5	3915
10:47:30 AM	68.5	3930
10:47:45 AM	68.5	3945
10:48:00 AM	68.5	3960
10:48:15 AM	68.5	3975
10:48:30 AM	68.5	3990
10:48:45 AM	68.5	4005
10:49:00 AM	68.5	4020
10:49:15 AM	68.5	4035
10:49:30 AM	68.5	4050
10:49:45 AM	68.5	4065
10:50:00 AM	68.5	4080
10:50:15 AM	68.5	4095
10:50:30 AM	68.5	4110
10:50:45 AM	68.5	4125
10:51:00 AM	68.5	4140
10:51:15 AM	68.5	4155
10:51:30 AM	68.5	4170
10:51:45 AM	68.5	4185
10:52:00 AM	68.5	4200
10:52:15 AM	68.5	4215
10:52:30 AM	68.5	4230
10:52:45 AM	68.5	4245
10:53:00 AM	68.5	4260
10:53:15 AM	68.5	4275
10:53:30 AM	68.5	4290
10:53:45 AM	68.5	4305
10:54:00 AM	68.5	4320
10:54:15 AM	68.5	4335
10:54:30 AM	68.5	

Tabla B-1: Resultados de Pruebas Hidráulicas por Unidad Hidrogeológica

Drill Hole	Location	Easting (m)	Northing (m)	Testing Interval (m)		Length	K (m/s)	Average K (m/s)	Testing Method	Confidence Level	Source Date	Comments	
				From	To								
Dike Formation													
HG-04	East of Magistra Centre	331152	8794025	40	45.4	5.2	2.9E-07	2.9E-07	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	1. Freestone - changed result - looks like old stage (jagged fracture) 2. Constant Head 3. CO2 recovery 4. Recovery from aquifer 5. Recovery from aquifer - do not use later flow rates, but use the earlier ones	
				50	55.25	5.0	1.7E-07	1.7E-07	Lugeon	low			
				60	64.8	5.0	1.0E-06	1.0E-06	Lugeon	low to moderate			
				70	74.25	5.0	2.7E-06	2.7E-06	Lugeon	low to moderate			
144	150	5.0	2.9E-05	2.9E-05	Lugeon	low to moderate							
75	79.6	5.1	3.7E-07	3.7E-07	Air Lift	moderate							
HG-05	North of Lake Lacawatch	334043	8792201	45	50	5.0	1.3E-06	1.3E-06	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011) Fractures (2011) Fractures (2011)		
HG-06 (piece)	North of L. Lacawatch between Magistra and Sanderson creeks	334043	8792201	27	49.25	22.4	1.0E-07	1.0E-07	Ring Head	moderate	October (2015)	Used MOOFLOW to analyze test	
HG-07	North of L. Lacawatch	334208	8792219	22	25.25	5.0	5.0E-10	5.0E-10	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	1. Freestone 2. Is a coal seam in the middle of the section?	
				30	33.25	5.0	5.0E-10	5.0E-10	Lugeon	low to moderate			
				6	70.1	5.0	3.7E-07	3.7E-07	Air Lift	moderate			
HG-07A (piece)	North of L. Lacawatch	334208	8792219	30	49.1	49.1	5.3E-06	5.3E-06	Ring Head	low	October (2015) Fractures (2011)	Used MOOFLOW to analyze test; result too low; re-analyzed by Fractures	
HG-07B	North of L. Lacawatch	334208	8792219	1	7.5	6.7	2.0E-06	2.0E-06	Ring Head	moderate	October (2015)	Used MOOFLOW to analyze test	
HG-08	Recon Ridge	334747	8792212	50	50	5.0	8.0E-06	8.0E-06	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011) Fractures (2011)	1. Freestone - Fractures changed value; low flow tests presented; pressure of injection not enough to dilute fracture	
Arithmetic Mean								1.0E-06					
Geometric Mean K <sub>g</sub>								2.5E-07					
Maximum								2.8E-05	Number of Solutions:	12			
Minimum								5.0E-10	Number of Locations:	12			
Standard Deviation (as % of Geometric)								85%	Number of Drill Holes:	7			
90 <sup>th</sup> Percentile								7.4E-06					
10th Percentile								5.7E-08					

