

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA AMPLIACIÓN DE UN SISTEMA
DE BOMBEO DE DOS ETAPAS EN EL INTERIOR DE UNA MINA
SUBTERRÁNEA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera de Minas

AUTORA:

Rosario Guisell Sumaria Montes

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR:

Christopher Suárez Enciso

ASESORA:

Dra. Maribel Giovana Guzman Cordova,

CO ASESOR:

Ing. Fortunato Ramírez

Lima, diciembre 2019

RESUMEN

El presente trabajo busca desarrollar un análisis técnico-económico de la ampliación de un sistema de bombeo existente de dos etapas en el interior de una mina subterránea, y así determinar la viabilidad y factibilidad del proyecto.

La Compañía Minera planea ampliar sus operaciones, y a medida que vaya profundizando, el caudal de agua subterránea será mayor, así como que sus dificultades para ser tratada, por lo que un proyecto de ampliación es necesario.

Para cumplir con el objetivo de la tesis, se determinó los parámetros de diseño del sistema de bombeo existente, también se analizó las condiciones hidrogeológicas de la mina, de la misma manera se realizó una simulación técnica. Se determinó que era necesario una bomba de 500 HP que pueda realizar una carga dinámica de 75 metros, para lo cual se seleccionó la Goulds Pump 3316 en el tamaño 6 x 8 -17, n = 1750 rpm.

Finalmente, se realizó una evaluación de la factibilidad económica del diseño de ampliación hacia un sistema de bombeo de tres etapas con bombas sedimentarias para su implementación. Se determinó un CAPEX del sistema de bombeo aproximado de US\$ 13,571,442; y un OPEX de 0.299 US\$/m³. Asimismo, en base al VPT estimado del mineral, al reporte de reservas, al CAPEX del sistema de bombeo y de otros proyectos, se estimó un VNA de la mina de US\$ 65, 562, 057 y un TIR del 18.10%.

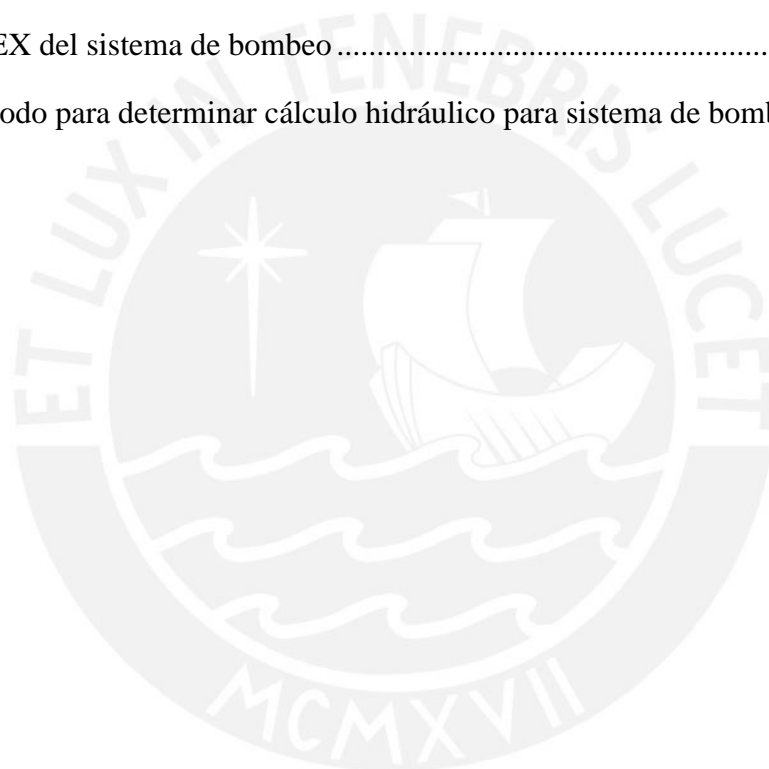
TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis.....	3
1.5 Metodología	4
1.5.1 Tipo de investigación.....	4
1.5.2 Nivel de investigación.....	4
1.5.3 Proceso de la investigación.....	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Bombas hidráulicas	7
2.1.1 Definición.....	7
2.1.2 Clasificación de bombas	7
2.1.2.1 Bombas dinámicas.....	7
2.1.2.2 Bombas de desplazamiento positivo.....	9
2.1.3 Accesorios principales a instalar en una bomba	11
2.1.4 Fenómenos que afectan en la operación de bombas	13
2.2 Sistemas de bombeo.....	18
2.2.1 Aguas subterráneas y drenaje ácido mina (DAM).....	18
2.2.2 Fundamentos de funcionamiento del sistema de bombeo.....	21
2.2.3 Diseño del sistema de bombeo de aguas subterráneas.....	25
2.2.3.1 Bombas en paralelo	26
2.2.3.2 Bombas en serie.....	25
2.2.4 Selección de bombas.....	25

2.3	Variables económicas y análisis de sensibilidad.....	29
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD MINERA		33
3.1	Ubicación y accesibilidad.....	33
3.2	Método de minado.....	33
3.2.1	Corte y Relleno Ascendente (<i>Breasting</i>)	33
3.2.2	Taladros Largos (<i>Sub Level Stopping</i>).....	35
3.3	Condiciones Meteorológicas	36
3.3.1	Precipitación	37
3.3.2	Evaporación	38
3.3.3	Temperatura	38
3.3.4	Humedad Relativa.....	38
3.3.5	Presión Atmosférica.....	39
3.4	Parámetros físicoquímicos de aguas superficiales y de interior mina	369
3.4.1	Conductividad eléctrica	379
3.4.2	Variación potencial de hidrógeno (pH).....	40
3.4.3	Variación de temperatura.....	40
3.4.4	Total de Sólidos Disueltos	41
3.4.5	Comportamiento histórico del drenaje de la mina	41
3.5	Geología y Mineralización.....	43
3.5.1	Geomorfología	43
3.5.2	Geología Regional	44
3.5.3	Geología Local.....	45
3.5.4	Geología Estructural	45
3.5.5	Mineralización	47
3.5.6	Hidrogeología	47
3.5.6.1	Unidades hidrogeológicas del área	49
3.5.6.2	Sistema de flujo de las aguas subterráneas.....	53

3.6	Producción.....	54
3.7	Reservas y recursos	55
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TÉCNICA		56
4.1	Sistema de bombeo de dos etapas	56
4.1.1	Descripción general	56
4.1.2	Bombas empleadas y características	59
4.1.3	Labores mineras	62
4.1.4	Parámetros de diseño	65
4.1.5	Sistema de tuberías	66
4.1.6	Velocidad de sedimentación	67
4.1.7	Cálculo hidráulico de bombeo y energía absorbida.....	67
4.2	Sistema de drenaje a futuro	69
4.2.1	Demanda futura de drenaje de mina	69
4.2.2	Propuesta de diseño.....	72
4.2.2.1	Descripción general	72
4.2.2.2	Cálculo hidráulico.....	75
4.2.2.3	Selección de bomba	76
CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONOMICA		81
5.1	Cálculo de NSR y VPT	81
5.2	Cotización del sistema de bombeo	83
5.3	Costos operativos	84
5.4	Cálculo de VAN y TIR.....	84
5.5	Análisis de sensibilidad.....	86
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		88
6.1	Conclusiones	88
6.2	Recomendaciones.....	89
BIBLIOGRAFÍA		90

ANEXOS	93
Anexo 1: Recursos por tipo de estructura (Reporte de Compañía Minera 2018)	93
Anexo 2: Recursos en cuerpos (Reporte de Compañía Minera 2018)	93
Anexo 3: Recursos en vetas (Reporte de Compañía Minera 2018)	94
Anexo 4: Reservas por tipo de estructura (Reporte de Compañía Minera 2018)	99
Anexo 5: Reservas en cuerpos (Reporte de Compañía Minera 2018)	99
Anexo 6: Reservas en vetas (Reporte de Compañía Minera 2018).....	100
Anexo 7: CAPEX del sistema de bombeo	103
Anexo 8: OPEX del sistema de bombeo	107
Anexo 9: Método para determinar cálculo hidráulico para sistema de bombeo	108



ÍNDICE DE TABLAS

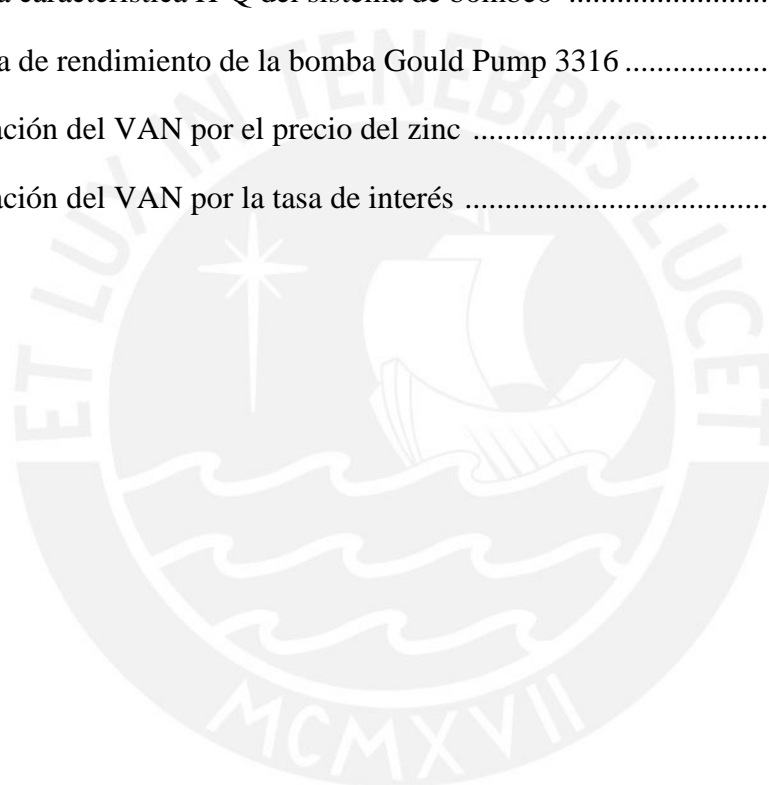
Tabla 1: Estaciones meteorológicas próximas al área	37
Tabla 2: Precipitación Media Mensual (mm)	37
Tabla 3: Evaporación Media Mensual (mm)	38
Tabla 4: Temperatura Media Mensual (°C)	38
Tabla 5: Humedad relativa media, mínima y máxima (%)	39
Tabla 6: Unidades hidrogeológicas de la Compañía Minera	50
Tabla 7: Programa de producción 2018 por tipo de método	54
Tabla 8: Reservas por categoría	55
Tabla 9: Ficha técnica WEG W50 550 HP	59
Tabla 10: Ficha técnica WEG W50 500 HP	61
Tabla 11: Labores principales de la Compañía Minera y longitud	63
Tabla 12: Parámetros de diseño NV 4355	65
Tabla 13: Parámetros de diseño NV 4100	65
Tabla 14: Caudal nominal y velocidad de transporte	66
Tabla 15: Diámetros interior de tubería	67
Tabla 16: Velocidades de sedimentación según tubería	67
Tabla 17: Cálculo hidráulico de bombeo y energía absorbida Nivel 4355	67
Tabla 18: Cálculo hidráulico de bombeo y energía absorbida Nivel 4100	68
Tabla 19: Cálculo hidráulico de bombeo para el sistema propuesto	75
Tabla 20: Valor de n según el material de la tubería	76
Tabla 21: Cálculo hidráulico de bombeo para el sistema propuesto	77
Tabla 22: Tabla resumen para valores H-Q del sistema de bombeo	78
Tabla 23: Descripción de fórmula para hallar NSR	82
Tabla 24: Valor punto de cada mineral	83
Tabla 25: Tabla de reservas con valor VPT	83
Tabla 26: Costos operativos totales según método de minado	84

Tabla 27: CAPEX anual	85
Tabla 28: Flujo de caja	85
Tabla 29: VAN y TIR	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de sistema de bombeo	6
Figura 2: Modelo de bomba centrífuga.....	8
Figura 3: Modelo de bomba periférica.....	9
Figura 4: Modelo de bomba reciprocante	10
Figura 5: Modelo de bomba rotatoria	11
Figura 6: Accesorios a instalar en una bomba	12
Figura 7: Curva característica de una bomba.....	21
Figura 8: Punto de operación del sistema	25
Figura 9: Curvas características de un sistema de bombeo con dos bombas iguales instaladas en paralelo	27
Figura 10: Curvas características de un sistema de bombeo con bombas diferentes de diferentes capacidades instaladas en serie.....	28
Figura 11: Método de minado por Corte y Relleno Ascendente	34
Figura 12: Método de minado con Taladros Largos (AVOCA)	36
Figura 13: Variación de parámetros fisicoquímicos en aguas de interior mina	41
Figura 14: Diagrama de caudales de bombeos históricos	42
Figura 15: Plano estructural regional	44
Figura 16: Distribución espacial de las estructuras importantes de la mina	46
Figura 17: Sección transversal de las vetas	46
Figura 18: Tipos de Mineralización de la mina	48
Figura 19: Sistema de bombeo actual	58
Figura 20: Curva de desempeño W50 550 HP	60

Figura 21: Curva de desempeño W50 500 HP	62
Figura 22: Labores principales de la Compañía Minera.....	64
Figura 23: Ubicación de las estaciones de bombeo	64
Figura 24: Niveles de agua en el área de mina subterránea.....	70
Figura 25: Evolución de caudales de descarga	70
Figura 26: Caudales de drenaje de profundización de la mina subterránea	71
Figura 27: Propuesta de sistema de bombeo a 3 etapas.....	74
Figura 28: Curva característica H-Q del sistema de bombeo	79
Figura 29: Curva de rendimiento de la bomba Gould Pump 3316.....	79
Figura 30: Variación del VAN por el precio del zinc	86
Figura 31: Variación del VAN por la tasa de interés	87



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Para la explotación de la mina es indispensable contar con un adecuado manejo y gestión del agua subterránea. No siendo posible el uso de la gravedad desde los niveles de explotación subterránea actual hacia la superficie como una solución, la mina cuenta con un sistema de bombeo adecuado que permite controlar, tratar y disponer, en la medida de lo posible, la presencia de aguas subterráneas.

Para la Compañía Minera en estudio, el sistema de bombeo existente está diseñado para un determinado nivel y caudal de agua. Los cálculos de descarga indican que para el Nivel 4000 se tiene una descarga entre 700 a 800 l/s, y para el nivel 3900 se tendrá caudales de 900 a 1000 l/s, calculados a partir de la profundización de dos rampas y la construcción de las labores horizontales de la mina.

Por otro lado, la sostenibilidad de las operaciones mineras requerirá de mayores esfuerzos a través de la implementación de procesos de optimización y uso eficiente de recursos. El sistema de bombeo actual no garantiza un ciclo de minado correcto cuando sea necesario, ni tampoco garantiza el cumplimiento de los avances proyectados, como por ejemplo para el año 2018 se tuvo una proyección de avance de 25,000 metros.

Para cumplir con la proyección de tonelaje de mineral anual de 1'540,000 TMS en el 2019, el área de servicios auxiliares debe de garantizar un sistema de bombeo confiable, por lo tanto, un proyecto de ampliación del sistema de bombeo actual de dos etapas es necesario.

Es este sentido, se propuso la ampliación del sistema de bombeo a tres etapas, a fin de que el proceso de extracción de minerales a futuro se realice en un ambiente libre de acumulación de agua que perjudique el tránsito de equipos pesados y del personal.

1.2 Antecedentes

A la fecha no se encontró en la bibliografía consultada antecedentes técnicos referidos a una ampliación de un sistema de bombeo de dos a tres etapas. Sin embargo, se tienen ejemplos de optimización de sistemas de bombeo en el interior de mina subterránea. Tres ejemplos en el territorio peruano, los cuales se detallan a continuación, fueron tomados como referencia y servirán como base para el desarrollo de esta tesis.

Rodríguez Ayala, Yover Michael (2014) desarrolló su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Con su trabajo titulado ***“Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A. – Unidad San Cristóbal”***, este estudio se llega a la conclusión de que fue necesario evaluar técnicamente las condiciones del sistema de bombeo instalado para poder encontrar un sistema de bombeo con ventajas técnicas y de funcionamiento. Del mismo modo, es importante evaluar las pérdidas de carga en una instalación de tuberías, porque es un indicador que sirve para conocer si el consumo de energía es el adecuado. De esta manera, se puede controlar el costo de operación registrando como antecedente histórico el consumo de dicha energía.

Barreto Inca, Celestino (2017) realizó su tesis para titularse como Ingeniero de Minas en la Facultad de Geología, Geofísica y Minas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Con su tesis titulada ***“Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje – Unidad Minera Antapaccay”***. Su trabajo indica que fue importante revisar los antecedentes del anterior sistema de bombeo de la mina para medir las eficiencias y rendimientos de bombas. Asimismo, realizó importantes estudios de caracterización hidráulica de las aguas subterráneas, lo cual incluía pruebas de campo a fin de determinar las necesidades del desagüe en el corto y largo plazo.

Franco Sullca, Jorge Luis (2015) elaboró sus tesis para titularse como Ingeniero Mecánico en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Con su trabajo de investigación titulado *“Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea para satisfacer su demanda volumétrica en Volcan Compañía Minera S.A.A. – Unidad Chungar”*, en su trabajo él recomienda estandarizar las tuberías en todos los niveles para evitar tener problemas de choques con equipos a las tuberías al ser más confiables y seguros. También para evitar problemas de cavitación, se recomienda siempre colocar tuberías de mayor diámetro en la succión de las bombas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la viabilidad de implementación de un proyecto de ampliación de un sistema de bombeo de dos a tres etapas en el interior de una mina subterránea, considerando el uso de bombas centrífugas de 500 HP para abastecer un caudal de 1200 litros por segundo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño para la ampliación del sistema de bombeo.
- Evaluar técnicamente el óptimo sistema de drenaje.
- Evaluar económicamente la propuesta de diseño.

1.4 Hipótesis

Para este trabajo de tesis se propone la siguiente hipótesis: “La propuesta de ampliación del sistema actual en la mina subterránea permitiría optimizar el manejo adecuado de aguas subterráneas”. La hipótesis será abordada con las siguientes acciones:

- Realizar el estudio reconociendo los parámetros de diseño de la planta de tratamiento existente.
- Desarrollar la factibilidad económica del proyecto de ampliación.
- Proponer un diseño detallado del sistema de bombeo.

1.5 Metodología

1.5.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada ya que tiene como objetivo desarrollar un análisis técnico-económico de la ampliación de un sistema de bombeo de dos a tres etapas en el interior de una mina subterránea. Todo este proceso se realiza con la finalidad de facilitar el proceso de extracción de mineral, conforme al avance de las operaciones. Para esto se utiliza el conocimiento de sistemas de bombeo de fluidos para generar una solución tecnológica alternativa a la existente.

1.5.2 Nivel de investigación

Para la etapa de recopilación de la información del actual sistema de bombeo se realizó una investigación de nivel descriptivo, porque se registra y evalúa las diferentes variables del sistema de bombeo para la evacuación del agua de mina. Una vez planteado el proyecto de ampliación se determinó aplicar una investigación experimental, en base a la necesidad de realizar una comparación de resultados entre el sistema de bombeo de dos etapas existente y el sistema de bombeo de tres etapas que se plantea. Para esto se realiza un manejo de las variables hidráulicas, con la finalidad de responder a nuestra hipótesis y tener mejores resultados.

1.5.3 Proceso de la investigación:

A continuación, se detallan las etapas a seguir para elaborar el presente trabajo de tesis:

a. Recopilar información

- Obtener referencias sobre sistemas de bombeo en operaciones mineras.
- Obtener información geomecánica y geológica del depósito minero.
- Obtener referencias hidrogeológicas de la unidad minera.
- Recolectar información climatológica y de la necesidad de agua en las distintas etapas de la operación.

b. Estudio a detalle de los componentes

- Revisar el diseño del sistema de bombeo previamente implementado en la unidad minera.
- Identificar los componentes principales del diseño (bombas, caudal, reactores, insumos, etc.)
- Identificar componentes menores del diseño (tuberías, paletas, etc.)
- Identificar la calidad del agua.

c. Propuesta de diseño

- Realizar la evaluación técnica que implica el cálculo del número de bombas, dimensiones, tipos de tuberías y cantidad de insumos.
- Proponer el diseño para la ampliación del sistema de bombeo en función al aumento de caudal estimado.
- Evaluar de manera económica el proyecto de ampliación (VAN y TIR).

2. MARCO TEÓRICO

El rol del agua en las operaciones mineras cumple un papel muy importante. Puede servirnos como una alternativa de abastecimiento de uso doméstico e industrial, sin embargo, también puede convertirse en un problema desde el punto de vista geomecánico y en la demanda del drenaje. Si el agua no es gestionada de la mejor manera desde el punto de vista de drenaje, puede afectar el desempeño de las operaciones mineras, impactar en la producción productividad y costos.

El esquema de la Figura 1 nos muestra los principales componentes de un sistema de bombeo minero, donde las bombas hidráulicas son el eje principal de su funcionamiento.

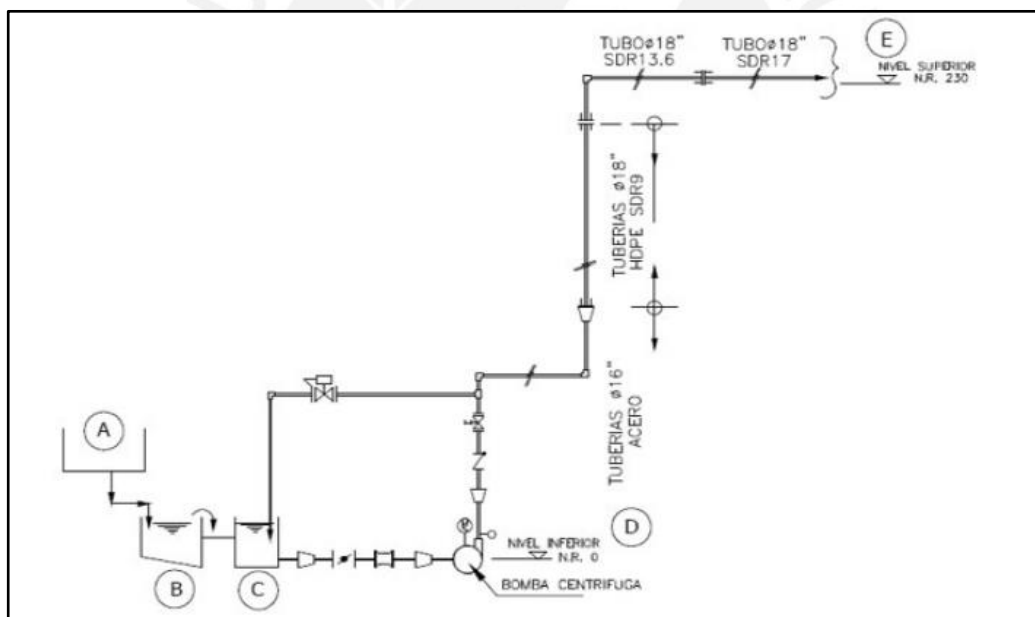


Figura 1: Esquema de un sistema de bombeo

(Vidal, 2010)

Los principales componentes del sistema son:

- A: Poza y canal de captación.
- B: Desarenador.
- C: Poza de succión.

D: Estación de bombeo.

E: Poza de descarga.

Dado su importancia, se necesita tener un amplio conocimiento de los diferentes tipos de bombas que existen de acuerdo a sus funciones, características y requerimientos de la operación (Vidal, 2010).

2.1 Bombas hidráulicas

2.1.1 Definición

Una bomba hidráulica es una máquina que se encarga de transformar la energía mecánica que permite su accionar, en energía de un fluido incompresible que ella misma desplaza. Es decir, las bombas añaden energía al agua.

Al incrementar la energía de este fluido, también incrementa su altura, velocidad y su presión; todas relacionadas según el *Principio de Bernoulli*. Por eso las bombas hidráulicas se emplean para desplazar el fluido desde un lugar de menor altitud o presión hacia otro con mayor altitud o presión (Viejo Zubicaray, 2002).

2.1.2 Clasificación de bombas

Según su funcionamiento, las bombas hidráulicas se dividen en dos grandes grupos: dinámicas (centrífugas y periféricas) y de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias).

2.1.2.1 Bombas dinámicas

Son aquellas máquinas cuyo principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre el rodete y el fluido, aplicando hidrodinámica. Las bombas dinámicas aumentan la presión del líquido al acelerarla y, luego, la hacen más lenta a fin de convertir la energía cinética aplicada al fluido, en energía de presión. Lo más probable es que

se reduzca la presión, porque la eficiencia de la bomba es menor con bajo volumen. Pero, si se hace funcionar la bomba muy por debajo de su circulación de diseño mediante estrangulación con válvulas, se sobrecalentarán la bomba y el líquido y esto hay que evitarlo. Se debe instalar un termómetro en la bomba y el líquido cuando es probable que surja esta condición durante un funcionamiento normal de la bomba. El flujo del fluido siempre es continuo (De las Heras, 2011).

a. Bombas centrífugas

Es la más común entre las bombas dinámicas. Es sencilla, porque sólo tiene dos componentes principales: el impulsor y la carcasa. El líquido se succiona en el centro del impulsor y se descarga en la circunferencia de la carcasa. Las bombas centrífugas se fabrican con una serie de plásticos y metales para todas las clases de servicio. Estas bombas se deben cebar (cargar) con líquido para que empiecen a bombear. A veces, tienen alimentación por gravedad para facilitar el arranque. No es raro que se produzca cavitación en estas bombas, debido a las altas velocidades y bajas presiones localizadas que permiten la formación de gases disueltos y burbujas de vapores (De las Heras, 2011). En la Figura 2 se puede apreciar el ejemplo de una bomba centrífuga.



Figura 2: Modelo de bomba centrífuga

(Expert, 2019)

b. Bombas periféricas

Son también conocidas como bombas de tipo turbina, de vértice y regenerativas. En este tipo de bombas se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor. Esta velocidad se genera a través de impulsos de energía extremadamente rápidos y potentes en el impulsor (De las Heras, 2011).

Las principales diferencias entre las bombas centrífugas y periféricas son:

- Las bombas centrífugas tienen mayor caudal que la periférica ya que cuenta con mayor presión.
- La bomba periférica tiene una turbina pequeña, mientras que la bomba centrífuga la tiene más grande.
- Los precios de las bombas periféricas son más económicos que las centrífugas.



Figura 3: Modelo de bomba periférica

(Koslan, 2019)

2.1.2.2 Bombas de desplazamiento positivo

Son aquellas máquinas cuyo principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se lleva a cabo por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. Este tipo de bombas descargan el fluido en una serie de impulsos.

Cuando esta carga a pulsaciones es indeseable, se puede suavizar con un acumulador por resorte o por aire comprimido. Si la restricción de corriente abajo es demasiado grande, continuará en aumento la presión del líquido; si se permite que siga, se puede dañar la bomba por el exceso de presión. La capacidad de descarga de la bomba casi siempre es proporcional a la velocidad de la bomba en una amplia gama de velocidades (De las Heras, 2011).

a. Bombas reciprocantes

Su funcionamiento depende del llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo, para lo cual cierta cantidad de agua es obligada a entrar al cuerpo de la bomba, en donde queda encerrada momentáneamente, para después ser forzada a salir por la tubería de descarga. Se deduce que el gasto de este tipo de bombas es directamente proporcional a su velocidad de rotación y casi independiente de la presión de bombeo. Debido a la resistencia friccional en sus partes móviles y a las pérdidas en las correas, los engranes y las chumaceras; estas bombas tienen una eficiencia relativamente baja (De las Heras, 2011).

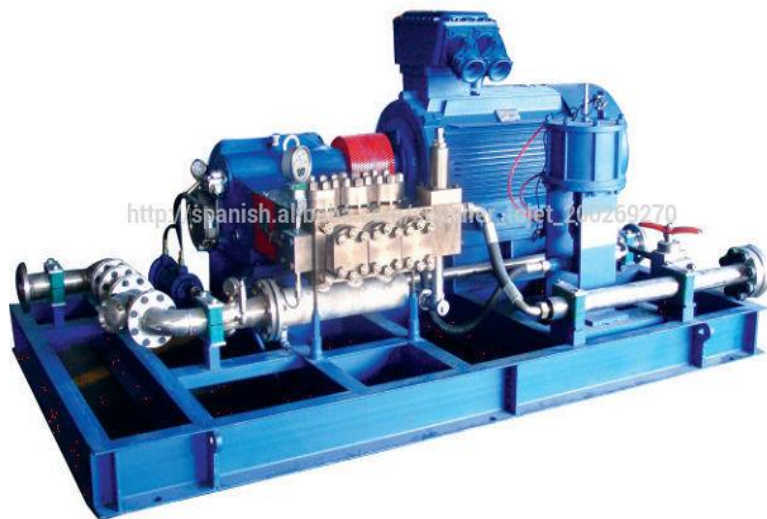


Figura 4: Modelo de bomba reciprocante

(Development, 2019)

b. Bombas rotatorias

Estas bombas se encuentran dotadas de movimiento rotativo y en que tienen huelgos reducidos, no solamente entre sus órganos móviles, sino también entre el conjunto interior y la carcasa que le rodea. Las bombas rotatorias carecen de válvulas, y a diferencia de las bombas reciprocantes, descargan un flujo uniforme por el movimiento de rotación de los engranes que es bastante rápido. Su uso más común es como bombas de circulación o transferencia de líquidos (De las Heras, 2011).



Figura 5: Modelo de bomba rotatoria

(Reportero Industrial, 2019)

2.1.3 Accesorios principales a instalar en una bomba

Existen una serie de accesorios que deberán ser tomados en cuenta a la hora de realizar la instalación de la bomba. En la Figura 6 se muestra un esquema de accesorios necesarios.

