

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE

MINAS



T E S I S

**Implementación del sistema de bombeo para optimizar el drenaje del
agua de mina a superficie de Unidad Minera Yumpag de Compañía de
Minas Buenaventura S. A. A**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas**

Autor:

Bach. Juan Arcadio YALICO GONZALES

Asesor:

Mg. Manuel Mayer CARHUARICRA RIVERA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
MINAS**



T E S I S

**Implementación del sistema de bombeo para optimizar el drenaje del
agua de mina a superficie de Unidad Minera Yumpag de Compañía de
Minas Buenaventura SAA**

Sustentado y aprobado ante los miembros del jurado:

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
PRESIDENTE

Mg. Luis Alonso UGARTE GUILLERMO
MIEMBRO

Mg. Carlos Edwin ROJAS VICTORIO
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHINQUI Sorita Silvia FAU 20154022046128
MAY 15, Soy el autor del documento
01.12.2025 14:51:08 -25:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 055-2025

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

Presentado por:

Bach. YALICO GONZALES Juan Arcadio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"Implementación del sistema de bombeo para optimizar el drenaje del agua de mina a superficie de la Unidad Minera Yumpag de Compañía de minas Buenaventura S. A. A"

Asesor:

Mg. Manuel Mayer, CARHUARICRA RIVERA

Índice de Similitud: **6 %**

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 2 de diciembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre, cumpliendo en su ausencia.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a todos los colaboradores con los que he compartido un momento de trabajo, los que apoyaron en adquirir más conocimientos de acuerdo con su experiencia y vivencias, al enriquecimiento de mis conocimientos.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

RESUMEN

En la propuesta siguiente se ha observado la manera más adecuada de implementar un sistema de bombeo que optimice el drenaje de los niveles inferiores de Tomasa, integración y 2W al nivel 180 (PTARI), para luego de un tratamiento del agua pueda ser vertida a los pozos que se encuentran en superficie, para posteriormente enviar al río que pasa cerca de la unidad minera Yumpag, partiendo de ella se propone el mejoramiento del sistema de bombeo en los niveles estudiados construyendo una nueva infraestructura con bombas estacionarias, para la evacuación de agua a superficie, previo tratamiento, con parámetros del agua óptimos para no dañar el medio ambiente.

Por lo tanto, se realizará la medición de los caudales de agua que se generen como consecuencias de las filtraciones hacia el nivel subterráneo, aguas de perforaciones y otros elementos que puedan redistribuirlos como parte de un diseño nuevo del sistema de bombeo, lo cual será un método para la verificación del nivel de eficiencia, así como los resultados en términos de bombeo de aguas subterráneas hacia superficie previamente tratado, el cual definirá la calidad de agua que se vierte al río así como mejorar la eficiencia en el diseño de la evacuación del agua.

Palabras clave: Sistema de bombeo, rendimiento de bomba, caudal de agua, pozos de bombeo.

ABSTRACT

This work has observed the implementation of a pumping system to optimize drainage of the lower levels of Tomas, Integration, and 2W at level 180 (PTARI). After treating the water, it is discharged into surface wells and then sent to the river that runs near the Yumpag mining unit. Based on this, it has been proposed to improve the pumping system for these levels by building a new infrastructure with stationary pumps to evacuate water to the surface, after treatment, with optimal water parameters to avoid harming the environment.

Therefore, the water flows generated by groundwater seepage, drilling water, and other sources will be measured and distributed within a new pumping system design. This will be a way to determine its efficiency. The result, in terms of pumping groundwater to the surface after treatment, will determine the quality of water discharged to the river, as well as improve the efficiency of the water evacuation design.

Keywords: Pumping system, pump performance, water flow, pumping ponds.

INTRODUCCIÓN

La unidad minera Yumpag, de Compañía de minas Buenaventura es una unidad dedicada a la explotación de Plata.

En la unidad minera Yumpag el sistema de bombeo se presenta como uno de los mayores obstáculos para la continuidad de las operaciones mineras, por esta razón la optimización se hace indispensable rediseñando el tratamiento del agua, así como las cámaras de bombeo.

En ese sentido la presente propuesta de investigación busca ofrecer una contribución al desarrollo de los conocimientos actuales sobre sistemas de bombeo y su aplicación en Operaciones Mineras.

Es por ello, que esta tesis orienta sus esfuerzos a implementar un sistema de bombeo con el mejoramiento de las cámaras de bombeo, su tratamiento del agua, disminuyendo los sólidos en suspensión y así evacuar agua limpia a la superficie, incrementando la capacidad de las bombas, así como las tuberías, mayor confiabilidad en ellas.

Para lo cual se debe realizar el monitoreo de los sólidos en suspensión, diseño de bombas y análisis de caudales.

1. El primer capítulo expone los aspectos generales de esta propuesta, como son el planteamiento y formulación del problema a nivel general y específico, de igual manera se muestran los objetivos; la justificación e importancia, así como las limitaciones y alcances de la investigación.

En ese sentido se tratarán la generalidad de los aspectos como acceso y ubicación de las operaciones, contexto histórico, además de los métodos de explotación y el plan de minado.

2. El segundo capítulo busca exponer los antecedentes de esta propuesta por medio de un marco teórico específico que alcanza a las bases teóricas y científicas, además de exponer los términos principalmente empleados por sus definiciones específicas, de igual manera las hipótesis y las variables.
3. El tercer capítulo muestra el método de investigación que abarca aspectos como: tipo y diseño de la investigación, además de los grupo poblacionales y muestrales empleados, para terminar con los instrumentos y las técnicas que se usaron para recoger y procesar los datos.
4. El cuarto capítulo abarca los resultados que se obtuvieron por medio de la validación de la nueva propuesta de diseño de bombeo óptimo, en esta parte se presentarán las pruebas a nivel técnico y se discutirán los resultados.
5. Para finalizar esta tesis se elaborarán las conclusiones respectivas y propondrán las recomendaciones necesarias además de listar la bibliografía empleada.

El autor

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema.....	16
1.3.1.	Problema general	16
1.3.2.	Problemas específicos	16
1.4.	Formulación de objetivos	17
1.4.1.	Objetivo general.....	17
1.4.2	Objetivos específicos	17
1.5.	Justificación de la investigación.....	18
1.6.	Limitaciones de la investigación	18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	19
2.2.	Bases teóricas – científicas	25
2.3.	Definición de términos básicos	78
2.4.	Formulación de hipótesis	88
2.4.1	Hipótesis general.....	88
2.4.2	Hipótesis específicas	89
2.5.	Identificación de variables.....	89
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	90

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	102
3.2.	Nivel de investigación.	102
3.3.	Métodos de investigación	103
3.4.	Diseño de investigación	104
3.5.	Población y muestra.....	105
3.6.	Técnicas e instrumento de recolección de datos	106
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación....	107
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	109
3.9.	Tratamiento estadístico	109
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	110

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	112
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	124
4.3.	Prueba de hipótesis	130
4.4.	Discusión de resultados	132

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1.	Plano de Ubicación y Acceso.....	2
Figura. 2.	Plano de mineralización.	4
Figura. 3.	Tabla Geomecánica.	8
Figura. 4.	Diseño de malla de perforación.....	9
Figura. 5.	Isométrico Sistema de ventilación mina Yumpag - Noviembre 2024.	10
Figura. 6.	Equipos usados con motores eléctricos.....	22
Figura. 7.	Bomba de eje libre	27
Figura. 8.	Especificaciones técnicas de las bombas sumergibles de mina.	28
Figura. 9.	Especificaciones técnicas del motor Standard	29
Figura. 10.	Especificaciones técnicas del motor Standard	32
Figura. 11.	Poza de sedimentación y bombeo.	33
Figura. 12.	Tuberías y accesorios	33
Figura. 13.	tura estática (succión negativa)	45
Figura. 14.	tura estática (succión negativa)	46
Figura. 15.	Esquema del sistema de bombeo.....	62
Figura. 16.	Factor de fricción en tuberías rugosas con función de Re. Tubo de acero Ø16" ($e/D = 1,19 \times 10^{-4}$).	68
Figura. 17.	Factor de fricción en tuberías lisas con función de Re. Tubo de HDPE Ø18" ($k/D = 3,87 \times 10^{-6}$).....	68
Figura. 18..	Pérdidas de carga por kilómetros de tuberías rugosas en función de Re. Tubo de acero Ø16" ($e/D = 1,19 \times 10^{-4}$).	69
Figura. 19.	Pérdidas de carga por kilómetros de tuberías lisas con función de Re. Tubo de HDPE Ø18" ($k/D = 3,87 \times 10^{-6}$).....	69
Figura. 20.	Pérdida de cargas teóricas en los sistemas de bombeo.....	71
Figura. 21.	Desviaciones de las pérdidas de cargas y Hman total del sistema frente a los datos experimentales.	71
Figura. 22.	Altura de succión respecto al nivel del fluido en el depósito.....	73
Figura. 23.	PTARI	117
Figura. 24.	Cámara de bombas	118
Figura. 25.	Ozas de sedimentación y bombeo	119
Figura. 26.	Pozas en superficie	119

Figura. 27. Cámara de bombas CA 960.....	122
Figura. 28. Chimenea Piloto	123

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad Instalada - Ventiladores Extractores	9
Tabla 2. Sistema de Ventilación Principal del proyecto Yumpag.	10
Tabla 3. Plan de avance	11
Tabla 4. Recuperación de mineral	12
Tabla 5. Recuperación 1Q	13
Tabla 6. Medidas de la poza de sedimentación y bombeo	32
Tabla 7. Espaciamiento entre soportes de tuberías de Acero al Carbono.....	38
Tabla 8. Factor de corrección por SDR	39
Tabla 9. Velocidades de flujo recomendadas para diferentes zonas de los circuitos ...	41
Tabla 10. Requerimientos y casos según ASME B31.3	56
Tabla 11. Etapas del sistema de bombeo.	60
Tabla 12. Accesorios de la estación de bombeo.	60
Tabla 13. Definición operacional de variables	90
Tabla 14. Caudales en pozas del sistema de bombeo	113
Tabla 15. Tramos y características de tuberías.....	116
Tabla 16. Medición de caudales y NTU	124
Tabla 17. Sistema de bombeo convencional	128
Tabla 18. Sistema de bombeo optimizado.....	129

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La mina Yumpag, tiene el problema de drenar el agua que se encuentra en los niveles inferiores para poder continuar con el ciclado de exploración, desarrollo y explotación de la mina.

Para su evacuación se están utilizando bombas sumergibles de 58hp y 150 hp, los cuales bombean agua desde niveles inferiores a pozas de bombeo a diferentes niveles hasta llegar a superficie, previo tratamiento de sedimentación y precipitación de sólidos.

Con el transcurrir del tiempo, estas pozas están colapsando por la acumulación de sedimentos en ellos, perjudicando el bombeo.

Por estas razones se hace determinante, la aplicación de un nuevo sistema de bombeo con el fin de evitar inundaciones en la mina.

Las labores mineras están en avanzada, aumentando el caudal del agua subterránea, por lo cual es indispensable retirar el agua del interior de la mina,

para evitar inundaciones de las labores y la continuación del laboreo minero, tanto de exploración, Desarrollo y explotación.

1.2. Delimitación de la investigación

Esta investigación se realizó desde la cámara 9895 (poza 9) en 2W, Integración y Tomasa, hasta superficie, de la unidad minera Yumpag de minas Buenaventura S.A.