Tabla B-2: Resultados de Pruebas Hidráulicas por Unidad Hidrogeológica

Drill Hole	Location	Easting (m)	Northing (m)	Testing Interval (m)		Length	K (m/s)	Average K (m/s)	Testing Method	Confidence Level	Source Date	Comments	
				From	To								
Dike Formation													
HG-01	Northern edge of Magistra North	331123	8794000	162.00	163.00	5.00	3.7E-06	3.7E-06	Lugeon	moderate	Hydro-Geo (2011) Fractures (2011)	1. Fracture in fractured zone 2. Fracture in fractured zone; hole re-analyzed this test - it looks like the value used and affected by leak effects (2011) 3. Fracture in fractured zone; hole likely that the packer wasn't correctly sealed 4. Freestone, addition - assumed Chuk - assumed contribution equal from Cylon and Chuk; as above - hole for the packer wasn't correctly sealed	
				175.00	180.00	5.00	1.0E-06	1.0E-06	Lugeon	moderate			
				185.00	200.00	5.00	1.3E-07	1.3E-07	Lugeon	low			
				116.75	200.00	83.25	0.5E-07	0.5E-07	Air Lift	low			
DR_010_104	North of bridge	334444	8792204	2.00	4.10	2.10	2.0E-07	2.0E-07	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	leak	
				8.00	11.00	2.00	0.0E-10	0.0E-10	Lugeon	low to moderate		leak; recovery from aquifer	
SAH-70	Between Magistra and Sanderson in Sanderson valley	333992	8792295	4.00	20.00	12.11	1.0E-07	1.0E-07	Ring Head	low to moderate	October (2015)	Used MOOFLOW to analyze test; need to confirm lithology; geometer construction	
MS94-01	Magistra South, No. 6000 Pile 1			0.00	118.00	118.00	5.7E-06	5.0E-06	Constant Head	moderate	Fractures (2011)	Probably some turbulent flow	
							3.0E-06		CO2 recovery	high			
							2.3E-06		Recovery	moderate			
MS94-02	Magistra South, No. 6000 Pile 1			0.00	60.00	60.00	4.2E-06	5.0E-06	Constant Head	moderate	Fractures (2011)	Probably some turbulent flow	
							7.0E-06		CO2 recovery	high			
							5.0E-06		Recovery	moderate			
MS94-03	Magistra South, No. 6000 Pile 1			0.00	49.00	49.00	3.5E-05	3.5E-05	Constant Head	high	Fractures (2011)	Recovery too fast to test - probably some turbulent flow - could use a higher K	
Arithmetic Mean								3.0E-06					
Geometric Mean K <sub>g</sub>								4.1E-07					
Maximum								5.0E-06	Number of Solutions:	7			
Minimum								5.0E-10	Number of Locations:	9			
Standard Deviation (as % of Arithmetic Mean)								32%	Number of Drill Holes:	5			
90 <sup>th</sup> Percentile								4.0E-06					
10th Percentile								8.0E-08					

Drill Hole	Location	Easting (m)	Northing (m)	Testing Interval (m)		Length	K (m/s)	Average K (m/s)	Testing Method	Confidence Level	Source Date	Comments	
				From	To								
Dike Formation													
HG-01	Northern edge of Magistra North	331123	8794000	86.25	87.25	5.0	3.7E-06	3.7E-06	Lugeon	moderate	Hydro-Geo (2011)	1. Fracture 2. Fracture in fractured zone	
				122.00	123.25	11.2	3.7E-06	3.7E-06	Lugeon	moderate			
				21.40	118.75	97.3	0.5E-07	0.5E-07	Air Lift	low to moderate			
HG-02	West of Magistra Centre	331123	8794018	124.00	251.25	127.2	7.5E-06	3.0E-06	Air Lift	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	Recovery, quite slow - assumed Cylon - assumed contribution equal from Cylon and Chuk	
				184.00	193.00	9.0	2.0E-06	2.0E-06	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	Recovery from aquifer	
				207.75	212.25	4.5	0.6E-07	0.6E-07	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	did not include in Hydro-Geo summary table - looks like an LN test	
				227.00	244.25	17.2	3.7E-06	3.7E-06	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	fracture as HG-01V-02	
				244.25	250.75	6.5	3.0E-06	3.0E-06	Lugeon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	leak; recovery from aquifer - updated - looks like test covered up LN test	
Arithmetic Mean								3.0E-06					
Geometric Mean								3.2E-06					
Maximum								5.0E-06	Number of Solutions:	8			
Minimum								5.0E-10	Number of Locations:	8			
Standard Deviation (as % of Arithmetic Mean)								148%	Number of Tests:	2			
90 <sup>th</sup> Percentile								4.0E-06					
10 <sup>th</sup> Percentile								4.7E-07					