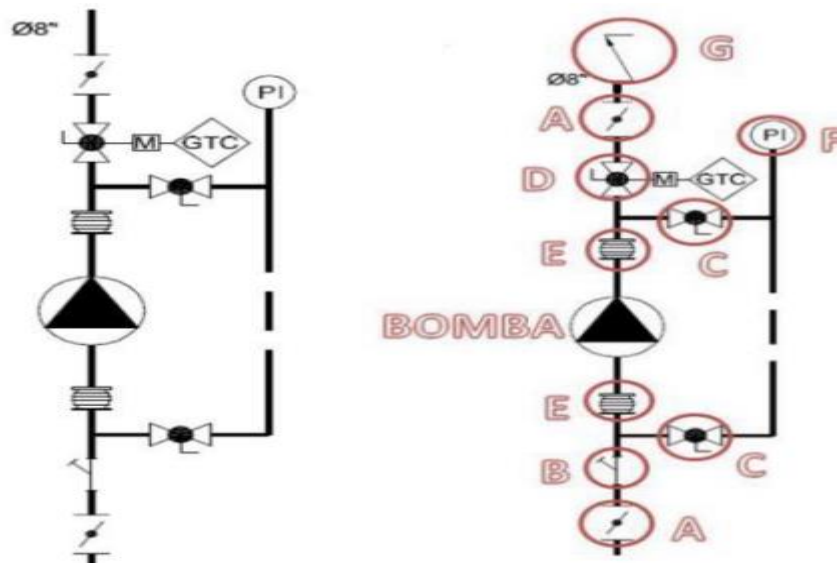


Figura 6: Accesorios a instalar en una bomba

(Barreto Inca, 2017)

A continuación, se realiza una breve descripción de los accesorios a instalar en una bomba, según la leyenda de la imagen de la derecha.

A. Válvula de mariposa

Es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada *mariposa*, que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo. Se emplea para poder aislar el circuito de la bomba en caso de necesidad de reparación o mantenimiento (Barreto Inca, 2017).

B. Filtro

Se emplea para el control de la contaminación por partículas sólidas de origen externo y las generadas internamente por procesos de desgaste o de erosión de las superficies de la maquinaria. Permite alargar la vida útil de la bomba y de sus componentes (Barreto Inca, 2017).

C. Válvula de bola

Es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo del fluido. El mecanismo regulador ubicado en su interior tiene forma de esfera perforada. Su ventaja radica en que la

bola perforada permite la circulación directa con una pérdida de carga menor que las llaves de asiento. Sirve principalmente para aislar únicamente la bomba (Barreto Inca, 2017).

D. Válvula de bola motorizada

Esta es la primera válvula en cerrar, la cual se encuentra accionada por un motor (Barreto Inca, 2017).

E. Manguitos anti vibratorios

Estos dispositivos permiten que las vibraciones producidas por la bomba no afecten el funcionamiento de las tuberías y evitan su desgaste (Barreto Inca, 2017).

F. Manómetro

Es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos. Lleva el control de la presión de la bomba para evitar sobrepasar los límites que conlleven a la parada de la bomba (Barreto Inca, 2017).

G. Válvula de retención

Tienen como objetivo cerrar por completo el paso del fluido en circulación en un sentido y dejar paso libre en el contrario. Se emplean para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba (Barreto Inca, 2017).

2.1.4 Fenómenos que afectan en la operación de bombas

Existen fenómenos que pueden afectar la operación de un sistema de drenaje que use bombas. Las más importantes se detallan a continuación.

a. Golpe de ariete

El golpe de ariete o choque hidráulico es el incremento momentáneo en presión, el cual ocurre cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad del fluido. Cuando una válvula cierra súbitamente, detiene el paso del agua que está fluyendo en las tuberías, y la

energía de presión es transferida a la válvula y a la pared de la tubería. Las presiones y los flujos cambian constantemente a medida que la bomba se apaga y se enciende (Lahlou, 2019).

Existen cuatro eventos comunes que típicamente inducen a grandes cambios de presión:

- El arranque de la bomba puede producir un colapso rápido del espacio vacío.
- Un fallo de potencia en la bomba puede crear un repentino cambio en la energía de suministro del flujo. Esto causa un aumento de la presión en el lado de la succión y una disminución de la misma en la descarga.
- La abertura y cierre de la válvula es muy importante para que la operación de la tubería sea segura. El cierre repentino de una válvula cambiará rápidamente la velocidad y puede resultar en una oscilación de presión. Es necesario incorporar procedimientos de operación documentados que sirvan de pasos a seguir por el personal durante los arranques y paradas del sistema.
- Interrupciones de energía y el mal funcionamiento de los equipos, que pueden afectar rápidamente las condiciones de operación de un sistema.

Para evitar este fenómeno se debe proporcionar un drenaje adecuado para que el agua se drene antes que se acumule. La calidad del fluido también influye, entre más porcentaje de sólidos tenga, más difícil será su traslado. Dependiendo de la necesidad del sistema, se puede instalar purgadores y diseñar la tubería con el objetivo de incluir un sistema de derivación que permita un calentamiento y presurización gradual al arrancar, evitando caer en el diferencial de presión (Lahlou, 2019).

b. Cavitación

Es un fenómeno hidrodinámico que se produce cuando el fluido no es capaz de llenar todo el espacio existente. Durante este fenómeno, el fluido pasa de estado líquido a gaseoso para después pasar a líquido de nuevo. Esto ocurre debido a que la presión en algún punto o zona de la corriente del fluido desciende por debajo de la presión de vapor del mismo. La cavitación en las bombas produce problemas fundamentales como disminución del rendimiento, erosión y destrucción de materiales (Blanco E., 1994). Los motivos:

- Cambios bruscos y repentinos en la velocidad del fluido.
- Velocidades excesivas del fluido.
- Resistencia alta en la línea de aspiración.
- Nivel de aceite en el tanque muy alejado de la entrada de la bomba.
- Viscosidad de aceite demasiado elevada.

Uno de los parámetros que controla la cavitación es la altura de succión positiva neta (NPSH). El NPSH requerido es un parámetro de la bomba y lo debe proporcionar el fabricante. Se puede definir como la succión que produce la bomba para poder manejar el caudal y la cabeza para las cuales fue seleccionada (ecuación 2.1). El NPSH disponible es un parámetro del sistema y debe calcularse (Blanco E., 1994).

$$NPSH_D = 10^5 \frac{(p' - p_t)}{\rho \cdot g} + e_z - Z \quad (2.1)$$

Donde:

p' : Presión del gas ejercida sobre el nivel del líquido en la aspiración (bar)

p_t : Tensión de vapor del fluido (bar)

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

e_z : Altura geodésica de acometida (m)

Z: Pérdida de carga en la línea de aspiración (m)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2) (Pumpen, 2019)

La NPSH disponible debe ser mayor que la NPSH requerida para evitar la cavitación.

Las causas más frecuentes de que esta condición se cumpla son tres:

- Aumento de la pérdida de carga en la línea de aspiración, ya sea por la obstrucción de la tubería o filtro de aspiración.
- Aumento de la presión de vapor del líquido al aumentar la temperatura.
- Altura de aspiración: diferencia entre la cota de eje bomba y la de la lámina de agua.

Para evitar la aparición de este fenómeno se puede reducir las pérdidas de carga en la aspiración, reducir la altura de aspiración cuando ésta sea negativa, variar en la medida de lo posible la temperatura del líquido bombeado e incluso instalar una pequeña recirculación desde la tubería de impulsión hasta un punto justo a la entrada de la bomba. Existen varios métodos para poder controlar y mitigar este fenómeno, pero estos deben abordarse desde el principio durante la fase de diseño (Aguas Residuales, 2019).

c. Vibraciones

Las vibraciones en bombas hidráulicas pueden conllevar a serias consecuencias en el funcionamiento y estado de la máquina. Para reducir los daños y alargar la vida útil de la bomba, es necesario incluir este fenómeno en el diseño de instalaciones de bombas. Se tiene que mantener las vibraciones dentro de un margen aceptable. Un correcto control de las vibraciones puede prevenir fatiga excesiva de la bomba, ruido y desgaste de los componentes; principalmente soportes y anclaje.

Las principales fuentes de vibración que se tienen que controlar son las siguientes:

- Desequilibrio de las piezas giratorias y equilibradas del rotor.

- Frecuencia natural y resonancia.
- Resonancia hidráulica en la tubería.
- Fuerzas hidráulicas asimétricas causadas por la voluta y el impulsor. El número de álabes del impulsor, es un factor a considerar dado que las fuerzas hidráulicas que se llevan a cabo cuando el álabe pasa por zonas en las que hay una fuerza irregular, se incrementan con el número de estos (Omel, 2019).

d. Ruido

El ruido que se produce en una instalación de bombeo procede de las vibraciones de la bomba misma y de sus componentes principales. Más que nada, depende de las propiedades hidráulicas, mecánicas y acústicas de la bomba y de su instalación. Los principales factores a tener en cuenta son las siguientes:

- El motor y su rotor.
- Elementos mecánicos como la transmisión de movimiento por desgaste, falta de apriete o desalineación producen ruido.
- Se producen ruidos innecesarios por la falta de sujeción de las tuberías; por las dimensiones de las tuberías (diámetros y longitudes menores a las requeridas); o por exceso de accesorios, como por ejemplo codos (Automantenimiento.net, 2019).

e. Sumergencia

Se define como la diferencia en carga hidrostática entre la profundidad de la bomba y el nivel de fluido dinámico por encima de la bomba. La sumergencia de la bomba se monitorea continuamente para ajustar la tasa de flujo y evitar una condición de nivel agotado de la bomba.

Para reducir la sumergencia necesaria se puede mencionar lo siguiente:

- Aumentar la sección de entrada (colocación de sombrillas, mayor diámetro de la tubería de aspiración, etc.).
- Colocar tabiques flotantes o sumergidos que eliminen las turbulencias.

- Instalar maderas flotantes, alrededor de la tubería de aspiración, así como pelotas de plástico, y todo aquello que sea capaz de impedir la formación de vórtices o remolinos en la superficie (Bombas Ideal, 2014).

2.2 Sistemas de bombeo

2.2.1 Aguas subterráneas y drenaje ácido mina (DAM)

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra. Esta es un recurso importante que abastece a una tercera parte de la población mundial, pero de difícil gestión dado su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación. Según Juan Herrera Herbert y Fernando Pla Ortiz (2013) las actividades mineras se encuentran ligadas al agua tanto como un problema a evitar, disminuir o corregir; y como una necesidad de utilización del recurso para su aprovechamiento dentro y fuera de la mina.

En comparación con las actividades agrícolas e industriales, la industria minera no es una gran consumidora de agua. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), durante su presentación en el PERUMIN 33, la minería no representa un peligro para el abastecimiento del agua en el Perú. Del total de agua aprovechada, el 86 % se destina a actividades agrícolas, 6 % a la actividad industrial, 7 % a la población y el 1.5 % a actividades mineras. (Perumin, 2017).

El macizo rocoso sobre el que se ejecuta una excavación subterránea es susceptible a la presencia de agua dependiendo, de sus características litológicas, condiciones geológicas estructurales, condiciones hidrogeológicas y otros. La estrategia de explotación de una mina subterránea deberá prever con anticipación el manejo del agua de filtración incluyendo la proveniente de las actividades mineras (perforación y relleno, por ejemplo) a manera de evitar

interrupciones, interferencias, pérdidas de tiempo, inaccesibilidad temporal a determinadas áreas de la operación, que afecte los trabajos de exploración, preparación, desarrollo y producción de las operaciones mineras.

El drenaje minero se encargará de captar, transportar y entregar al medio ambiente el agua de manera que ésta no genere daños. Se requiere un adecuado enfoque y planteamiento para su gestión racional. Las soluciones que se planteen deben estar basadas en estudios geológicos, geoquímicos, hidrológicos e hidrogeológicos desarrollados desde el inicio del proyecto minero. (Herbert, 2009).

Bajo estas premisas, se dimensionan y construyen infraestructuras de captación y conducción del agua, con elementos seguros y de larga duración. Estos elementos en cualquier circunstancia encarecen la explotación. Si el problema de drenaje de mina no es adecuadamente planteado desde el principio, estas infraestructuras pueden entorpecer las labores mineras, e incluso llevar a la suspensión de la explotación minera.

Lo que se busca es gestionar correctamente la presencia de aguas desde dos puntos de vista:

- El agua dentro de la planificación y de las operaciones de la mina, considerando los usos del agua y las necesidades de la mina.
- El agua y su relación con el medio ambiente, considerando los problemas con la operación minera y los que se suscitarán del futuro abandono de la actividad minera.

Toda explotación minera se desarrolla por debajo de los niveles freáticos de la zona, ubicada en una cuenca hidrogeológica específica. Debido a esto, las explotaciones mineras alteran el funcionamiento hidrogeológico de la zona ya que forman puntos de drenaje y/o descarga de escorrentías subterráneas.

El objetivo principal del drenaje mina es que las aguas que entren en contacto con la mina, sean superficiales o subterráneas, sean las mínimas posibles con una correcta gestión de las mismas. Asimismo, se busca es mantener condiciones adecuadas de trabajo, para lo que es necesario el bombeo de agua (Herbert, 2009). Con una correcta gestión del drenaje de minas se busca lo siguiente:

- Minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas de la mina.
- Reaprovechar en lo posible el agua en las distintas actividades mineras (perforación, relleno de minas, tratamiento de minerales, etc.)
- Cumplir con las exigencias de LMP (límites máximos permisibles).

Para poder cumplir con estos objetivos, se requiere de la implantación y operación de un sistema de drenaje adecuado para los requerimientos de la mina, además de un sistema de recirculación del agua.

Las consecuencias hidrogeológicas de la zona debido a las actividades de drenaje de la mina serán de larga duración, ya que estos empiezan dos o tres años antes que inicie la explotación, se alarga a lo larga de la vida de la mina, y finaliza con la fase de cierre de mina. Por esto, es que se necesita hacer un estudio hidrogeológico que aborde, entre otras cosas, los siguientes aspectos:

- Identificar y caracterizar con detalle las áreas de recarga y descarga de la zona donde se va explotar.
- Plantear un modelo conceptual de funcionamiento.
- Permitir el desarrollo de un modelo de flujo, que incluya una simulación de una serie de alternativas de drenaje.
- Permitir llegar a la elección y diseño del sistema de drenaje más adecuado a las condiciones de la mina.

2.2.1 Fundamentos de funcionamiento del sistema de bombeo

a. Curva característica de la bomba

El comportamiento hidráulico de una bomba viene detallado en sus curvas características. Estos diagramas representan una relación entre los distintos valores proporcionados por el caudal; junto con otros parámetros como la altura manométrica, rendimiento hidráulico, potencia requerida y la altura de aspiración. Todas estas están en función del tamaño, diseño y construcción de la bomba. Se representan gráficamente colocando en el eje de abscisas los valores del caudal; y en el eje de coordenadas las alturas, rendimientos, potencias y altura de aspiración. El siguiente gráfico nos muestra un ejemplo de una curva característica de una bomba (L. Mott, 1996).

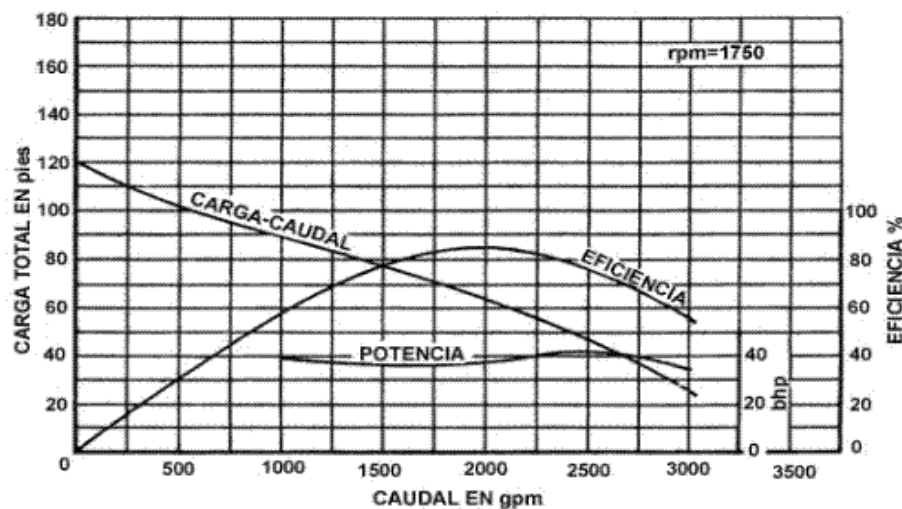


Figura 7: Curva característica de una bomba

(Ingeniero Civil, 2012)

b. Curva operación del sistema

La curva de operación del sistema de una bomba queda definida por la carga estática total y las pérdidas de presión en el sistema de bombeo, también conocida carga dinámica. La suma de la carga estática y la carga dinámica representa la carga total del sistema (L. Mott, 1996).

c. Carga estática total

Se determina este valor conociendo la altura geométrica del nivel del líquido entre los recipientes de succión y descarga y la línea de centros de la bomba. Así como las presiones en esos mismos puntos. Si se considera que la velocidad de succión es igual a la de descarga de la bomba, el H_s se considera 0. La siguiente ecuación nos muestra como determinarlo (L. Mott, 1996).

$$H_{est} = H_d \pm H_s + \frac{\rho D - \rho S}{\gamma} \quad (2.2)$$

Donde:

H_{est} : Carga estática total del sistema (m)

H_d : Altura de descarga (m)

H_s : Altura de succión (m)

pD : Presión en el recipiente de descarga (kg/m^2)

pS : Presión en el recipiente de succión (kg/m^2)

γ : Peso específico del fluido (kg/m^3)

d. Carga dinámica total

Este valor representa las pérdidas de presión, las cuales se originan por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes que pueden ser intercambiadores de calor u otros (H din). Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad del fluido. Del mismo modo, varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos, accesorios, junto con las características del fluido (L. Mott, 1996). Tenemos la siguiente fórmula que describe la carga dinámica total del sistema.

$$H_{din} = hfp + hfs \quad (2.3)$$

Donde:

H_{din} : Carga dinámica total del sistema (m)

h_{fp} : Pérdidas de carga en las tuberías (m)

h_{fs} : Pérdidas en los accesorios (m)

Las pérdidas de carga en las tuberías también se llaman pérdidas primarias, las cuales se calculan mediante la ecuación de Darcy – Weisbach (L. Mott, 1996).

$$h_{fp} = \frac{f L V^2}{2 D g} = \frac{8 f L Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad (2.4)$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

h_{fp} : Pérdida de carga en tuberías (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

L : Longitud de la tubería (m)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

f : Factor de fricción (adimensional)

V : Velocidad del fluido (m/s)

π : Constante adimensional (3.1416)

Las pérdidas de carga por accesorios se determinan mediante la siguiente ecuación (L. Mott, 1996):

$$h_{fs} = \frac{k V^2}{2 g} = \frac{8 k Q^2}{g \pi^2 D^4} \quad (2.5)$$

Donde:

h_{fs} : Pérdida de carga por accesorios (m)

V : Velocidad del fluido (m/s)

Q : Caudal (m^3/s)

D : Diámetro de tubería (m)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

k : Coeficiente de resistencia (adimensional). Este valor depende del tipo de accesorio y diámetro del mismo

e. Carga total del sistema

Es la carga que el sistema debe operar con la bomba. Por lo descrito anteriormente se tiene que:

$$H_{total} = H_{est} + H_{din}$$
$$H_{total} = H_d \pm H_s + \frac{\rho D - \rho S}{\gamma} + \frac{8 Q^2}{g \pi^2 D^4} \left(\frac{f L}{D} + k \right) \quad (2.6)$$

Donde:

H_{total} : Carga total del sistema (m)

H_{est} : Carga estática total del sistema (m)

H_{din} : Carga dinámica total del sistema (m)

Es importante considerar que, si las presiones en la succión y descarga se encuentran a la misma presión, estas se eliminan (Mc Naughton, 1998).

f. Punto de operación del sistema de bombeo

El punto de operación de un sistema de bombeo se obtiene cuando la carga generada por la misma coincide con la capacidad de la bomba.

Gráficamente, se obtiene mediante la intersección de la curva característica de la bomba (carga vs caudal) correspondiente al diámetro de operación y la curva del sistema. Al trazar una línea horizontal y otra vertical que pase por este punto, pueden obtenerse los valores de carga, caudal, eficiencia y NPSH requerido en óptimas condiciones. En la mayoría de casos,

los sistemas de bombeo exigen un caudal variable, lo que significa que una bomba trabaja con diferentes puntos de operación. El siguiente gráfico muestra un ejemplo de puntos de operación para un caudal variable (Mc Naughton, 1998).

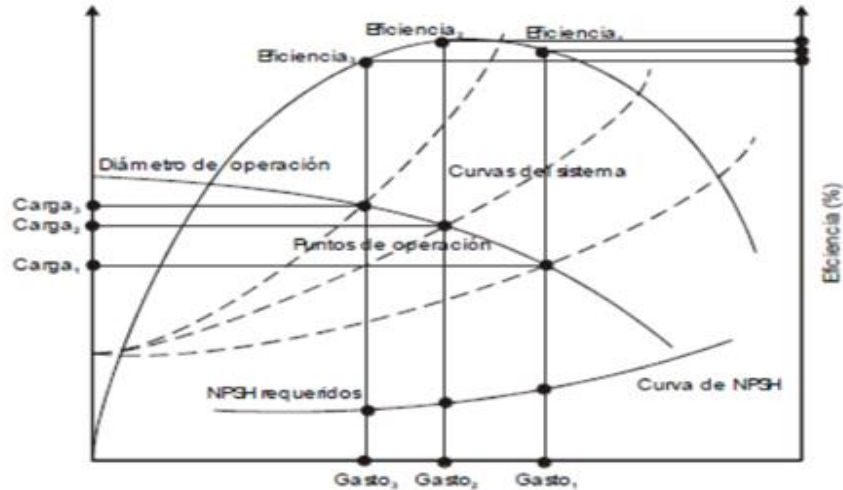


Figura 8: Punto de operación del sistema

(Área Mecánica, 2011)

g. Potencia de la bomba

El cálculo de la potencia de la bomba requerida para el sistema de bombeo nos ayudará a determinar el dimensionamiento del mismo. La siguiente fórmula describe como se calcula el valor requerido (C.A., 2019).

$$HP = \frac{Q \text{ (lps)} \times H \text{ (m)}}{75 \times \text{eficiencia de la bomba}} \quad (2.7)$$

$$KW = HP \times 0.7457 \quad (2.8)$$

2.2.2 Diseño del sistema de bombeo de aguas subterráneas

Como se comentó en el apartado anterior, el agua podría actuar como un impedimento a nuestras operaciones, para lo cual se emplean las bombas para extraer el agua del fondo de la mina. Teniendo un mayor conocimiento de los diferentes tipos de bombas y sus características; como caudal, potencia y eficiencia; se podría determinar los elementos y accesorios del sistema de distribución de agua ácida.

Como se sabe, durante el funcionamiento de la bomba la energía mecánica se convierte en energía cinética y potencial, y en un grado insignificante en energía calorífica, del fluido. En sistemas de bombeo, el equilibrio hidráulico es obtenido a partir de un balance de energía, donde se consideran la energía cinética, la energía potencial y pérdidas de energía. Las pérdidas de energía se deben principalmente a turbulencia y fricción. Estas son estudiadas para calcular la pérdida de carga total del sistema. El control de las aguas subterráneas que se acumulan en el fondo de la mina es una parte vital de muchos proyectos mineros. Las aguas mal gestionadas pueden afectar la seguridad y eficiencias de las operaciones a interior mina (Herráiz, 2009).

Con un buen sistema de bombeo se busca reducir el tiempo de inactividad debido a las inundaciones. Del mismo modo, se obtienen menores costos de voladura. Al reducir los niveles de agua subterráneas antes del trabajo, se proporcionará barrenos secos, lo cual reduce la necesidad explosivos de emulsión. Asimismo, los costos de transporte se reducen ya que el mineral seco y roca estéril pesan menos que el mineral húmedo, por lo que se proporciona un ahorro en costos de transporte de mineral.

A la hora de diseñar e implementar un sistema de bombeo, se puede utilizar bombas trabajando en serie o en paralelo. Esto resulta útil como sistema de regulación, o cuando se requieren características muy variables.

2.2.2.1 Bombas en paralelo

La operación con bombas en paralelo se emplea para cumplir los requisitos cuando varía la capacidad del sistema de bombeo. Este tipo de operación consiste básicamente en colocar dos o más bombas en un mismo lugar para succionar, con el propósito de aumentar el caudal elevado, de esta manera se logra aumentar el caudal de entrega. Arrancando solo las bombas necesarias para cumplir con la demanda, se puede lograr una máxima eficiencia en la operación. Las bombas múltiples en una estación sirven de repuesto para casos de emergencia y para el

tiempo de inactividad que se genera durante el mantenimiento preventivo y correctivo de las mismas (Blanco E., Velarde S., Fernández J., 1994).

Este tipo de diseño se emplea cuando el caudal requerido es superior al que puede suministrar una bomba simple; o cuando el sistema tiene requisitos de caudal variable. Normalmente, las bombas conectadas en paralelo son del mismo tamaño y tipo. La curva de rendimiento para un sistema que consta de varias bombas en paralelo se determina sumando el caudal que suministran las bombas para una altura específica. La carga del sistema consiste de la carga estática y la suma de la carga por fricción en la tubería y la pérdida de carga en las válvulas y conexiones. Las curvas carga-capacidad de las diversas bombas se trazan en el mismo diagrama y sus intersecciones con la curva de carga del sistema muestran posibles puntos de operación. Para el caso específico de trabajar con dos bombas idénticas, el Q máximo se duplicará (Blanco E., 1994). El siguiente diagrama nos muestra las curvas de rendimiento de dos bombas idénticas en paralelo, para uno trabajando a diferente caudal, pero a una misma altura. Los puntos de intersección A y B nos indican posibles puntos de operación.

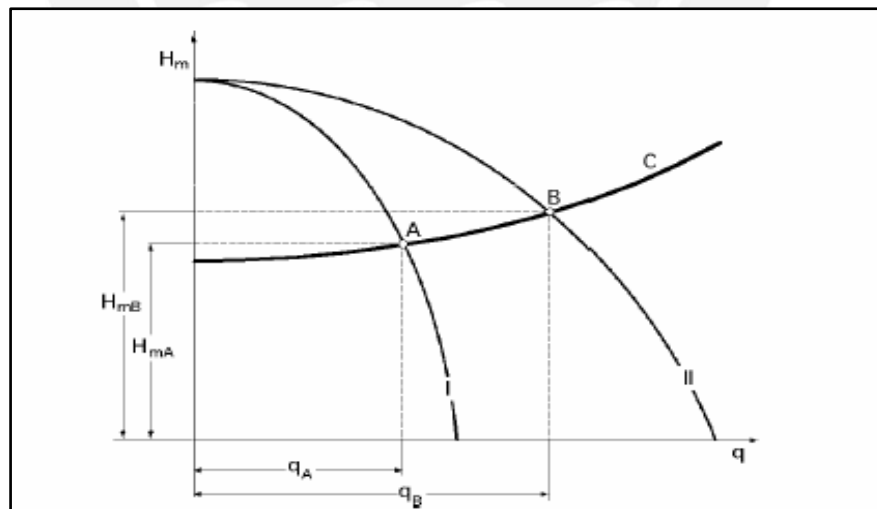


Figura 9: Curvas características de un sistema de bombeo con dos bombas iguales instaladas en paralelo

(Open Course Web Universidad de Sevilla, 2019)

2.2.3.2 Bombas en serie

Las bombas que operan en serie proporcionan cargas mayores que las desarrolladas por las mismas bombas operando de forma individual. En este tipo de asociaciones, el caudal que descarga la primera bomba es captado en la succión de la segunda bomba, que lo impulsa hasta la carga deseada. Este diseño se emplea en sistemas en los que se requiere alta presión en instalaciones que bombeen fluido a distintas alturas.

Algo importante a tener en cuenta, es que la presión de la caja del estopeño de la segunda bomba aumenta por la presión de descarga de la primera bomba. Esto obliga a la instalación de una caja especial con empaque para la segunda bomba con escape a la succión de la primera bomba. La mayor presión de succión puede incrementar el costo inicial de la segunda bomba, así como sus costos de mantenimiento (Blanco E., Velarde S., Fernández J., 1994).

Las cargas de las bombas se suman para obtener la curva combinada carga-capacidad. Las bombas en serie aumentarán la altura manométrica del sistema (H); para el caso de dos bombas idénticas, la H máximo se duplicará. El siguiente diagrama nos muestra las curvas características de dos bombas B_1 y B_2 de dos bombas en paralelo de diferentes curvas características.

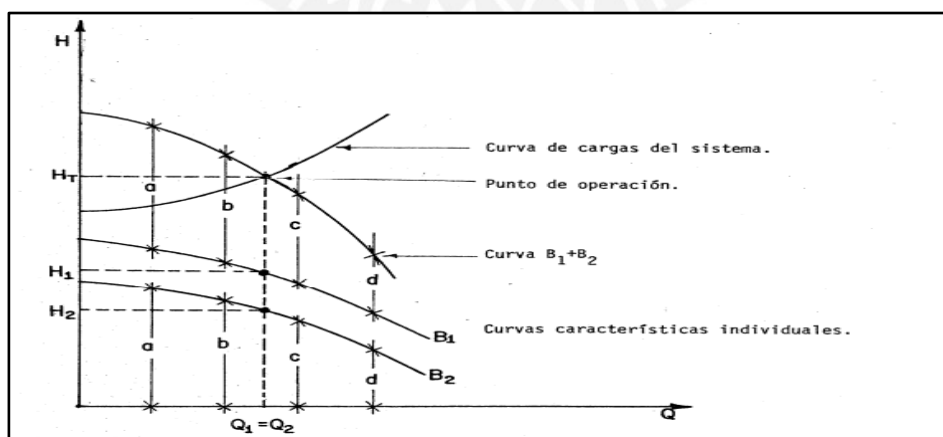


Figura 10: Curvas características de un sistema de bombeo con bombas diferentes capacidades instaladas en serie

(Open Course Web Universidad de Sevilla, 2019)

2.2.3 Selección de bombas

Uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar un sistema de bombeo es la elección de la clase, modelo, capacidad, columna y detalles de la bomba que se usará en el sistema. Para su correcta selección, el ingeniero deberá primero valorar las condiciones hidráulicas que deberá poseer la bomba de acuerdo a los requerimientos de la operación minera; posteriormente se analizará las condiciones del líquido; más adelante, a través de un análisis económico, se podrá llegar a la unidad más económica y adecuada posible (Golds Pumps, 2019). Se deberá realizar el siguiente proceso para la selección de bombas:

- Realizar un estudio de la instalación de bombeo para determinar los datos necesarios como el caudal, altura y naturaleza del fluido.
- Se hace uso de las curvas características de su campo de acción y modelos que depende de la fabricación de bombas en el mercado. Para esto se recurre a catálogos específicos del tipo de bomba.
- Analizar las características de aspiración requeridas.
- Determinar el material de la bomba según el fluido a transportar.
- Seleccionar el modelo de bomba a partir de las curvas características en base a las condiciones de caudal (Q) y altura manométrica (H) del sistema de bombeo.
- Llevar a cabo una evaluación económica de comparación, teniendo en cuenta los costos de compra y operación durante el tiempo de vida estimada.