Aproximadamente este trabajo tomo una duración de 8 meses:

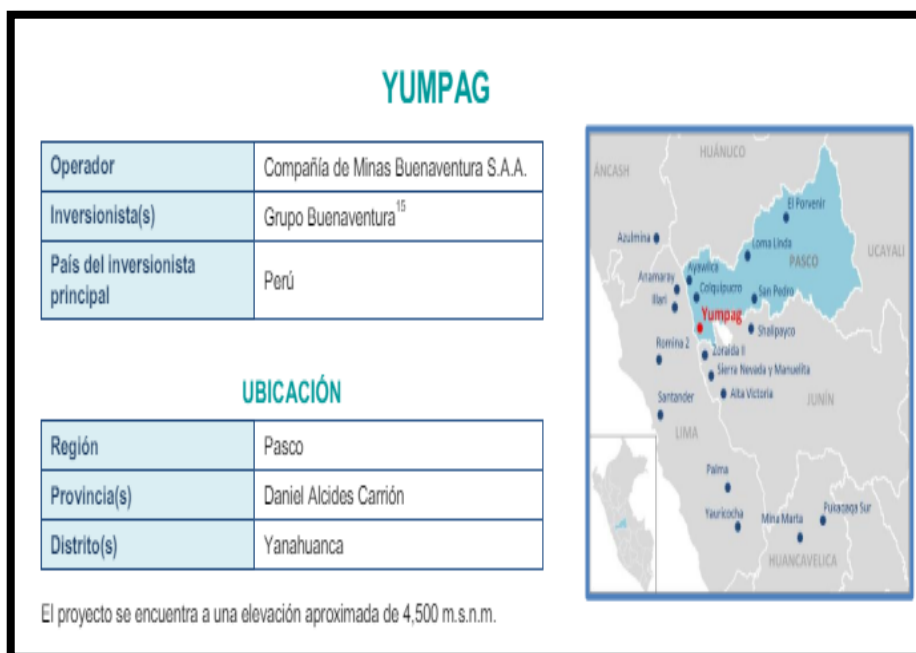
fecha de inicio, Julio 2024 y fecha de culminación, febrero 2025.

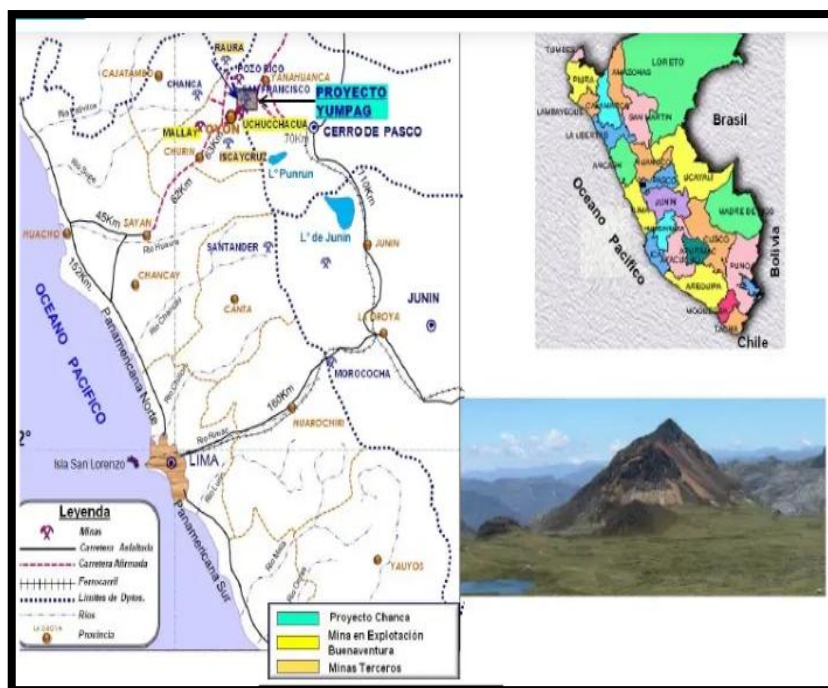
1.2.1. Generalidades de la Mina

Ubicación y Accesibilidad

La mina Yumpag se ubica en la localidad de Yanahuanca, provincial de Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco, superponiéndose a la comunidad campesina de Huachus.

Figura. 1. Plano de Ubicación y Acceso





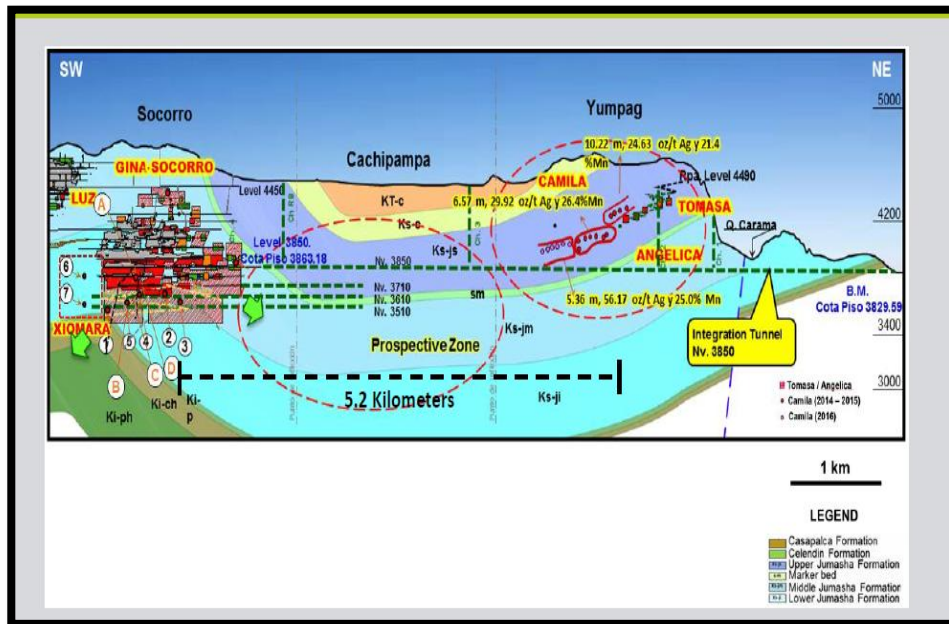
Fuente: Ministerio de energía y minas.

Antecedentes históricos

Yumpag fue un Proyecto de plata descubierto por Buenaventura, Qué abarca un conjunto de vetas con nivel de sulfuración intermedia que presentan orientaciones preferentes hacia el noreste cuya fuerza tensional se dirige a la falla cachipampa, la que es responsable de los procesos de mineralización en la unidad minera Uchucchacua.

Términos estructurales la veta Camila es el cuerpo más importante debido a que presenta mineralizaciones argentífera tipo bonanza, Estas formaciones se encuentran asociadas a los componentes sulfosales de plata presentes en la estructura, además de algunos componentes de plomo y zinc e incluso trazas de oro.

Figura. 2. Plano de mineralización.



Fuente: Ministerio de energía y minas.

La unidad minera Yumpag, produce cada día 1,500 toneladas de mineral, que pueden contener plata y manganeso el mismo que se trata en su planta concentradora en Uchucchacua.

En las exploraciones y desarrollo, se tiene una reserva de mineral probados.

Geología Local de la Mina

Yumpag, se encuentra en la parte oriental de Cachipampa, el cual abarca una planicie de 4 km, conformada por formaciones pertenecientes al cuerpo rocos casapalca, que alcanzan a las formaciones Celendin. Estos cuerpos llegan a componer un Amplio sinclinal, que se divide por la falla Cachipampa, la que se ubica en el sector de ampliaciones de la mina Socorro, y que posteriormente continua en dirección este en el sector del barranco San Juan Baños de Rabi. En términos geomórficos el rasgo más importante de la estructura Yumpag, son las reservas de composición acida (Diorita), que llegan a cortar las formaciones calizas Jumasha, además se puede observar una alteración en forma de halo que se

encuentra protegido por materia de origen volcánico que pertenece al grupo Calipuy.

Geología Regional

La secuencia estratigráfica en el área de estudio alcanza hasta los 4500m de forma vertical a partir del jurásico Superior hasta llegar al terciario superior, todo lo cual se encuentra protegido por un segmento de material de origen volcánico perteneciente al terciario superior.

Por su parte, el material que forma parte del cretácico inferior es principalmente de origen detrítico continental o Terrestre perteneciente a la formación Goyllarizquisca, que se encuentra conformado por los estratos integrados Oyon, chimu, santa, carhuaz y farrat. Por otra parte, la presencia de la formación Valanginina provoco en su corta duración el Fm, además de material con ácido carbónico Enaptiano Sagrado con un esparcimiento esporádico entre las capas calcáreas del cuerpo Carhuaz.

La cuenca de los andes sufrió a gran escala una irrupción en la etapa inicial de albio, la que llega a establecerse la Plataforma de carbonato, cuya actuación alcanza al campaniano e inclusive al mastrichtiano, los que produjo las deposiciones en la Cuenca.

En la etapa final del cretácico, los andes centrales experimentaron una deformación a nivel regional, lo que tuvo como consecuencia que las tierras submarinas retornen y se establezcan, por acción de la oxidación y erosión de la zona, lo que aporó sedimentos rojos en la zona superior del cuerpo Casapalca. Este proceso se interrumpió a mediados del Eoceno cuando las estructuras a nivel tectónico de los andes comenzaron su proceso de compresión.

Este periodo tuvo como consecuencia la formación de un pliegue con mayores dimensiones que abarca desde el desbordamiento general contemporáneo NW-SE de la falla inversa de la cordillera occidental, hasta el inicio de las fallas lateral derecha y sinusal en dirección general NE-SW lateral, experimentando la activación Tectónica posterior.

A largo plazo esta área presentara erosiones y turbinización, hasta que una actividad volcánica aparezca en el Mioceno de forma moderada, lo que provocó la acumulación de la formación calipuy, además de que fuera subvolcanica y plutónica la ubicación del reservorio intrusivo.

Las acumulaciones al pie de la montaña de materiales morrénicos y fluvioglaciares caracterizan el cuaternario que traen sedimentos, depósitos de origen aluvional y facies de río.

Métodos de Explotación

De acuerdo con el método de explotación propuesto por el diseño la morfología del tajeo puede presentar variaciones. Sin embargo, el avance en todos los casos se dimensiona por medio del cálculo del volumen de material fracturado.

En la actualidad se cuentan con los siguientes métodos de explotación:

Método de Explotación ODF (Over drift and fill).

Este método consiste en avanzar y rellenar, se excava galerías horizontales a través del cuerpo mineralizado y rellenar el espacio con material de desmonte, permite alcanzar las 1,500 TMS/día de mineral producido con una ley promedio de 26 oz de Ag, siendo el Cut-off operacional en 6.64 gr/Tn.

Método De Explotación por taladros largos

Este método es indicado en operaciones con buzamientos empinados en los que haya que emplear taladros largos, específicamente si los ángulos se ubican por

encima de 55°. Específicamente se basa en establecer un puente entre la perforación de dos niveles cuya dirección pueda ser ascendente o descendente.

La perforación es una de las principales actividades, lo cual requiere de mucha precisión y control, para así lograr una voladura optima. La perforación se realiza con jumbos denominados simba y nautilus. La limpieza se realiza con scooptrams de 4 y 6 yd³. Los cuales cargan a volquetes de 17 ton y estos llevan a la cancha de almacenamiento en superficie, para luego ser trasladados a la planta concentradora de la unidad Uchucchacua.

El relleno de los tajos se realiza con el desmonte que se genera de la explotación zarandeados y mezclados con concreto (rock fill), así como el relleno con detritus.

Limpieza y Acarreo de Minerales

En tajos la limpieza se realiza con scoop de 4Yd³ y 6 yd³, los cuales son cargados a volquetes para su extracción respectiva, hacia las canchas de mineral y desmonte, ubicados en superficie; así como también al traslado directo a las canchas de depósito que se encuentran en Uchucchacua.

Sostenimiento

La masa rocosa ha sido clasificada por el índice de Calidad de la roca RQD 25 AL 50%, valuación 8, espaciamiento de juntas 50-300mm, valuación 10, estado de discontinuidades, superficies algo rugosas, separación menor a 1mm, Paredes de roca suave; valuación 12; Resistencia de la roca inalterada, donde el índice de carga de punta es de 2-4 MPa y la Resistencia compuesta uniaxial 50 a 100 MPa, con una valuación de 7.

Según la valuación la roca está clasificado en tipo I

Figura. 3. Tabla Geomecánica.