Fuente: Trivali-Santander

Tabla B-2: Resultados de Pruebas Hidráulicas por Unidad Hidrogeológica

Drill Hole	Location	Starting (ft)	Stopping (ft)	Testing Interval (ft)		Length	K (ft/d)	Average K (ft/d)	Testing Method	Confidence Level	Annual Date	Comments
				From	To							
<b>Central Piedmont</b>												
HG-01	West of Regional Center	22190	079010	15.00	20.00	5.00	3.0E-01	3.0E-01	Lugon	low	Hydro-Geo (2011)	Insufficient length of test - poor results - please refer to test report appendix
				27.00	31.00	4.00	3.0E-01	3.0E-01	Lugon	low to moderate		Not included in Hydro-Geo summary table - 2 meters in appendix, test as HG-001-02, included here
				75.00	80.00	5.00	1.0E-01	1.0E-01	Lugon	low		Insufficient length of test - could be a coated - please refer to test report appendix
				86.00	100.00	14.00	3.0E-01	3.0E-01	Lugon	low		Not included in appendix?
				103.40	107.40	4.00	2.1E-01	2.1E-01	Lugon	low to moderate		Not included in Hydro-Geo summary table - could be an OK test, but verify as HG-001-03
				110.00	120.00	10.00	7.0E-01	7.0E-01	Lugon	low		Not included in appendix?
				120.00	127.00	7.00	3.0E-01	3.0E-01	Lugon	moderate		Not included in Hydro-Geo summary table - could be an OK test
				70.00	120.00	50.00	7.0E-01	7.0E-01	Air Lift	low to moderate		Assumed equal contribution from Central Piedmont
HG-010 (pass)	West of Regional Center	22190	079010	17.00	30.00	13.00	9.0E-01	9.0E-01	Falling Head	low to moderate	Geological (2010)	Used MOCAP-LV to interpret
HG-01	Southwest of Regional South	22190	079005	27.00	30.0	3.00	4.0E-01	4.0E-01	Lugon	low to moderate	Hydro-Geo (2011) Polarization (2011)	Insufficient length - 30 second test
				44.00	50	6.00	4.0E-01	4.0E-01	Lugon	low to moderate		Insufficient - changed test time - could be an effect with it
HG-01 (pass)	Southwest of Regional South	22190	079005	30.00	40	10.00	3.0E-10	3.0E-10	Falling Head	low to moderate	Geological (2010)	Used MOCAP-LV to interpret
HG-01	Northwest of Regional Center	22190	079009	10.10	21.0	10.90	3.0E-01	3.0E-01	Lugon (Coating)	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	Insufficient
				10.10	21.0	10.90	3.0E-01	3.0E-01	Lugon (Coating)	low to moderate		Insufficient
				30.00	35.0	5.00	3.0E-01	3.0E-01	Lugon	low to moderate		Insufficient length of test (insufficient test)
				30.00	100.00	70.00	3.4E-01	3.4E-01	Air Lift	moderate		Insufficient length of test (insufficient test)
HG-01	West of Mills (see Appendix)	22054	079100	30.00	35.0	5.00	1.1E-01	1.1E-01	Lugon	low to moderate	Hydro-Geo (2011) Polarization (2011)	Insufficient, modified test - could be an effect depending on effects
HG-01 (pass)	West of Mills (see Appendix)	22054	079100	47.00	40	7.00	1.0E-01	1.0E-01	Falling Head	low to moderate	Geological (2010)	Used MOCAP-LV to interpret, falling head in unconsolidated zone
CH_010_01	South of Mills			0.00	10	10	0.7E-01	0.7E-01	Lugon	low to moderate	Hydro-Geo (2011)	Average success
				10.00	15.0	5.00	3.0E-10	3.0E-10	Lugon	low		Not interpreted in appendix
				10.00	20.0	10.00	3.7E-10	3.7E-10	Lugon	low		Not interpreted in appendix
SW-70	Regional Center	22070	079007	4.50	01	00.50	3.0E-01	3.0E-01	Falling Head	low to moderate	Geological (2010)	Used MOCAP-LV to interpret, test to confirm storage parameter results
<b>Minimum Value</b>							<b>3.0E-01</b>					
<b>Maximum Value</b>							<b>3.0E-01</b>					
<b>Minimum</b>							<b>3.0E-01</b>		Number of Locations	17		
<b>Maximum</b>							<b>3.0E-01</b>		Number of Locations	17		
<b>Standard Deviation (as % of Maximum)</b>							<b>30%</b>		Number of Drill Holes	6		
<b>K<sup>2</sup> Average</b>							<b>4.0E-01</b>					
<b>100% Average</b>							<b>7.0E-01</b>					