2.3 Variables económicas y análisis de sensibilidad

Dentro de nuestra metodología, el paso final del presente trabajo es la evaluación económica de las dos propuestas de diseño que se presentarán para la ampliación del sistema de bombeo. Dicho análisis nos servirá para elegir la propuesta más adecuada para nuestro

proyecto. Para esto, necesitaremos tener como base ciertos conceptos y variables económicas para realizar un correcto análisis de sensibilidad.

a. Valor Actual Neto

El valor actual neto (VAN), también conocido como Valor Neto Actual (VNA) o Valor Presento Neto (VPN) es un criterio de inversión ampliamente usado que consta en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer cuánto se va ganar o perder con una inversión (Astudillo Moya, 2012).

Para esto, se trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El valor final del VAN expresará una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos de acuerdo a una unidad monetaria (euros, dólares, soles, etc.). La siguiente fórmula nos muestra cómo se determina el valor del VAN.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (2.7)$$

Donde:

V_t : representa los flujos de caja de cada periodo t .

I_0 : valor de desembolso inicial de inversión.

n : número de periodos considerado.

k : tipo de interés.

El VAN es una herramienta que nos sirve para valorar distintas opciones de inversión, como es nuestro caso, ya que nos permite conocer en cuál de las opciones obtendremos una mayor ganancia. Por otro lado, nos permite ver qué inversiones son viables; y segundo, qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión se detallan a continuación.

- VAN > 0: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros, a una tasa de descuento determinado, generará beneficios, por lo que el proyecto deberá aceptarse.
- VAN = 0: no se generarán ni beneficios ni pérdidas, la realización de la inversión es indiferente. La decisión deberá basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado.
- VAN < 0: el proyecto de inversión generará pérdidas, no se recomienda su realización.

Una de las ventajas del VAN es que es un método fácil de calcular y nos brinda predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa. Del mismo modo, tiene en cuenta los vencimientos de los flujos netos de caja. Sin embargo, también presenta ciertas desventajas. La principal es la dificultad de especificar una tasa de descuento. Es un valor crucial a la hora de determinar el valor del VAN, y una mala estimación puede dar un valor alejado de la realidad que podría llevar a la toma de malas decisiones. (Astudillo Moya, 2012).

b. Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida empleada para la evaluación de proyectos que va de la mano con el Valor Actual Neto (VAN).

Basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con los de pagos, generando un VAN igual a cero (Astudillo, 2012).

La siguiente fórmula nos indica cómo se calcula.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (2.8)$$

V_t : representa los flujos de caja de cada periodo t .

I_0 : valor de desembolso inicial de inversión.

n : número de periodos considerado.

TIR : tasa interna de retorno.

El criterio de selección será el siguiente, donde “ k ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- $TIR > k$: la tasa de rendimiento interno es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida en la inversión. El proyecto de inversión será aceptado.
- $TIR = 0$: el proyecto podría llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa.
- $TIR < 0$: no se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión. El proyecto debe ser rechazado.

La TIR nos resulta muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que nos muestra la rentabilidad de dicho proyecto. Sin embargo, presenta cierta inconsistencia, ya que no garantiza en todos los casos asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión, a veces se presentan resultados que no tienen sentido económico.

3. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD MINERA

3.1 Ubicación y accesibilidad

El área de estudio está ubicada en la cabecera de cuenca del río Mantaro, a 4600 msnm, en el distrito de Huayllay, departamento y provincia de Pasco, dentro de la concesión minera de EACH, a una distancia aproximada de 325 Km de la ciudad de Lima.

Las coordenadas geográficas que enmarcan el ámbito del área del proyecto son:

- E 343,800, N 8'781,200
- E 344,800, N 8'780,200

3.2 Método de minado

3.2.1 Corte y Relleno Ascendente (Breasting)

El Corte y Relleno ascendente (C&RA), se caracteriza en hacer rebanadas horizontales de 100 metros de longitud con alturas de corte variables entre 3 a 4.5 metros; dependiendo de la potencia de veta (consideradas de 3 a 10 metros de ancho).

Lo relevante de la aplicación de este método está en la perforación horizontal (breasting). Es decir, que después de realizar un corte, continua la etapa de relleno detrítico y/o hidráulico, habilitando como luz o cara libre para el siguiente corte cincuenta centímetros, y dos frentes simultáneos, a los cuales se accede por medio de un brazo (acceso o rampa basculante), situada en la parte central del tajo a minar.

Las labores de desarrollo y preparación establecidas para este método y en línea con nuestro diseño se realiza en el nivel base un *bypass* o rampa de 4 x 4.5 metros. De sección paralela a la mineralización económica de la veta, con distancias entre 75 a 90 metros. Este nivel base sirve de inicio a la rampa positiva de 4 x 4.5 metros de sección. El objetivo de la

rampa es acceder a los niveles superiores o inferiores según sea el caso, con gradiente de (+) 13% o (-) 13% en los tramos rectos y (+) 10% o (-) 10% en las curvas. A una determinada altura se realiza un nuevo by pass; con el objetivo de dar mejor accesibilidad a lo largo de la veta en los diferentes puntos donde se encuentre la mejor concentración de mineral y/o ley, con una labor llamada acceso o rampa basculante de 4 x 4 metros de sección y una longitud entre 75 a 90 metros con una inclinación de (-) 15%. Además, se tiene accesos que se inician en la rampa en una altura determinada.

El acceso o rampa basculante, es la que permite el ingreso a la veta y explotación de la misma, el siguiente paso es la etapa de relleno detrítico e hidráulico para luego ser pivoteado (desquinche con cara libre) con gradiente 0.5% a 15% como máximo e ingresar en un siguiente corte y continuar con el ciclo de explotación. Por las características propias de nuestro yacimiento no es posible hacer chimeneas Raise Borer (6' – 7' Ø) de servicio o ventilación en la misma veta. Estas se realizan en las rampas y/o *by pass*, es por ello que nuestro método de explotación contempla una ventilación forzada inyectando aire fresco a través de ventiladores y extrayendo los gases producto de la voladura con ventiladores enseriados para ser evacuado por los diferentes circuitos de ventilación hacía superficie. En la siguiente imagen se ilustra el método de minado por Corte y Relleno Ascendente.

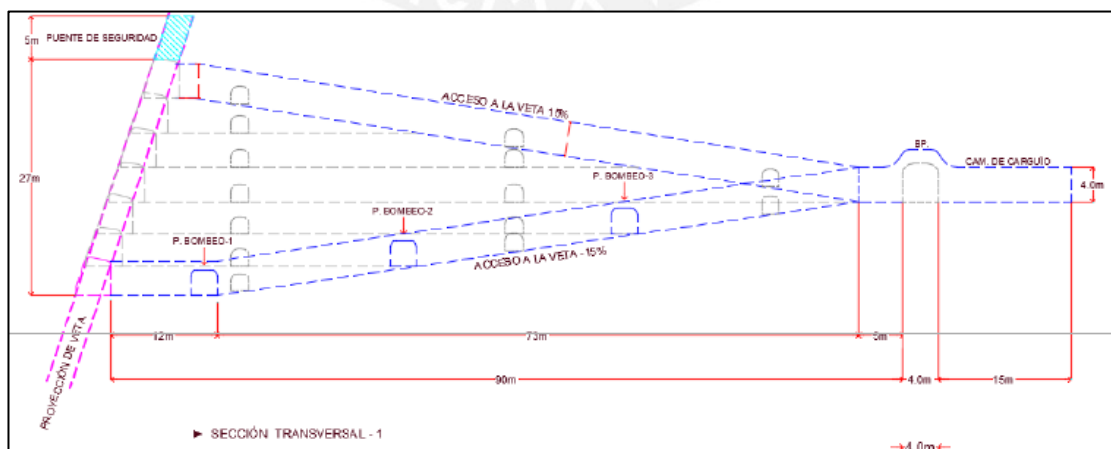


Figura 11: Método de minado por Corte y Relleno Ascendente

(Reporte Compañía Minera 2018)

3.2.2 Taladros Largos (Sub Level Stopping)

El otro método de explotación planteado es Tajeo por Subniveles con Taladros Largos, en su variante “Bench and Fill” (AVOCA), para bancos de trabajo de 8.5 metros.

El diseño de la Mina contempla una Rampa principal de profundización de 4.5 x 4.5 m., con (-) 13% de gradiente. Para definir los bancos de 8.5 metros se desprenden subniveles intermedios definidos por un crucero y by pass de 4.5 x 4.5 metros del cual se realizan accesos de 4 x 4.5 metros con una gradiente de (+) 1%, (-) 15% y (+) 15% de gradiente, formando de esta manera dos bancos y tres subniveles. Estos accesos se encuentran distribuidos a 75 metros hacia el subnivel en mineral y funcionan como límites de cada tajo. Asimismo, para bancos de 8.5 metros en altura la longitud de estos accesos es de 90 metros. Desde los by pass se ejecutan chimeneas Raise Borer con un diámetro de 2.1 metros para ventilación y 1.8 metros para echaderos y servicios.

Después del disparo, la evacuación de los gases es por las chimeneas que conectan de nivel a nivel llegando a los circuitos principales definidos por el área de ventilación y los cuales llegan hasta superficie, manteniendo con aire fresco los caminos de tránsito de personal.

La limpieza y extracción de mineral se realiza utilizando scoops diesel de 6 yardas cúbicas de capacidad con telemando, y en los puntos de carguío despachan a volquetes de 25 metros cúbicos, que transportan al mineral en interior mina hacia el Pique Esperanza o Jacob Timmers. Una vez realizada la etapa de limpieza de mineral se utiliza el relleno detrítico proveniente principalmente de los desarrollos y preparaciones para continuar con el ciclo de minado. Se considera previo a la siguiente voladura una capa o manta para cubrir el relleno de acuerdo a la altura del banco forma un ángulo de reposo de 43°. Se toma en cuenta tres filas equivalentes a cinco metros adicionales de abertura. Este paso es necesario para no contaminar

el mineral con el relleno, el minado es en forma ascendente. En la siguiente ilustración se muestra el método de minado con Taladros Largos.

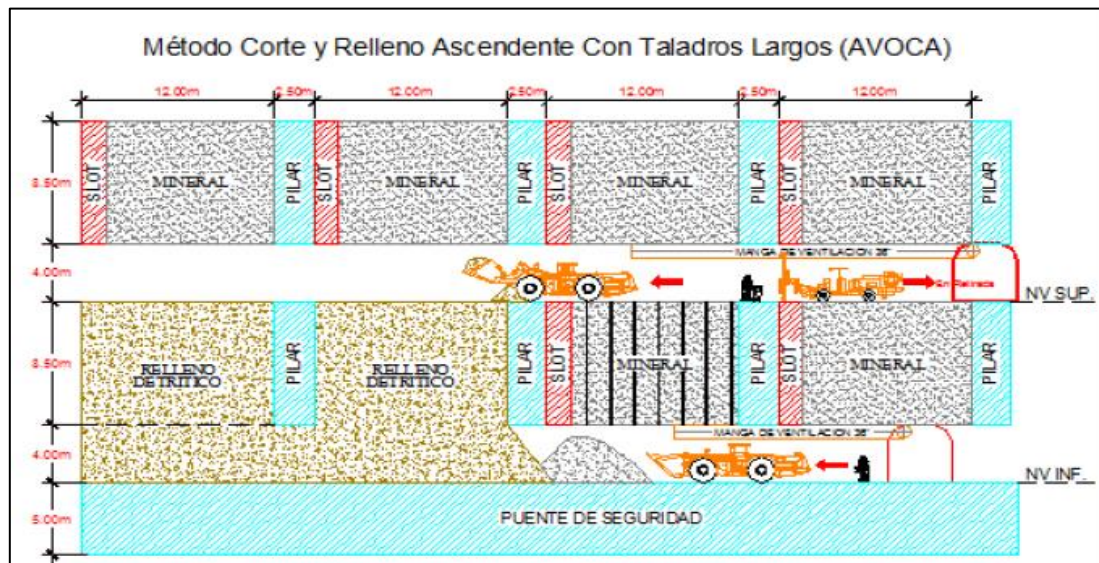


Figura 12: Método de minado con Taladros Largos (AVOCA)

(Reporte Compañía Minera 2018)

3.3 Condiciones Meteorológicas

El área del proyecto pertenece a la zona centro de la cordillera central de los Andes, entre los límites de los departamentos de Lima y Cerro de Pasco. Se caracteriza por su altitud elevada (>4 000 m s.n.m.) y por la existencia de un sistema de lagunas generadas por el deshielo natural de la cordillera.

La finalidad de esta evaluación es establecer características climatológicas para la zona de estudio, y su influencia en la recarga de las aguas subterráneas del área de la mina; así como el comportamiento hidráulico de las lagunas y su incidencia en los parámetros del ciclo hidrológico.

Para el registro de los distintos parámetros climatológicos se cuenta con registros de 11 estaciones meteorológicas. La siguiente tabla nos muestra las estaciones de referencia.

Tabla 1: Estaciones meteorológicas próximas al área

Estación meteorológica	Elevación	Este	Norte	Fuentes
Upamayo	4093	360365	8792018	Electroande
Huyallay	4275	350989	8783989	Electroande
Ayaracra	4325	347869	8802409	Electroande
Laguna Punrun	4350	343060	8857380	Electroande
Cerro de Pasco	4400	272050	8196688	Senamhi
Marcapomacohca	4413	354529	8739457	Senamhi
Santo Domingo	4550	354392	8769565	Senamhi
Cauquismachay	4586	342706	8751998	Sedapal
Laguna Huaron	4600	344623	8782270	Electroandes
Tuactococha	4617	343527	8757624	Sedapal
Yantac	4650	346768	8746026	Senamhi
Animon	4620	344518	8780684	Chungar

3.3.1 Precipitación

Las precipitaciones en el área se presentan después del mediodía por lo general; donde la época de mayor precipitación ocurre durante los meses diciembre y marzo, siendo febrero el mes con lluvias de mayor intensidad. Además, la época de estiaje de mayo a noviembre, tiene ausencia de precipitaciones. Para la precipitación se tomó en cuenta los valores de las estaciones Upamayo, Huayllay, Ayaracra y Cerro de Pasco.

Considerando una altitud media de 4600 msnm, se determinó que la precipitación media del área de estudio tiene una media anual de 1166.5 mm/año. La siguiente tabla nos muestra precipitación media mensual del área de estudio.

Tabla 2: Precipitación Media Mensual (mm)

Precipitación total media mensual (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
154.9	185.6	166.2	90.2	43.3	18.2	16.7	31.1	53.8	129.9	135.4	141.2	1166.5

3.3.2 Evaporación

La evaporación fue analizada en base a los datos de la estación Upamayo, resultando como promedio anual 775 mm/año, registrando valores de hasta 1101 mm/año en años húmedos y 481.2 mm/año en años secos.

Tabla 3: Evaporación Media Mensual (mm)

Evaporación (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Promedio	74.3	65.7	69.6	57.6	56.2	53.1	57	63	65.6	69.5	70.8	72.5	775
Máximo	95.2	119.7	105	83.3	73.6	67.9	80.5	89.6	86.6	82.1	88.2	129.5	1101.2
Mínimo	38.4	31.4	23.7	41.9	39.9	37.9	37.1	47.6	47.5	49.4	43.3	43.1	481.2

3.3.3 Temperatura

La estación principal presenta temperaturas regular sin variación brusca, teniendo una media de 4.6 °C. Se resumen los valores de temperatura promedio mensual.

Tabla 4: Temperatura Media Mensual (°C)

Temperatura (°C)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Promedio	5.5	5.5	5.5	5.4	5	3.8	3.1	2.8	3.4	4.3	5.1	5.1	4.6
Máximo	8.1	7.7	7.3	7.6	7.5	6.1	5.2	5.6	6.4	7.6	7.5	7	7
Mínimo	3.1	3.9	3.2	3.4	2.9	2.4	1.7	0.2	2.2	2.9	3.4	3.3	2.7

3.3.4 Humedad Relativa

La humedad relativa de la zona puede ser variable. A continuación, se detalla la humedad relativa de la zona, así como los valores mínimos y máximos.

Tabla 5: Humedad relativa media, mínima y máxima (%)

Humedad relativa media	62.2
Humedad relativa mínima	60.4
Humedad relativa máxima	84.5

3.3.5 Presión Atmosférica

La presión atmosférica es 59.9 kPa, lo que es equivalente a 0.59 atm.

3.4 Parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales y de interior mina

El conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de las aguas superficiales y de interior mina tiene como objetivo establecer las relaciones entre la composición de las aguas subterráneas junto con la geología, mineralogía y su régimen de flujo.

Los resultados mostrados se obtuvieron a partir de la toma de muestras de puntos representativos dentro de las labores mineras, seleccionados en base a la litología de la roca caja, zona de vetas, presencia de aguas termales, filtraciones en fallas y fracturas.

3.4.1 Conductividad eléctrica

Se registraron datos de conductividad eléctrica (C.E.) durante la toma de muestras en superficie, como manantiales (MQ-01), lagunas (LNN-01, LNS-01, LH-03) y piezómetro (P-05); así como aguas en interior mina en los frentes de descarga, filtraciones y sondajes.

En zona de bofedales se obtuvieron valores de 96 a 355 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en manantiales valores de 165 y 259 $\mu\text{S}/\text{cm}$; y en cuerpos de agua de lagunas valores entre 137 y 1310 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo la Laguna Naticocha Norte la de mayor salinidad por la descarga de aguas de mina. Las aguas de bocamina registran valores entre 776 y 2226 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que las aguas de efluentes mina varían entre 1088 y 3250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Finalmente, las aguas en interior mina se encuentran entre 950 a 2560 $\mu\text{S}/\text{cm}$; siendo las aguas subterráneas recientes de menor mineralización con valores entre 950 y 970 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las aguas de profundidades intermedias producto de la mezcla de aguas y oxidación de sulfuros presentan valores entre 1080 y 1470 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En tanto, las aguas ligadas a termales profundos, principalmente en las vetas María Rosa, Principal y Lorena (Nivel 150 y 175), registran valores entre 1500 y 2560 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.4.2 Variación del potencial de hidrógeno (pH)

Las aguas registradas en superficie muestran valores de pH entre 7.39 y 8.97. Los valores registrados en lagunas muestran valores más alcalinos, debido a la presencia de materia orgánica y vegetales acuáticos. Las aguas de bocamina y lagunilla (LL-02), afectadas por el drenaje ácido de roca, presentan valores de pH entre 2.70 a 5.07.

Las muestras de agua en interior mina presentó valores de pH variables entre 5.9 a 7.3, algunas presentan mayor acidez por el ácido sulfúrico proveniente de la lixiviación de la pirita. El sondaje del GEOH-08 presenta mayor alcalinidad relacionado con aguas con contenido de carbonatos. Mientras tanto, las filtraciones de mina, drenaje, pozas y cámaras de bombeo registran un pH entre 5.9 y 6.8; las que estarían ligadas a las aguas profundas y antiguas.

3.4.3 Variación de temperatura

Los valores de temperatura de las aguas superficiales, riachuelos y lagunas registran valores entre 7.5 y 16.8 °C. El agua de las relaveras y pozas presenta valores entre 8 y 11.2 °C, mientras que los canales registran valores entre 14.1 y 24.5 °C, influenciados por la variación ambiental y circulación subterránea relacionado a la profundidad de la napa freática. Las aguas de mina relacionadas a filtraciones presentaron valores entre 15.3 y 41.2 °C; mientras que los

sondajes presentaron valores entre 17.9 y 43.6 °C, siendo GEOH-01 y GEOH-02 los que presentaron mayor temperatura al estar relacionados a las aguas termales de la veta principal.

3.4.4 Total de Sólidos Disueltos

Para la concentración de sólidos total disueltos (TDS) en aguas de superficie se tuvo valores entre 49 y 565 ppm, siendo los puntos P-05 y LNN-01 de la laguna Naticocha Centro los que registraron los valores más altos entre 268 y 565 ppm, influenciados por la descarga de las aguas de mina. Las aguas en interior mina de filtraciones, drenes, pozas y cámaras de bombeo registraron valores entre 460 y 1692 ppm; entre tanto en los sondajes presentaron valores 210 y 1320 ppm. En las aguas de bocamina se observaron aguas de flujo subterráneo profundo, por lo que se presentaron valores altos de TDS, entre 388 a 1128 ppm. Del mismo modo, se observa la tendencia de la temperatura a incrementarse conforme a la profundidad de las operaciones. El pH de la solución se mantiene constante a pesar del nivel. La siguiente imagen nos resume los valores registrados.

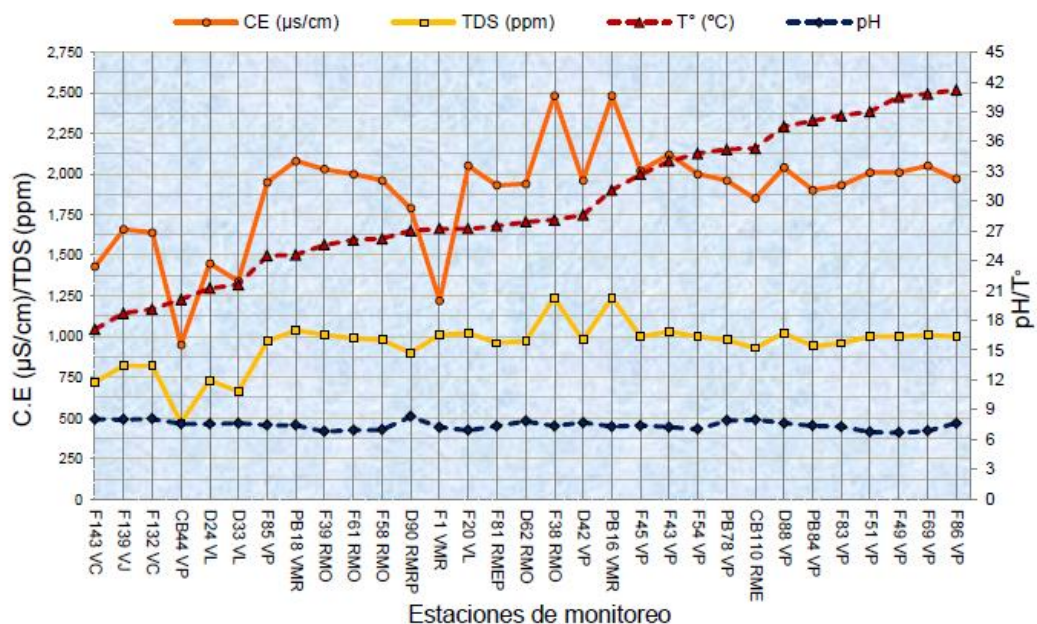


Figura 13: Variación de parámetros fisicoquímicos en aguas de interior mina (Reporte Compañía Minera 2018)

3.5 Comportamiento histórico del drenaje de la mina

Las descargas de las aguas de mina registradas en la estación de Monitoreo E-2 de la mina, ubicada en la salida de la Planta de Tratamiento, indican que los caudales de bombeo fueron incrementándose conforme a los niveles de profundización.

Entre los años 2003 y 2008, los caudales de drenaje fueron variando de acuerdo a las labores de profundización entre valores de 90 y 150 l/s. Durante los años 2009 y 2010 se registró el mayor salto, con caudales de 150 y 450 l/s, habiéndose triplicado. Esto coincide con las operaciones de profundización de la mina. El mayor salto de caudal se dio con las labores de profundización del Nivel 4250, que se extendieron hasta el Nivel 4175. Al haberse deprimido la napa freática bruscamente, la descarga fluctuó durante el 2010, y posteriormente se registró una tendencia a la reducción debido a la estabilización del gradiente hidráulico.

Para el 2013 se reportó un caudal total de 530 l/s a partir de todo el inventario de fuentes por niveles en interior mina, con valores máximo de 720 l/s para el Nivel 4115. Actualmente, la mina demanda un caudal de 900 L/s. La siguiente imagen nos muestra la demanda de caudales históricos de la mina según su profundización.

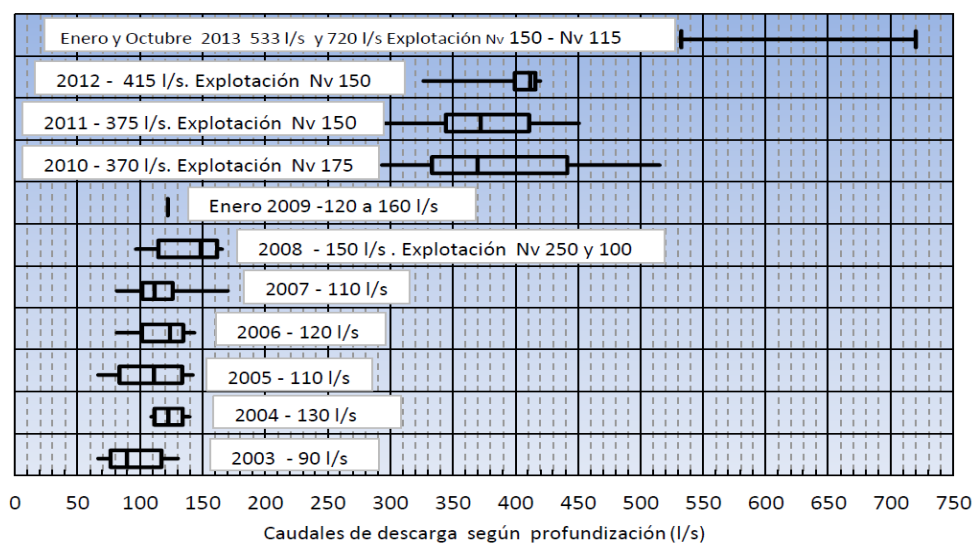


Figura 14: Diagrama de caudales de bombeos históricos

(Reporte Compañía Minera 2018)

3.6 Geología y Mineralización

3.6.1 Geomorfología

La Compañía Minera forma parte de la superficie alto andina de Cerro de Pasco, ubicada entre 4350 y 4600 m.s.n.m. donde la actividad glacial ha modelado su relieve. Esta se encuentra emplazada al fondo del glacial de dirección Noreste – Suroeste, la laguna Naticocha se encuentra en la parte central. El área se ve rodeada por varias lagunas que fluyen hacia el río Mantaro.

Dentro de su paisaje destaca la presencia de cerros, lagunas y circos glaciáricos. El clima también es un factor muy importante que ha determinado los rasgos geomorfológicos de la unidad minera que junto a las condiciones estructurales se observa una morfología muy peculiar.

Las variedades de rasgos topográficos observados se describen brevemente en relación con los procesos de meteorización, erosión de los distintos tipos de roca aflorantes. Algunos tipos de estas rocas dan lugar a rasgos topográficos muy característicos, por ejemplo, la marga da una pendiente suave, mientras que los conglomerados y las areniscas forman crestones o prominencias sobresalientes y que han permitido la preservación de las rocas menos competentes, que hubieran sido erosionadas en la época glaciárica. En base a la experiencia geotécnica y el buen conocimiento sobre los procesos de meteorización y erosión, que están relacionados con el clima y el tipo de roca, se observa importantes detalles en el paisaje.

Las rocas duras como los conglomerados, las areniscas y los intrusivos cuarzo monzoníticos son resistentes y desarrollan curvas convexas, en contraste con las curvas cóncavas que originan las rocas suaves como la marga roja, o las margas grises arcillosas. La consistencia relativa y la resistencia a la meteorización y erosión son los factores importantes.

3.6.2 Geología Regional:

Las Unidades lito-estratigráficas que afloran en la región, están constituidos por rocas sedimentarias conocidos como “Capas Rojas” y plutones intrusivos denominados hipabisales. En la zona está presente las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el Este.

Estas se encuentran constituidas por margas, areniscas y arcillitas de color rojizo o verde grisáceo, en estratos delgados con algunos estratos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas y areniscas grises. Se estima un grosor de 2385 metros de estas rocas sedimentarias que datan al cretáceo superior terciario inferior (Eoceno). Completan el Marco Geológico-geomorfológico una posterior erosión glaciaria en el pleistoceno que fue muy importante en la región producto de esta actividad glaciaria se generaron las subsidencias y formación de grandes lagunas.

La siguiente figura nos muestra el plano estructural de la región. Se destaca la presencia de las fallas Llacsacocha, Antigua y el Dique Monzonítico

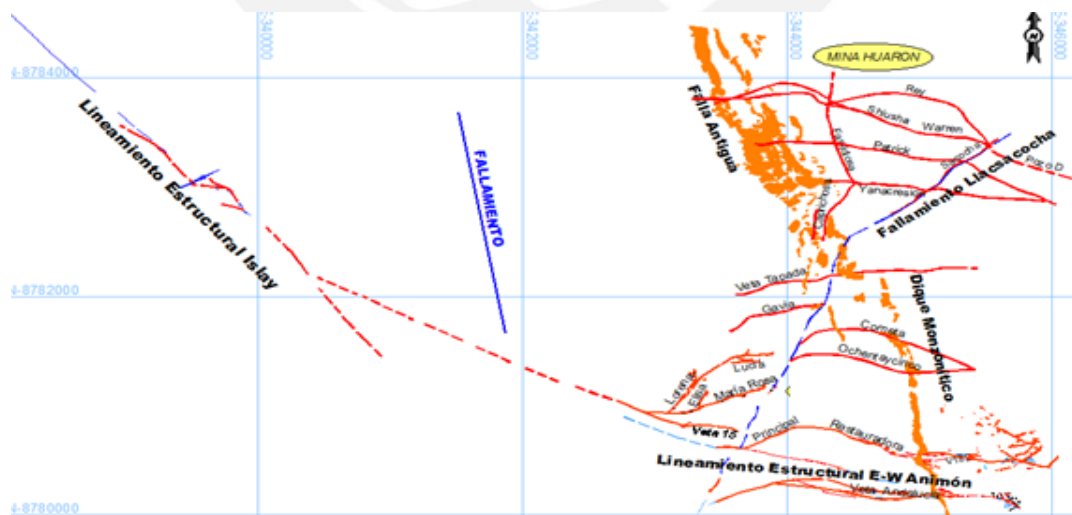


Figura 15: Plano estructural regional

(Gate, 2019)

3.6.3 Geología Local

El yacimiento litológicamente está conformado por rocas sedimentarias que reflejan un periodo de emersión y una intensa denudación. Las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca presentan dos ciclos de sedimentación. El ciclo más antiguo es el más potente con 1400 a 1500 metros de grosor y el ciclo más joven tiene una potencia de 800 a 900 metros. Cada ciclo en su parte inferior se caracteriza por la abundancia de conglomerados y areniscas, en su parte superior contienen horizontes de conglomerados y volcano-clásticos. La gradación de los clastos y su orientación indican que los materiales han venido del Este, probablemente de la zona actualmente ocupada por la Cordillera Oriental de los Andes.