BUENAVENTURA TABLA GEOMECANICA CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN G.S.I. MODIFICADO (Considerando factores influyentes) PARA DIRECTORES DE LABOR, AYUDANTES Y SUPERVISORES Se basa en la cantidad de fracturas por metro, medidas en la labor con una wincha, pintando un cuadro de 1 metro x 1 metro. Y la resistencia que se determina golpeando la roca, con una picota o una barretilla de 4 pies. PARÁMETRO FRACCIÓN PARA PINTAR UN CUADRO DE 1m x 1m (10.17m MAS DESARROLLABLE) LA FRACCIÓN PARA DE CONTAR LOS LADOS DEL CUADRO		PARÁMETRO DE RESISTENCIA SUPERFICIAL (RESISTENCIA DE LA ROCA)				
		MUY FUERTE (Muy duro) LA ROCA SE RESISTE CON GOLPES FUERTES DE LA PICOTA O BARRETILLA 4 PIES (LA ROCA NO SE ROMPE)	BUENA (Dura) LA ROCA SE ROMPE CON TRES A MAS GOLPES DE LA PICOTA O BARRETILLA 4 PIES.	REGULAR (Semi dura) LA ROCA SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE LA PICOTA O BARRETILLA 4 PIES.	BLAN (Semi blanda) LA PICOTA O BARRETILLA 4 PIES VA MÁS DE MENOS DE UNO O CENTÍMETRO EN LA ROCA CON UN GOLPE.	MUY BLAN (Muy suave) LA ROCA SE DESGASTA O SE FUNDI LA PICOTA O BARRETILLA 4 PIES MAS DE MEDIO CENTÍMETRO EN LA ROCA CON UN GOLPE.
	LEVEMENTE FRACTURADA (LF) (DE 2 A 5 FRACTURAS)	1	2	3	3	4
	FRACTURADA (F) (DE 6 A 11 FRACTURAS)	2	2	3	4	4
	MUY FRACTURADA (MF) (DE 12 A 20 FRACTURAS)	3	3	3	4	4
	INTENSAMENTE FRACTURADA (IF) (MAS 20 FRACTURAS)	-	3	4	4	5
	TRITURADA O BRECHADA (T) MASA ROCOSA TRITURADA, NO SE OBSERVA FRACTURAMIENTO.	-	-	-	5	5

Fuente: Área Geomecánica Yumpag.

El sistema adecuado de sostenimiento temporal está constituido por los elementos:

Pernos de anclaje

Mallas electrosoldadas.

Lanzado de shotcrete

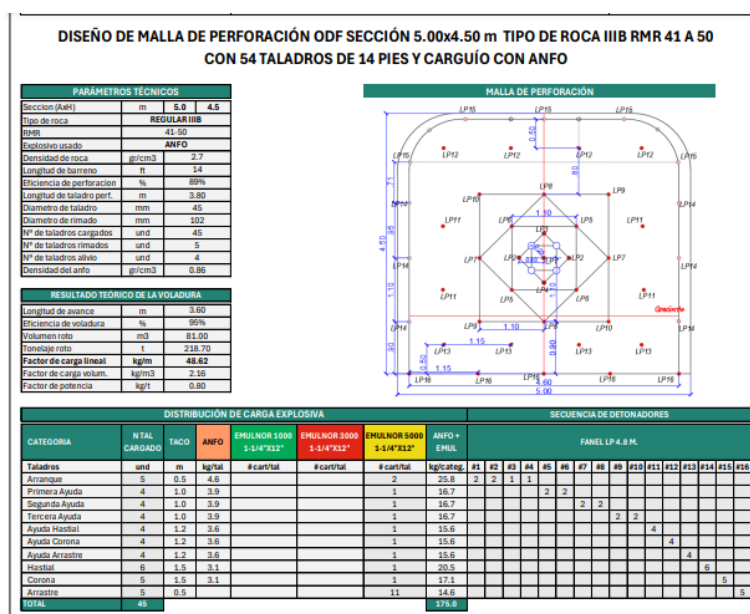
Aplicando finalmente el Relleno con rock fill y relleno con detritus en los tajos vacíos, su principal objetivo es evitar colapsos.

Perforación y Voladura

Los equipos de perforación son perforadoras jumbos, y equipo de perforación de barrenos largos Nautilus DBS-16, con una eficiencia de perforación promedio del 86%

En la voladura, se emplean Anfo, Emulnor, teniendo una eficiencia de voladura promedio del 95%, sobre rotura promedio del 7%, factor de carga lineal promedio de 51.02 Kg/m con anfo y 40.14 Kg/m con emulnor.

Figura. 4. Diseño de malla de perforación.



Fuente: Área de mina Yumpag

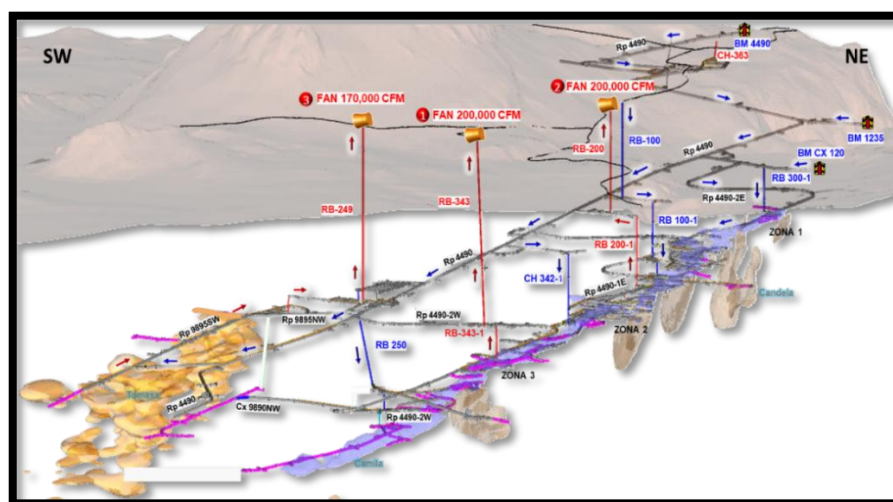
Ventilación

El sistema de ventilación del proyecto Yumpag consta de 03 ventiladores extractores principales del tipo eléctricos axiales de álabes variables, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Capacidad Instalada - Ventiladores Extractores

Ítem	Modelo	Circuito	Labor	Tipo	Marca	Caudal	Poten.	Presión
						Nominal cfm	Nomin. HP	Total "CA
1	VAV-84-43-1150-II-B	RP 4490	CH-249	Principal	Airtec	170,000	250	9.02
2	ZVN 1-16-180/4	RP 4490-2W	RB-343	Principal	Zitron	200,000	240	5.00
3	ZVN 1-16-180/4	RP 4490-1E	RB-200	Principal	Zitron	200,000	240	5.00

Figura. 5. Isométrico Sistema de ventilación mina Yumpag - Noviembre 2024.



Aforo, requerimiento y cobertura de aire

El requerimiento total de aire de la operación minera es de 456,135 cfm que comparado con los 530,768 cfm de aire fresco que ingresa a la mina nos da una cobertura actual del 116%. Este requerimiento es calculado teniendo en cuenta como escenario 100% de personal y equipos en interior mina. El detalle se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Sistema de Ventilación Principal del proyecto Yumpag.

	Enero 2024
Ingresos	BM 235 : 77,868 cfm RB 100 : 117, 979 cfm CX 120 : 244,954 cfm BM4490 : 89,966 cfm
Caudal de ingresos	530,768 cfm
Salidas	RB 343: 194,486 cfm CH 249: 169,310 cfm RB200: 192,405 cfm
Caudal de salidas	556,200 cfm
Diferencia	25,432 cfm
Desbalance	4.6%
Parámetros de cálculo de requerimiento	QTr: 178 personas QMaq: <20% QTe: 0 niveles QEq: 43 eq $QFu = (QTr + QTe + QMa + QEq) \times 1.15\%$
Caudal requerido	456,135 cfm
Cobertura	116%
Diferencia	74,633 cfm

Labores de Desarrollo, Exploración y Preparación

Las labores de Desarrollo son operaciones que dividen y seccionan los yacimientos para permitir habilitar espacios para el acceso, así como las vías de tránsito dentro de la mina, que puedan conducir a los depósitos de mineralización.

Por su parte, las labores de preparación como pueden ser los subniveles, ventanas, tolvas o chutes, tajeos de explotación se orientan al desarrollo de espacios dentro de la mina para el arranque y extracción del mineral con valor económico y que pueda ser explotado de forma sistemática de acuerdo con el plan operativo de producción y cumpliendo con los aspectos relativos a la seguridad.

Planeamiento y reservas de mineral

En términos generales la minera Buenaventura plantea una política operativa para la unidad Yumpag que busque asegurar el nivel de reservas con el fin cumplir el plan mensual de avances lineales que propone alcanzar los 577.4 metros. En ese sentido las labores de exploración son primordiales para mantener el nivel óptimo de las reservas.

Tabla 3. Plan de avance

PLAN DE AVANCES - YUMPAG ENERO																				
Suma de Aporte		Etiquetas de fila																		
	19-Ene	20-Ene	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	27-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	31-Ene	1-Feb	2-Feb	3-Feb	4-Feb	5-Feb	6-Feb	Total general
JUMBO 16		10.50		10.50	10.50	9.20	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	7.00	184.20
Exploración		3.50	3.50	3.50	3.50															14.00
Desarrollo		7.00	7.00	7.00	7.00	9.20	10.50	10.50	10.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	3.50	135.20
Preparación										3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	35.00
TRITON 1	7.00	7.00	10.50	13.00	7.00	14.00	7.00	10.50	10.50	10.50	10.50	7.00	7.00	14.00	10.50	10.50	14.00	10.50	10.50	191.50
ODF	7.00	7.00	10.50	13.00	7.00	14.00	7.00	10.50	10.50	10.50	10.50	7.00	7.00	14.00	10.50	10.50	14.00	10.50	10.50	191.50
Exploración																				
Total general	7.00	17.50	21.00	23.50	17.50	23.20	17.50	21.00	21.00	21.00	21.00	17.50	17.50	24.50	21.00	21.00	24.50	21.00	17.50	375.70

Avances Desarrollo		Etiquetas de fila																		
	20-Ene	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	27-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	31-Ene	1-Feb	2-Feb	3-Feb	4-Feb	5-Feb	6-Feb	Total general	
CM320-1NE									3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			31.50	
CM320-3NE	3.50	3.50	3.50	3.50															14.00	
CX9890					3.50	3.50	3.50	3.50	3.50										17.50	
RF4490 2W	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50														17.50	
CM 135-NE	3.50	3.50	3.50	3.50															14.00	
CM320-1NE Pozo					2.20	3.50	3.50	3.50											12.70	
RP 4120						3.50	3.50	3.50											10.50	
RP1000 (+)										3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	31.50	
Total general	10.50	10.50	10.50	10.50	9.20	10.50	10.50	10.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	3.50	149.20	

Perfilado Piso 12		Etiquetas de fila								Total general
	25-Ene	26-Ene	27-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	31-Ene	1-Feb		
ODF	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	3.50	52.50	
Total general	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	3.50	52.50	

Tabla 4. Recuperación de mineral

Yumpag

T_Mineral	Valores	Enero	BUDGET	DIF
Yumpag	TMS	29,800	29,300	↑ 500
	Ag (Oz/t)	21.1	20.4	↑ 0.8
	Pb%	0.6	0.4	↑ 0.1
	Zn%	1.0	0.9	↑ 0.2
	Mn%	17.1	18.4	↓ -1.3
	Fe%	4.0	3.4	↑ 0.6
	NSR(\$/t)	415	400	↑ 15.3
	Rec Ag	92.60	92.60	↑ 0.0
	Rec Pb			
	Rec Zn			
	Fines OzAg	582,632	552,108	↑ 30,523
	TMS Pb			
	TMS Zn			
Concentrado Ag-Mn (tms)		1,211	1,148	↑ 62.8
Calidad Ag Conc.Ag-Mn (oz/t)		100.0	100.0	↑ 0.0
Calidad Mn Conc.Ag-Mn (%)		15.5	15.5	↑ 0.0
Concentrado Ag-Fe (tms)		2,097	1,989	↑ 108.8
Calidad Ag Conc.Ag-Fe (oz/tm)		150.0	150.0	↑ 0.0
Conc. Ag-Mn Río Seco (tms)		1,133	1,074	↑ 58.8
Calidad Ag Conc.Mn Río Seco (oz/tm)		50.0	50	↑ 0.0
Conc. Ag-Clts (tms)		3,225	2,844	↑ 381.0
Calidad Ag Conc. Ag-Clts (oz/tm)		28.0	30	↓ -2.0