Fuente: Trivali-Santander



## **Solución de descarga constante Para pozo en acuífero confinado**

**(Cooper y Jacob, 1946)**

### **Datos de entrada**

(5 de enero de 2021)

Dato:  $u$  es pequeño ( $<0.1$ , es decir, en  $r$  pequeño y  $t$  grande).

1. El acuífero está confinado;
2. El acuífero es prácticamente infinito;
3. El acuífero es homogéneo, isotrópico y de espesor uniforme sobre el área de influencia de la prueba;
4. El espesor del acuífero es uniforme sobre el área que será influenciada por la prueba;
5. Antes del bombeo, la superficie piezométrica está horizontal sobre el área que será influenciada por la prueba;
6. El pozo se bombea a un ritmo constante;
7. El pozo penetra todo el espesor del acuífero, por lo que recibe sólo flujo horizontal;
8. El agua extraída del almacenamiento se descarga instantáneamente con la caída de altura;
9. El diámetro del pozo es lo suficientemente pequeño como para despreciar el almacenamiento en el pozo;
10. El flujo hacia el pozo es inestable



# PRUEBA CON TRAZADOR / PLAN DE TRABAJO DE SELLADO DE LA FUENTE DE AGUA

## Fase I – Prueba de conexión entre el Sumidero y la Mina

### 1 Objetivo:

Establecer una conexión del sumidero con la mina, obtener un estimado de tiempo de flujo a la mina.

### 2 Periodo de Flujo:

El sumidero está a 550 m. Aproximadamente en línea recta a las labores de mina más cercanas; la trayectoria real del flujo probablemente sea más larga, se asume unos 750 m. El gradiente de flujo de corriente probablemente esté muy alto, estimado a  $300 \text{ m} / 750 \text{ m} = 0.4$

Si asumimos que el ancho de la zona de flujo es de 1 m, la conductividad hidráulica promedio en la zona de falla está entre  $1 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-3}$  m/s, y la altura de la zona de flujo de 50 m en promedio (Notar que será improbable que el flujo se desarrolle a través de toda la altura de la falla).

$$Q = KiA$$

$Q = 2 \text{ L/s}$  a  $20 \text{ L/s}$  (aún se está esperando datos de flujos de salida superficial de la laguna para estimar flujos probables).

$$v = Ki = 4 \times 10^{-5} \text{ a } 4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\text{Asumiendo: } p = 0.1$$

$$v = v/p = 4 \times 10^{-4} \text{ a } 4 \times 10^{-3} \text{ m/s ó } 35 \text{ a } 350 \text{ m/d.}$$

Basado en estos supuestos aproximados, el trazador podría llegar entre 2 días y 3 semanas a la mina.

### 3 Cálculo del Flujo Potencial

Se debe realizar el balance hídrico mensual de la Laguna Yanacocha, revisar los registros de precipitaciones, registros de flujos de entrada a la mina y flujos registrados de salida de la Laguna Yanacocha para determinar el rango de flujo probable de la falla a la mina.