3.6.4 Geología Estructural

El yacimiento está constituido por una diversidad de estructuras geológicas, las cuales varían desde estructuras de dimensiones medianas como, por ejemplo, en anticlinal de Huarón, hasta elementos pequeños como un plano de estratificación en un fragmento de roca que pueda sostenerse en la mano. Las estructuras principales están compuestas por un conjunto de otras pequeñas, las cuales han sido formadas por los procesos de sedimentación, intrusión magmática, deriva continental, así como por el ascenso y descenso del nivel de la superficie terrestre hasta el emplazamiento actual.

La mina está compuesta por rocas sedimentarias en estratos de distintos tipos de roca como marga gris, marga roja, areniscas, conglomerados y un intrusivo de cuarzo monzonita en la periferia. Las rocas sedimentarias se presentan en secuencias alternas y gradacionales observadas claramente en la superficie; estas rocas después de millones de años de sedimentación y con un movimiento ascendente del techo oceánico ha elevado al macizo, dando lugar a la formación de la cordillera y las características topográficas actuales; este movimiento ha provocado que las formaciones de roca sobresalgan en pliegues y anticlinales

donde se encuentra emplazado la mineralización de la mina. A continuación, se muestra la distribución espacial de las estructuras importantes de mina. Se resalta la presencia de la Veta Principal, Veta Janeth, Veta Andalucía, Veta Ofelia, Veta Lorena; las cuales son las que proporcionan el mayor volumen de mineral a la producción de la mina

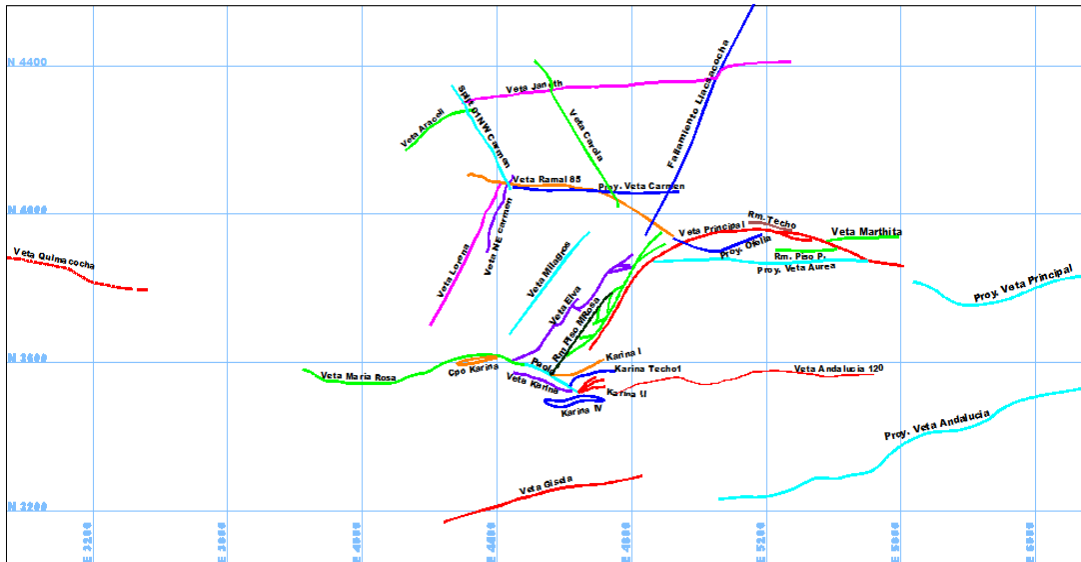


Figura 16: Distribución espacial de las estructuras importantes de la mina
(Reporte Compañía Minera 2018)

El siguiente gráfico nos muestra la sección transversal del sistema de vetas de la mina

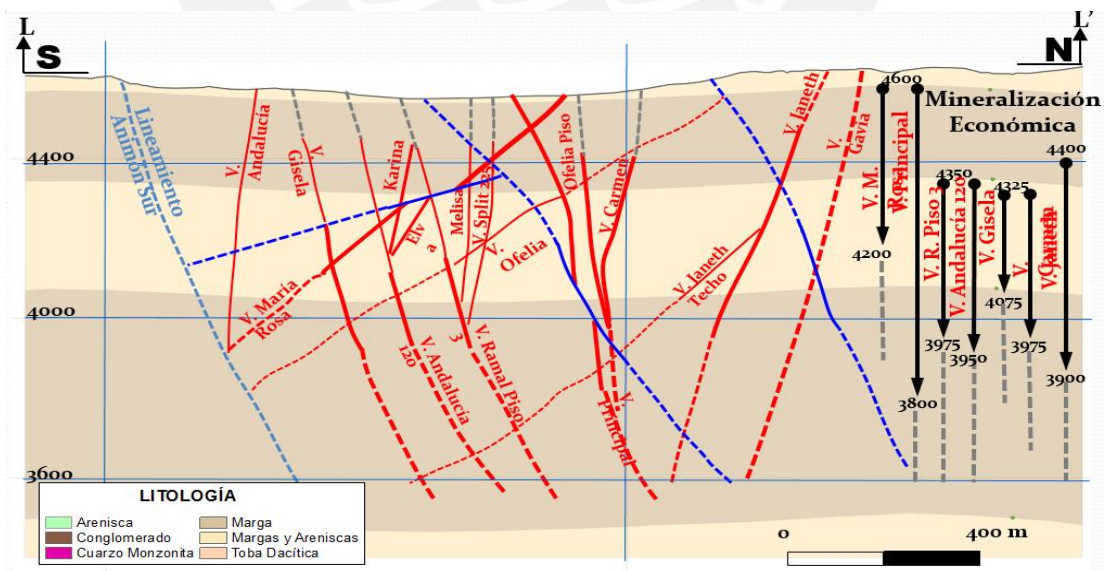


Figura 17: Sección transversal de las vetas
(Reporte Compañía Minera 2018)

3.6.5 Mineralización

La mineralización de la mina no está claramente en relación a un intrusivo aflorante por lo que se presume que el foco mineralizante se ubicaría a profundidad dentro del arreglo clásico de sistemas hidrotermales tipo filoniano de metales base. Hasta ahora la mineralización polimetálica más importante se encuentra alojada en un sistema de fracturas tensionales desarrolladas en el sector Este donde se ubica la veta Principal, y en segundo lugar la veta Andalucía además de otras menores que localmente forman arreglos sigmoideos mayormente con la primera.

El otro ámbito de mineralización importante se ubica en el sector oeste donde destacan dos vetas de similar orientación control y envergadura, la veta María Rosa y la veta Ramal 85, entre las cuales se desarrollaron otras de evidente generación tensional como son veta Lorena, veta Elva, veta Milagros.

La veta más importante es la veta Principal, de rumbo E-W y buzamiento de 65 a 75 grados al norte, con casi 2km de largo, 600 m reconocidos de profundización actual y potencia que va desde 0.50 metros hasta 12 metros de ancho, presenta clavos subsecuentes de excelente relleno mineral que también varía en su longitud presentando en la parte central y profunda el sector más desarrollado de mineral masivo de esfalerita y en el sector, este dominio de mineralización en carbonatos con valores interesantes de Pb-Ag.

La segunda veta más importante es la veta Janeth, de rumbo E-W y buzamiento de 65 grados al sur, con casi 900 metros de largo, y 400 metros de profundización actual y potencia que va desde 0.50 metros hasta 7 metros de ancho, presenta relleno mineral de esfalerita, galena, ganga de carbonatos pirita y algo de cuarzo. Actualmente se ha desarrollado cuatro niveles en la zona intermedia de la mina. Por su posición intermedia su contribución en la producción es importante en valores de plomo, plata.

La siguiente figura, nos muestra los diferentes tipos de mineralización de la mina, donde destaca principalmente el tipo de mineralización estrato controlada y la mineralización diseminado de reemplazamiento.

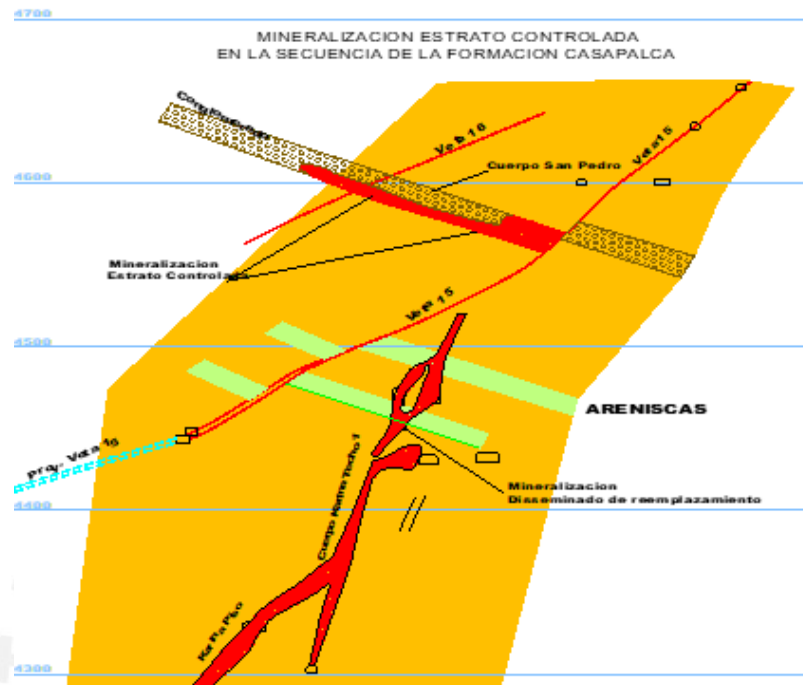


Figura 18: Tipos de Mineralización de la mina
(Reporte Compañía Minera 2018)

3.7 Hidrogeología

El área de estudio hidrogeológico de la mina se encuentra dentro del ámbito de la microcuenca Naticocha, y Quimacocha, ambas forman parte de la microcuenca Huaroncocha. El área de estudio es de alta pluviosidad correspondiente a una zona de cordillera, con climas extremos típicamente andinos.

La zona se encuentra sobre bloques de roca sedimentarias estratificadas, compuestas por margas y lutitas en las partes bajas del altiplano, mientras que en las montañas altas se encuentran areniscas y calizas, e intrusiones de diques ígneos y subvolcánicos.

Los estratos se encuentran plegados debido a esfuerzos compresivos transversales E-W, donde se denota estratos sedimentarios altamente fracturados debido al tectonismo andino, y la fuerte actividad tectónica que soportó durante el Eoceno – Plioceno, originando fallas y plegamientos compresivos. Estas a la larga controlan la infiltración y movimiento de las aguas subterráneas, las cuales pasan a formar parte de las aguas profundas que descargan en las labores subterráneas de la mina.

Estos estratos infrayacen a las lagunas circundantes, y forman parte del estrato basal fracturado por fallas transversales, las cuales son rellenadas por soluciones mineralizantes que formaron las vetas.

3.7.1 Unidades hidrogeológicas del área

Las unidades en mención se caracterizan según sus características geológicas y litológicas de la roca, las cuales condicionarán sus propiedades hidráulicas dentro del subsuelo. Es importante tener en consideración los siguientes conceptos.

- Acuífero: Unidades que pueden proporcionar fuentes productoras de agua subterránea para distintos usos según su calidad, de moderada a alta permeabilidad, con características de alto almacenamiento, económicamente aprovechables.
- Acuitardo: Son unidades que "retardan" el movimiento del agua y son generalmente de baja permeabilidad, pero pueden tener características apreciables de almacenamiento.
- Acuicludo: Unidades que almacenan reducidas cantidades, con posibilidad de transmitir localmente, pero no son aprovechables por su reducido almacenamiento interno.
- Acuifugo: Son unidades de muy baja permeabilidad, incapaz de almacenar y transmitir agua, y bajas características de almacenamiento interno.

Su nominación depende del medio geológico, las propiedades químicas de los minerales, su homogeneidad, y anisotropía, así como su comportamiento hidráulico e hidroquímico durante su trayectoria de flujo (Salamanca, 2019).

En el área de estudio se han identificado y clasificado cuatro unidades hidrogeológicas, las cuales controlan la recarga y el flujo de las aguas subterráneas en profundidad, así como la interacción de las aguas superficiales.

Tabla 6: Unidades hidrogeológicas de la Compañía Minera

Unidades hidrogeológicas		Conductividad hidráulica		Espesor (m)	Clasificación
		(m/s)	(m/d)		
Suelos cuaternarios					
Fluvioglaciario; arcillas con gravas angulosas		6.9E-07 a 6.9E-06	0.06 a 0.6	5 a 20	Acuitardo
Basamento rocosos					
Fm. Casapalca Capas Rojas	Marga Roja	1.7E-11 a 2.3E-07	1.5E-06 a 0.02	800	Acuífugo
	Marga Gris	1.0E-06 a 1.4E-05	0.09 a 1.2	10 - 100	Acuitardo
	Areniscas	1.0E-05 a 5.8E-05	1.0 a 5.0	450	Acuífero fisurado
Vetas	Principal	1.2E-06 a 1.9E-05	0.1 a 1.6	4 a 5	Acuífero local
	Lorena	2.3E-06 a 2.1E-05	0.2 a 1.8	4 a 5	Acuífero local
	María Rosa	4.6E-06 a 1.4E-05	0.4 a 1.2	0.5 a 1.5	Acuífero local
Intrusivos, Cuarzo Monzonita		1.2E-06 a 1.0E-05	0.1 a 1.0	50 a 100	Acuitardo

a. Margas rojas Casapalca

El macizo rocoso de la mina consiste de una gruesa secuencia margas y limonitas rojas (mayor a 500 metros de espesor), cuyas capas se encuentran plegadas, siendo el valle Naticocha el eje de este gran anticlinal. Esta fue atravesada por las labores mineras de acceso (rampas). Hoy en día no se registran descargas de aguas subterráneas, la conexión hidráulica con la superficie es casi nula. Dado que esta unidad es caracterizada por su granulometría de estratos finos y baja permeabilidad, se le considera un acuífugo.

b. Margas grises Casapalca

Las margas grises están asociadas a la intrusión magmática del área, originados principalmente por el efecto tectónico de la zona, presentando estructuras mineralizadas que atraviesan el E-W. Estas estructuras sirven como depósito de cuerpo de vetas afectando a su roca caja. Se tienen halos de alteración en forma de margas grises por alteración silíceo, caracterizada por tener media a baja resistencia mecánica, y por ende, mejores condiciones de conductividad hidráulica.

Esta red de vetas forma un medio de conexión hidráulica hacia las labores subterráneas profundas, ya que almacenan aguas subterráneas antiguas conocidas como reservas permanentes. Mediante las vetas existe circulación local, indicando moderada permeabilidad debido a sus fracturas abiertas, considerándose un acuitardo.

c. Areniscas Casapalca

Esta unidad es detrítica, consta de areniscas y conglomerados alternados con margas rojas. Constituye la mayor secuencia de estratos permeables aflorantes de las montañas, siendo el área de recarga más importante para las aguas subterráneas. Esta se encuentra en los flancos de las partes altas, comportándose como acuífero libre de baja permeabilidad. El espesor se estima en 450 metros al Norte de la sub cuenca Quimacocha. Por su base, las areniscas se encuentran selladas por los depósitos inter-estratificados de margas y limotitas rojas. Aun así, estas capas mantienen conexión hidráulica con los niveles más profundos, a través de las anomalías estructurales y vetas mineralizadas.

La conductividad hidráulica de las areniscas se considera de baja a moderada, lo que da lugar a la infiltración y percolación de las aguas subterráneas a la profundidad, lo que permite

que las reservas internas se recarguen con el tiempo. Esto se ve acelerado por el drenaje de mina formado por las labores mineras subterráneas.

d. Arcillas Fluvioglaciales

Las rocas del basamento se encuentran cubiertos por sedimentos fluvio-glaciares, formado por arcillas residuales con gravas angulares, y lentes de limos arcillosos poco estratificados. Se caracteriza por ser una unidad impermeable a poco permeable, siendo un suelo de baja conductividad hidráulica denominado acuitardo.

e. Vetas Conductivas

Estas vetas se encuentran rellenando las fallas en el contacto con la roca caja, brechadas por fallas post mineralización y desplazamiento variable. En la parte central, la veta se presenta masiva y fracturada por planos irregulares, rellenos de calcita, pirita. Del mismo modo, se presentan vetas de 2 a 5 metros de espesor con alto grado de fracturamiento. Las aguas localizadas en el contacto entre la veta y la marga gris, en las cajas techo y piso, son permeables.

f. Acuitardo – Intrusivos Monzoníticos

Los intrusivos en las anomalías estructurales, asociados a las soluciones hidrotermales pos-intrusivas, han producido caolinización y fuerte piritización en los diques. Al ser una roca moderadamente estable con fracturas abiertas, se le atribuyen características de acuitardo. Es posible que en ciertas partes de su afloramiento pueda conectar hidráulicamente.

3.7.2 Sistema de flujo de las aguas subterráneas

De acuerdo a la disposición geológica de las capas y condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio, se pueden diferenciar tres grandes grupos de circulación interna dentro del subsuelo.

3.7.2.1 Flujo descendente regional

El flujo de las aguas subterráneas en interior mina es conducido por fallas y fracturas localizadas en vetas y cuerpos mineralizados que contienen minerales polimetálicos. Estos forman uno de los medios principales para el flujo de las aguas subterráneas, los cuales actúan como unidades transmisoras de agua dentro de las galerías subterráneas.

Las margas y limotitas de Casapalca Inferior, se comportan como estratos impermeables, no obstante, estos fueron instruidos por vetas, filones y diques, los cuales localmente forman parte de medios de comunicación que permite la recarga paulatina y profunda de las vetas. La recarga puede proceder de la cuenca Naticocha y del exterior de las cuencas adyacentes como Quimacocha y Chaquicocha, como flujos de aporte de cuencas colidantes.

3.7.2.2 Flujo local en superficie

El flujo en superficie ocurre principalmente por infiltración de las aguas de tormenta que cae en la ladera de los cerros, éstas se infiltran en los depósitos de pie de monte. Dentro de esta, se produce poco flujo con dirección a las lagunas Huarococha. Este solo permite recuperar la humedad natural de los suelos y en menor proporción fluyen hacia la laguna Naticocha Sur, donde tienen direcciones NW-SE y E-W.

3.7.2.3 Flujo ascendente hidrotermal

En la zona central del anticlinal Huarón de la mina, se ha ubicado una zona de surgencia de aguas termales, que forma parte del Sistema Hidrotermal de la Veta Principal. Este está

localizado en las grietas de circulación ascensional en un radio de 250 metros dentro del Nivel 4115, con una descarga de 223 l/s aproximadamente. Dicho flujo se va desplazando en función al avance de la labor en explotación con un ancho promedio de 3.5 a 4 metros. Este se mezcla con las aguas frías de la zona alterada, que también descargan en las partes laterales de las labores.

Esta surgencia se asocia a la existencia de una zona geotermal, localizada del intrusivo cuarzo monzonítico. De aquí puede que se hayan ramificado varias vetas, logrando comunicar esta área termal con las aguas meteóricas descendentes y alimentar la zona geotermal para producir un flujo ascendente. La profundidad de surgencia de aguas termales se estima en 1500 metros, donde es posible que se encuentre el foco geotérmico.

3.8 Producción

El proceso de producción consiste en la extracción de mineral polimetálico (Ag-Pb-Zn-Cu). La mina cuenta con 5 vetas principales de explotación, las cuales son las siguientes: Ramal Piso 3 Principal, Andalucía 120, Janeth, Principal, Karina 1 y Ofelia. La extracción del mineral se da por medio de los métodos: taladros largos, corte y relleno ascendente. El mineral es transportado por medio de volquetes y dumper y es enviado a la planta concentradora a razón de 4,200TMH/día (toneladas métricas húmedas al día) para su tratamiento.

A continuación, el siguiente cuadro muestra el programa de producción 2018 segmentado por tipo de método.

Tabla 7: Programa de producción 2018 por tipo de método

METODO	TMS	% Zn	% Pb	% Cu	Oz Ag
SN	445,581	4.62	1.24	0.14	1.38
OCF	959,999	5.75	1.24	0.14	1.46
SLS	127,420	7.27	2.04	0.21	2.2
TOTAL	1,533,000	5.55	1.31	0.14	1.5

3.9 Reservas y recursos

Las reservas y recursos minerales se han estimado para el 2018 en conformidad con las normas internacionales establecidas por el Joint Ore Reserves Committee (JORC7). El cálculo de reservas para el 2018 se realizó empleando proyecciones de precios de metales de largo plazo: 2,450 USD/TM para el zinc, 2,100 USD/TM para el plomo, 6,400 USD/TM para el cobre y 18,5 USD/oz para la plata. En los Anexos 1, 2 y 3 se detalla el reporte de recursos de la Compañía Minera por tipo de estructura, recursos en vetas y recursos en cuerpos respectivamente. Del mismo modo, en los Anexos 4, 5 y 6 se puede ver el detalle del reporte de reservas de la mina por tipo de estructura, reservas en vetas y reservas en cuerpos respectivamente. La tabla 8 nos resume las reservas de la mina por categoría y la ley promedio de los minerales que se producen.

Tabla 8: Reservas por categoría

Categoría	TM	AV (m)	AM (m)	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (oz/T)
Probada	3,999,604.13	3.19	4.16	6.14	1.85	0.17	2.24
Probable	5,336,762.51	3.06	3.99	5.65	1.74	0.15	1.89
Total	9,336,366.64	3.12	4.06	5.86	1.79	0.16	2.04

4 EVALUACIÓN TÉCNICA

4.7 Sistema de bombeo de dos etapas

4.1.1 Descripción general

El sistema de bombeo de agua actual de la mina considera el bombeo en dos etapas: del Nivel 4100 a Nivel 4355 y del Nivel 4355 al Nivel 4610 (superficie). La estación de bombeo del Nivel 4100 consta del uso de 12 bombas distribuidas en tres trenes de 4 bombas cada uno (dos trenes funcionando y uno en stand-by) con motores de 500 HP y una capacidad nominal de 300 l/s por cada tren. En mayor detalle, consta de los siguientes componentes:

- Cámara de bombas N°1
 - Tren 01: Bombas de impulsión conformada de 04 bombas en serie en operación.
 - Tren 02: Bombas de impulsión conformada de 04 bombas en serie en stand-by.
- Cámara de bombas N°2
 - Tren 03: Bombas de impulsión conformada de 04 bombas en serie en operación.
- Dos líneas de transporte de agua de 18'' CS con capacidad de enviar 300 l/s al Nv. 4355.
- Sistemas de agua para sello para lubricar enfriar y limpiar el sello y el eje de bombas con agua limpia a un caudal de 8 GPM a 10 GPM por cada bomba a lubricar.
- Poza de alimentación de 2300 m³.

La estación de bombeo del Nivel 4355 contempla el uso de 9 bombas distribuidas en 3 trenes de 3 bombas cada una (dos trenes funcionando y uno de stand-by) con motores de 550 HP y una capacidad nominal de bombeo de 300 l/s por cada tren. En mayor detalle, la estación cuenta con:

- Cámara de bombas N°1

- Tren 01: Bombas de impulsión conformada de 03 bombas en serie en operación.
- Tren 02: Bombas de impulsión conformada de 03 bombas en serie en stand-by.
- Cámara de bombas N°2
 - Tren 03: Bombas de impulsión conformada de 03 bombas en serie en operación.
- Dos líneas de transporte de agua de 18'' CS con capacidad de enviar 300 l/s al Nv. 4610.
- Sistemas de agua para sello para lubricar enfriar y limpiar el sello y el eje de bombas con agua limpia a un caudal de 8 GPM a 10 GPM por cada bomba a lubricar.
- Poza de alimentación de 2300 m³.

Se cuenta del mismo modo, con un sistema de conducción de agua en superficie Nivel 4610. Este nivel contempla el uso de una poza receptora de agua en interior mina y la conducción por gravedad hasta la poza de sedimentación existente. En este nivel se cuenta con:

- Un cajón de paso, que recibirá el agua y le dará paso hacia la poza de sedimentación existente y distante a 800 metros.
- La poza de sedimentación, donde terminará el agua bombeada desde interior mina.
- Dos líneas de 18'', para el envío de agua desde el cajón paso hasta la poza de sedimentación.

A continuación, se muestra un diagrama unifilar del sistema de bombeo.

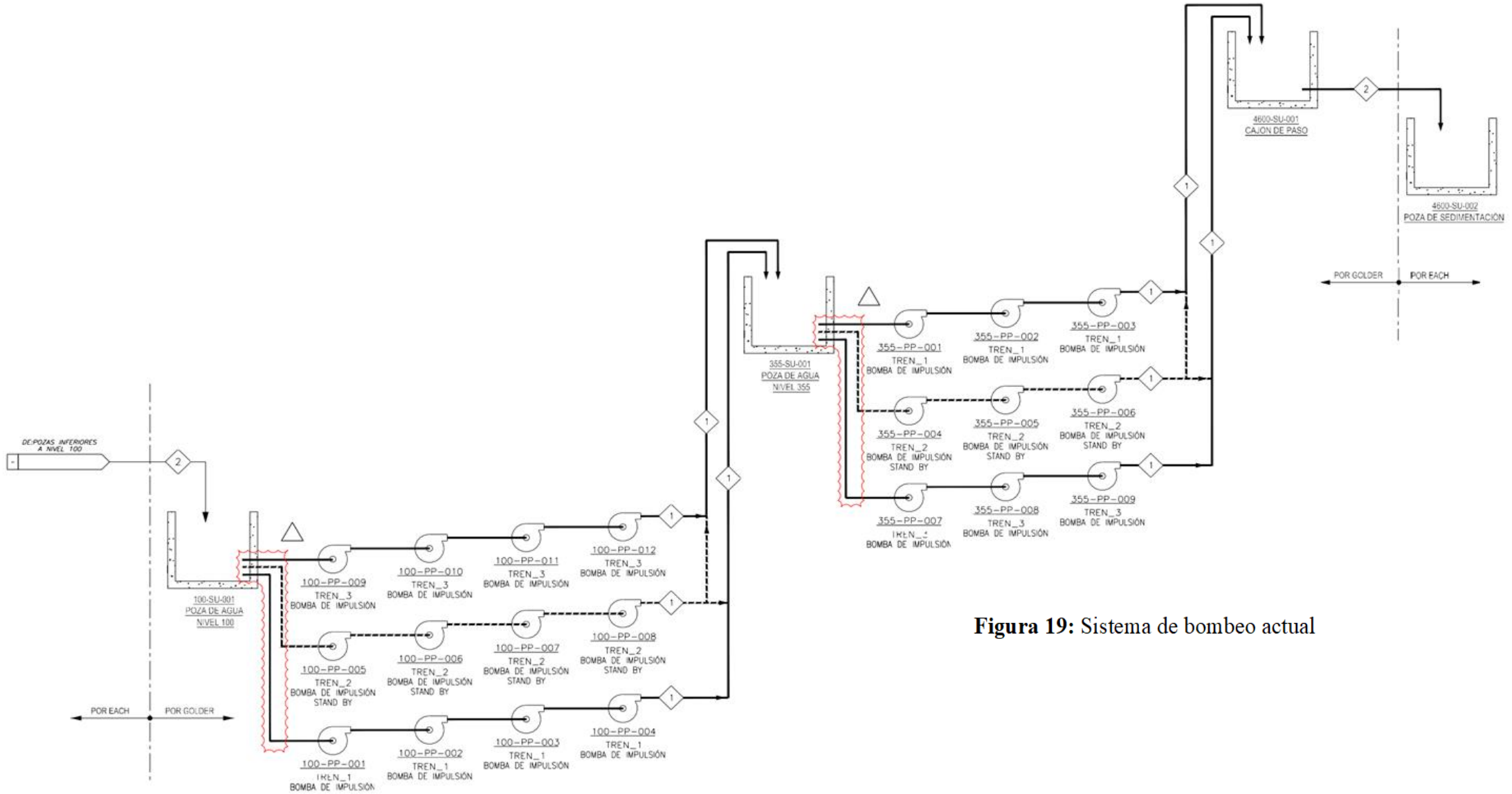


Figura 19: Sistema de bombeo actual

4.1.2 Bombas empleadas y características

Las bombas que se emplearon en la estación del Nivel 4350 son de modelo WEG W50 550 HP. A continuación, se muestra la ficha técnica de la bomba con su curva de rendimiento.