T_Mineral	Valores	Febrero	BUDGET	DIF
Yumpag	TMS	30,800	32,300	↓ -1,500
	Ag (Oz/t)	21.9624	22.9	↓ -0.9
	Pb%	0.5	0.6	↓ -0.2
	Zn%	1.0	1.1	↓ -0.1
	Mn%	19.3	17.7	↑ 1.6
	Fe%	3.8	3.8	↑ 0.0
	NSR(\$/t)	432.4	478.7	↓ -46.3
	Rec Ag	92.60	93.60	↓ -1.0
	Rec Pb			
	Rec Zn			
	Fines OzAg	626,386	692,217	↓ -65,831
	TMS Pb			
	TMS Zn			
Concentrado Ag-Mn (tms)		1,360	1,486	↓ -126.8
Calidad Ag Conc.Ag-Mn (oz/t)		100.0	100.0	↑ 0.0
Calidad Mn Conc.Ag-Mn (%)		15.5	15.5	↑ 0.0
Concentrado Ag-Fe (tms)		2,255	2,514	↓ -258.7
Calidad Ag Conc.Ag-Fe (oz/tm)		150.0	150.0	↑ 0.0
Conc. Ag-Mn Río Seco (tms)		1,218	1,331	↓ -113.6
Calidad Ag Conc.Mn Río Seco (oz/tm)		50	50	↑ 0.0
Conc. Ag-Clts (tms)		3,263	3,328	↓ -66.5
Calidad Ag Conc. Ag-Clts (oz/tm)		28	30	↓ -2.0

T_Mineral	Valores	Marzo	BUDGET	DIF
Yumpag	TMS	30,800	29,500	↑ 1,300
	Ag (Oz/t)	22.0	21.6	↑ 0.4
	Pb%	0.4	0.6	↓ -0.2
	Zn%	1.0	1.1	↓ 0.0
	Mn%	19.8	17.3	↑ 2.5
	Fe%	4.1	4.0	↑ 0.1
	NSR(\$/t)	432.5	442.3	↓ -9.7
	Rec Ag	92.10	92.00	↑ 0.1
	Rec Pb			
	Rec Zn			
	Fines OzAg	622,765	585,972	↑ 36,793
	TMS Pb			
	TMS Zn			
Concentrado Ag-Mn (tms)		1,352	1,274	↑ 78.5
Calidad Ag Conc.Ag-Mn (oz/t)		100	100	↑ 0.0
Calidad Mn Conc.Ag-Mn (%)		16	16	↑ 0.0
Concentrado Ag-Fe (tms)		2,254	2,129	↑ 120.9
Calidad Ag Conc.Ag-Fe (oz/tm)		150	150	↑ 0.0
Conc. Ag-Mn Río Seco (tms)		1,217	1,146	↑ 70.7
Calidad Ag Conc.Mn Río Seco (oz/tm)		50	50	↑ 0.0
Conc. Ag-Clts (tms)		3,164	2,760	↑ 403.6
Calidad Ag Conc. Ag-Clts (oz/tm)		28	30	↓ -2.0

Tabla 5. Recuperación 1Q

Yumpag				
T Mineral	Valores	1Q	BUDGET	Dif
Yumpag	TMS	91,400	91,100	↑ 300
	Ag (Oz/t)	21.7	21.7	↑ 0.0
	Pb%	0.30	0.6	↓ -0.1
	Zn%	1.00	1.0	↓ 0.0
	Mn%	18.7	17.8	↑ 0.9
	Fe%	4.0	3.8	↑ 0.2
	NSR(\$/t)	427	441.6	↓ -14.7
	Rec Ag	92.43	92.76	↓ -0.3
	Rec Pb			
	Rec Zn			
	Finos OzAg	1,831,783	1,830,298	↑ 1,486
	TMF Pb			
	TMF Zn			
Concentrado Ag-Mn (tms)		3,923	3,909	↑ 14.5
Calidad Ag Conc. Ag-Mn (oz/t)		100	100	↑ 0.0
Calidad Mn Conc. Ag-Mn (%)		15.5	16	↑ 0.0
Concentrado Ag-Fe (tms)		6,606	6,626	↓ -20.0
Calidad Ag Conc. Ag-Fe (oz/tm)		150	150	↑ 0.0
Conc. Ag-Mn Rio Seco (tms)		3,567	3,551	↑ 15.8
Calidad Ag Conc. Mn Rio Seco (oz/tm)		50	50	↑ 0.0
Conc. Ag-CBs (tms)		9,650	8,932	↑ 718.1
Calidad Ag Conc. Ag-CBs (oz/tm)		28	30	↓ -2.0

Seguridad y Salud Ocupacional

Como parte del plan operativo se cuenta con un programa de salud ocupacional que se basa en las siguientes directrices:

Se cuenta con la certificación en vigencia para el estándar internacional ISO 45001:2018, que se especializa en la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo.

Se identificaron las posibles fuentes de peligro y factores de riesgo, así como las acciones de control necesarias, para ello se elaboró un conjunto de lineamiento que permitan identificarlos continua y sistemáticamente.

Se pudo establecer un plan de respuesta eficaces a emergencia con la finalidad de minimizar las consecuencias de este tipo de eventos.

Se elaboro un conjunto de lineamiento que recoge la evaluación de riesgos a la salud, así como las acciones necesarias para su atenuación.

Se estableció sistemáticamente reuniones de seguridad, con el fin de contar con un espacio para exponer y discutir temas específicos

vinculados a la seguridad y salud ocupacional, con el fin de implantar programas de capacitación efectivos que aseguren una reducción real de los factores de riesgo en el trabajo.

Se conformo un comité de seguridad que pueda reunir a las representantes de los grupos de interés, a través de los cuales se pueda promover las condiciones óptimas de seguridad y salud en el entorno laboral en concordancia con los establecido en el plan de seguridad y salud.

Se realizo una evaluación de las condiciones de seguridad en el trabajo, contando para ello con procedimientos de análisis e investigación de causas vinculadas a los accidentes en el trabajo, con la finalidad de poder determinar las acciones de control necesarias.

Se realizo una evaluación de los estándares de seguridad y salud ocupacional en los proveedores como parte del proceso de contratación.

Responsabilidad Social

La unidad minera Yumpag, como empresa responsable y respetuosa de su marco legal cumple con las comunidades aledañas que se ubican en la unidad, dando apoyo en proporcionar oportunidad de trabajo en la unidad a la población económicamente activa. Enmarcado dentro de sus compromisos como:

Misión: Ser el operador minero de elección y de mayor aceptación para las comunidades, las autoridades y la opinión pública en general. Generar la más alta valoración de la compañía ante todos sus públicos de interés (stakeholders)

Visión: Desarrollar recursos minerales generando el mayor valor posible a la sociedad.

Valores:

Seguridad: Es un valor central que promueve el respeto a la vida de nuestros colaboradores y que está presente en todos nuestros procesos, operaciones y actividades.

Honestidad: Nuestra actuación debe estar marcada por la probidad y la rectitud en cada operación llevada a cabo.

Laboriosidad: el trabajo debe realizarse de manera eficiente mostrando siempre pasión por su ejecución en condiciones de seguridad y salud óptimas.

Lealtad: el compromiso con nuestros clientes refleja nuestros valores, misión y visión en conjunto como un solo grupo de trabajo encaminado en una sola dirección.

Respeto: buscamos el respeto por las personas, así como sus tradiciones, ideas y cultura.

Transparencia: cualquier actividad que se lleve a cabo en la empresa debe medirse por la veracidad, claridad y ser oportuno.

Responsabilidad Ambiental

La unidad minera Yumpag, tiene el compromiso de cuidar el medio ambiente, el cual está estipulado en el estudio de impacto Ambiental aprobado por SENACE.

Para ello se ha desarrollado los siguientes objetivos medio ambientales: Monitoreos ambientales, se cuenta con un plan de monitoreo Ambiental de la Calidad del agua, aire, suelo y ruido, que se diseña y

ejecuta continuamente, para que su operatividad se realice bajo estándares eficientes en el ámbito medioambiental.

Manejo de residuos sólidos. Se implementará el "Plan de manejo de Residuos Sólidos", el que se encuentra en constante evaluación y mejoramiento con la finalidad de optimizar la gestión integral de este tipo de residuos que provengan de las operaciones, con ello es posible niveles saludables para el ambiente de los trabajadores, así como el entorno y las comunidades que lo habitan. Lo cual permite la optimización del uso de recursos naturales y minimizar el impacto negativo sobre el ambiente.

Control de afluentes y emisiones

Para minimizar los impactos ambientales, se ha contratado empresas dedicadas a la eliminación de aguas residuales, se implementó una planta de tratamiento de estas aguas generadas por uso doméstico, aguas de mina, traslado de hidrocarburos usados a Uchucchacua, así como residuos orgánicos, metálicos reciclables.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo sería el sistema de bombeo para optimizar el drenaje desde las zonas de Integración, Tomasa y tope de rampa en 2W hasta superficie para eliminar el agua de interior mina en la unidad minera Yumpag de Cia de minas Buenaventura?

1.3.2. Problemas específicos

¿Cómo se va ejecutar la evacuación del agua desde las zonas de Integración, Tomasa y tope de rampa 2W a superficie en la unidad minera Yumpag de Cia de minas Buenaventura?

¿Cómo será el funcionamiento y sus componentes del sistema de bombeo desde integración, Tomasa y zona de tope de rampa 2W en la unidad minera Yumpag de Cia de minas Buenaventura?

¿Cuál es la cantidad máxima de los sólidos en suspensión en el contenido de agua para el drenaje desde las zonas de Integración, Tomasa y tope de rampa 2W a superficie en unidad minera Yumpag?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar el sistema de bombeo desde las zonas de integración, Tomasa y tope de rampa 2W, tratamiento del agua en el PTARI, y su posterior evacuación a superficie y vertimiento al río.

1.4.2 Objetivos específicos

Determinar la capacidad de las bombas para evacuar el agua desde las zonas de integración, Tomasa y tope de rampa 2W hasta el PTARI, tratamiento y evacuación a superficie, de unidad minera Yumpag.

Determinar el funcionamiento y sus componentes del sistema de bombeo desde las zonas de Integración, Tomasa y tope de rampa 2W, hacia el PTARI, para su tratamiento del agua y su posterior evacuación a superficie.

Determinar la cantidad máxima de sólidos en suspensión para el drenaje de agua mina desde las zonas de Integración, Tomasa y tope de rampa 2W hacia el PTARI, y su posterior drenaje a superficie, en la unidad minera Yumpag.

1.5. Justificación de la investigación

La unidad minera Yumpag, con su anterior Sistema de drenaje de agua, donde se evacua el agua en postas de pozas, desde los niveles inferiores hacia las pozas 5A, 4A y 2A, luego al PTAM, donde es tratado y evacuado a las pozas en superficie, presenta colapsos por la acumulación de solidos en las pozas, y se requiere un nuevo sistema más confiable y de mejor mantenimiento.

En el caso de la evacuación de aguas subterráneas se emplean bombas sumergibles de achique con una potencia de 150 hp y 50 l/s, además se construye una cámara principal para el nuevo Sistema de bombeo con capacidad para cinco bombas de 745Hp y 450 l/s.

La importancia de este proyecto radica en que este sistema de bombeo optimizara el drenaje de agua de interior mina de las zonas de Integración, Tomasa y tope de rampa 2W hacia el PTARI, así como su tratamiento y evacuación a superficie.

1.6. Limitaciones de la investigación

La información necesaria presenta el inconveniente de tener el carácter de cerrado para la divulgación externa, lo que dificulta el acceso a ella.

Poca accesibilidad a la información de exploración y planos de ubicación.

Cobertura de internet deficiente.

Desconfianza del personal para permitir sus experiencias.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Respecto a documentación de Sistema de bombeo se revisó en internet, lográndose encontrar mucha documentación respecto a drenaje de agua de mina, sistemas de bombeo lo cual detallo a continuación:

2.1.1. Internacionales

Juan Herrera Herbert (2009).

Esta propuesta plantea que todas las explotaciones mineras se ubican en una Cuenca hidrológica e hidrogeológica determinada de las cuales mayormente se desarrollan por debajo de la capa freática del lugar.

Por esta razón, las labores de este tipo funcionan como drenajes o puntos de descarga de escorrentías, debido a ello su condición de descarga puede ocasionar alteraciones de los sistemas hidrológicos o hidrogeológicos locales.

En términos operativos las labores mineras los drenajes deben evitar que el agua entre en contacto directo con la zona operativa. Empleando para ello un

plan de manejo hidrológico que pueda controlar cualquier tipo de contacto que se produzca.