#### **4 Trazador, Tipo y Cantidad**

- 1 a 2 Litros de trazador tipo Fluoresceína; en nuestra experiencia, este es el mejor trazador fluorescente de todos;
- Mezclar con agua en un balde de 20 Litros y verterlo cuidadosamente en la base del sumidero;
- Seguido por el vaciado de 2 tanques cisterna de agua.

#### **4 Monitoreo**

- 4 paquetes de carbono serán colocados en puntos estratégicos de Magistral Sur, Centro y Norte y en general en las salidas de descarga de flujo de la mina, asegurados cuidadosamente en su lugar, antes de realizar el vertido del trazador dentro del sumidero;
- Los paquetes serán reemplazados después de 2 días, 5 días, 10 días, 20 días y 30 días; si el trazador no ha llegado después de un mes, se continuará colocando los paquetes de carbono mensualmente;
- Se realizará monitoreo visual de la descarga cuando sea posible;
- Los paquetes recuperados serán etiquetados, envueltos y enviados a Laboratorios Ozark en Estados Unidos.

#### **6 Costo Estimado**

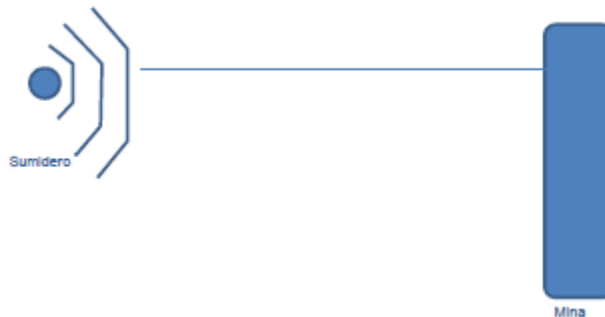
\$9,755 USD incluye honorarios, equipos, muestras de carbono, análisis envío. Trevali deberá proveer el camión cisterna con agua y el mejoramiento del acceso si es necesario.

#### **Fase II – Localizar el Conducto de Falla cerca de la Fuente**

Si la conexión con la mina es establecida, y la velocidad/descarga del flujo son significativas, se continua con esta fase.

- Llevar a cabo líneas geofísicas cortas cerca de la fuente usando perfiles de resistividad y posiblemente otro método (por ejemplo, radar de superficie), ver el diagrama conceptual mostrado a continuación.

Si la conexión del conducto no es fácilmente evidenciada, se agrega sal al sumidero y se vierte un camión cisterna con agua mientras se vuelven a recorrer las líneas geofísicas.



- Perforar taladros orientados a la falla para definir posibles conductos y dejar agujeros abiertos para una potencial inyección de cemento;
- Consultar a especialistas en inyección de cemento sobre el mejor método de inyección en roca y los mejores métodos para rellenar/sellar el sumidero.

### **1 Costo Estimado**

Estimado de \$10 a \$15 mil, esto se podrá definir después de la Fase I.

### **Fase III – Sellado/Inyección**

- Proceder con el relleno/sellado del sumidero e inyección de la probable estructura de falla.
- Se deberá estimar costos con el especialista en inyecciones.

## ANEXOS

### CERTIFICADOS DE LAS PRUEBAS DE ANALISIS DE LOS FLUIDOS Certificados de las pruebas de análisis de los fluidos



#### Certificate of Analysis

**Date of certificate:** November 13, 2017  
**Client:** Flo Solutions  
**Project name:** Antamina Mines, Santander - 1175401  
**Contact people:** Dave Evans (devans@flosolutions.com)  
Todd Hamilton (thamilton@flosolutions.com)

**Samples collected by:** Sr. Vargas / Sr. Abila  
**Date samples shipped:** November 6, 2017  
**Date samples rec'd at OUL:** November 7, 2017  
**Date analyzed by OUL:** November 10, 2017

**Included with certificate of analysis:** Table of results and copies of sample collection data sheet

#### Results for charcoal and water samples analyzed for the presence of fluorescein dye.

Peak wavelengths are reported in nanometers (nm); dye concentrations are reported in parts per billion (ppb).

All results are for charcoal unless otherwise indicated.