Tabla 9: Ficha técnica WEG W50 550 HP

Código del producto	IEEE-841 / W50
Línea del producto	W50

Carcasa	5809/10
Potencia	550 HP (410 kW)
Frecuencia	60 Hz
Polos	4
Rotación nominal	1791 rpm
Resbalamiento	0.50%
Tensión nominal	460 V
Corriente nominal	605 A
Corriente de arranque	4296 A
Ip/In	7.1 Cod. G
Corriente en vacío	218 A
Torque nominal	2186 Nm
Torque arranque	210%
Torque máximo	270%

Clase de aislamiento	H
Elevación de temperatura	55 K AT SF 1.00
Tiempo de rotor bloqueado	21 s (caliente)
Factor de servicio	1.15
Régimen de servicio	S1
Temperatura de ambiente	
Altitud	4700 m
Categoría	B
Protección	IP66 (TEFC)
Forma constructiva	F-1/B3R(D)
Sentido de giro	Ambos
Masa aproximada	2630 kg
Momento de inercia	14.3 kgm ²
Nivel de presión sonora	82.0 dB (A) (global)

CARGA	FACTOR POTENCIA	RENDIMIENTO
100%	88%	96.40%
75%	86%	96.40%
50%	81%	96.20%

	RODAMIENTO	LUBRICANTE
DELANTERO	NU322-C3	60 g
TRASERO	6319-C3	45 g

Intervalo lubricación	3330 h
Grasa-MOBIL POLYREX EM	

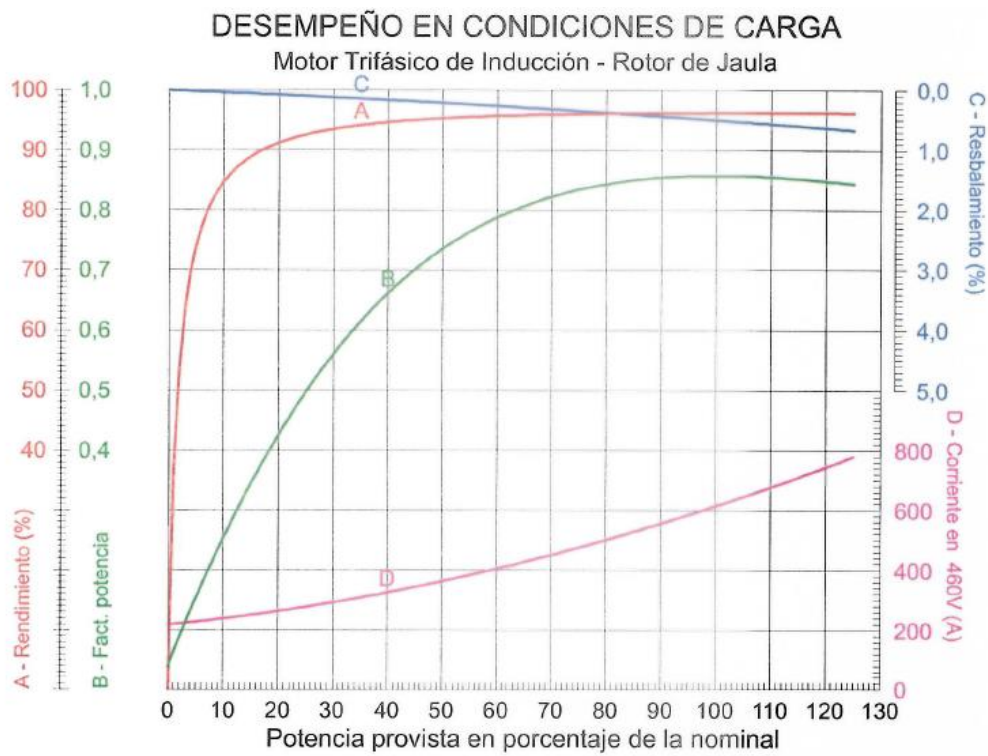


Figura 20: Curva de desempeño W50 550 HP

(Weg, 2019)

Para la estación del Nivel 4100 se emplearon bombas WEG W50 500 HP. Se muestra la ficha técnica de la misma y su curva de rendimiento.

Tabla 10: Ficha técnica WEG W50 500 HP

Código del producto	IEEE-841 / W50
Línea del producto	W50

Carcasa	5809/10	Clase de aislamiento	B
Potencia	500 HP (370 kW)	Elevación de temperatura	55 K AT SF 1.00
Frecuencia	60 Hz	Tiempo de rotor bloqueado	21 s (caliente)
Polos	4	Factor de servicio	1.15
Rotación nominal	1791 rpm	Régimen de servicio	S1
Resbalamiento	0.50%	Temperatura de ambiente	
Tensión nominal	460 V	Altitud	4700 m
Corriente nominal	550 A	Categoría	B
Corriente de arranque	3905 A	Protección	IP66 (TEFC)
Ip/In	7.1 Cod. G	Forma constructiva	F-1/B3R(D)
Corriente en vacío	172 A	Sentido de giro	Ambos
Torque nominal	1988 Nm	Masa aproximada	2559 kg
Torque arranque	210%	Momento de inercia	14.3 kgm ²
Torque máximo	270%	Nivel de presión sonora	82.0 dB (A) (global)

CARGA	FACTOR POTENCIA	RENDIMIENTO
100%	0.88	96.40%
75%	0.86	96.40%
50%	0.81	96.20%

	RODAMIENTO	LUBRICANTE
DELANTERO	NU322-C3	60 g
TRASERO	6319-C3	45 g

Intervalo lubricación	3330 h
Grasa-MOBIL POLYREX EM	

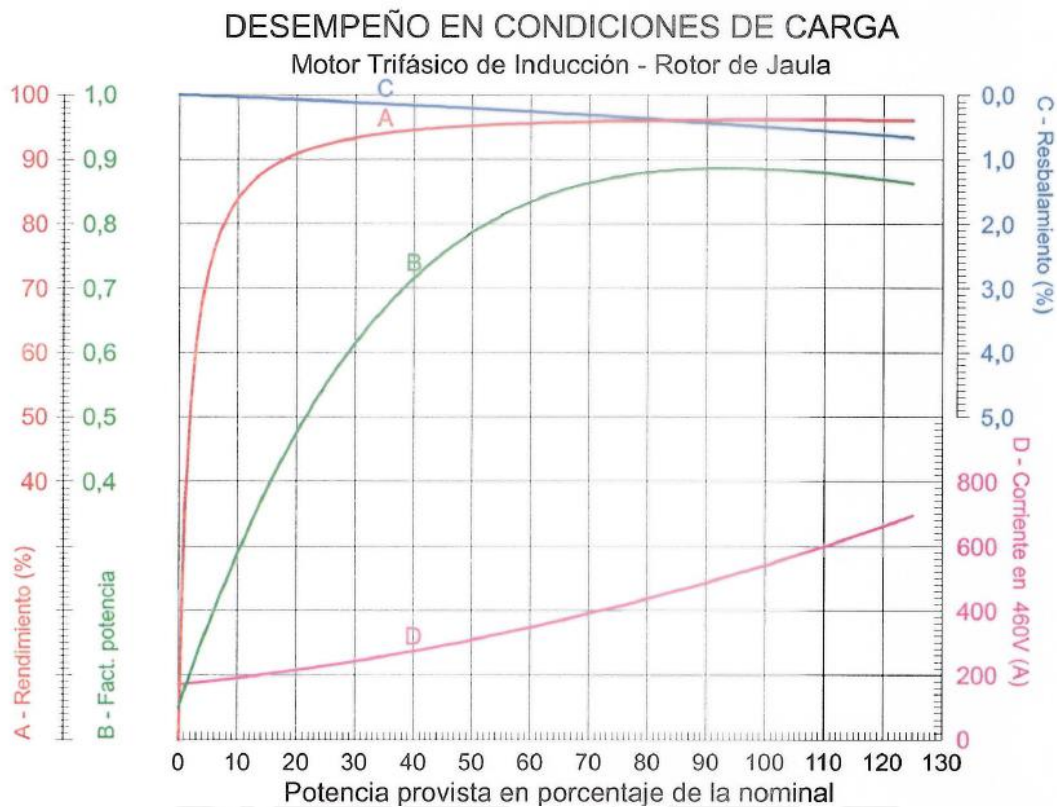


Figura 21: Curva de desempeño W50 500 HP

(Weg, 2019)

4.1.3 Labores mineras

En cuanto a labores mineras, se cuenta con dos raise bores a fin de conectar los niveles Nv 4100 y Nv 4355; así como el Nv. 4355 y el Nv. 4610 (superficie). Los raise bores tienen una capacidad de alojar dos tuberías de 18", así como la infraestructura de acero necesaria para realizar mantenimiento a estas dos tuberías.

Por otro lado, las pozas de almacenamiento diseñadas permiten una autonomía de bombeo de una hora, estas son limpiadas sin afectar la operación del sistema. Cada poza debe de tener una capacidad aproximada de 2300 m³, con ángulo plataforma de fondo de 6 grados de inclinación.

En cuanto a las cámaras de bombeo (sala de bombas), como se especificó anteriormente, se cuenta con cuatro para montaje de una o dos trenes de bombas dependiendo de las

condiciones geomecánicas de las zonas designadas. La altura de la cámara es de 6 metros para que permita montar una pasarela en la parte superior del muro de contención de la poza y, también, permitan la instalación de monorraíles para maniobras de movimiento de equipos.

Finalmente, las cámaras para salas eléctricas están ubicadas a las cercanías de las cámaras para bombas y tienen dimensiones en función a la cantidad de tableros por tren de bombas al cual alimentarán. Se cuenta con una subestación eléctrica en 4.16 kV, que recibirá energía proveniente de la subestación Montenegro y entregará energía en 480 VAC; y con una sala eléctrica en 480 V, que recibirá energía de la subestación y la distribuirá a cada una de las bombas y servicios auxiliares.

Se muestra a continuación las labores principales que se tienen en la Compañía Minera, sus longitudes y su ubicación espacial dentro de la mina. La Rampa Mirko Integración es una de las más importantes ya que permite el ingreso a la vetas con mayor volumen de producción.

Tabla 11: Labores principales de la Compañía Minera y longitud

LABOR	FUNCIÓN	LONGITUD (m)
RP Mirko	Vía de salida de vehículos y personal	5466
RP Terry	Vía de ingreso de vehículos y personal	2944
RP Mirko W	Ingreso a vetas split Maria Rosa, Elva Piso, Lorena, Lourdes, Gisela	2657
RP Mirko Integración	Ingreso a vetas Ofelia, Carmen, Janeth, Split NW01 Carmen	780
XC 390	Utilizado para extracción de mineral y desmonte	723
Rp 125 Gisela	Utilizado para extracción de mineral y desmonte	625
Rp 175 Rp3	Utilizado para extracción de mineral y desmonte	238
Rp 000 Rp3	Utilizado para extracción de mineral y desmonte	185
Pique Esperanza	Utilizado en extracción de mineral y desmonte e instalación de servicios	500
Pique Jacob Timmers	Utilizado para extracción de mineral y desmonte	520
Pique Montenegro	Utilizado para servicios y traslado de personal	410
TOTAL		15048

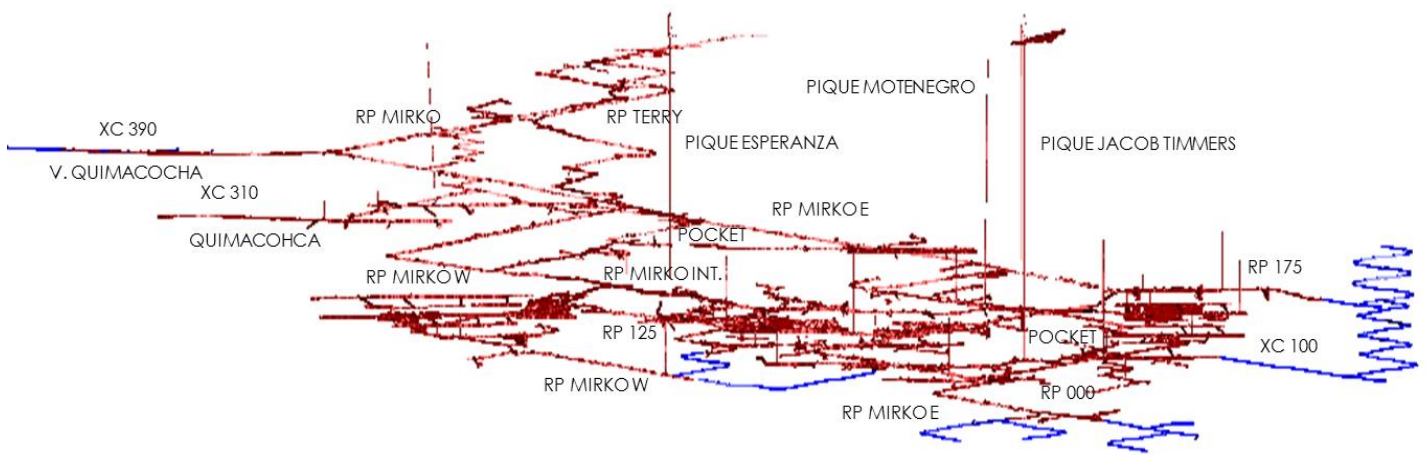


Figura 22: Labores principales de la Compañía Minera
(Reporte Compañía Minera 2018)

La siguiente figura nos muestra un diagrama en 3D sobre la ubicación de las estaciones de bombeo del Nv 4100 y Nv 4355 en la mina actualmente, y la propuesta para el Nivel 3845 que será detallado más adelante.

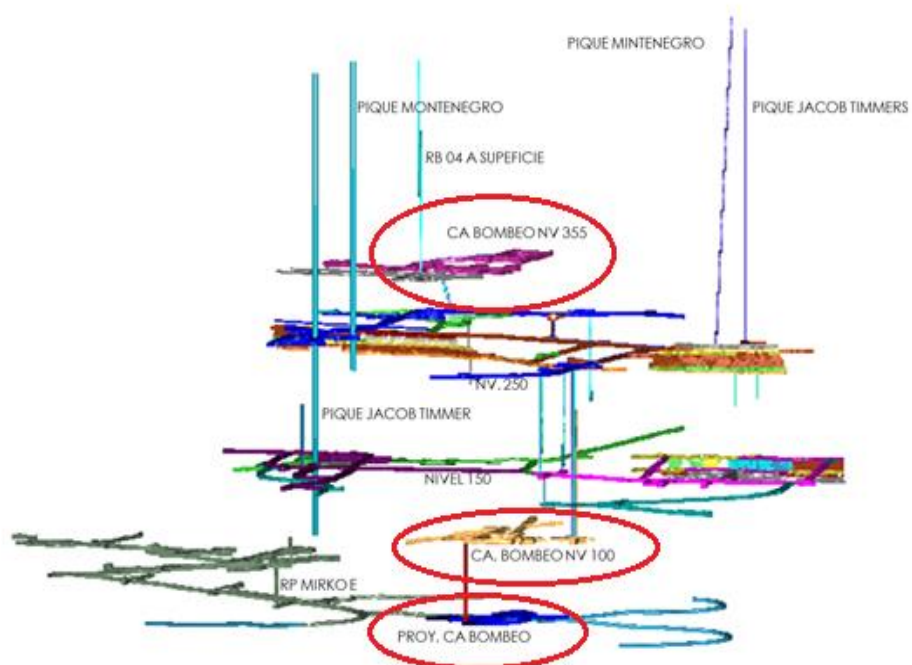


Figura 23: Ubicación de las estaciones de bombeo
(Reporte Compañía Minera 2018)

4.1.4 Parámetros de diseño

La Tabla 4.1 y Tabla 4.2 muestra los parámetros que se consideraron para el diseño del sistema de bombeo (Nivel 4100 y Nivel 4355) antes de su implementación, contrastados con los parámetros reales. Para los cálculos, se consideraron flujos laminares.

Tabla 12: Parámetros de diseño NV 4355

DESCRIPCIÓN	Und.	DISEÑO ESTACIÓN BOMBEO Nv. 4355	REAL
Caudal nominal por cada tren de bombas	l/s	300	210
Caudal nominal total de bombeo	l/s	600	420
Caudal diseño por cada tren de bombas	l/s	345	-
Caudal diseño total de bombeo	l/s	690	-
pH Agua	Adimensional	6.7	-
Contenido sólidos en peso (máximo)	% w/w	<5%	<5%
Temperatura del fluido	°C	10-21	30-35
Cota espejo agua en poza	m.s.n.m.	4356.30	4357.29
Cota estación de bombeo	m.s.n.m.	4344.65	4343.36
Cota punto más elevado de tubería impulsión	m.s.n.m.	4549.65	4612.36
Longitud del recorrido de la tubería impulsión	m	376	452
Carga estática total	m.c.a.	251.85	269

Se puede apreciar que existe una diferencia considerable en el caudal nominal por cada tren de bomba, el caudal nominal total de bombeo, la temperatura del fluido y la cabeza estática de bombeo.

Tabla 13: Parámetros de diseño NV 4100

DESCRIPCIÓN	Und.	DISEÑO ESTACIÓN BOMBEO Nv. 4100	REAL
Caudal nominal por cada tren de bombas	l/s	300	270
Caudal nominal total de bombeo	l/s	600	540
Caudal diseño por cada tren de bombas	l/s	345	-
Caudal diseño total de bombeo	l/s	690	-
pH Agua	Adimensional	6.7	-
Contenido sólidos en peso (máximo)	% w/w	<5%	<5%

Temperatura del fluido	°C	10-21	30-35
Cota espejo agua en poza	m.s.n.m.	4086.65	4089.19
Cota estación de bombeo	m.s.n.m.	4075.00	4079.00
Cota punto más elevado de tubería impulsión	m.s.n.m.	4356.30	4357.29
Longitud del recorrido de la tubería impulsión	m	815.00	856.70
Carga estática total	m.c.a.	281.30	255.00

De forma similar, existe una diferencia en el caudal nominal por cada tren de bombas, caudal nominal total de bombeo, temperatura del fluido, longitud del recorrido de la tubería impulsión y carga estática total.

4.1.5 Sistema de tuberías

Para la selección de las tuberías del sistema de bombeo de dos etapas, se consideró en primera instancia una velocidad de operación en tuberías principales de agua entre 1.8 y 2.3 m/s. Para el cálculo de diámetro requerido para transporte de agua, se consideró el caudal nominal de operación y la velocidad de transporte antes mencionado. La siguiente tabla nos resume dichos valores.

Tabla 14: Caudal nominal y velocidad de transporte

Línea de impulsión	Caudal nominal		Velocidad (m/s)	
	l/s	m ³ /h	C.S. Sch 80	HDPE SDR 11
Estación de Bombeo Nivel 100 - Línea A	300	1080	2	2.3
Estación de Bombeo Nivel 100 - Línea B	300	1080	2	2.3

A continuación, se muestra el diámetro interno de las tuberías en C.S. y HDPE de 18 y 20 pulgadas, por la cercanía de los valores requeridos de acuerdo al cálculo anterior.

Tabla 15: Diámetros interior de tubería

Diámetro interior de tubería (m)			
18 pulgadas		20 pulgadas	
C.S. Sch Std	C.S. Sch 80	DR11	DR11
0.438	0.409	0.41	0.41

4.1.6 Velocidad de sedimentación

La Tabla 16 nos resumen las velocidades de sedimentación del fluido para cada tubería.

Tabla 16: Velocidades de sedimentación según tubería

Tubería	Velocidad de transporte (V) (m/s)	Velocidad de sedimentación (Vc) (m/s)
Tubería CS 18 " SCH 80	2.28	1.54
Tubería HDPE 20 " DR11	2.27	1.54

4.1.7 Cálculo hidráulico de bombeo y energía absorbida

Las tablas 17 y 18 muestran el cálculo hidráulico de las estaciones de bombeo de los niveles 4355 y 4100; comparando los valores calculados durante el diseño con los valores reales.

Tabla 17: Cálculo hidráulico de bombeo y energía absorbida Nivel 4355

DESCRIPCIÓN	Tipo de cálculo		REAL NIVEL 4355	
	Hidráulico	Flujo de diseño	Línea A / Línea B	
	Línea A / Línea B		TREN 1	TREN 2
	Nominal (10% sólidos)			
Caudal de agua (l/s)	296.9	345	210	210
Caudal de agua (m3/h)	1068.8	1242	756	756
Número de bombas en serie (tren)	3	3	3	3
Caudal de agua por bomba (m3/h)	1068.8	1242	756	756
Tramo de acero - Diámetro nominal (in)	18 " CS Sch 40	18 " CS Sch 40	18 " CS Sch 40	18 " CS Sch 40
Diámetro interno de tubería (m)	0.409	0.409	-	-

Longitud (m)	271	271	347	347
Pérdidas por fricción (m.c.a./m)	0.00868	0.011573	-	-
Pérdidas por fricción (m.c.a.)	2.352	3.136	-	-
Tramo HDPE - Diámetro nominal (in)	20 " SDR 11	20 " SDR 11	-	-
Diámetro interno de tubería (m)	0.41	0.41	-	-
Longitud (m)	105	105	-	-
Pérdidas por fricción (m.c.a./m)	0.0074	0.00988	-	-
Pérdidas por fricción (m.c.a.)	0.777	1.038	-	-
Fittings (codos, tee, válvulas) (m.c.a.)	14.52	21.96	-	-
Cabeza estática (m.c.a.)	251.85	251.85	269	269
Cabeza dinámica total (m.c.a.)	269.5	278	276	276
Cabeza dinámica total por cada bomba (m.c.a.)	89.83	92.66	92	92
Potencia nominal total al eje por cada bomba (HP)(kW)	377.33	459.67	460 HP (343 kW)	460 HP (343 kW)
Potencia nominal total absorbida por cada bomba (HP)(kW)	550 HP (410 kW)	670 HP (500 kW)	500 HP (373 kW)	500 HP (373 kW)

Tabla 18: Cálculo hidráulico de bombeo y energía absorbida Nivel 4100

DESCRIPCIÓN	Tipo de cálculo		REAL NIVEL 4100	
	Hidráulico	Flujo de diseño	Línea A / Línea B	
	Línea A / Línea B		Línea A	Línea B
	Nominal (10% sólidos)		TREN 1	TREN 2
Caudal de agua (l/s)	300	345	265	270
Caudal de agua (m ³ /h)	1080	1242	954	972
Número de bombas en serie (tren)	4	4	4	4
Caudal de agua por bomba (m ³ /h)	1080	1242	954	972
Tramo de acero - Diámetro nominal (in)	18 " CS Sch 40	18 " CS Sch 40	18 " CS Sch 40	18 " CS Sch 40
Diámetro interno de tubería (m)	0.409	0.409	-	-
Longitud (m)	267	271	304	304
Pérdidas por fricción (m.c.a./m)	0.00884	0.008	-	-
Pérdidas por fricción (m.c.a.)	2.361	2.136	-	-
Tramo HDPE - Diámetro nominal (in)	20 " SDR 11	20 " SDR 11	-	-
Diámetro interno de tubería (m)	0.41	0.41	-	-
Longitud (m)	544	544	552.7	552.7
Pérdidas por fricción (m.c.a./m)	0.00823	0.00797	-	-
Pérdidas por fricción (m.c.a.)	4.47	4.34	-	-
Fittings (codos, tee, válvulas) (m.c.a.)	15.67	15.22	-	-
Cabeza estática (m.c.a.)	282	282	255	255

Cabeza dinámica total (m.c.a.)	304.5	303.7	329	329
Cabeza dinámica total por cada bomba (m.c.a.)	76.13	75.92	82	82
Potencia nominal total al eje por cada bomba (HP)(kW)	331	303.5	418 HP (312 kW)	418 HP (312 kW)
Potencia nominal total absorbida por cada bomba (HP)(kW)	493 HP (367.75 kW)	452 HP (337.25 kW)	455 HP (339 kW)	455 HP (339 kW)

En ambos casos podemos ver una diferencia considerable en el valor del caudal de agua / bomba; así como la cabeza dinámica total por cada bomba y la potencia nominal total absorbida por cada bomba. Vemos que los parámetros originales; terminaron afectando los resultados finales. En la fase inicial no se diseñó de forma integral todo el alcance del proyecto, se asumieron condiciones que no se ajustaban a la realidad del mismo. Faltó realizar una evaluación geomecánica para sostenimiento e impermeabilización de pozos, de cámaras eléctricas y bombas; y estudios de temperaturas y ventilaciones forzadas.

4.2 Sistema de drenaje a futuro

4.2.1 Demanda futura de drenaje de mina

El siguiente gráfico muestra los contornos de los niveles de agua subterránea, simulados bajo condiciones de avance en las labores según el plan de minado. La gráfica señala que los niveles de agua subterránea variaron entre 3898 y 4150 msnm, en la zona de las labores mineras en avance.

Según el plan de minado, las rampas de profundización serán Mirko Este y Mirko W, que se profundizarán hasta Nv 3850 y Nv 3900 respectivamente. Se considera la profundización de la mina subterránea mediante “Downward” progresivo. Las labores subterráneas están alineadas con las vetas Principal, Lorena, María Rosa y Andalucía las que se encuentran con una orientación preferencial E-W.

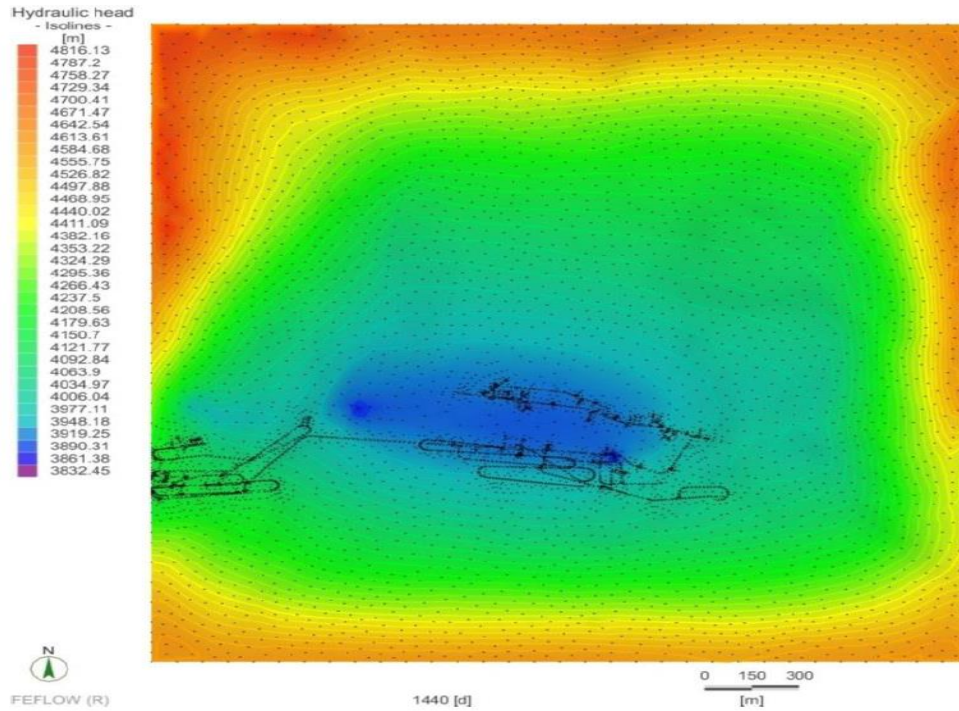


Figura 24: Niveles de agua en el área de mina subterránea
(Reporte Compañía Minera 2018)

Para al cálculo de caudales de profundización se tomó en cuenta la tendencia de los caudales históricos de producción. Estos fueron analizados y proyectados para estimar los valores de descarga de las aguas subterráneas, durante las labores de profundización del Nivel 4100.

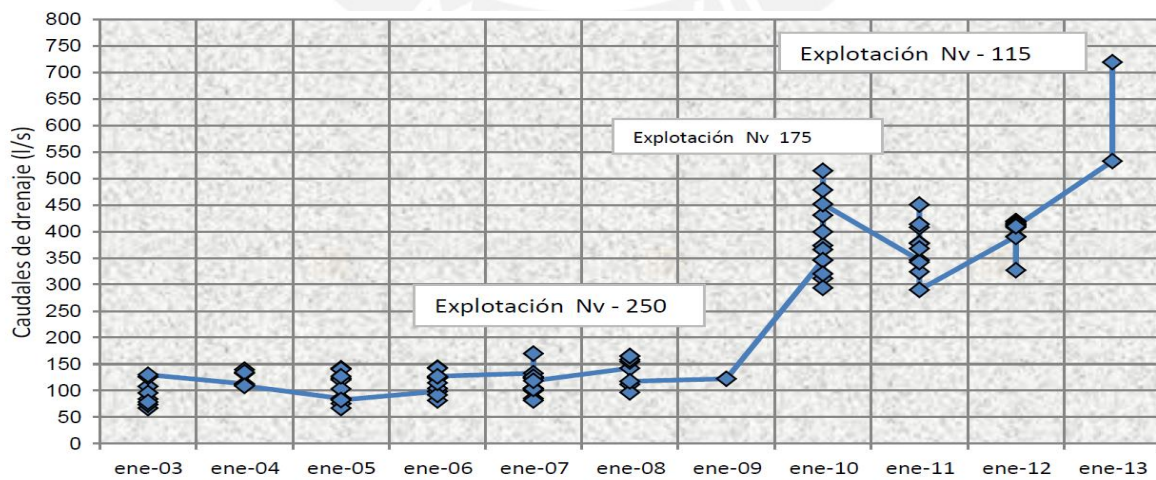


Figura 25: Evolución de caudales de descarga

(Reporte Compañía Minera 2018)

Los resultados nos muestran que el descenso del nivel del agua es mayor en el área de las labores mineras. En base a los resultados obtenidos y los parámetros hidráulicos, se obtiene una curva de velocidad de descenso de las aguas subterráneas versus la profundización de la mina.

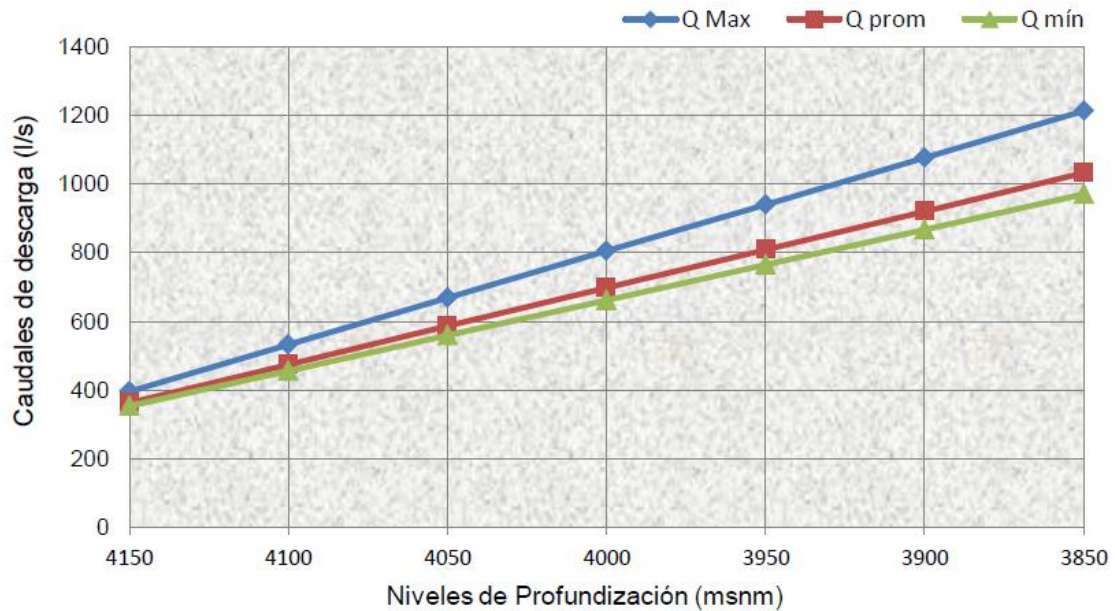


Figura 26: Caudales de drenaje de profundización de la mina subterránea
(Reporte Compañía Minera 2018)

De acuerdo a la gráfica, para el Nv 4000 se tiene una descarga de 700 a 800 l/s, y para el Nv 3900 se tendrá caudales de 900 a 1000 l/s. Estos fueron calculados tomando en cuenta la profundización de dos rampas y la expansión lateral de las labores mineras.