Otro factor determinante de los drenajes de aguas sirven para gestionar las posibles interferencias operativas a nivel de hidrosfera.

Con esta finalidad las labores mineras de poder implementar un sistema de drenajes que pueda adaptarse a las necesidades operativas de la mina sin introducir alteraciones en el sistema hidrológico local. Adicionalmente las operaciones mineras deben poder implementar sistemas de reutilización de aguas industriales.

Entre los objetivos que plantean las operaciones mineras a los estudios de las condiciones hidrogeológicas se pueden mencionar las siguientes:

Desarrollar el perfil geoquímico que pueda servir de referencia para localizar los yacimientos potenciales.

Poder determinar los distintos niveles de las capas freáticas además del perfil de presión con la profundidad.

Para obtener muestras de agua que puedan servir para evaluar la calidad de base en los distintos niveles o los estudios ambientales de base, antes y durante la realización de los trabajos de exploración, el minado y al término de la explotación.

Para establecer los modelos de flujo en tres dimensiones que puedan mostrar representativamente el estado anterior al inicio de las operaciones minera.

Para determinar la profundidad de los caudales, así como sus presiones, además de evaluar su influencia en la estabilidad de las explotaciones a nivel subterráneo.

Evaluar los métodos para controlar los flujos a nivel subterráneo y su influencia en la estabilidad.

Monitorear los sistemas de drenajes subterráneos y la contaminación potencial que pueden originar a lo largo de todo el ciclo de utilización.

Cesar Cardona (2021)

Este trabajo propone que es necesario establecer correctamente el equilibrio del Sistema hidráulico para seleccionar un óptimo sistema de bombeo. En ese sentido la labor de la ingeniería es emplear adecuadamente las ecuaciones de conservación de la masa, energía y cantidad de movimiento para determinar el equilibrio necesario, de no ser así o existir algún error en el equilibrio del sistema, la estación de bombeo no funcionara correctamente.

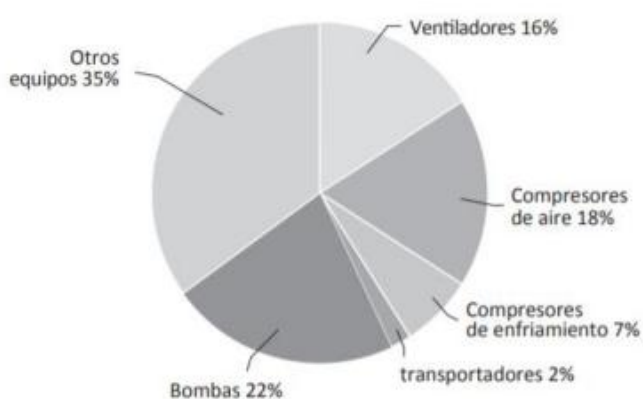
En ese sentido, un adecuado dimensionamiento del sistema se traduce en una operatividad optima y eficiente de las bombas, de lo contrario repercutirá en pérdidas económicas y comprometiendo el proyecto a nivel operativo incluso se puede ocasionar una deficiente evacuación del agua.

Como parte de las actividades mineras se llevan a cabo distintas actividades paralelamente a nivel técnico como operativo, como planeamiento, exploración, sostenimiento, topografía, mantenimiento, explotación, transporte, entre otros, las que demandan distintos tipos de servicios. Debido a ello, se hace necesario implementar reingeniería para procesos, equipos y estandarizaciones.

Se debe comenzar caracterizando el perfil de los equipos y de las líneas hidráulicas para posteriormente realizar la medición de caudales, presiones, dimensión de los tanques. Todo ello con la finalidad de automatizar los Sistemas de bombeo, de manera que la operatividad sea más previsible y seguro.

Según estudios realizados por la comisión europea se estableció que la demanda energética de los sistemas de bombeo requiere del 22% de la energía eléctrica que se destinan a motores eléctricos en todo el mundo.

Figura. 6. *Equipos usados con motores eléctricos*



Fuente: ONU octubre 2018.

El desarrollo de sistemas de bombeo se concretó debido a la optimización de mejores diseños además de una fabricación basada en estándares técnicos. Por otra parte, el rendimiento de los sistemas centrífugos de bombeo depende principalmente de la curva operativa.

Se pueden identificar cuatro factores que inciden en un rendimiento poco optimizado:

Uso de componentes inadecuados a las condiciones que presentan las operaciones habituales.

Degradación de los componentes que compromete su eficiencia.

Operaciones no calibradas a las demandas del sistema.

Operaciones de bombeo innecesarias

El sistema de bombeo consiste en la interacción de distintos componentes que funcionan directamente con la bomba, que pueden ser dispositivos de

activación, control y seguridad de la bomba, las tuberías y todos los otros componentes que permitan el tránsito de los fluidos.

2.1.2. Nacionales

Dimas Apaza Idme, David Carhuaz y Hernán Padilla (2010)

Esta tesis presenta una observación de las labores de drenaje en distintas operaciones mineras en el Perú, a nivel superficial o subterráneos. Para ello se realiza un análisis previo del perfil hidrogeológico local, para contrastarlos con las características del yacimiento y el plan de explotación. Considerando en cada caso los sistemas de bombeo empleados y las demás instalaciones operativas.

En ese sentido se destaca que estas operaciones se ejecutan sobre material ígneo cristalino asociado a roca calcárea y/o detrítico, que sirven como fuente de flujos subterráneos, además de otros cuerpos que pueden controlar el flujo de agua, estas condiciones pueden afectar las labores de extracción de mineral, debido a las aguas en el nivel subterráneo.

David Manuel Ríos, Sincronización del Plan de drenaje con el plan de minado.

Este trabajo se concentra en analizar el comportamiento operativo de la mina Yanacocha al ubicarse en una localidad que presenta un contexto marcado por lluvias continuas. Los niveles de precipitación en esta zona pueden alcanzar los 1500 mm de lluvia al año en promedio, y nueve meses de precipitaciones al año. En estas circunstancias un adecuado sistema de drenaje se hace determinante para la operatividad de la mina.

En esta operación se puede observar la presencia de agua a nivel superficial como causa de las lluvias continuas, esta circunstancia permite que las filtraciones se hagan continuas al interior del material rocoso, para afrontar

esta situación se debe poner en operatividad un sistema de drenaje que pueda garantizar la correcta operatividad de la mina en cada uno de sus emplazamientos.

En minera Yanacocha, adicional al bombeo de agua de escorrentía captadas en pozas superficiales, para realizar el drenaje del agua subterránea del tajo usamos pozos para bajar los niveles freáticos y poder tener condiciones de minado sin la presencia de agua. Estos pozos están contruidos dentro de la zona de minado del tajo Abierto, y para cumplir con el plan de minado, tenemos que cumplir con el plan de descenso de la napa freatica, por lo que hay que sincronizar ambos planes, sin que uno afecte al otro.

La metodología de sincronización de planes implica:

Primer paso, Obtener todos los planes de minado a corto, mediano y largo plazo, de tal manera que en un plano podamos ver las áreas de minado de manera mensual o anual.

Segundo paso, en un plano mostrar la ubicación de los pozos junto con las áreas de minado, según el plan mensual o anual. De ahí se planifica la cantidad de pozos que se puede parar, y el número de días que se pararan, de tal manera que el flujo de bombeo no baje de tal manera que los niveles freáticos empiecen a subir. Siempre bombear por encima de la ratio de bombeo de equilibrio (en donde la napa freática no sube ni baja).

Tercer paso, en el plano también se muestra la ubicación de los cables de energía, tableros, transformadores y tuberías. Esto para planificar la ubicación de las tuberías matrices, cables matrices de acuerdo con los planes de minado a largo plazo para que estas facilidades se reubiquen lo menos posible.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Fundamentos del Sistema de Bombeo

Como parte de la etapa de producción en la industria minera un factor determinante es el sistema de bombeo. En ese sentido, un buen nivel de rendimiento de este sistema asegura una extracción eficiente del material líquido.

Específicamente, un Sistema de bombeo consiste en un mecanismo conformado por distintos elementos orientados a extraer algún tipo material en estado líquido, normalmente en operaciones mientras este material es agua, usando para ello tuberías en red, diseñada bajo parámetros específicos en cuanto a la presión o caudales necesarios.

El concepto que permite el funcionamiento de estos mecanismos es el de equilibrio hidráulico. En el caso de operaciones mineras su finalidad es la de prevenir inundaciones al interior de las instalaciones. Para el sistema debe extraer las concentraciones de agua que se puedan depositar en los niveles inferiores de las minas, causadas generalmente por acción de las filtraciones producto del fracturamiento o el fenómeno de porosidad normal de las paredes de roca. También la misma ejecución normal de las operaciones pueden contribuir a llevar agua hacia el interior de la mina. En ese contexto operativo es determinante el diseño de un sistema eficiente para bombear el agua de los niveles subterráneos con el fin de extraer el agua por medio del sistema planteado que debe tener en cuenta los distintos elementos y factores como los caudales, la capacidad de extracción de las bombas y el diámetro de las tuberías, los tiempos de acumulación de agua, así como el volumen acumulado, la acidez y la presencia de material sólido. En ese sentido se debe optimizar el bombeo considerando el menor costo.

Para un sistema de bombeo se considera:

1. Equilibrio hidráulico del sistema.

Este concepto es determinante en cualquier sistema de bombeo, se obtiene al lograr un balance energético en el que deben ser contabilizadas la energía cinética, potencial y las pérdidas.

Es normal, confundir esta ecuación de equilibrio de energía con la “ecuación de Bernoulli con pérdidas” para definir sistemas de bombeo.

En el caso del equilibrio energético las pérdidas se deben en gran medida a turbulencias y fricciones. Las que deben contabilizarse como parte de las pérdidas de carga total del Sistema. En estos casos la metodología propuesta por Darcy-Weisbach y Hazen-Williams es la adecuada para el cálculo de pérdidas de cargas en tuberías.

2. Carga estática total.

Esta carga puede ser definida como la carga que debe ser movida por el bombeo cuando se eleva el fluido entre el punto A y B que se encuentran en diferentes cotas.

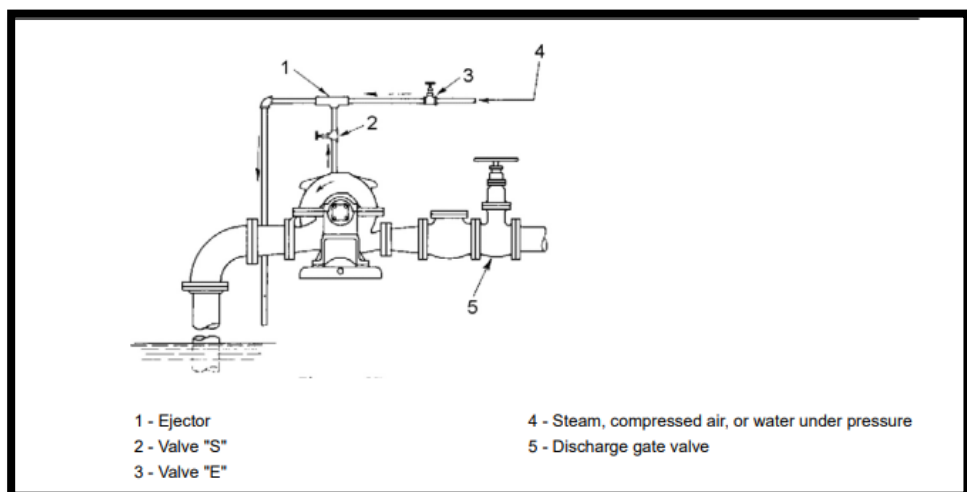
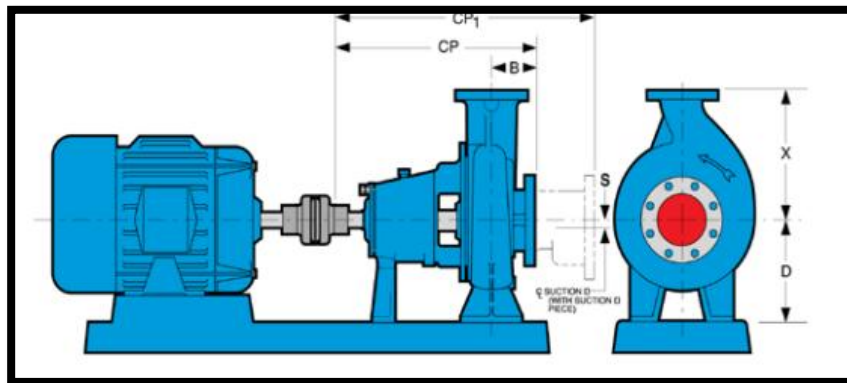
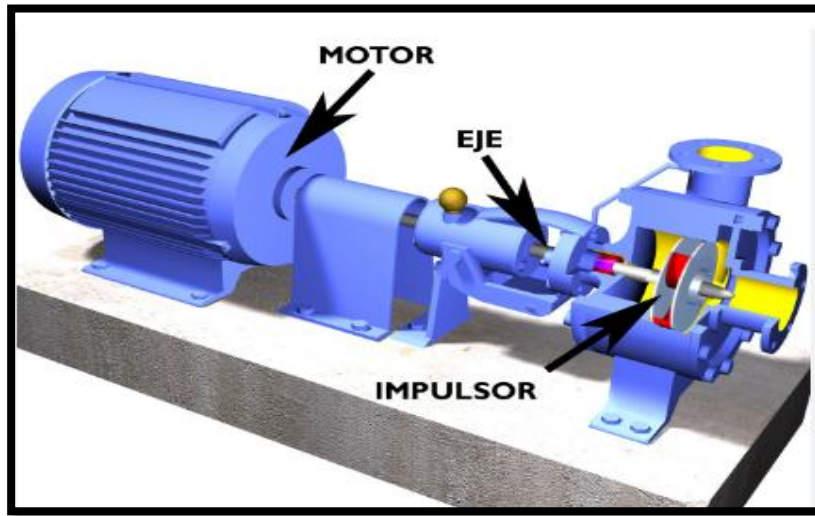
3. Bombas.