OUL Number	Station Number	Station Name	Date Placed (d/m/yy)	Date/Time Collected (d/m/yy)	Fluorescein Results	
					Peak (nm)	Conc. (ppb)
C6824	MSFSE 02-1	POZA 1-Nv 4510	14/10/17	17/10/17 1635	ND	
C6825	MSFSE 01-2	TP-02	17/10/17	20/10/17 0745	ND	
C6826	MSFSE 04-2	POZA Cx 4570-4	17/10/17	20/10/17 0846	ND	
C6827	MSFSE 04-1	POZA Cx 4570-4	14/10/17	17/10/17 1656	ND	
C6828	MSFSE 03-01	POZA BP 4440-1	14/10/17	17/10/17 1712	ND	
C6829	MSFSE 02-02	POZA 1-Nv 4510	12/10/17	20/10/17 0812	ND	
C6830	MSFSE 01-1	TP-02	14/10/17	17/10/17 1545	ND	
C6831	MSFSE 01-0	TP-02	Water	14/10/17 1437	ND	

**Note:** Dye concentrations are based upon standards used at the OUL. The standard concentrations are based upon the as sold weight of the dye that the OUL uses. If the client is not using OUL dyes, the client should provide the OUL with a sample of the dye to compare to the OUL dyes.

**Footnotes:** ND = No dye detected

**Thomas J. Aley, PHG and RG**

F:\docs\COA\FloSolutions\_Santander 1175401

1572 Alek Lane Protem, MO 65733 (417) 785-4289 fax (417) 785-4290 email: contact@ozarkundergroundlab.com  
**OZARK UNDERGROUND LABORATORY, INC.**  
**SAMPLE COLLECTION DATA SHEET for FLUORESCENCE ANALYSIS**

Project: Santander - 1175401 Week No: 1 Samples Collected By: Dr. Manas / Dr. Alaba  
 Samples Shipped By: Legusquiza Samples Received By: C. Alaba Date Samples Received: 11-7-17 Time Samples Received: 12:00 Return Cooler? Yes  No   
 Bill to: FLO SOLUTIONS SAC RUC: 20556167959 Send Results to: thamilton@flosolutions.com - Todd Hamilton  
 Analyze for:  Fluorescein  Eosine  Rhodamine WT  Other  Ship cooler to: \_\_\_\_\_

OUL use only		Please indicate stations where dye was visible in the field for field technician use - use black ink only				OUL use only			
# CHAR RECD	LAB NUMBER	STATION NUMBER	STATION NAME		PLACED DATE	PLACED TIME	COLLECTED DATE	COLLECTED TIME	WATER RECD
1	C6824	MSFSE 02-1	POZA 1 - NV 4510		14-10-17		17-10-17	16:35	0
1	C6825	MSFSE 01-2	TP - 02		17-10-17		20-10-17	07:45	0
1	C6826	MSFSE 04-2	POZA Cx 4570 -4		17/10/17		20/10/17	08:46	0
0	-	MSFSE 01-0	TP - 02						
1	C6827	MSFSE 04-1	POZA Cx 4570 -4		14/10/17		14/10/17	14:37	1
1	C6828	MSFSE 03-01	POZA BR 4440-1		14/10/17		17/10/17	16:56	0
1	C6829	MSFSE 02-02	POZA 1 - NV 4510		14/10/17		17/10/17	17:12	0
1	C6830	MSFSE 01-1	TP - 02		14/10/17		20/10/17	08:12	0
							17/10/17	15:45	0

COMMENTS: Please invoice should be send to Kbaldean@flosolutions.com  
 copy results to legusquiza@flosolutions.com  
 This sheet filled out by OUL staff? Yes  No   
 OUL Project No. 11687 Date Analyzed: 11/10/2017 Analyzed By: KC/az  
 Charts for samples on this page proofed by OUL: KC

Project Santander - 117-5401  
 1572 Aley Lane Protem, MO 65733 (417) 785-4289 fax (417) 785-4290 email: contact@ozarkundergroundlab.com  
**OZARK UNDERGROUND LABORATORY, INC.**  
**SAMPLE COLLECTION DATA SHEET FOR FLUORESCENCE ANALYSIS**