Los caudales iniciales de profundización pueden ser altos, pero con el tiempo irán decreciendo al estabilizarse los gradientes hidráulicos y la carga hidráulica vaya bajando, de esta manera se reduce las presiones de confinamiento interno de los niveles permeables de las vetas.

4.2.2 Propuesta de diseño

4.2.2.1 Descripción general

El nuevo sistema de bombeo que se propone será un sistema de tres etapas de aguas sedimentadas diseñado para evacuar un caudal de 1200 l/s, caudal estimado según los drenajes históricos de la mina para el nivel 3850. Para esto se emplearán bombas centrífugas multietápicas, distribuidas en 4 trenes en cada etapa. El sistema de bombeo propuesto para la mina considera el bombeo en tres etapas: del Nivel 3845 a Nivel 4100, del Nivel 4100 al Nivel 4355 y del Nivel 4355 al Nivel 4610 (superficie).

Para la estación de bombeo del Nivel 3845 se propone el uso de 20 bombas distribuidas en cinco trenes de 4 bombas cada uno (cuatro trenes funcionando y uno en stand-by) con motores de 500 HP y una capacidad nominal de 300 l/s por cada tren. Asimismo, la instalación de una poza de alimentación de 2300 m³.

Para la estación existente del Nivel 4100, se propone instalar dos trenes más, de 4 bombas cada uno con motores de 500 HP (cuatro trenes funcionando y uno en stand-by), manteniendo la capacidad nominal de 300 l/s por cada tren.

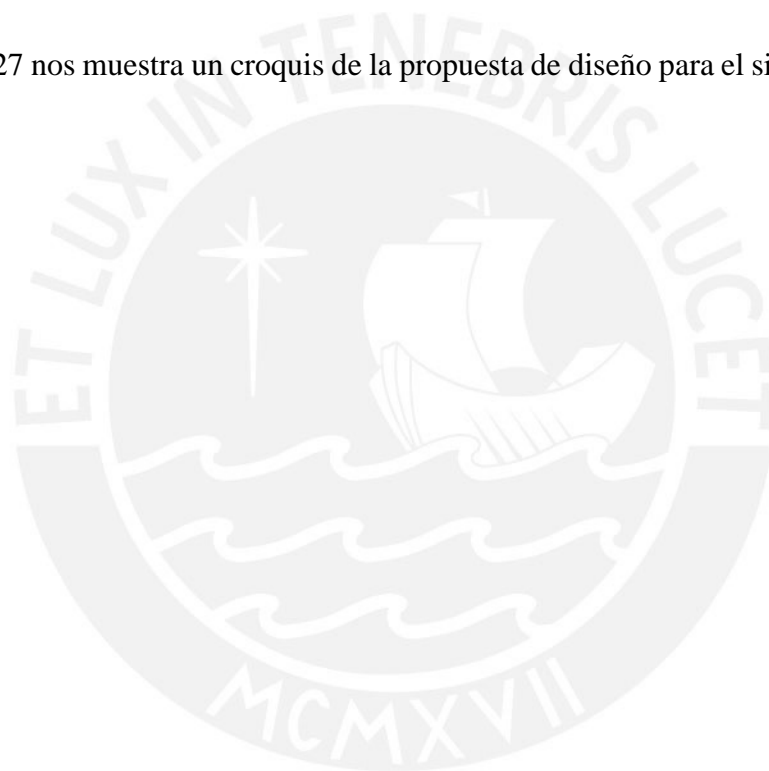
Para la estación del Nivel 4355, se propone expandir el número de bombas por cada tren existente, de tres a cuatro bombas, y la instalación de dos trenes de 4 bombas cada uno con motores de 500 HP, con la misma capacidad nominal de 300 l/s (un total de cuatro trenes funcionando y uno en stand by). Se aumenta el número de bombas por tren debido a la pérdida que se tiene por cada tren a la hora de drenar el agua subterránea (se succiona 210 l/s de una capacidad nominal de 300 l/s).

Antes del bombeo, en interior mina se está proyectando un sistema de sedimentación tipo laminar para cada estación. Las aguas claras se recibirán en una cámara, y serán bombeadas a

la siguiente etapa que se iniciará en el Nivel 355 del pique Montenegro, para ser finalmente bombeadas a superficie. En superficie las aguas claras serán depositadas en un tanque colector, para luego derivarlas a la laguna Naticocha norte.

Los lodos que se generen en el sistema de sedimentación serán trasladados con una bomba sumergible a pozas de lodos (3), que almacenarán preliminarmente, posteriormente se evaluará trasladar los lodos a labores abandonadas, así como utilizar los lodos con el relleno detrítico en el proceso de relleno hidráulico.

La figura 27 nos muestra un croquis de la propuesta de diseño para el sistema de bombeo a 3 etapas.



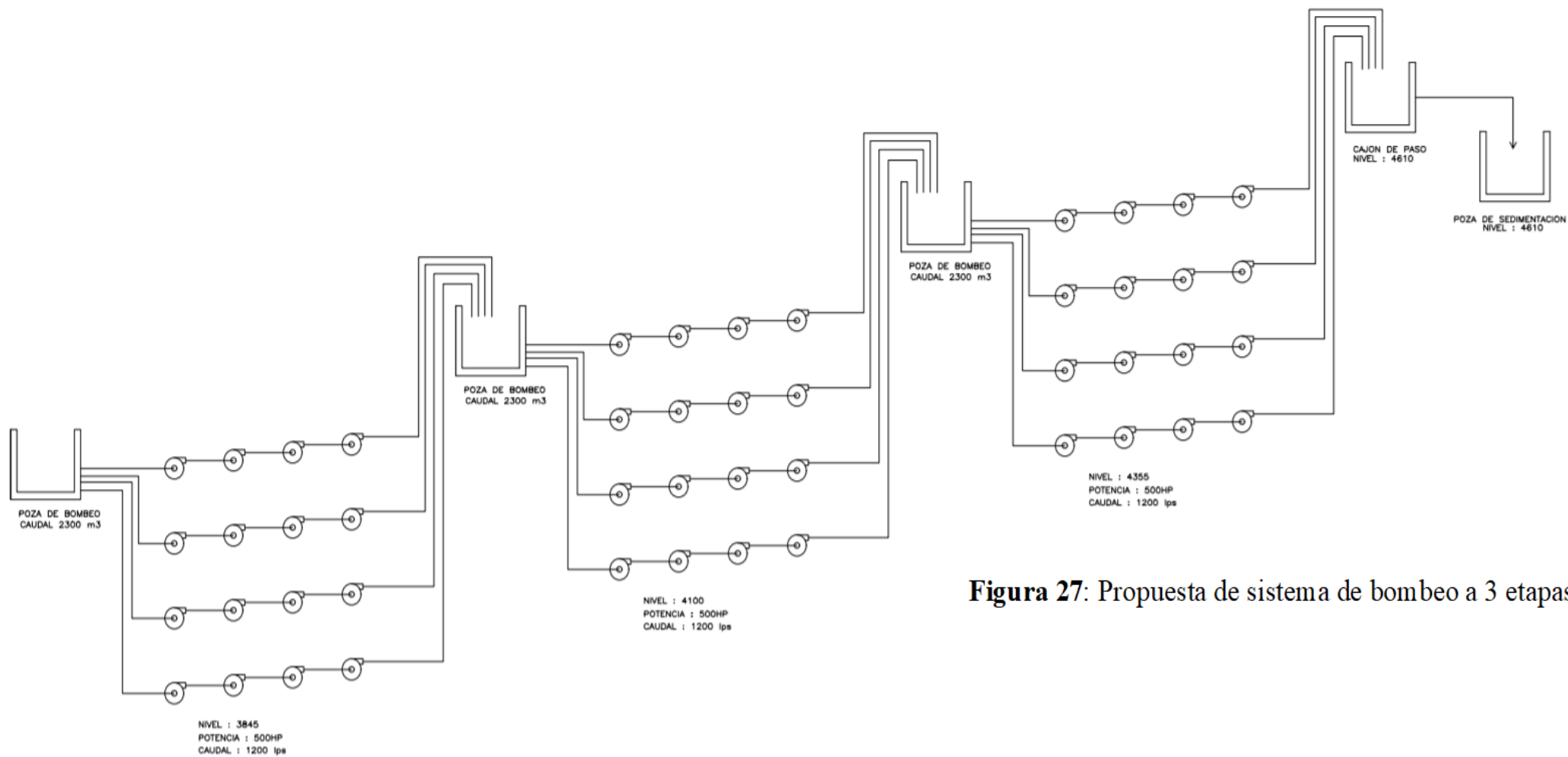


Figura 27: Propuesta de sistema de bombeo a 3 etapas

4.2.2.2 Cálculo hidráulico

Se presenta a continuación el cálculo hidráulico para las tres estaciones.

Tabla 19: Cálculo hidráulico de bombeo para el sistema propuesto

DESCRIPCIÓN	UND	DISEÑO ESTACIÓN NIVEL 3845	DISEÑO ESTACIÓN NIVEL 4100	DISEÑO ESTACIÓN NIVEL 4355
Caudal nominal por cada tren de bombas	l/s	300	300	300
Caudal nominal por cada tren de bombas	m ³ /h	1080	1080	1080
Caudal nominal total de bombeo	l/s	1200	1200	1200
Caudal nominal total de bombeo	m ³ /h	4320	4320	4320
Número de bombas en serie (tren)	Adimensional	4	4	4
pH del agua	Adimensional	6.7	6.7	6.7
Contenido sólidos en peso (máximo)	% w/w	< 3 %	< 3 %	< 3 %
Temperatura del fluido	°C	30-35	30-35	30-35
Cota estación de bombeo	m.s.n.m.	3845	4079	4343.36
Tramo acero - diámetro nominal	pulg	18" CS Sch 40	18" CS Sch 40	18" CS Sch 40
Diámetro interno de tubería	m	0.409	0.409	0.409
Longitud	m	650	608	694
Pérdidas por fricción	m.c.a.	0.11	0.10	0.12
Tramo HDPE - diámetro nominal	pulg	20" SDR 11	20" SDR 11	20" SDR 11
Diámetro interno de tubería	m	0.41	0.41	0.41
Longitud	m	1100	1105	210
Pérdidas por fricción	m.c.a.	0.04	0.04	0.01
Fittings (codos, tee, válvulas)	m.c.a.	35	30.98	36.48
Carga estática	m.c.a.	234	264.36	266.64
Cabeza dinámica total	m.c.a.	269.15	295.48	303.25
Cabeza dinámica total por cada bomba	m.c.a.	67.29	73.87	75.81
Potencia requerida por cada bomba	HP	414.08	454.59	466.53
	kW	308.78	338.99	347.89

Para el cálculo de pérdidas de fricción se consideró emplear la fórmula de Manning, que se muestra a continuación (Universidad de Castilla La Mancha, 2019).

$$hf = 10.3 \frac{n^2}{D^{5.33}} \times Q^2 \times L \quad (4.1)$$

Donde:

hf : pérdida de carga o de energía (m)

Q : caudal (m³/s)

n : coeficiente de rugosidad

D : diámetro interno de tubería (m)

L : longitud de tubería (m)

El valor de n depende de la rugosidad de la tubería, cuyo valor depende del tipo de material.

Tabla 20: Valor de n según el material de la tubería

Material	n
Plástico (PE)	0.006 - 0.007
Plástico (PVC)	0.007 - 0.009
Fibrocemento	0.011 - 0.012
Fundición	0.012 - 0.013
Hormigón	0.013 - 0.014
Acero comercial	0.015

Según el cálculo realizado, considerando las pérdidas de fricción según el tipo de tubería, se tendrá una carga dinámica entre 270 y 300 metros aproximadamente para las tres estaciones de bombeo. Para esto, se necesitará bombas de 500 HP para suministrar la potencia necesaria de bombeo para el caudal estimado de la mina para los niveles de profundización (1200 l/s).

Para ver el detalle del cálculo desarrollado consultar Anexo 9:

4.2.2.3 Selección de bomba

Para la selección de la bomba, tomaremos como referencia el cálculo hidráulico realizado en el apartado anterior. Realizaremos cálculos para determinar la carga dinámica total por bomba para diferentes niveles de caudales para determinar la curva H-Q del sistema de bombeo.

Tabla 21: Cálculo hidráulico de bombeo para el sistema propuesto

Caudal por tren (l/s)	Estación	Material	n	L (m)	D (m)	Cabeza estática (m)	Q (m ³ /s)	hf (m)		h fittings (m)	h total (m)	Cabeza dinámica total por bomba (m)	
25	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.025	0.12	0.13	36.48	36.61	75.81	75.81
		HDPE	0.007	210	0.41			0.01					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.025	0.10	0.14	30.98	31.12	73.87	
		HDPE	0.007	1105	0.41			0.04					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.025	0.11	0.15	35.00	35.15	67.29	
		HDPE	0.007	1100	0.41			0.04					
50	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.05	0.47	0.50	36.48	36.98	75.91	75.91
		HDPE	0.007	210	0.41			0.03					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.05	0.41	0.57	30.98	31.55	73.98	
		HDPE	0.007	1105	0.41			0.16					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.05	0.44	0.60	35.00	35.60	67.40	
		HDPE	0.007	1100	0.41			0.16					
100	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.1	1.89	2.01	36.48	38.49	76.28	76.28
		HDPE	0.007	210	0.41			0.12					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.1	1.65	2.30	30.98	33.28	74.41	
		HDPE	0.007	1105	0.41			0.65					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.1	1.77	2.41	35.00	37.41	67.85	
		HDPE	0.007	1100	0.41			0.64					
200	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.2	7.55	8.04	36.48	44.52	77.79	77.79
		HDPE	0.007	210	0.41			0.49					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.2	6.61	9.20	30.98	40.18	76.13	
		HDPE	0.007	1105	0.41			2.59					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.2	7.07	9.64	35.00	44.64	69.66	
		HDPE	0.007	1100	0.41			2.57					
300	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.3	16.99	18.09	36.48	54.57	80.30	80.30
		HDPE	0.007	210	0.41			1.10					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.3	14.88	20.70	30.98	51.68	79.01	
		HDPE	0.007	1105	0.41			5.82					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.3	15.91	21.70	35.00	56.70	72.67	
		HDPE	0.007	1100	0.41			5.79					
400	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.4	30.20	32.16	36.48	68.64	83.82	83.82
		HDPE	0.007	210	0.41			1.96					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.4	26.46	36.80	30.98	67.78	83.03	
		HDPE	0.007	1105	0.41			10.34					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.4	28.29	38.58	35.00	73.58	76.89	
		HDPE	0.007	1100	0.41			10.29					
500	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.5	47.19	50.26	36.48	86.74	88.34	88.34
		HDPE	0.007	210	0.41			3.07					
		Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.5	41.34	57.50	30.98	88.48	88.21	

	Nivel 4100	HDPE	0.007	1105	0.41			16.16					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.5	44.20	60.27	35.00	95.27	82.32	
		HDPE	0.007	1100	0.41			16.08					
600	Nivel 4355	Acero	0.015	694	0.409	266.64	0.6	67.95	72.37	36.48	108.85	93.87	94.53
		HDPE	0.007	210	0.41			4.42					
	Nivel 4100	Acero	0.015	608	0.409	264.36	0.6	59.53	82.80	30.98	113.78	94.53	
		HDPE	0.007	1105	0.41			23.27					
	Nivel 3845	Acero	0.015	650	0.409	234.00	0.6	63.64	86.80	35.00	121.80	88.95	
		HDPE	0.007	1100	0.41			23.15					

Se tiene la siguiente tabla resumen para diferentes unidades de medición para el caudal y la carga dinámica total por bomba, lo cual nos permite realizar la curva característica H-Q del sistema de bombeo.

Tabla 22: Tabla resumen para valores H-Q del sistema de bombeo

Q (l/s) por bomba	Q (l/min)	Q (m3/h)	Q (gpm)	Carga dinámica por bomba (m)	Carga dinámica por bomba (pies)
6.25	375	22.5	99.06	75.81	248.66
12.5	750	45	198.13	75.91	248.97
25	1500	90	396.25	76.28	250.21
50	3000	180	792.50	77.79	255.15
75	4500	270	1188.75	80.30	263.39
100	6000	360	1585.00	83.82	274.93
125	7500	450	1981.25	88.34	289.77
150	9000	540	2377.50	94.53	310.07

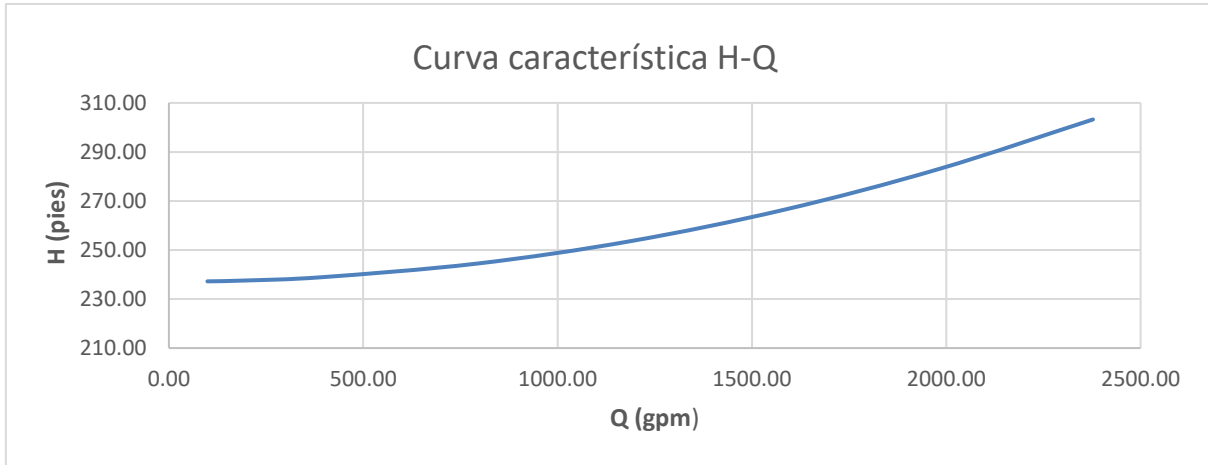


Figura 28: Curva característica H-Q del sistema de bombeo

Para nuestro estudio se eligió la bomba **Goulds Pumps 3316**. Esta bomba es de fase doble y su carcasa horizontal es diseñada para alimentación de calderas, desagüe de minas y otros servicios que requieren altas cargas moderadas (Goulds Pumps, 2019). La siguiente gráfica nos muestra la curva característica de la bomba. En trazado rojo, se tiene la curva H-Q de nuestro sistema de bombeo propuesto.

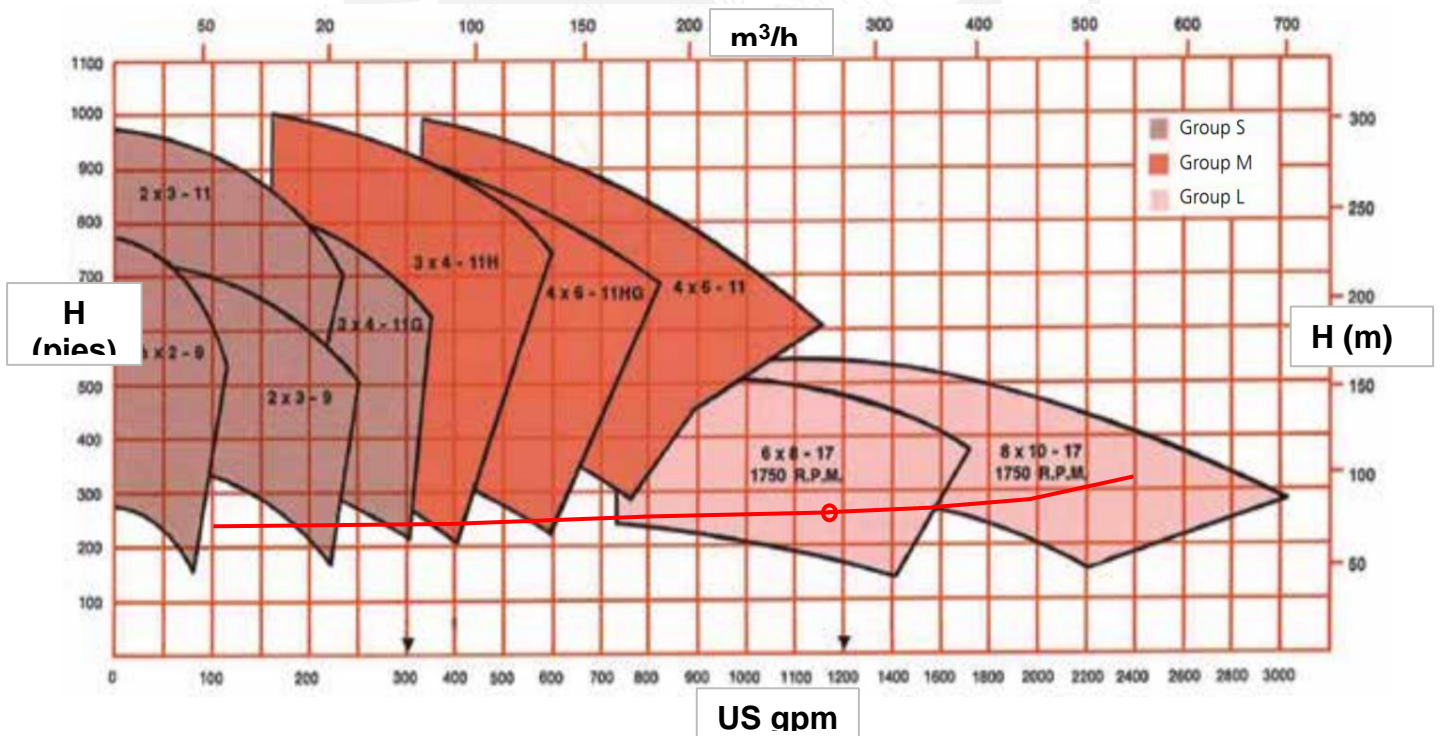


Figura 29: Curva de rendimiento de la bomba Gould Pump 3316

(Goulds Pumps, 2019)

Vemos que la intersección de la curva de rendimiento de la bomba y la curva H-Q del sistema de bombeo para **1188.75 gpm** se da en el tamaño de bomba 6x8 – 17, n = 1750 rpm. Esta familia de bomba es ideal para realizar una carga dinámica de 75 metros requerido con una potencia de 500 HP.



5 EVALUACIÓN ECONOMICA

5.1 Cálculo de NSR y VPT

A partir de los datos brindados por el área de comercialización, se determinan los parámetros pagables y deducibles a incluir en la estimación del Net Smelter Return (NSR). Los precios de los metales con los cuales se va realizar la estimación son Zn: 2400 US\$/t; Pb: 2100 US\$/t, Cu: 6400 US\$/t y Ag: 18.50 US\$/onz.

Las recuperaciones metalúrgicas de cada metal son calculadas a partir de los reportes metalúrgicos mensuales de la planta concentradora, tomando en consideración el tonelaje tratado, tonelaje concentrado, leyes de cabeza promedio y leyes promedio de concentrado. Para los cuales tenemos:

- Concentrado de Zn: Recuperación de Zn 89.34 % y Recuperación de Ag 7.60 %
- Concentrado de Pb: Recuperación de Pb 87.81 % y Recuperación de Ag 63.08 %

El método del NSR determina la venta de los minerales producto de la propiedad menos los costos de producción asociados. Con las siguientes fórmulas se determina el valor punto de cada elemento.

$$NSR_{Zn} = \left(PrZn * ZnL * ZnRZn * ZnPZn + PrAg * AgL * AgRZn * \frac{AgPZn}{31.10348} \right) * (1 - m\%) - \frac{ZnCT}{RtZn} - \frac{ZnCF}{RtZn}$$

$$NSR_{Pb} = \left(PrPb * PbL * PbRPb * PbPPb + PrAg * AgL * AgRPb * \frac{AgPPb}{31.10348} \right) * (1 - m\%) - \frac{PbCT}{RtPb} - \frac{PbCF}{RtPb}$$

$$NSR_{Cu} = \left(PrCu * CuL * CuRCu * CuPCu + PrAg * AgL * AgRCu * \frac{AgPCu}{31.10348} \right) * (1 - m\%) - \frac{CuCT}{RtCu} - \frac{CuCF}{RtCu}$$

$$NSR_{total} = NSR_{Zn} + NSR_{Pb} + NSR_{Cu}$$

Donde:

Tabla 23: Descripción de fórmula para hallar NSR

Unidad	Abreviatura	Descripción	Unidad	Abreviatura	Descripción
US\$/t	PrZn	Precio de Zinc	%	PbPPb	Pagable de Pb en concentrado de Pb
US\$/t	PrPb	Precio de Pb	%	AgPPb	Pagable de Ag en concentrado de Pb
US\$/t	PrCu	Precio de Cu	%	CuPCu	Pagable de Cu en concentrado de Cu
US\$/onz	PrAg	Precio de Ag	%	AgPCu	Pagable de Ag en concentrado de Cu
%	ZnL	Ley de Zn	\$/t conc.	ZnCT	Costos de transporte de concentrado de Zn
%	PbL	Ley de Pb	\$/t conc.	PbCT	Costos de transporte de concentrado de Pb
%	CuL	Ley de Cu	\$/t conc.	CuCT	Costos de transporte de concentrado de Cu
g/t	AgL	Ley de Ag	\$/t conc.	ZnCF	Costos de tratamiento de concentrado de Zn
%	m%	Procentaje de merma (contractual)	\$/t conc.	PbCF	Costos de tratamiento de concentrado de Pb
%	ZnRZn	Recuperación de Zn en concentrado de Zn	\$/t conc.	CuCF	Costos de tratamiento de concentrado de Cu
%	AgRZn	Recuperación de Ag en concentrado de Zn	US\$/t	NSRtotal	Net Smelter Return por tonelada de mineral
%	PbRPb	Recuperación de Pb en concentrado de Pb	US\$/t	NSRZn	Net Smelter Return por concentrado de Zn
%	AgRPb	Recuperación de Ag en concentrado de Pb	US\$/t	NSRPb	Net Smelter Return por concentrado de Pb
%	CuRCu	Recuperación de Cu en concentrado de Cu	US\$/t	NSRCu	Net Smelter Return por concentrado de Cu
%	AgRCu	Recuperación de Ag en concentrado de Cu	und	RtZn	Ratio de concentración
%	ZnPZn	Pagable de Zn en concentrado de Zn	und	RtPb	Ratio de concentración
%	AgPZn	Pagable de Ag en concentrado de Zn	und	RtCu	Ratio de concentración

Se tiene los siguientes valores punto para cada mineral. El valor punto del cobre no se toma en consideración para la estimación del VPT debido a su baja ley.

Tabla 24: Valor punto de cada mineral

Mineral	Unidad	Valor punto
Zn	US\$/t	14.28
Pb	US\$/t	15.58
Ag	US\$/onz	9.64

En base a estos valores y la tabla 25 de reservas, determinamos el VPT (US\$/t) del mineral producido.

Tabla 25: Tabla de reservas con valor VPT

Categoría	TM	Zn (%)	Pb (%)	Cu(%)	Ag (oz/T)	VPT (US\$/t)
Probada	3,999,604.13	6.14	1.85	0.17	2.24	138.10
Probable	5,336,762.51	5.65	1.74	0.15	1.89	126.01
Total	9,336,366.64	5.86	1.79	0.16	2.04	131.23

Tomando en cuenta solo las reservas probadas y la producción de 4200 tpd de la mina, tenemos que la **vida de la mina será de 6.17 años.**

5.2 Cotización del sistema de bombeo

Para la cotización del sistema de bombeo se consideró tanto el CAPEX como el OPEX del proyecto. Dentro del CAPEX se incluye el equipamiento mecánico, equipos eléctricos, tuberías, instrumentación, estructuras civiles y obras mineras. Y dentro del OPEX se consideró el consumo energético, consumibles, costo de transporte de cisterna, costo de mano obra a interior mina, mantenimiento de los equipos y posibles eventualidades.

Se determinó un CAPEX de **US\$ 13,571,442**. El detalle puede verse en el ANEXO 7: CAPEX del sistema de bombeo. Para los costos operativos de la instalación de la bomba, tenemos un costo anual total de **US\$ 8,492,638** y un costo unitario de **0.299 US\$/m³**. El detalle del mismo puede verse en el ANEXO 8: OPEX del sistema de bombeo.

5.3 Costos operativos

El costo que garantiza cubrir por completo todos los costos asumidos en la producción de mineral es conocido como el costo operativo total, expresado en dólares por tonelada (US\$/t). Este incluye costos de mina, planta, mantenimiento, servicios generales mina, costos operativos del sistema de bombeo, acarreo, costos de administración mina, que representa a los costos totales (costos fijos y costos variables).

La siguiente tabla nos resume los costos operativos totales de la mina según el método de minado.

Tabla 26: Costos operativos totales según método de minado

Método de minado	Costos fijos (US\$/t)	Costos variables (US\$/t)	Costos totales (US\$/t)
OCF	28.3	35.9	64.2
SLS	25.3	32.0	57.3

5.4 Cálculo del VAN y el TIR

Se ha determinado un total de reservas de 9,336,366.64 toneladas las cuales serán consideradas para realizar nuestro flujo de caja. Dentro del CAPEX consideramos inversión del sistema de bombeo, de exploración, desarrollo, mina, planta, relavera, mantenimiento de equipos pesados, energía, administración, TI, HSEC, entre otros. El siguiente cuadro nos detalla lo descrito anteriormente.

Tabla 27: CAPEX anual

CAPEX	Inversión (US\$)
Sistema de bombeo	13,571,441.78
Exploración	5,900,000.00
Desarrollo	26,400,000.00
Mina	13,400,000.00
Planta	2,400,000.00
Relavera	3,700,000.00
Mantenimiento	300,000.00
Energía	3,000,000.00
Administración, TI	1,300,000.00
HSEC	100,000.00
Otros	1,100,000.00
TOTAL	71,171,441.78

Considerando el CAPEX y OPEX del proyecto de sistema de bombeo, el VPT calculado para el mineral producido, la vida de la mina estimada en base a las reservas reportadas y los costos operativos totales de mina, se realizó el siguiente flujo de caja. Considerar que el CAPEX del sistema de bombeo solo se consideró para el año 0.