En este caso se emplean electrobombas sumergibles con capacidad de 50hp y 150 hp de capacidad.

Para esta nueva etapa se están usando bombas estacionarias centrífugas de eje horizontal, de una etapa autocebado.

- De eje libre: estas cuentan con un impulsor, rodete o rotor lleva un eje libre para poder instalar un acople que sirva de unión al motor, este puede ser en omega o en araña, con lo cual se puede contar con un motor-bomba cuya estructura de descanso es una base metálica que le permite funcionar establemente a todo el Sistema. (Ver Figura 7).

Figura 7. Bomba de eje libre



Fuente: <http://gouldspumps.com>

Clasificación	Motor eléctrico	Sellos/cierres mecánicos	Conexión de descarga
Protección del motor	Cable - SubCab 1 x 20mt	Sellos/cierres mecánicos	Limitaciones

60HZ	ND	HD
Conexión de descarga	8"	6"
Potencia Nominal P2 (KW/HP)	112/150	112/150
Potencia absorbida	117	117
Velocidad del Eje (RPM)	2850	2850
Corriente 400V	205 A	205 A
Manejo de Sólidos	12mm	12mm

Altura/Diámetro	1600/625	1600/625
Peso (Kg.)	965	965

Figura. 8. Especificaciones técnicas de las bombas sumergibles de mina.

Reventon HP150

Electric submersible drainage pumps

60 Hz



referential image

Electric submersible drainage pump, available in cast iron and stainless-steel alloys. Designed for use in mining, power plants and other industries that handle abrasive solids and water.

Models:
N: Normal pressure.
H: High pressure.

Classification
Submersible electric pump.

Electric motor
Three-phase squirrel cage motor.
Speed: 3550 RPM.
Insulation class: H
Start: Star Delta, Soft Starter

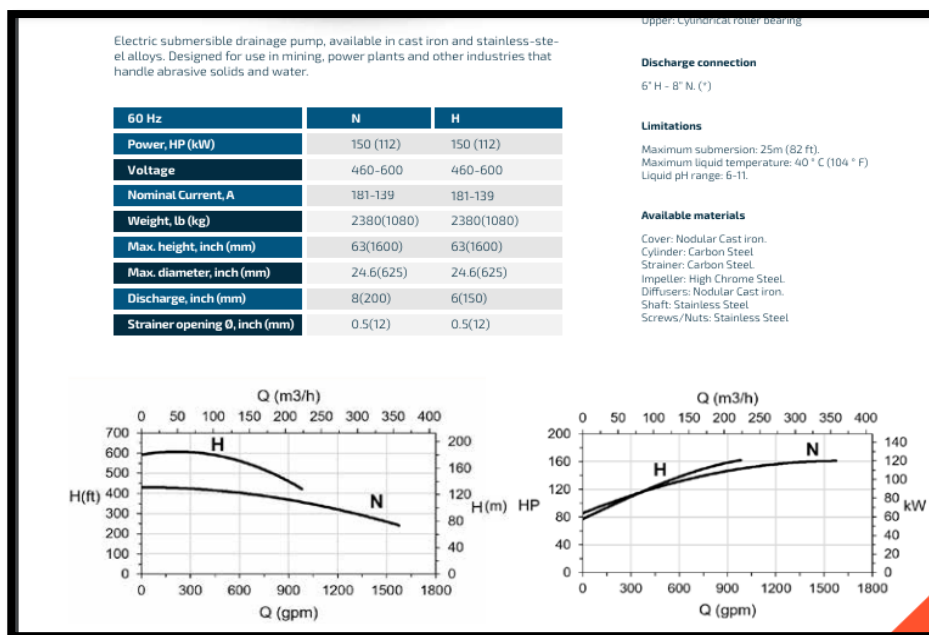
Motor protection
Thermistors in the motor winding
Protection: IP 68

Cable
2 cables 4G35 +2x1.5mm², 20m (66 ft) (*)
This pump must be connected to an external control panel with adequate protection.

Mechanical seals
Double mechanical seal in the oil chamber.
Rotary seal material: Silicon carbide.
Stationary seal material: Silicon carbide.
Elastomers: Viton

Bearings
Lower: Angular Contact Bearings
Upper: Cylindrical roller bearing

Discharge connection
6" H - 8" N. (*)



Fuente: Catálogo de bombas.

2.2.2. Partes de un Sistema de Bombeo

1. Motores.

En este caso se emplearán motores de acción eléctrica cuya potencia nominal alcanza entre los 10, 25, 30 y 50 HP. Específicamente se tratan de motores de 750HP, marca WEG con bombas estacionarias centrifugas, que impulsaran 120 litros/seg.

Figura. 9. Especificaciones técnicas del motor Standard

Driving efficiency and sustainability



Motores eléctricos de inducción trifásicos de baja y alta tensión

Línea M - Rotor de anillos - Horizontales



	IEC / NBR	NEMA
Especificación	IEC60034-1 NBR 17094	MG1-1,10,20
Dimensiones	IEC60072 NBR 15623	MG1-4,11
Ensayos	IEC60034-2 NBR 5383	MG1-12
Grados de Protección	IEC60034-5 NBR IEC 60034-5	MG1-5
Refrigeración	IEC60034-6 NBR IEC 60034-6	MG1-6
Formas Constructivas	IEC60034-7 NBR IEC 60034-7	MG1-4
Ruido	IEC60034-9 NBR IEC 60034-9	MG1-9
Vibración mecánica	IEC60034-14 NBR IEC 60034-14	MG1-7
Marcación de los terminales	IEC60034-8 NBR 15367	MG1-2
Tolerancias mecánicas	ISO286 NBR6158	MG1-4
Balanceo	ISO1940	MG1-7

Fuente: catálogo de equipos

2. Tanques y depósitos de captación

En estas operaciones se dispone de pozas que se emplearan como depósitos de agua, su funcionamiento es similar a nichos de seguridad para los trabajadores, pero con un volumen mayor. En estas pozas será captada el agua de bombeo extraída de los frentes en avance, para ser dirigidas a las pozas de sedimentación, desde donde el agua es enviada a la superficie.

Otra función de estas pozas es servir como sedimentadores de menor capacidad. Para ello son divididas en dos paneles, usando para ello la técnica de rebose.

La poza posee un muro final con 3 tubos en una de sus caras, de 14" de diámetro con sus válvulas respectivas para control del agua, el cual sobresale a lado y lado de la pared y sirve como medio de succión para la bomba.

Luego se han instalado cajones circulares, que sirven de base para las bombas sumergibles, los cuales son instalados retirando las canastillas.

La succión que presentan las bombas es positiva, en el sentido que la succión se produce por una entrada ubicada debajo del nivel del agua, al contrario que mientras que las pozas para captación en las cuales la entrada se ubica sobre el nivel del agua.

Se pueden indicar dos razones por las cuales las pozas sedimentadores resultan fundamentales:

La extensión de las operaciones normalmente demanda una gran capacidad de almacenaje en los depósitos de agua para poder bombear el agua dentro de las características de curvas de rendimiento de las bombas, realizando bombeo en serie.

Favorecen la sedimentación parcial de los sólidos en suspensión, por las 3 pozas (5A, 4A y 2A) que se encuentran antes de su vertimiento a PTAM, donde es tratado con neutralizantes y floculantes que permite un tratamiento primario antes de verter estas aguas a la poza principal en la superficie y posteriormente en los afluentes hídricos superficiales.

Figura: Pozas de captación y sedimentación

Figura. 10. Especificaciones técnicas del motor Standard

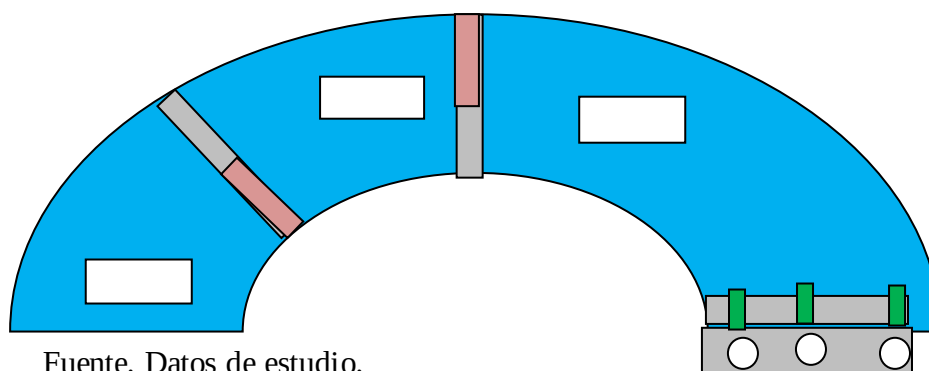


Tabla 6. Medidas de la poza de sedimentación y bombeo

POZAS	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	VOLUMEN (m3)
POZA 1	9	5.5	2	99
POZA 2	10	5.5	3	165
POZA 3	20	5.5	4	440

2.2.3. Tuberías y accesorios

En los tanques las tuberías de succión constan de tramos con tubos de acero de 14”, el cual va conectado a un cajón de succión de bombas sumergibles, del cual se tiene una salida con un diámetro de 8” y otro de acuerdo con las necesidades, que puedan atravesar sus paredes, a partir de las que se bombea en serie a otras cotas hasta su disposición final.

Figura. 11. *Poza de sedimentación y bombeo.*



Fuente. Datos de estudio.

Para las bombas ubicadas en frentes se emplea las tuberías de polietileno de 2" y de 4" de diámetro, con longitudes de 50 a 250m.

La tubería de impulsión principal que se va a implementar a utilizaran tubos de acero con diámetro de 14" y una longitud de 12 metros cada uno, acopladas con uniones de soldadura y colocadas en una chimenea de 300m, de superficie hasta la cámara de bombas.

A continuación, se muestran las tuberías y los accesorios que se usaron en la succión y la impulsión.

Figura. 12. *Tuberías y accesorios*



Consideraciones de tuberías para bombas

El diseño de la red de tuberías de considerar el espacio suficiente para las tareas de instalación y mantenimiento de las bombas. De igual manera se debe considerar el espacio necesario para la instalación y mantenimiento de las tapas en el extremo de las bombas de succión. El retiro de las tapas y los impulsores debe poder ejecutarse mientras sin modificar las válvulas para succión y descarga.

Orientar las volantes de las válvulas para no obstaculizar las tareas de mantenimiento de la bomba y del motor. Así mismo, se debe manipular con facilidad las palancas de válvulas y los volantes de maniobra en una superficie nivelada.