Samples Shipped By: L. Escobedo Week No: 21-7-17 Samples Received By: C. Olson / Dr. Nikla  
 Date Samples Shipped: 11-6-17 Date Samples Received: 11-7-17 Time Samples Received: 12:00 Return Cooler? Yes  No   
 Bill to: FLOSDOLUTIONS SAC RUC: 20556167959 Send Results to: tharrison@flosolutions.com / Dr. Nikla  
 Analyze for:  Fluorescein  Eosine  Rhodamine WT  Other Lead Hemoglobin  
 Ship cooler to: tharrison@flosolutions.com

*Please indicate stations where dye was visible in the field for field technician use - use black ink only*

# CHAR REC'D	OUL use only LAB NUMBER Viallet	STATION NUMBER	STATION NAME	PLACED		COLLECTED		OUL use only WATER REC'D
				DATE	TIME	DATE	TIME	
1		MSFSE 02-1	POZA 1 - NV 4510	14-10-17		17-10-17	16:35	0
1		MSFSE 02-2	TP - 02	17-10-17		20-10-17	07:45	0
0	06831	MSFSE 01-0	POZA Gx 4570 -4	17/10/17		20/10/17	08:46	0
1		MSFSE 04-1	TP - 02	14/10/17		14/10/17	14:37	1
1		MSFSE 03-01	POZA Gx 4570 -4	14/10/17		17/10/17	16:56	0
1		MSFSE 02-02	POZA GR 4440 -1	14/10/17		17/10/17	17:12	0
1		MSFSE 01-1	POZA 1 - NV 4510	17/10/17		20/10/17	08:12	0
			TP - 02	14/10/17		17/10/17	15:45	0

COMMENTS: Please invoice should be sent to Khaledon@flosolutions.com  
copy results to legusquiza@flosolutions.com  
 Charts for samples on this page proofed by OUL: KC  
 OUL Project No. 1187 Date Analyzed: 11/10/2017 Analyzed By: KC/AVL

### Certificate of Analysis

<p><b>Date of certificate:</b> December 11, 2017</p> <p><b>Client:</b> Flo Solutions</p> <p><b>Project name:</b> Antamina Mines, Santander - 1175401</p> <p><b>Contact people:</b> Dave Evans (devans@flosolutions.com) Todd Hamilton (thamilton@flosolutions.com)</p>	<p><b>Samples collected by:</b> Vargas / Avila</p> <p><b>Date samples shipped:</b> November 29, 2017</p> <p><b>Date samples rec'd at OUL:</b> December 7, 2017</p> <p><b>Date analyzed by OUL:</b> December 11, 2017</p> <p><b>Included with certificate of analysis:</b> Table of results and copy of sample collection data sheet</p>
--	---

**Results for charcoal samplers analyzed for the presence of fluorescein dye.**

Peak wavelengths are reported in nanometers (nm); dye concentrations are reported in parts per billion (ppb).

OUL Number	Station Number	Station Name	Date Placed (d/m/yy)	Date/Time Collected (d/m/yy)	Fluorescein Results	
					Peak (nm)	Conc. (ppb)
C7323	MSFSE-02-4	POZA 1 NV 4510	NDT	3/11/17 0841	ND	
C7324	MSFSE-03-4	POZA BP 4440-1	NDT	3/11/17 0903	ND	
C7325	MSFSE-01-03	TP-02	NDT	25/10/17 0756	ND	
C7326	MSFSE-03-03	POZA BP 4440-1	NDT	25/10/17 1521	ND	
C7327	MSFSE-02-03	POZA 1 NV 4510	NDT	25/10/17 0849	ND	
C7328	MSFSE-01-04	TP-02	NDT	3/11/17 0800	ND	
C7329	MSFSE-01-02	TP-02	NDT	20/10/17 0744	ND	
C7330	MSFSE-04-03	POZA CX 4570-4	NDT	25/10/17 1604	ND	
C7331	MSFSE 04-04	POZA CX 4570-4	NDT	3/11/17 0944	ND	
C7332	MSFSE 01-04	TP-02	NDT	3/11/17 0810	ND	

**Note:** Dye concentrations are based upon standards used at the OUL. The standard concentrations are based upon the as sold weight of the dye that the OUL uses. If the client is not using OUL dyes, the client should provide the OUL with a sample of the dye to compare to the OUL dyes.