Tabla 28: Flujo de caja

Periodo	Tonelaje producido por año	Ingresos (US\$)	CAPEX (US\$)	Egresos (US\$)	Saldo final (US\$)
0			13,571,442		
1	1,512,000.00	198,426,715	57,600,000	97,070,400	101,356,315
2	1,512,000.00	198,426,715	57,600,000	97,070,400	101,356,315
3	1,512,000.00	198,426,715	57,600,000	97,070,400	101,356,315
4	1,512,000.00	198,426,715	57,600,000	97,070,400	101,356,315
5	1,512,000.00	198,426,715	57,600,000	97,070,400	101,356,315
6	1,512,000.00	198,426,715	57,600,000	97,070,400	101,356,315
7	264,366.64	34,694,050	0	16,972,338	17,721,712

Considerando una tasa de interés del 12 %, se estima los valores del VAN y el TIR.

Tabla 29: VAN y TIR

VAN	\$65,562,057
TIR	18.10%

5.5 Análisis de sensibilidad

En este apartado realizaremos el análisis de la sensibilidad económica del proyecto. Hay dos variables que puede variar a la hora de calcular el VAN del proyecto: el precio del zinc y la tasa de interés.

El siguiente gráfico nos muestre la variación del VAN para distintos valores del zinc, específicamente entre 1500 US\$/t y 3500 US\$. Tomamos como referencia el valor histórico mínimo del zinc de 1478.50 US\$/t del 8 de enero del 2016, y el valor histórico máximo del zinc de 3432.50 US\$/t del 12 de febrero del 2018 de los últimos 10 años (Exchange, London Metal, 2019). Vemos que la relación entre el precio del zinc y el VAN directamente proporcional.

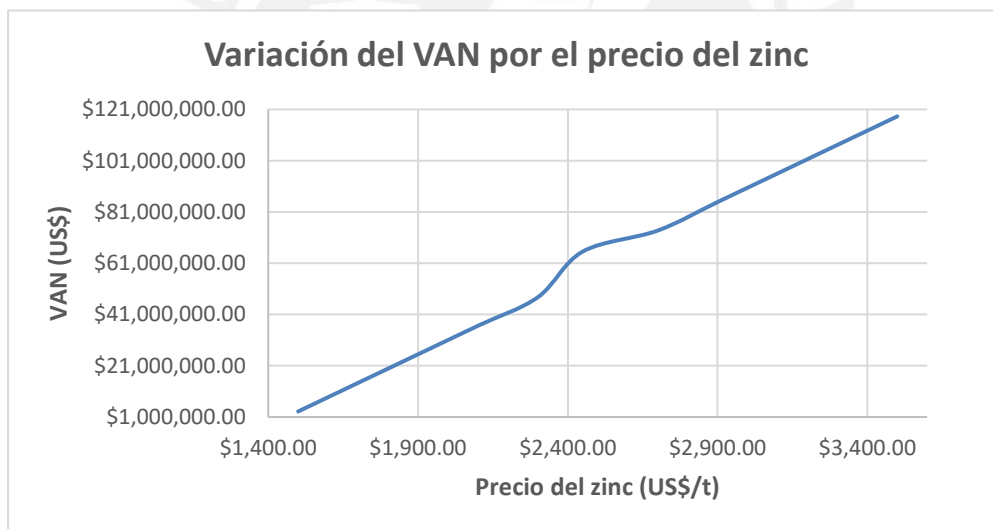


Figura 30: Variación del VAN por el precio del zinc

Vemos que el proyecto sigue siendo viable aun en el peor escenario del precio del zinc. Del mismo modo, realizamos el análisis de la variación del VAN para distintos valores de la tasa de interés, específicamente entre 7% y 17 %. Se denota que la relación entre la tasa de interés y el VAN es indirectamente proporcional.

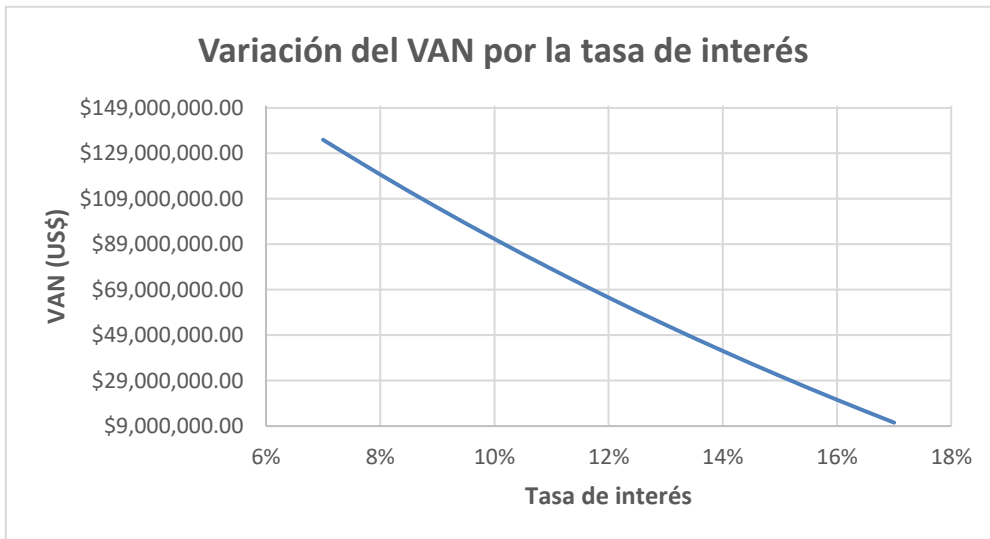
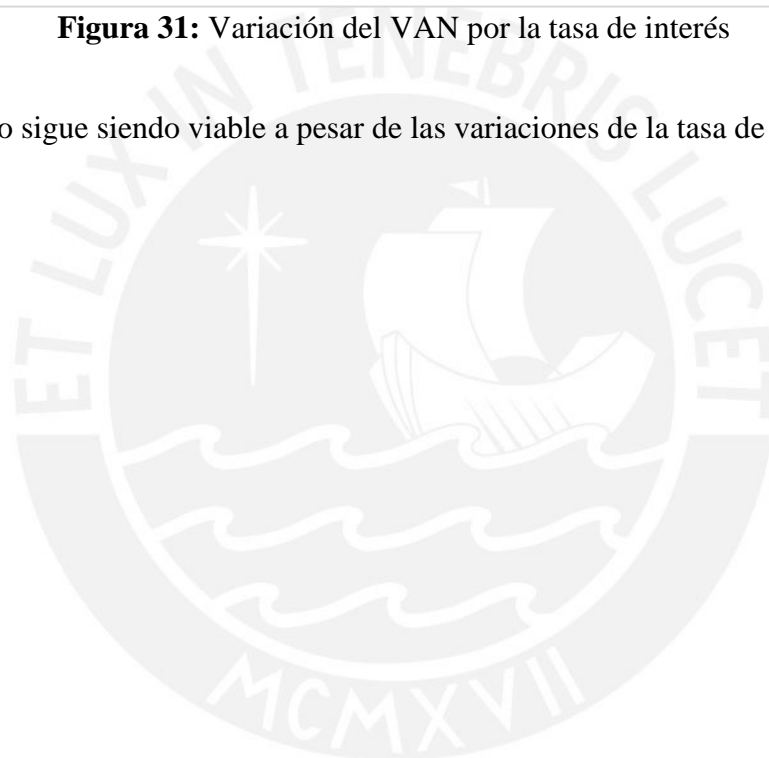


Figura 31: Variación del VAN por la tasa de interés

Nuestro proyecto sigue siendo viable a pesar de las variaciones de la tasa de interés.



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

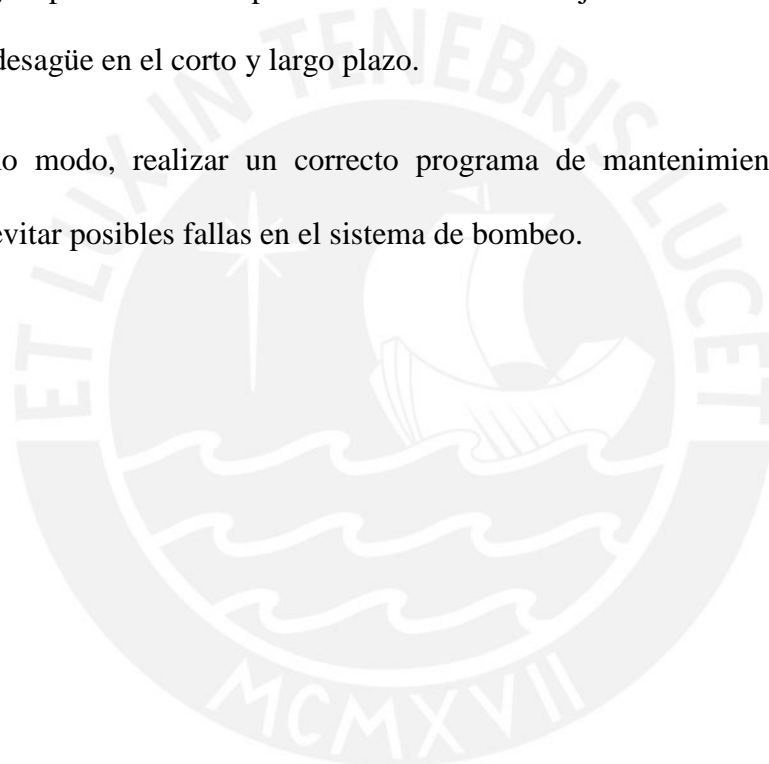
- La evaluación técnica demuestra que es posible proponer un diseño de bombeo en tres etapas, del Nivel 3845 a Nivel 4100, del Nivel 4100 al Nivel 4355 y del Nivel 4355 al Nivel 4610, para trasladar aguas del interior mina a la superficie.
- El sistema de bombeo constituido por bombas centrífugas multietápicas distribuidas en 4 trenes en cada etapa, permitirá evacuar un caudal de 1200 l/s, caudal estimado según las estimaciones de los drenajes históricos de la mina para el nivel 3850.
- Para todo diseño de bombeo es importante evaluar las pérdidas de carga en la instalación de tuberías, porque es un indicador que sirve para conocer si el consumo de energía es el adecuado, de esta manera se podrá controlar el costo de operación registrando como antecedente histórico el consumo de dicha energía.
- La evaluación económica evidencia que en el lapso de 6.17 años, tiempo de vida estimado de la mina, la implementación del sistema de bombeo es viable en vista que el VAN es de US\$ 65,562,057 y el TIR es de US\$ 18.10% para un CAPEX de US\$ 13,571,442 y un OPEX de 0.299 US\$/m³.
- El análisis de sensibilidad demuestra que la propuesta económica de diseño aún es viable cuando el precio del zinc disminuye hasta un valor de **1500 US\$/t** y la tasa de interés aumente hasta un valor de **17 %**.

6.2 Recomendaciones

Antes de realizar toda propuesta de diseño, es necesario evaluar técnicamente las condiciones de funcionamiento del sistema de bombeo actual. Esto incluye el tipo de bomba, el tipo de tubería empleado, las labores mineras existentes y los parámetros de diseño del sistema de bombeo; todo esto para medir las eficiencias y rendimientos de las bombas.

Se recomienda realizar estudios de caracterización hidráulica de las aguas subterráneas, los cuales incluyen pruebas de campo en las cercanías del tajo actual a fin de determinar las necesidades de desagüe en el corto y largo plazo.

Del mismo modo, realizar un correcto programa de mantenimiento a las bombas instaladas para evitar posibles fallas en el sistema de bombeo.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguas Residuales. (4 de Octubre de 2019). *Aguas Residuales*. Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/como-evitar-la-cavitacion-en-las-bombas-A42u6>
- Área Mecánica. (16 de Junio de 2011). *Área Mecánica*. Obtenido de <https://areamecanica.wordpress.com/2011/06/16/ingenieria-mecanica-curvas-caracteristicas-de-una-bomba-centrifuga-ii/>
- Astudillo Moya, M. (2012). *Fundamentos de economía*. México: UNAM.
- Automantenimiento.net. (26 de Mayo de 2019). *Automantenimiento.net*. Obtenido de <https://automantenimiento.net/hidraulica/porque-hace-demasiado-ruido-una-instalacion-hidraulica/>
- Barreto Inca, C. (2017). *Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje – Unidad Minera Antapaccay*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Blanco E., V. S. (1994). *Sistemas de bombeo*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Bombas Ideal. (2014). *Datos Técnicos de Hidráulica Bombas*. Valencia : Bombas Ideal S.A.
- Co., T. T. (16 de Noviembre de 2019). *Alibaba*.
- De las Heras, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona: Publicacions Acadèmiques UPC.
- Development, T. T. (16 de Noviembre de 2019). *Tianjin Tongjie Sci & Tech Development*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/img/3DTP-Bomba-reciprocante-300004494366.html>
- Exchange, London Metal. (01 de Septiembre de 2019). *London Metal Exchange*. Obtenido de <https://www.lme.com/en-GB/Metals/Non-ferrous/Zinc#tabIndex=0>
- Expert, S. P. (16 de Noviembre de 2019). Obtenido de Slurry Pump Expert: <http://www.slurrypumpssolutions.com/Single-Stage-Slurry-Pump-products.html>
- Franco Sullca, J. L. (2015). *Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea para satisfacer su demanda volumétrica en Volcan Compañía Minera S.A.A. – Unidad Chungar*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Gate, R. (19 de Noviembre de 2019). *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-29-Mapa-geologico-de-la-region-de-Cerro-de-Pasco-con-edades-de-rocas-intrusivas-y_fig14_261027111

- Goulds Pumps. (27 de Mayo de 2019). *Guía de selección de bombas*. Obtenido de https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Pump%20Selection%20Guide/PumpSelectionGuide_LA_ES.pdf?ext=.pdf
- Goulds Pumps. (5 de Agosto de 2019). *Goulds 3316*. Obtenido de https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/3316/Goulds_3316_bulletin.pdf?ext=.pdf
- Goulds Pumps. (5 de Agosto de 2019). *Goulds 3316*. Obtenido de <https://www.gouldspumps.com/es-CL/Products/3316/>
- Herbert, J. H. (2009). *Introducción al Drenaje Minero*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid - E.T.S. de Ingenieros de Minas.
- Herráiz, A. S. (2009). *La importancia de aguas subterráneas*. Obtenido de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>
- Ingeniero Civil. (29 de Enero de 2012). *Ingeniero Civil*. Obtenido de <https://www.ingenierocivilinfo.com/2012/01/curvas-caracteristicas-de-las-bombas.html>
- Koslan. (26 de Mayo de 2019). *Koslan*. Obtenido de <http://www.koslan.cl/catalogo/bombas-perifricas/bomba-periferica-leo-apm75-innovation-3-0/>
- L. Mott, R. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. México: Ed. Prentice- Hall Hispanoamericana S.A.
- Lahlou, M. (26 de Mayo de 2019). *National Environment Services Centes*. Obtenido de http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/spanish/water_hammer_DWFSOM141.pdf
- Mc Naughton, K. (1998). *Bombas, selección, uso y mantenimiento*. México: Ed Mc Graw Hill.
- Mecalux Logismarket. (26 de Mayo de 2019). *Mecalux Logismarket*. Obtenido de <https://www.logismarket.com.mx/morton-pumps/bombas-centrifugas-y-dosificadoras/2771985634-1325118029-p.html>
- Mecalux Logismarket. (s.f.). *Mecalux Logismarket*. Obtenido de <https://www.logismarket.com.mx/morton-pumps/bombas-centrifugas-y-dosificadoras/2771985634-1325118029-p.html>
- Omel. (26 de Mayo de 2019). *Omel*. Obtenido de <http://www.omel.com.br/es/articulos-tecnicos/escuela-de-bombas/centrifugas/analisis-de-vibracion/>
- Open Course Web Universidad de Sevilla. (26 de Mayo de 2019). *Open Course Web Universidad de Sevilla*. Obtenido de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_13.htm

- Perumin. (20 de Setiembre de 2017). *Perumin* 33. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/perumin33/index.php/es/prensa/item/374-el-sector-minero-solo-usa-1-5-del-agua-disponible>
- Pumpen, H. (16 de Noviembre de 2019). *Hermetic Pumpen*. Obtenido de https://www.hermetic-pumpen.com/system/assets/405/Info_NPSH_ES_08_2010.pdf
- Reportero Industrial. (7 de Junio de 2012). *Reportero Industrial*. Obtenido de <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Bombas-centrifugas-de-aspas-deslizantes+10088040>
- Reportero Industrial. (26 de Mayo de 2019). *Reportero Industrial*. Obtenido de <http://www.reporteroindustrial.com/productos/?categoria=13010000&subcategoria=13010026>
- Rodríguez Ayala, Y. M. (2014). *Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A. – Unidad San Cristóbal*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Salamanca, U. d. (18 de Noviembre de 2019). *Universidad de Salamanca*. Obtenido de http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf
- Streeter, V. (1987). *Mecánica de Fluidos*. México: Editorial Mc Graw Hill.
- Universidad de Castilla La Mancha. (5 de Agosto de 2019). *Universidad de Castilla La Mancha*. Obtenido de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema7.PDF
- Vidal, L. E. (8 de Octubre de 2010). *Scielo*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v18n3/art07.pdf>
- Viejo Zubicaray, M. (2002). *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. México: Ed Limusa S.A.
- Weg. (2019 de Noviembre de 2019). *Weg*. Obtenido de <https://www.weg.net/catalog/weg/ID/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-NEMA-de-Baja-Tensi%C3%B3n/Usos-Generales-ODP-TEFC/Usos-Generales-TEFC-%28Hierro-Gris%29/L%C3%ADnea-W50/W50-Standard-Efficiency-500-HP-2P-5809-10-3F-460-V-60-Hz-IC411---TEFC---Con-pies/p/13036>

ANEXOS

Anexo 1: Recursos por tipo de estructura (Reporte de Compañía Minera 2018)

TIPO	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
CUERPO	MEDIDO	6,884	2.52	3.17	1.95	0.09	2.14
	INDICADO	35,242	6.87	2.53	1.42	0.07	1.57
	INFERIDO	616,545	7.85	3.42	2.08	0.10	2.96
VETAS	MEDIDO	312,954	1.93	5.26	1.37	0.14	1.91
	INDICADO	763,974	2.36	4.35	1.23	0.12	1.81
	INFERIDO	10,431,445	2.55	7.35	2.48	0.20	2.66
TOTAL		12,167,044	2.80	6.89	2.35	0.19	2.60

Anexo 2: Recursos en cuerpos (Reporte de Compañía Minera 2018)

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
CUERPO	CUERPO KARINA	MEDIDO	490	1.07	4.77	4.32	0.12	3.41
		INDICADO	6,933	2.57	3.17	1.96	0.09	1.92
		INFERIDO	162,913	3.86	3.93	2.17	0.10	4.21
	CUERPO KARINA III	INDICADO	401	1.94	3.27	1.42	0.08	1.43
		INFERIDO	18,550	1.84	3.77	1.91	0.14	4.40
	CUERPO KARINA IV	INDICADO	378	3.19	1.35	0.73	0.02	0.29
		INFERIDO	33,087	3.52	5.36	3.49	0.08	2.65
	CUERPO MAGALY	INFERIDO	62,248	5.58	1.18	0.89	0.08	1.91
	CUERPO RAMAL KARINA	MEDIDO	4,491	1.78	3.40	2.01	0.09	2.30
		INDICADO	9,064	2.39	2.71	1.87	0.08	2.12
		INFERIDO	80,812	4.32	3.32	2.19	0.15	2.10
	CUERPO SAN PEDRO	MEDIDO	485	6.70	1.93	0.76	0.03	0.63
		INDICADO	16,290	12.01	2.11	0.96	0.04	1.08
		INFERIDO	157,194	15.83	2.59	1.35	0.05	1.70
	CUERPO TECHO I KARINA	MEDIDO	1,419	3.91	2.33	1.34	0.07	1.73
		INDICADO	2,177	2.29	2.89	1.49	0.08	2.04
		INFERIDO	101,741	8.62	4.66	3.27	0.12	4.06
	TOTAL		658,671	7.74	3.37	2.04	0.09	2.88

Anexo 3: Recursos en vetas (Reporte de Compañía Minera 2018)

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
VETA	VETA 15	MEDIDO	14,960	4.97	2.31	1.10	0.09	1.44
		INDICADO	12,449	3.22	2.58	1.14	0.08	1.12
		INFERIDO	101,560	3.29	5.01	2.94	0.19	1.89
	VETA ANABEL	INDICADO	751	0.92	9.88	1.69	0.26	1.47
		INFERIDO	28,461	2.13	8.79	1.34	0.21	1.53
	VETA ANDALUCIA	INFERIDO	535,298	1.90	8.39	5.45	0.31	1.62
	VETA ANDALUCIA 120	MEDIDO	23,351	0.99	7.03	2.25	0.20	2.65
		INDICADO	54,010	1.23	5.72	1.87	0.16	1.94
		INFERIDO	318,085	1.16	9.23	3.31	0.31	2.91
	VETA ANDALUCIA 120 TECHO	MEDIDO	4,863	1.27	4.65	1.93	0.18	0.61
		INDICADO	12,133	1.30	5.46	1.98	0.17	0.87
		INFERIDO	202,090	1.62	17.76	2.48	0.33	1.42
	VETA ARACELI	INFERIDO	140,374	1.50	6.60	3.09	0.22	4.13
	VETA CARMEN	MEDIDO	18,989	1.43	6.16	0.95	0.12	2.40
		INDICADO	11,532	1.41	6.21	1.57	0.20	2.25
		INFERIDO	29,937	0.99	11.56	2.49	0.34	2.52
	VETA CAROLA	INDICADO	10,926	2.96	2.61	1.37	0.11	1.13
		INFERIDO	329,450	3.07	5.25	3.11	0.19	1.93
	VETA CLAUDIA	INDICADO	1,943	2.35	2.67	1.18	0.05	1.18
		INFERIDO	11,167	2.33	3.95	1.63	0.07	1.45
	VETA ELISA	INDICADO	1,245	1.25	6.06	1.92	0.22	1.54
		INFERIDO	6,271	1.64	11.89	4.22	0.45	2.60
	VETA ELVA	MEDIDO	7,267	1.06	5.78	2.83	0.22	1.88
		INDICADO	9,794	1.16	6.23	2.10	0.13	1.45
		INFERIDO	76,172	1.40	10.13	3.06	0.26	1.90
	VETA ELVA ESTE	INDICADO	1,039	1.78	6.48	0.83	0.05	1.49
		INFERIDO	38,039	1.78	25.53	0.60	0.12	2.72
	VETA ELVA PISO	MEDIDO	3,231	1.22	5.72	1.42	0.07	1.42
		INDICADO	4,971	1.20	7.14	1.30	0.04	1.73
		INFERIDO	87,402	2.00	9.20	3.44	0.33	2.94
VETA ELVA TECHO	MEDIDO	359	0.77	13.44	1.80	0.08	2.64	
	INDICADO	1,042	0.84	11.20	0.59	0.06	2.70	
	INFERIDO	27,394	1.35	16.98	2.92	0.24	3.86	
VETA ELVA TECHO I	MEDIDO	450	0.68	10.59	2.56	0.14	2.86	
	INFERIDO	19,509	1.19	12.91	4.18	0.35	3.87	
VETA FILOMENA	INDICADO	1,011	0.86	6.93	3.17	0.54	2.41	
	INFERIDO	15,838	1.38	7.14	2.19	0.44	2.19	

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
VETA	VETA GABY	MEDIDO	2,613	0.89	9.92	1.05	0.09	1.92
		INDICADO	17,043	1.27	7.07	1.59	0.14	1.26
		INFERIDO	232,067	1.34	8.80	1.94	0.20	2.61
	VETA GAVIA	INFERIDO	27,056	1.19	7.09	2.01	0.14	1.52
	VETA GISELA	MEDIDO	7,340	0.93	6.42	3.58	0.25	1.67
		INDICADO	14,505	0.93	6.31	4.45	0.27	1.56
		INFERIDO	192,250	1.22	8.91	4.40	0.37	2.79
	VETA GRECIA	INDICADO	5,664	0.96	4.33	3.32	0.56	4.02
		INFERIDO	32,894	1.38	8.93	5.41	0.46	4.73
	VETA JANETH	MEDIDO	16,961	2.50	2.40	1.18	0.11	1.37
		INDICADO	40,991	3.03	2.33	0.95	0.09	1.25
		INFERIDO	769,183	3.01	5.08	2.36	0.21	3.14
	VETA JANETH PISO	MEDIDO	5,164	1.75	5.08	1.08	0.24	2.06
		INDICADO	11,462	2.11	2.93	0.88	0.15	1.49
		INFERIDO	108,423	2.19	4.84	1.26	0.22	2.23
	VETA JENNY	MEDIDO	2,358	2.68	2.18	1.91	0.18	0.87
		INDICADO	914	2.03	2.16	1.70	0.20	0.62
		INFERIDO	166,793	2.24	7.77	3.63	0.33	2.46
	VETA JESICA	MEDIDO	2,187	0.90	6.26	3.20	0.29	4.42
		INDICADO	5,691	0.85	7.06	2.98	0.26	3.57
		INFERIDO	23,416	0.94	9.69	4.94	0.40	4.31
	VETA KARINA I	MEDIDO	15,727	1.96	5.57	0.64	0.13	1.25
		INDICADO	52,576	1.52	5.89	0.93	0.10	1.66
		INFERIDO	239,154	1.31	10.31	1.98	0.23	2.73
	VETA KARINA II	MEDIDO	785	0.96	8.04	2.84	0.35	2.40
		INDICADO	3,273	0.94	8.48	1.85	0.31	2.10
		INFERIDO	96,530	1.91	7.08	2.25	0.27	2.06
	VETA KARINA TECHO I	INDICADO	1,156	0.89	7.26	0.75	0.08	0.95
		MEDIDO	1,922	0.93	10.25	0.96	0.10	1.20
	VETA KATTY	INDICADO	203	0.40	13.34	6.73	1.56	5.17
INFERIDO		28,855	1.07	18.97	2.50	0.69	3.56	
VETA LORENA	MEDIDO	2,953	2.02	3.69	0.94	0.08	2.34	
	INDICADO	13,204	2.30	4.01	0.55	0.06	1.82	
	INFERIDO	107,302	2.50	7.91	2.55	0.22	3.63	
VETA LOURDES	MEDIDO	3,413	1.26	7.13	0.88	0.15	1.33	
	INDICADO	14,178	1.14	8.10	0.56	0.09	1.52	
	INFERIDO	73,358	1.48	13.32	1.12	0.13	2.34	
VETA MABEL	INFERIDO	158,321	2.62	6.52	0.71	0.05	1.59	

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
VETA	VETA MAGALY	INFERIDO	206,818	4.77	4.73	1.89	0.08	1.64
	VETA MARIA ROSA	MEDIDO	4,734	3.75	2.95	1.56	0.34	1.41
		INDICADO	6,873	2.35	2.42	1.44	0.09	1.77
		INFERIDO	130,728	2.18	8.17	6.64	0.48	4.59
	VETA MARIA ROSA OESTE	MEDIDO	730	1.41	3.63	1.68	0.21	3.83
		INDICADO	3,129	1.43	3.43	1.81	0.19	3.49
		INFERIDO	30,829	1.40	8.90	3.74	0.38	4.88
	VETA MARIELA	INFERIDO	21,560	1.47	8.92	0.75	0.06	1.16
	VETA MARTHITA	INDICADO	1,566	0.58	11.33	3.82	0.25	1.70
		INFERIDO	5,600	0.76	14.74	5.58	0.27	1.70
	VETA MARTHITA TECHO	INDICADO	5,089	0.81	7.18	3.83	0.38	3.75
		INFERIDO	25,897	1.14	9.60	5.07	0.42	3.94
	VETA MELISA	INDICADO	3,703	2.03	4.28	0.69	0.06	1.06
		INFERIDO	32,895	1.77	9.01	3.62	0.19	2.62
	VETA MILAGROS	MEDIDO	471	1.25	5.38	0.68	0.10	3.24
		INDICADO	2,649	1.50	7.06	0.36	0.05	1.07
		INFERIDO	33,389	2.52	10.25	1.10	0.11	2.07
	VETA NANCY	MEDIDO	2,924	2.54	2.16	1.13	0.07	1.48
		INDICADO	4,850	2.30	2.69	1.39	0.06	1.36
		INFERIDO	39,631	2.43	6.74	3.35	0.12	2.13
	VETA NOELIA	MEDIDO	3,991	1.32	8.26	0.30	0.04	1.23
		INDICADO	1,055	1.23	7.69	0.19	0.04	1.07
		INFERIDO	1,977	1.46	22.77	0.61	0.10	2.69
	VETA OFELIA	MEDIDO	27,804	1.84	5.19	0.66	0.10	2.39
		INDICADO	61,683	2.71	3.02	0.56	0.08	2.33
		INFERIDO	227,955	2.69	5.77	0.87	0.10	2.39
	VETA OFELIA I	INFERIDO	17,266	0.70	12.22	0.19	0.05	1.11
	VETA PAOLA	MEDIDO	186	4.23	2.11	0.70	0.04	0.45
		INDICADO	4,081	3.85	2.88	0.94	0.03	0.54
		INFERIDO	28,543	3.13	7.93	2.88	0.32	1.07
VETA PRINCIPAL	MEDIDO	11,454	1.97	5.16	1.44	0.15	1.64	
	INDICADO	71,898	3.20	3.10	0.78	0.10	1.46	
	INFERIDO	436,520	2.76	5.95	1.86	0.19	2.26	
VETA PRINCIPAL ESTE	MEDIDO	465	1.01	8.53	0.23	0.06	0.81	
	INDICADO	1,802	2.52	3.62	0.15	0.30	1.78	
	INFERIDO	44,143	2.61	8.75	1.59	0.20	1.84	
VETA PRINCIPAL I	INFERIDO	31,129	1.06	6.61	4.26	0.18	6.99	