Deberá preverse drenaje en la línea para descargar las bombas, de modo que se puedan efectuar operaciones de drenaje total y limpieza de líneas con las bombas bloqueadas, este drenaje en lo posible deberá dirigirse hacia la poza de agua limpia, también deberá considerarse drenaje en tubería de succión.

Se deberá considerar el lado plano hacia arriba, para succiones negativas en las reductoras excéntricas de las bombas.

Se analizará la aplicación de dispositivos flexibles (juntas de expansión y/o juntas dresser) en el lado de descarga de la bomba en cada uno de los casos particularmente y se deberá considerar la velocidad para evitar abrasión.

Las tuberías de succión y descarga presentarán soportes y sujeciones de tal manera que las reacciones excesivas sean absorbidas por estas, evitando que sean transmitidas a la boquilla y carcasa de la bomba.

En cada una de las bombas debe instalarse en la línea de descarga una válvula de retención entre la bomba y la válvula de cierre.

Se deberán tomar medidas para que un equipo de bajo perfil tenga acceso a la zona de bombas con el fin de retirarlas, en la cámara de las bombas se usarán tecles aéreos anclados a la corona de la cámara, este tecle descargará en la pala del vehículo de bajo perfil o camión minero.

El trazo de la red de tuberías deberá proporcionar una acceso y servicio adecuado a las bombas. Si el espacio de instalación no lo permite se deberá usar tuberías removibles en carretes que puedan facilitar el acceso.

Instrumentos en línea

Considerar fácil accesibilidad a las válvulas, flujómetros e instrumentación para mantenimiento y operación (para instrumentos de fácil visualización o los indicadores locales remotos) a partir nivel de operación y desde las plataformas. Los indicadores locales de los instrumentos compactos deberán permitir la visualización a una distancia no menor a 3 metros.

Los medidores de flujo magnético se instalarán en los tramos verticales de las tuberías con flujo ascendente o en tramos horizontales (previos a flujos ascendentes) usando reductores excéntricos (lado plano hacia abajo) de forma tal que siempre garantice la tubería llena. Se debe dejar tramos rectos con tuberías de 8" de diámetro aguas arriba o de 5" aguas abajo, siempre y cuando las recomendaciones de fabrica no indiquen lo contrario. Si se cuenta con un limitado espacio de trabajo se debe reducir los diámetros a 5 y 3 respectivamente.

Todos los instrumentos instalados en línea y cuya reparación implique parar el bombeo deberán contar con un “by-pass”, de forma tal que permita el mantenimiento sin detener el bombeo.

Las válvulas de protección deberán ser accesibles. Donde sea factible, se les deberá ubicar en plataformas con un diseño multipropósito. Se debe contar con una elevación de la línea principal para las válvulas de protección con más de 3 metros por encima del punto más alto de la superficie terminada, a las que se podrá acceder desde una plataforma o escalera permanente, esto no aplica en el recorrido de tuberías.

La instalación de las válvulas anticipadoras de onda debe garantizar que el líquido descargado sea vertido en la poza de agua limpia o un sumidero.

SOPORTES DE TUBERIAS

Generalidades

Para controlar la oscilación por el tránsito del flujo en las tuberías se debe montar guías, topes y anclajes según sea necesario. Para ese fin se debe tener en cuenta la vibración normal que pueden transmitir los equipos que producen vibraciones.

El material de fabricación de los accesorios y apoyos de las tuberías deben ser fabricado en acero, además deben contar con un factor de resistencia calculado considerando todas las fuerzas que se ejercerán sobre las tuberías, además de su peso y del líquido transportado y entre las condiciones ambientales la presión del viento, o las condiciones sísmicas del lugar.

Se dará especial atención al espacio entre apoyo de todas las tuberías, esto incluye las líneas plásticas que pueden requerir el apoyo continuo. Se prevendrá las fallas debido a problemas mecánicos, vibraciones o deflexiones.

Los siguientes elementos deben tener una consideración especial:

Las líneas que concentren cargas que sobrepasen los esfuerzos admisibles para las boquillas de bombas.

El diseño de los anclajes de la tubería de HDPE debe considerar los posibles desplazamientos laterales para evitarlos, así como el posible desajuste de los accesorios. La instalación de estos anclajes deberá estar dispuesto cerca de las bridas y los cambios de dirección, de acuerdo con lo que indica el fabricante.

Si los desmontajes son frecuentes debido a continuos mantenimientos o por movimiento de equipos se debe contar con anclajes permanentes.

Los soportes de tuberías no deben tener componentes galvanizados, en su lugar estos soportes deben estar recubiertos con neopreno.

Espaciamiento de soportes para tuberías

El espaciamiento entre soportes de tuberías de acero al carbono, se muestra en la tabla 7.

El espaciamiento entre soportes de tuberías de HDPE, se muestra en la tabla 8.

Tabla 7. *Espaciamiento entre soportes de tuberías de Acero al Carbono*

SPAN FOR CARBON STEEL PIPE								
Specific Gravity 1.0			Specific Gravity 1.5			Specific Gravity 2.0		
Pipe Size (inch)	Pipe Sch.	Span (mm)	Pipe Size (inch)	Pipe Sch.	Span (mm)	Pipe Size (inch)	Pipe Sch.	Span (mm)
3/4"	80	2500	3/4"	80	2500	3/4"	80	2500
1"	80	3000	1"	80	3000	1"	80	3000
1 1/2"	80	3500	1 1/2"	80	3500	1 1/2"	80	3500
2"	40	4000	2"	40	4000	2"	40	4000
	80	4000		80	4000		80	4000
3"	40	5000	3"	40	5000	3"	40	4500
4"	40	5500	4"	40	5500	4"	40	5500
6"	40	6500	6"	40	6500	6"	40	6000
8"	40	7500	8"	40	7000	8"	40	7000
10"	40	8000	10"	40	7500	10"	40	7500
	40	8500		40	8000		40	8000
12"	20	8500	12"	20	8000	12"	20	7500
	40	9000		40	8500		40	8500
14"	10	9000	14"	10	8500	14"	10	8000
	STD	9500		STD	9000		STD	8500
16"	10	9500	16"	10	9000	16"	10	8500
	STD	10000		STD	9500		STD	9000
18"	10	10000	18"	10	9000	18"	10	8500
	STD	10500		STD	10000		STD	9500
20"	10	10000	20"	10	9500	20"	10	9000
	STD	11000		STD	10000		STD	9500
24"	10	11000	24"	10	10000	24"	10	9500
	STD	11500		STD	11000		STD	10000
26"	STD	12000	26"	STD	11000	26"	STD	10500
	XS	12500		XS	11500		XS	11000
28"	STD	12500	28"	STD	11500	28"	STD	10500
	XS	13000		XS	12000		XS	11500
30"	STD	12500	30"	STD	11500	30"	STD	11000
	XS	13000		XS	12500		XS	11500
32"	STD	13000	32"	STD	12000	32"	STD	11000
	XS	13500		XS	12500		XS	12000
34"	STD	13000	34"	STD	12000	34"	STD	11500
	XS	14000		XS	13000		XS	12000
36"	STD	13500	36"	STD	12500	36"	STD	11500
	XS	14000		XS	13000		XS	12500
42"	STD	14000	42"	STD	13000	42"	STD	12000
	XS	15000		XS	13500		XS	13000
48"	STD	14500	48"	STD	13500	48"	STD	12500
	XS	15500		XS	14500		XS	13500
54"	STD	15000	54"	STD	14000	54"	STD	13000
	XS	16000		XS	15000		XS	14000
60"	STD	15500	60"	STD	14500	60"	STD	13500
	XS	16500		XS	15500		XS	14500

	SPAN FOR HDPE		SPAN FOR HDPE	
	Operation Temperature 24°C		Operation Temperature 50°C	
Pipe Size (inch)	SDR	Dwt Span (mm)	SDR	Dwt Span (mm)
1	32.5	700	32.5	500
1 ½	32.5	700	32.5	600
2	32.5	900	32.5	700
3	32.5	1000	32.5	900
4	32.5	1100	32.5	1000
6	32.5	1400	32.5	1200
8	32.5	1600	32.5	1400
10	32.5	1800	32.5	1500
12	32.5	1900	32.5	1700
14	32.5	2000	32.5	1700
16	32.5	2100	32.5	1900
18	32.5	2300	32.5	2000
20	32.5	2400	32.5	2100
24	32.5	2700	32.5	2300
28	32.5	2900	32.5	2400
32	32.5	3100	32.5	2700
36	32.5	3300	32.5	2900
42	32.5	3500	32.5	3100
48	32.5	3700	32.5	3300

Para otros SDR's usar el siguiente factor multiplicador.

Tabla 8. *Factor de corrección por SDR*

SDR	26	21	17	15.5	11	9	7
Factor	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35

DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS

El procedimiento de diseño de tuberías es el siguiente:

- Establecer las condiciones de diseño incluyendo tipo de fluido, presión, y temperatura.
- Considerar todos los aspectos del proceso como son el caudal, velocidad y presión del fluido para poder establecer el diámetro adecuado de las tuberías.
- El material de las tuberías debe ser escogido considerando aspectos determinantes como corrosión, fragilidad y resistencia de esta.

- d. Determinar las clases de “rating” para las válvulas y bridas.
- e. Para tener un nivel de resistencia adecuado por parte de la tubería que pueda soportar los esfuerzos radiales que se producen por la presión del fluido se debe realizar el cálculo de un mínimo espesor de la pared para las temperaturas y presiones de diseño.
- f. Establecer el recorrido de tuberías teniendo en cuenta que no existan interferencias con equipos, tuberías existentes, estructuras metálicas, bandejas eléctricas, etc. y que este recorrido sea el menor posible.
- g. Establecer una configuración de los soportes del sistema de tuberías que sea aceptable para su buen funcionamiento.

Presión de diseño

La presión de diseño estará en conformidad con las condiciones más severas indicadas y será igual o mayor a la máxima presión resultante en los siguientes casos:

Presión máxima de operación, pero no menor que 100 kPas.

Presión de vapor de líquido, a la máxima temperatura ambiente.

Presión especificada en la válvula de seguridad (PSV) para protección de la línea.

Altura de presión de la bomba para caudal igual a cero.

Para condiciones de golpe de ariete se aplicará los párrafos 302 y A302 del estándar ASME B31.4.

Presión de diseño para tuberías de descarga de las bombas

Todos los elementos ubicados en la tubería de descarga de una bomba hasta la válvula de corte, sin dispositivos de alivio de presión, tendrán una presión

de diseño igual o mayor que la presión de descarga de la bomba para caudal igual a cero.

Esta condición será verificada con la curva certificada de la bomba.

Temperatura de diseño

La temperatura de diseño para consideraciones de flexibilidad de tuberías no tendrá variación en interior mina ya que no se presenta radiación solar o baja de temperatura por efectos del ambiente (congelamiento o heladas).

Sistemas de transporte de agua de mina

Este punto considera los criterios para los servicios de agua de mina.

Tipo de flujo

Todos los sistemas de agua serán en general diseñados para flujo presurizado, es decir, para líneas fluyendo completamente llenas, incluyendo el caso de flujo gravitacional.

Velocidad de flujo

Los sistemas de tuberías de agua serán dimensionados utilizando el siguiente criterio:

Tabla 9. *Velocidades de flujo recomendadas para diferentes zonas de los circuitos*

Tipo de servicio	Velocidad (m/s)	(1)
Succión de bombas	1.0 – 1.5	(2)
Descarga de bombas	1.5 – 3.0	

Estas cifras constituyen buenas prácticas. Sin embargo, de ser necesario se podrán considerar valores diferentes atendiendo a criterios económicos u otros ligados a la experiencia del diseñador.

El cumplimiento del NPSH requerido de la bomba es esencial, en caso de ser necesario se podría despreciar la sedimentación en la succión ya que se cuenta con válvulas de drenaje para la limpieza de la misma.

Pérdidas de carga

Para flujos de agua, la pérdida de carga será calculada utilizando la fórmula de Darcy (Ec. 9-1) y el factor de fricción será calculado con la fórmula de Colebrook (Ec. 9-2).

Fórmula de Darcy

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Ecuación 9-2: Fórmula de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Para tubería de acero nueva y un pH neutro de agua o agua ligeramente ácida se considerará una rugosidad absoluta de $\varepsilon = 0.1$ mm.