**Footnotes:** ND = No dye detected                      NDT = No date or time given

**Thomas J. Aley, PHG and RG**



OZARK UNDERGROUND LABORATORY, INC.  
 1572 Alley Lane Protem, MO 65733 (417) 785-4289 fax (417) 785-4290 email: contact@ozarkundergroundlab.com

SAMPLE COLLECTION DATA SHEET for FLUORESCENCE ANALYSIS

Project: Santander - 1175401 Week No: L Pusosovina Samples Collected By: Veritas / Avila  
 Samples Shipped By: Amber Comstock/OUL  
 Date Samples Shipped: 12/29/17 Date Samples Received: 12/27/17 Time Samples Received: 1300 Return Cooler? Yes  No   
 Bill to: HOSOLUTIONS SAC POC: 20556167959 Send Results to: thamilton@hosolutions.com - Todd Hamilton  
 Analyze for:  Fluorescein  Eosine  Rhodamine WT  Other Ship cooler to:

# CHLR RECD	LAB NUMBER	STATION NUMBER	PLACED		COLLECTED		OUL use only WATER RECD	
			DATE	TIME	DATE	TIME		
			<i>Please indicate stations where dye was visible in the field for field technician use - use black ink only</i>					
			STATION NAME					
1	C7323	MSSE-02-4				09/11/17	08:41	0
1	C7324	MSSE-03-4	PO2A 1	NV	4510			
1	C7325	MSSE-01-02	PO2A BP		4440-1	09/11/17	09:03	0
1	C7326	MSSE-02-02	TP		-02	25/10/17	07:56	0
1	C7327	MSSE-02-03	PO2A CP		4440-1	25/10/17	15:21	0
1	C7328	MSSE-01-04	PO2A 1	NV	4510	25/10/17	08:49	0
1	C7329	MSSE-01-02	TP		-02	03/11/17	08:00	0
1	C7330	MSSE-01-02	TP		-02	25/10/17	07:44	0
1	C7331	MSSE-01-04	PO2A CX		4570-4	25/10/17	16:04	0
1	C7332	MSSE-01-04	TP		-02	03/11/17	09:44	0
						09/11/17	08:10	0

COMMENTS

This sheet filled out by OUL staff? Yes  No   
 OUL Project No. 1627 Date Analyzed: 12/11/17 Analyzed By: AC/OUL



### Certificate of Analysis

**Date of certificate:** March 15, 2018

**Client:** Flo Solutions

**Project name:** Antamina Mines, Santander - 1175401

**Contact people:**

Lesly Egusquiza (legusquiza@flosolutions.com)

Todd Hamilton (thamilton@flosolutions.com)

**Samples collected by:**

**Date samples shipped:** March 5, 2018

**Date samples rec'd at OUL:** March 13, 2018

**Date analyzed by OUL:** March 15, 2018

**Included with certificate of analysis:** Table of results and copy of sample collection data sheet

**Results for charcoal samplers analyzed for the presence of fluorescein dye.**

Peak wavelengths are reported in nanometers (nm); dye concentrations are reported in parts per billion (ppb).

OUL Number	Station Number	Station Name	Date/Time Placed (d/m/yy)	Date/Time Collected (d/m/yy)	Fluorescein Results	
					Peak (nm)	Conc. (ppb)
C9067	MSFSE-03-6	POZA BP 4440-1	NDT	27/02/18 1540	ND	
C9068	MSFSE-03-5	POZA BP 4440-1	NDT	20/12/17 0925	ND	
C9069	MSFSE-01-5	TP-02	NDT	20/12/17 1025	ND	
C9070	MSFSE-05-1	Rio Banos	NDT	27/02/18 0845	ND	
C9071	MSFSE-02-5	Poza 1 Nv. 4510	NDT	20/12/17 0950	ND	
C9072	MSFSE-01-6	TP-02	NDT	27/02/18 1140	ND	
C9073	MSFSE-02-6	Poza 1 Nv. 4510	NDT	27/02/18 1335	ND	

**Note:** Dye concentrations are based upon standards used at the OUL. The standard concentrations are based upon the as sold weight of the dye that the OUL uses. If the client is not using OUL dyes, the client should provide the OUL with a sample of the dye to compare to the OUL dyes.

**Footnotes:** ND = No dye detected

NDT = No date or time given

Thomas J. Aley, PHG and RG