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
VETA	VETA PRINCIPAL OESTE	MEDIDO	6,046	0.90	9.18	1.00	0.11	3.05
		INDICADO	16,467	3.33	5.09	0.48	0.06	1.06
		INFERIDO	64,066	2.23	11.24	1.70	0.15	2.36
	VETA QUIMACOCHA	INDICADO	22,441	5.36	1.06	0.64	0.02	1.65
		INFERIDO	726,840	5.91	1.71	0.96	0.02	2.38
	VETA RAMAL 85	MEDIDO	5,749	1.91	2.99	1.27	0.09	1.79
		INDICADO	14,886	3.20	2.25	0.99	0.07	1.73
		INFERIDO	251,161	4.09	5.09	2.08	0.11	2.93
	VETA RAMAL PISO 3 PRINCIPAL	MEDIDO	15,666	1.74	4.88	1.52	0.14	1.72
		INDICADO	27,381	1.83	3.66	1.39	0.12	2.36
		INFERIDO	1,211,497	2.39	8.06	2.71	0.26	3.32
	VETA RAMAL PISO CARMEN	MEDIDO	1,393	0.50	19.30	0.57	0.29	3.04
		INDICADO	1,217	0.52	19.45	0.53	0.25	3.11
		INFERIDO	5,010	0.82	24.70	0.29	0.23	2.49
	VETA RAMAL PISO GISELA	MEDIDO	2,341	1.01	7.28	2.36	0.11	1.39
		INDICADO	4,482	1.05	5.28	2.03	0.12	1.75
		INFERIDO	176,053	1.07	8.57	3.30	0.25	2.81
	VETA RAMAL PISO I LORENA	INDICADO	2,761	2.27	1.98	1.12	0.20	1.29
		INFERIDO	10,223	1.83	5.75	4.03	0.79	5.55
	VETA RAMAL PISO LORENA	MEDIDO	11,769	5.19	1.11	0.38	0.12	2.32
		INDICADO	50,930	5.65	1.12	0.37	0.10	2.68
		INFERIDO	235,669	3.98	4.79	2.21	0.14	3.49
	VETA RAMAL PISO OFELIA	MEDIDO	12,364	1.15	9.27	1.94	0.17	2.11
		INDICADO	17,878	1.03	8.70	1.33	0.17	1.92
		INFERIDO	67,896	1.47	18.48	1.41	0.20	1.63
	VETA RAMAL PISO PRINCIPAL	MEDIDO	11,515	2.25	5.08	0.70	0.09	1.36
		INDICADO	21,757	1.95	4.55	1.23	0.20	2.09
		INFERIDO	46,740	1.67	7.95	1.25	0.18	1.95
	VETA RAMAL TECHO 15	INFERIDO	25,090	2.04	3.96	2.19	0.13	4.13
	VETA RAMAL TECHO 3 ELVA	INFERIDO	20,141	2.70	13.87	0.65	0.05	1.68
VETA RAMAL TECHO 5 PRINCIPAL	MEDIDO	1,162	1.01	7.10	2.69	0.45	2.81	
	INDICADO	5,192	1.05	6.34	2.57	0.42	2.84	
	INFERIDO	34,601	2.21	6.05	2.57	0.36	2.63	
VETA RAMAL TECHO CARMEN	INFERIDO	62,663	1.05	9.05	0.58	0.09	1.36	
VETA RAMAL TECHO GISELA	MEDIDO	2,257	1.26	4.50	2.79	0.15	2.20	
	INDICADO	5,767	1.09	5.61	2.53	0.12	2.02	
	INFERIDO	129,189	1.73	5.21	3.52	0.10	2.39	

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
VETA	VETA RAMAL TECHO LORENA	MEDIDO	10,419	1.34	3.74	2.22	0.18	2.83
		INDICADO	8,618	1.17	4.29	2.13	0.21	3.27
		INFERIDO	154,778	2.53	6.93	4.39	0.24	5.27
	VETA RAMAL TECHO OFELIA	INDICADO	60	0.27	38.83	1.54	0.31	5.20
		INFERIDO	6,839	1.44	21.03	0.89	0.20	3.05
	VETA RAMAL TECHO PRINCIPAL	INFERIDO	226,997	2.02	6.27	1.34	0.25	2.34
	VETA SORPRESA	INDICADO	3,591	0.49	12.88	6.66	0.45	2.28
		INFERIDO	131,244	0.99	8.15	3.33	0.23	1.89
	VETA SPLIT 225 PRINCIPAL	MEDIDO	16,552	2.41	3.97	0.51	0.05	1.11
		INDICADO	37,377	2.48	3.24	0.42	0.05	1.17
		INFERIDO	708,157	2.86	7.54	0.98	0.09	2.39
	VETA SPLIT 225 PRINCIPAL PISO	MEDIDO	3,400	1.75	4.76	0.64	0.04	1.28
		INDICADO	5,376	1.25	7.47	0.96	0.05	1.23
		INFERIDO	52,788	1.39	6.89	0.83	0.06	1.68
	VETA SPLIT ANDALUCIA 120 TECHO	MEDIDO	249	0.43	12.76	7.95	0.52	1.60
		INFERIDO	3,796	0.65	18.72	9.37	0.55	2.08
	VETA SPLIT CARMEN	INDICADO	637	0.75	12.81	1.09	0.08	1.70
		INFERIDO	6,069	0.89	14.03	1.02	0.12	1.98
	VETA SPLIT CUERPO KARINA	INFERIDO	24,568	2.85	8.19	3.96	0.08	4.44
	VETA SPLIT JANETH	MEDIDO	3,221	1.06	6.95	2.40	0.19	4.42
		INDICADO	801	0.97	8.26	1.68	0.23	3.00
		INFERIDO	62,238	1.65	8.57	1.92	0.21	4.51
	VETA SPLIT KARINA I	MEDIDO	7,432	1.05	6.23	2.01	0.15	0.96
		INDICADO	13,091	1.04	6.38	2.01	0.09	0.90
		INFERIDO	130,329	1.41	9.45	3.74	0.24	1.39
	VETA SPLIT MARIA ROSA	MEDIDO	1,801	0.91	6.12	2.91	0.24	3.72
		INDICADO	4,489	1.13	5.52	2.42	0.20	1.76
		INFERIDO	45,195	1.84	9.37	5.14	0.51	3.73
	VETA SPLIT NE CARMEN	MEDIDO	2,984	1.30	8.30	0.39	0.06	1.81
		INDICADO	5,660	1.17	7.53	0.59	0.08	2.11
INFERIDO		30,384	1.39	11.55	1.09	0.23	2.40	
VETA SPLIT NW 01 CARMEN	MEDIDO	8,933	1.45	4.14	1.74	0.14	1.72	
	INDICADO	16,909	1.33	4.28	1.72	0.13	2.10	
	INFERIDO	187,785	1.84	4.40	1.68	0.15	2.82	
VETA TERESA	MEDIDO	48	0.88	8.59	2.18	0.13	3.44	
	INDICADO	3,852	0.75	7.16	3.65	0.09	2.95	
	INFERIDO	42,550	2.01	7.18	2.81	0.11	2.85	
VETA YADIRA	INDICADO	268	0.93	7.31	1.11	0.24	2.42	
	INFERIDO	13,359	1.30	16.57	1.69	0.36	4.16	
TOTAL			11,508,373	2.52	7.10	2.37	0.20	2.59

Anexo 4: Reservas por tipo de estructura (Reporte de Compañía Minera 2018)

TIPO	CATEGORIA	TMD	AV (m)	AM (m)	Zn (%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)	VPT (US\$)	DIL(%)
CUERPO	PROBADA	369,337	6.59	6.92	4.27	2.91	0.14	5.69	160.15	19.46%
	PROBABLE	285,835	5.96	6.54	3.75	2.55	0.10	3.43	127.64	26.25%
VETA	PROBADA	3,630,267	2.45	3.64	6.33	1.74	0.17	1.89	135.20	45.31%
	PROBABLE	5,050,927	2.52	3.66	5.75	1.69	0.15	1.80	126.14	43.55%
TOTAL		9,336,367	3.11	4.06	5.86	1.78	0.16	2.04	131.06	42.75%

Anexo 5: Reservas en cuerpos (Reporte de Compañía Minera 2018)

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TMD	AV(m)	AM(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)	VPT(US\$)	DIL(%)	
CUERPO	CUERPO KARINA	PROBADA	41,680.60	4.78	5.13	4.16	2.68	0.12	4.93	145.19	26.68%	
		PROBABLE	48,514.48	3.01	3.76	3.55	2.23	0.11	4.61	132.90	38.95%	
	CUERPO KARINA III	PROBABLE	18,676.81	1.74	3.60	2.83	1.31	0.06	1.39	74.22	49.97%	
	CUERPO KARINA IV	PROBABLE	10,332.01	4.45	4.76	5.73	3.14	0.09	2.41	154.02	19.34%	
	CUERPO RAMAL KARINA	PROBADA	116,836.36	2.96	3.82	4.10	3.33	0.12	3.49	144.08	34.12%	
		PROBABLE	79,377.55	2.79	3.76	3.81	3.50	0.09	2.81	135.97	36.45%	
	CUERPO SAN PEDRO	PROBADA	13,399.10	10.39	10.39	4.36	1.89	0.06	2.91	119.40	8.95%	
		PROBABLE	70,598.96	12.51	12.53	3.50	1.70	0.08	2.01	95.93	9.24%	
	CUERPO TECHO I KARINA	PROBADA	197,420.79	8.86	8.90	4.38	2.78	0.16	7.35	175.59	9.98%	
		PROBABLE	58,335.33	6.41	6.64	4.07	2.86	0.13	5.82	162.73	16.03%	
	TOTAL			655,172	6.31	6.76	4.04	2.76	0.12	4.70	145.97	22.42%

Anexo 6: Reservas en vetas (Reporte de Compañía Minera 2018)

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TMD	AV(m)	AM(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)	VPT(US\$)	DIL(%)
VETA	VETA 15	PROBADA	58,390	5.35	5.88	3.46	2.25	0.16	1.62	99.90	31.40%
		PROBABLE	61,292	4.14	4.59	6.03	3.97	0.27	1.07	158.38	25.38%
	VETA ANABEL	PROBABLE	11,182	2.28	3.50	7.33	0.49	0.24	1.02	122.19	44.42%
	VETA ANDALUCIA 120	PROBADA	378,998	1.50	3.27	5.08	1.94	0.22	1.29	114.78	61.44%
		PROBABLE	293,915	1.24	3.32	4.25	1.67	0.19	1.21	98.93	66.99%
	VETA ANDALUCIA 120 TECHO	PROBADA	72,409	2.04	3.55	8.46	1.99	0.20	1.02	161.09	50.88%
		PROBABLE	109,373	1.52	3.50	7.46	1.45	0.16	0.80	137.05	59.97%
	VETA CARMEN	PROBADA	79,710	2.47	3.47	7.38	0.73	0.13	1.82	132.81	39.81%
		PROBABLE	56,765	2.47	3.47	7.24	0.77	0.12	1.77	134.56	39.87%
	VETA CAROLA	PROBABLE	83,652	3.29	3.81	5.59	3.47	0.19	2.02	153.36	23.24%
	VETA CLAUDIA	PROBABLE	6,933	3.27	3.70	4.26	1.91	0.08	1.89	108.90	20.34%
	VETA ELISA	PROBABLE	24,129	1.53	3.50	6.03	2.24	0.22	1.20	132.63	64.09%
	VETA ELVA	PROBADA	57,518	1.76	3.52	4.14	1.83	0.13	0.90	95.95	58.16%
		PROBABLE	92,110	1.53	3.50	4.96	1.33	0.12	0.86	99.94	60.81%
	VETA ELVA ESTE	PROBABLE	37,200	1.52	3.50	10.58	0.28	0.05	1.79	172.79	60.55%
	VETA ELVA PISO	PROBADA	96,996	2.59	3.57	6.88	2.50	0.18	1.90	155.50	39.68%
		PROBABLE	108,293	2.46	3.55	6.66	1.72	0.12	1.72	138.38	43.30%
	VETA ELVA TECHO	PROBADA	35,530	2.46	3.57	6.91	2.23	0.13	1.71	150.82	43.72%
		PROBABLE	34,458	2.13	3.51	7.61	1.10	0.12	1.54	139.73	52.90%
	VETA ELVA TECHO I	PROBADA	6,438	1.07	3.50	4.67	0.36	0.07	1.07	82.71	71.35%
		PROBABLE	4,935	1.04	3.50	6.22	0.39	0.11	1.12	105.50	71.44%
	VETA GABY	PROBADA	105,528	1.37	3.50	7.78	0.33	0.05	0.71	123.23	66.40%
		PROBABLE	78,398	1.39	3.50	5.18	0.83	0.10	0.82	94.65	64.85%
	VETA GISELA	PROBADA	100,429	1.50	2.67	5.99	2.11	0.23	1.85	135.61	54.93%
		PROBABLE	149,753	1.56	2.52	6.38	2.32	0.19	2.14	148.36	49.04%
	VETA GRECIA	PROBABLE	16,584	1.23	3.50	3.52	2.13	0.35	2.18	104.44	66.58%
	VETA JANETH	PROBADA	277,634	2.61	3.55	4.85	2.35	0.21	2.46	129.74	34.10%
		PROBABLE	284,769	2.82	3.61	4.83	2.69	0.21	2.36	133.56	29.59%
	VETA JANETH PISO	PROBADA	24,771	2.03	3.50	3.48	0.92	0.16	1.62	81.06	49.55%
		PROBABLE	32,387	2.11	3.50	4.11	1.17	0.22	1.96	94.84	45.66%
	VETA JENNY	PROBADA	39,076	2.12	3.50	5.32	3.76	0.40	1.21	147.07	44.43%
		PROBABLE	40,027	2.42	3.50	6.18	4.30	0.42	1.46	168.52	39.06%
VETA JESICA	PROBADA	13,210	1.07	3.50	2.20	1.09	0.10	1.73	65.35	71.36%	
	PROBABLE	3,887	0.92	3.50	2.04	1.10	0.10	1.52	60.45	74.78%	
VETA KARINA I	PROBADA	108,631	1.67	3.51	6.67	0.60	0.13	1.16	116.08	61.80%	
	PROBABLE	229,311	1.50	3.47	5.38	0.63	0.09	1.02	96.28	63.14%	
VETA KARINA II	PROBADA	13,537	3.80	4.49	6.68	2.42	0.18	1.81	148.59	36.20%	
	PROBABLE	52,839	2.43	3.57	5.73	1.36	0.21	1.44	117.46	41.69%	

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TMD	AV(m)	AM(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)	VPT(US\$)	DIL(%)
VETA	VETA KARINA TECHO I	PROBADA	34,120	1.48	3.36	7.07	0.21	0.04	0.86	112.70	64.92%
		PROBABLE	2,508	1.10	3.18	6.54	0.24	0.06	1.18	105.78	67.41%
	VETA KATTY	PROBABLE	1,005	0.48	3.50	2.46	1.18	0.31	0.75	60.76	86.33%
	VETA LORENA	PROBADA	27,701	2.34	3.57	5.99	0.66	0.12	1.64	111.19	45.09%
		PROBABLE	69,674	2.33	3.54	5.47	0.47	0.07	1.72	102.34	45.99%
	VETA LOURDES	PROBADA	57,601	1.60	3.50	7.22	0.55	0.06	1.04	121.67	58.80%
		PROBABLE	99,655	1.72	3.50	6.64	0.48	0.06	0.92	111.09	56.71%
	VETA MARIA ROSA	PROBADA	66,062	3.47	4.16	5.81	3.83	0.39	2.78	168.94	32.53%
		PROBABLE	81,872	3.08	3.91	5.40	3.80	0.33	2.87	164.21	35.18%
	VETA MARIA ROSA OESTE	PROBADA	75,788	1.89	3.55	4.40	2.83	0.21	2.82	131.93	53.92%
		PROBABLE	61,270	1.50	3.50	3.76	2.02	0.19	2.24	109.53	58.13%
	VETA MARTHITA	PROBABLE	25,831	0.87	3.50	3.91	1.33	0.08	0.45	80.99	73.39%
	VETA MARTHITA TECHO	PROBABLE	23,591	1.23	3.50	3.85	1.99	0.14	1.43	99.90	66.38%
	VETA MELISA	PROBABLE	37,036	2.08	3.50	4.86	2.12	0.10	1.33	115.26	45.79%
	VETA MILAGROS	PROBADA	17,889	2.09	3.51	6.54	0.63	0.07	1.36	115.24	44.29%
		PROBABLE	32,685	2.63	3.64	6.67	0.70	0.07	1.51	121.45	36.28%
	VETA NANCY	PROBADA	21,467	3.73	4.01	4.05	2.31	0.09	1.61	114.12	17.19%
		PROBABLE	47,454	3.47	3.86	4.72	2.51	0.10	1.63	119.97	21.13%
	VETA NOELIA	PROBADA	23,015	1.56	3.50	7.94	0.25	0.05	1.12	127.30	57.54%
		PROBABLE	19,173	1.48	3.50	9.24	0.24	0.04	1.15	147.76	58.84%
	VETA OFELIA	PROBADA	243,245	2.94	3.86	6.99	0.89	0.11	2.58	138.52	39.18%
		PROBABLE	221,730	3.04	3.87	6.21	0.88	0.11	2.38	125.36	35.74%
	VETA PAOLA	PROBADA	12,790	3.68	4.16	7.45	2.19	0.17	1.73	152.60	25.32%
		PROBABLE	25,215	4.23	4.70	5.90	1.59	0.12	0.86	119.58	25.11%
	VETA PRINCIPAL	PROBADA	174,630	3.39	4.00	7.58	1.59	0.19	1.61	147.99	32.49%
		PROBABLE	334,291	3.93	4.37	5.49	1.75	0.21	1.57	121.16	28.14%
	VETA PRINCIPAL ESTE	PROBADA	36,189	2.57	3.63	14.77	0.30	0.15	1.21	227.34	43.65%
		PROBABLE	54,698	2.82	3.74	7.70	0.40	0.16	1.43	129.95	39.02%
	VETA PRINCIPAL OESTE	PROBADA	38,152	1.87	3.50	8.55	0.28	0.06	0.91	131.85	52.05%
		PROBABLE	53,096	2.22	3.62	8.36	0.48	0.07	1.00	139.04	48.14%
	VETA QUIMACOCHA	PROBABLE	48,000	6.53	6.53	2.78	1.62	0.04	4.38	107.23	10.92%
	VETA RAMAL 85	PROBADA	39,554	4.30	4.82	3.47	1.49	0.14	2.83	99.99	25.26%
PROBABLE		143,301	5.53	5.86	3.82	1.54	0.11	2.64	103.93	19.28%	
VETA RAMAL PISO 3 PRINCIPAL	PROBADA	391,204	2.69	3.47	7.67	1.96	0.20	2.43	162.64	37.75%	
	PROBABLE	536,342	2.38	3.04	5.55	2.19	0.19	2.74	140.44	40.91%	
		PROBABLE	22,890	1.34	3.50	7.15	0.12	0.08	0.90	112.19	64.06%
VETA RAMAL PISO GISELA	PROBADA	4,048	1.15	1.49	4.74	3.20	0.22	2.02	138.46	21.33%	
	PROBABLE	45,940	1.51	2.31	8.18	2.75	0.17	1.77	176.57	33.68%	

TIPO	ESTRUCTURA	CATEGORIA	TMD	AV(m)	AM(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)	VPT(US\$)	DIL(%)
VETA	VETA RAMAL PISO I LORENA	PROBADA	7,959	1.80	3.50	3.98	3.09	0.30	2.64	126.79	49.46%
		PROBABLE	20,438	1.77	3.50	3.68	2.62	0.33	2.64	120.29	50.92%
	VETA RAMAL PISO LORENA	PROBADA	93,543	4.81	5.33	6.32	1.94	0.19	2.74	149.80	27.28%
		PROBABLE	107,384	3.57	4.17	5.53	1.95	0.15	2.22	128.04	27.67%
	VETA RAMAL PISO OFELIA	PROBADA	88,656	1.28	3.50	5.01	1.69	0.12	0.90	106.75	70.31%
		PROBABLE	129,375	1.28	3.50	5.07	1.46	0.13	0.97	104.33	69.11%
	VETA RAMAL PISO PRINCIPAL	PROBADA	69,486	2.40	3.56	6.41	0.39	0.07	1.01	107.56	44.01%
		PROBABLE	49,045	2.17	3.54	6.10	0.38	0.08	0.94	101.86	47.65%
	VETA RAMAL TECHO 5 PRINCIPAL	PROBADA	8,140	2.61	3.52	4.05	1.37	0.19	1.02	89.65	41.03%
		PROBABLE	20,146	2.12	3.50	3.37	1.39	0.17	1.32	82.18	48.38%
	VETA RAMAL TECHO GISELA	PROBADA	14,536	2.43	3.30	3.15	2.23	0.10	1.72	94.20	38.78%
		PROBABLE	56,435	1.52	2.55	3.46	1.78	0.08	1.28	90.01	51.06%
	VETA RAMAL TECHO LORENA	PROBADA	70,739	3.32	4.23	4.91	3.48	0.24	3.85	159.79	40.36%
		PROBABLE	87,552	3.11	4.12	4.46	3.22	0.17	3.72	151.06	41.02%
	VETA RAMAL TECHO OFELIA	PROBABLE	7,495	1.38	3.50	10.24	0.29	0.10	1.22	162.59	68.96%
	VETA SORPRESA	PROBABLE	10,440	0.69	3.50	2.91	1.26	0.10	0.49	65.98	82.13%
	VETA SPLIT 225 PRINCIPAL	PROBADA	129,149	2.75	3.54	8.41	0.98	0.12	1.69	151.17	36.84%
		PROBABLE	408,338	3.57	3.99	8.70	1.28	0.07	1.59	159.62	25.59%
	VETA SPLIT 225 PRINCIPAL PISO	PROBADA	4,102	2.16	3.50	3.57	0.56	0.04	0.63	64.03	44.34%
		PROBABLE	1,561	1.51	3.50	2.95	0.60	0.03	0.43	60.53	62.13%
	VETA SPLIT ANDALUCIA 120 TECHO	PROBADA	10,347	0.71	3.50	3.94	1.83	0.19	0.45	87.60	77.36%
		PROBABLE	14,835	0.64	3.50	3.47	2.16	0.13	0.46	88.67	78.84%
	VETA SPLIT CARMEN	PROBABLE	24,982	0.87	3.50	4.86	0.29	0.04	0.58	79.55	73.45%
	VETA SPLIT JANETH	PROBADA	51,759	2.11	3.51	5.71	1.18	0.11	3.60	134.14	52.39%
		PROBABLE	24,558	2.35	3.50	6.32	1.35	0.11	3.87	149.66	45.64%
	VETA SPLIT KARINA I	PROBADA	44,382	1.38	3.50	4.72	1.80	0.19	0.60	97.23	63.45%
		PROBABLE	85,117	1.27	3.50	4.94	1.80	0.19	0.68	107.35	65.84%
	VETA SPLIT MARIA ROSA	PROBADA	93,409	3.34	4.10	6.66	4.51	0.32	3.56	198.33	34.13%
		PROBABLE	40,066	2.09	3.50	5.20	3.36	0.28	3.23	160.75	47.51%
	VETA SPLIT NE CARMEN	PROBADA	62,184	2.17	3.51	7.10	0.31	0.05	1.37	119.55	48.45%
PROBABLE		54,080	1.80	3.53	5.24	0.48	0.11	1.07	92.40	57.10%	
VETA SPLIT NW 01 CARMEN	PROBADA	101,951	2.21	2.86	5.32	2.20	0.21	1.89	128.10	34.77%	
	PROBABLE	56,557	2.01	2.70	4.48	1.49	0.20	2.30	109.87	38.78%	
VETA TERESA	PROBADA	25,638	2.20	3.52	5.66	0.87	0.06	1.72	109.21	48.43%	
	PROBABLE	40,133	2.31	3.50	5.18	1.27	0.06	1.65	110.74	43.90%	
VETA YADIRA	PROBABLE	12,941	1.47	3.50	8.90	0.73	0.23	2.33	160.97	63.05%	
TOTAL			8,681,195	2.49	3.65	5.99	1.71	0.16	1.84	129.93	44.28%

Anexo 7: CAPEX del sistema de bombeo

Equipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio total (US\$)						
				Precio unitario (US\$)				Costo total directo de instalación	Costo directo unitario	Costo directo total
				Suministro	Costo total del suministro	Factor de instalación	Instalación			
EQUIPAMIENTO MECÁNICO					2,214,600					3,163,350
Bomba centrífuga	Bomba Goulds 3316 6x8 – 17, n = 1750 rpm.	und	34	50,000	1,700,000	50%	850,000	850,000	1,700,000	2,550,000
Sistema de golpe de ariete	Válvula de alivio, válvula mariposa, válvula de bola, anticipadora y venteo	und	34	500	17,000	8%	1,360	1,360	17,000	18,360
Sedimentadores laminares	Construido en acero inoxidable y lamedas	und	6	1,100	6,600	15%	990	990	6,600	7,590
Arrancador estrella	Arrancador estrella para motor de 500 HP	und	34	14,000	476,000	20%	95,200	95,200	476,000	571,200
Tanque floculador	Tanque floculador	und	1	15,000	15,000	8%	1,200	1,200	15,000	16,200
EQUIPOS ELÉCTRICOS					2,698,896					3,171,771
Transformador de potencia trifásico	Transformador de potencia trifásico 2000 kva 60 hZ	und	3	51,000	153,000	25%	38,250	38,250	153,000	191,250
Tablero switchgear	Tableros con Soft Starters en	und	3	75,000	225,000	10%	22,500	22,500	225,000	247,500

	4.16 kV, para bombas centrífugas de 746 kW de potencia instalada									
Tablero con Soft Starters	Tableros con Soft Starters en 4.16 kV, para bombas centrífugas de 746 kW de potencia instalada	und	9	35,000	315,000	15%	47,250	47,250	315,000	362,250
Interruptor potencia	Interruptor potencia SF6 36 kV	und	3	20,500	61,500	25%	15,375	15,375	61,500	76,875
Centro de control de motores	Centro de control de motores en 480 V, 600 A	und	2	52,000	104,000	15%	15,600	15,600	104,000	119,600
Sala eléctrica prefabricada	Sala eléctrica prefabricada, dimensiones: 15 x 4 x 6 m (Largo x Ancho x Altura)	und	2	480,000	960,000	5%	48,000	48,000	960,000	1,008,000
Sistema HVAC	Sistema HVAC Redundante sala eléctrica	und	3	180,000	540,000	10%	54,000	54,000	540,000	594,000
Sistema contraincendios	Sistema Contraincendios (Detección) sala eléctrica	und	3	30,000	90,000	10%	9,000	9,000	90,000	99,000

Bandeja metálica tipo escalera	Bandeja metálica tipo escalera, galvanizado en caliente de 750mmx100mm, e=2 mm	und	218	72	15,696	10%	1,570	1,570	15,696	17,266
Celda de salida	Celda de salida tipo metal enclosed 12 kV 630 A	und	4	29,300	117,200	15%	17,580	17,580	117,200	134,780
Cable eléctrico	Cable eléctrico N2XSEY 3X120 MM2 T-15KV	m	1,550	50	77,500	250%	193,750	193,750	77,500	271,250
Banco de condensadores automático	Banco de condensadores automático trifásico 600 kVar	und	2	20,000	40,000	25%	10,000	10,000	40,000	50,000
TUBERÍA					607,500					2,043,450
Tubería tramo acero	Tubería tramo acero 18" CS Sch 40	m	2,000	125	250,000	250%	625,000	625,000	250,000	875,000
Tubería tramo HDPE	Tubería tramo HDPE 20" SDR 11	m	2,500	125	312,500	250%	781,250	781,250	312,500	1,093,750
Abrazaderas	Abrazaderas en U para tuberías de 18" y 20 "	und	300	45	13,500	150%	20,250	20,250	13,500	33,750
Espárragos	Espárragos 1-1/4x7" c/tuerca y arandela	und	3,500	9	31,500	30%	9,450	9,450	31,500	40,950
INSTRUMENTACIÓN										550,000
Instrumentación general										550,000

CIVIL ESTRUCTURAL										270,000
Cimentaciones Estación de bombeo 4355										55,000
Cimentaciones Estación de bombeo 4100										65,000
Cimentaciones Estación de bombeo 3845										150,000
OBRAS MINERAS										1,241,000
Excavación-Sostenimiento, Limpieza Estación de bombeo 4355	Ratio (55 US\$/m ³)	m3	55	4,000	220,000					220,000
Excavación-Sostenimiento, Limpieza Estación de bombeo 4100	Ratio (55 US\$/m ³)	m3	55	5,000	275,000					275,000
Excavación-Sostenimiento, Limpieza Estación de bombeo 3845	Ratio (55 US\$/m ³)	m3	55	8,000	440,000					440,000
RB Proyectado Nivel 3845 al Nivel 4100	Continuación del RB instalado (1200 US\$/m lineal)	m	1,200	255	306,000					306,000
COSTO DIRECTO TOTAL (CDT)										10,439,571
COSTO INDIRECTO TOTAL (CIT)					30.00%					3,131,871
CAPEX										13,571,442

Anexo 8: OPEX del sistema de bombeo

Costo operativo	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total anual (US\$)	Costo unitario de operación (US\$/m ³)
Flujo nominal de agua diariamente tratado		m ³ /día	77,760			
Flujo nominal de agua anual tratado		m ³ /año	28,382,400			
CONSUMO ENERGÉTICO					3,220,608	0.113
Costo anual de energía	0.024 US\$/kWh	kW/año	134,191,987	0.024	3,220,608	0.113
CONSUMIBLES					66,440	0.002
Floculantes	Consumo: 15.1 t/año	t/año	15.1	4400	66,440	0.002
COSTO DE TRANSPORTE					811,350	0.029
Costo de transporte de cisterna	0.601 US\$ ton/km		1,350,000	0.601	811,350	0.029
COSTO MANO DE OBRA INTERIOR MINA					1,326,240	0.047
Ingeniero residente	12 h por turno	unid	1	40,000	40,000	0.001
Ingeniero de seguridad	12 h por turno	unid	1	30,000	30,000	0.001
Ingeniero supervisor	12 h por turno	unid	3	31,800	95,400	0.003
Técnico de Mantenimiento	12 h por turno	unid	12	24,000	288,000	0.010
Planner de Mantenimiento	12 h por turno	unid	1	30,600	30,600	0.001
Capataz	12 h por turno	unid	8	13,200	105,600	0.004
Operador	12 h por turno	unid	41	12,840	526,440	0.019
Ayudante de limpieza	12 h por turno	unid	9	9,000	81,000	0.003
Transporte de personal	12 h por turno	unid	1	50,000	50,000	0.002
Camioneta Ingeniero	12 h por turno	unid	3	26,400	79,200	0.003
MANTENIMIENTO					3,000,000	0.106
Costo anual de mantenimiento Bombas	\$/mes 130,000	mes	12	250,000	3,000,000	0.106
EVENTUALES					68,000	0.002
Costo anual de eventualidades	4% costo del equipo	%	4%	1,700,000	68,000	0.002
COSTO ANUAL DE OPERACIÓN					8,492,638	
COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN (US\$/m³)				US\$/año		0.299

Anexo 9: Método para determinar cálculo hidráulico para sistema de bombeo