Para tubería de acero nueva y agua alcalina se considera una rugosidad absoluta de $\varepsilon = 0.1$ mm más un incremento de 0.2 mm por año. Se verificará para una rugosidad máxima de 5 mm.

Para los otros materiales la rugosidad se muestra en la tabla 9-2.

Coefficientes de Rugosidad absoluta para diferentes materiales

Material	ε (mm)
Acero	0.05 - 0.25
HDPE	0.025

La caída de presión calculada tendrá un margen de diseño de 5 a 10% adicional.

Altura dinámica total

El cálculo de la altura dinámica total se desarrollará con el principio de balance de energías de Bernoulli, considerando las pérdidas de carga del sistema.

NPSH (Carga neta positiva de succión)

El NPSH disponible se basa en el nivel mínimo de operación del fluido en el lado de succión del tanque, la caída de presión en la succión para el flujo nominal, la presión atmosférica y la presión de vapor del líquido a la temperatura de diseño.

El NPSH calculado disponible deberá ser por lo menos 10% más o 1 m (cualquiera que sea mayor) mayor que el NPSH requerido por la bomba seleccionada.

Cálculo de espesor de tuberías.

Para el cálculo de espesor de tuberías se usará el estándar ASME B31.3 como referencia.

El espesor de tubería mínimo se calculará teniendo en cuenta la vida útil que puede soportar la tubería.

Presión de diseño: menos del 50% de la presión admisible

Presión de transiente: menos del 75% de la presión admisible

Adicionalmente el diseño del espesor de las tuberías considerará lo siguiente: 1/8" (0.0625 pulgadas) más del espesor para los efectos de corrosión.

Las ratios de Joukovsky se aplicarán al cálculo del golpe de ariete, usando el módulo de elasticidad de la siguiente tabla:

Módulos de elasticidad sólidos

Material	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
HDPE	8.00 – 10.00 x 10 ³
Acero	2.10 x 10 ⁶

Módulos de elasticidad líquidos

Material	Módulo de elasticidad volumétrica del agua en (MPa), a 20°C – 1Atm
Agua	2200

DIMENSIONAMIENTO DE BOMBAS

Las bombas serán preferentemente centrífugas horizontales carcasa partida (tipo BB1 según API 610). Con el objetivo de estandarizar, se deberá preferir el uso de bombas del mismo modelo y marca, de manera de disminuir costos de mantenimiento.

A partir de los flujos de diseño se debe determinar el tipo de equipos de bombeo, las elevaciones y las rutas adecuadas. El NPSH se debe calcular considerando las condiciones geométricas y atmosféricas de la succión.

Para una selección preliminar de las bombas se requiere de los siguientes parámetros.

Altura dinámica total (ADT)

Para calcular la altura dinámica total se utilizará la siguiente fórmula:

Ecuación : Fórmula del ADT

$$ADT = H_{ESTATICA} + h_{fs} + h_{fd} + P_{SALIDA}$$

Donde:

ADT = en metros de fluido

HESTATICA = Altura estática total (m de fluido)

hfs = Altura de pérdidas de carga en la succión (m de fluido)

hfd = Altura de pérdidas de carga en la descarga (m de fluido)

PSALIDA = Presión de salida (m de fluido)

La altura estática total es la diferencia entre la altura estática de descarga y la altura estática de succión. La altura estática de descarga es la altura de fluido desde el punto más alto de la tubería hasta el eje de la boquilla de succión de la bomba y la altura estática de succión es la altura de fluido desde el nivel mínimo

del tanque o estanque de donde succiona la bomba hasta el eje de la boquilla de succión de la bomba.

$$H_{\text{ESTATICA}} = H_D \pm H_S$$

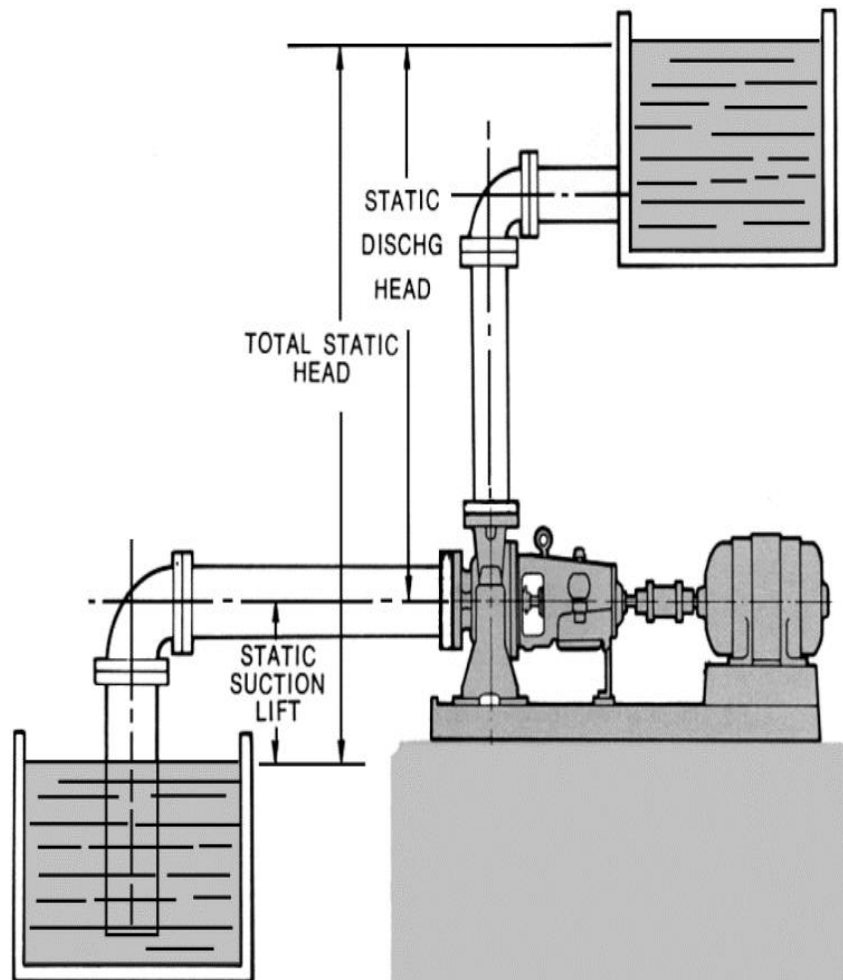
Donde:

H_D = Altura estática de descarga (m)

H_S = Altura estática de succión (m)

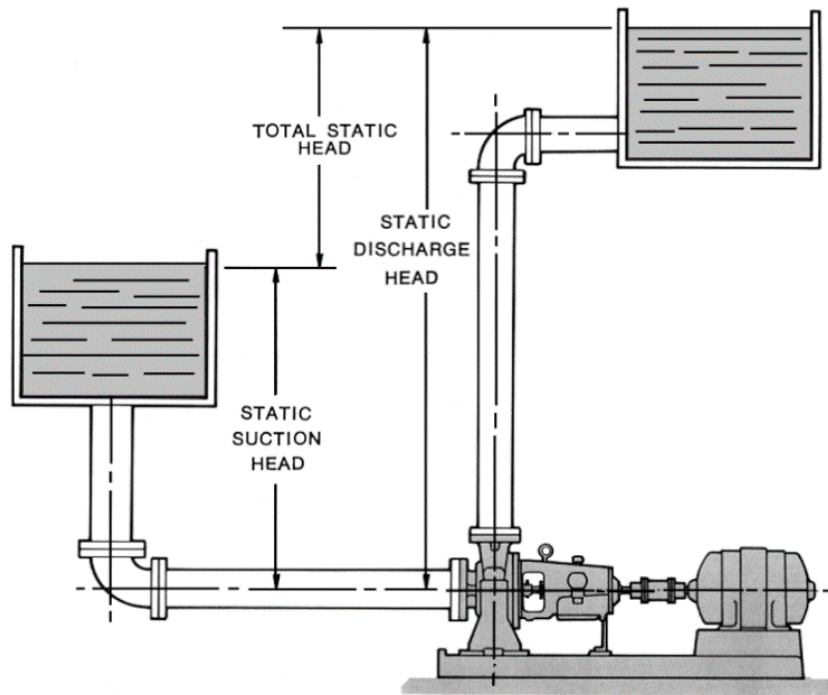
Se utilizará el símbolo (-), cuando el nivel mínimo de la poza en la succión se encuentra por encima del eje de la succión de la bomba (ver Figura 12).

Figura. 13. tura estática (succión negativa)



Fuente: catalogo

Figura. 14. tura estática (succión negativa)



Fuente: catalogo

NPSH DISPONIBLE

Para el cálculo el NPSH disponible, se deberá utilizar la siguiente fórmula:

Ecuación: Fórmula del NPSH

$$NPSH_{DISPONIBLE} = P_{atm} - p^{\circ}v \pm H_s + h_{fs}$$

Donde:

P_{atm} = Presión atmosférica a la temperatura y elevación de la bomba (m)

$p^{\circ}v$ = Presión de vapor a la temperatura y elevación de la bomba (m)

H_s = Altura estática de succión (m)

h_{fs} = Altura de pérdidas de carga en la succión (m)

Se utilizará el símbolo (+), cuando el nivel mínimo del tanque o estanque en la succión se encuentre por encima del eje de la succión de la bomba (ver Figura 13).

Potencias

Potencia hidráulica

El cálculo de la potencia hidráulica se realizará mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 10-3: Fórmula de la potencia hidráulica

$$P_{HIDRÁULICA} = \frac{\rho \cdot ADT \cdot Q \cdot g}{1000}$$

Donde:

$P_{HIDRÁULICA}$ = en KW

ρ : Densidad del fluido (kg/m³)

ADT : Altura dinámica total (metros de fluido)

Q : Caudal de diseño (m³/h)

G : Aceleración de la gravedad (m/s²)

Potencia efectiva del motor

Para calcular la potencia del motor de la bomba se requiere conocer los valores de las eficiencias de la bomba y del motor a utilizar, luego se utilizará la siguiente fórmula:

Ecuación 10-4: Fórmula de la potencia del motor

$$P_{MOTOR} = (FS) \frac{P_{HIDRÁULICA}}{n_B \cdot n_M}$$

Donde:

P_{MOTOR} : en KW

n_B : Eficiencia de la bomba

n_M : Eficiencia del motor

(FS): Factor de seguridad = 1.15

Esta potencia es una potencia efectiva del motor a la elevación donde se ubica la bomba.

ANÁLISIS DE TRANSIENTES HIDRÁULICOS

Los resultados de análisis de transientes hidráulicos podrían influenciar planos y metrados de otras disciplinas tales como tuberías, mecánica o instrumentación, en elementos como tuberías, bombas, motores, sistema de control, etc., por lo que cualquier cambio requerido al sistema evaluado debe ser debidamente informado a la disciplina correspondiente. En particular los resultados de estos análisis deberán ser considerados en los planes de pre-comisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha, junto con los manuales y filosofía de operación y de control de los sistemas que corresponda.

Estado Estacionario

Para el cálculo del estado estacionario de los sistemas de impulsión de agua se utilizarán los criterios que se indican en los puntos 9.0 y 10.0 del presente documento.

Características Físicas del Entorno, del Líquido y de las Tuberías

Presión de vapor relativa

El efecto del transiente hidráulico producto de la separación de columna de líquido depende del perfil longitudinal de la tubería. Debido a los puntos altos que se encuentran en el trazado, los sistemas se encuentran más cercanos a alcanzar la presión de vapor absoluta del agua. Para efecto de este criterio de diseño, la presión de vapor relativa se calculará mediante la siguiente expresión.

Ecuación 11-1: Fórmula de la ecuación de presión de vapor relativa

$$PVaporRel = PVaporAbs - PAtm$$

Donde:

PVaporRel: Presión de vapor relativa (mcf)

PVaporAbs: Presión de vapor absoluta (mcf)

PAtm : Presión atmosférica absoluta (mcf)

Características del líquido:

El módulo de compresibilidad del líquido (k), la densidad (ρ) y la viscosidad cinemática (ν) son las características de líquido más importantes a considerar en el estudio de transientes hidráulicos.

Características de Otros Equipos del Sistema

Dependiendo del caso en estudio, se deberán considerar las características de otros elementos y equipos, tales como:

Válvulas de alivio y anticipadoras de golpe de ariete

Discos de ruptura

Válvulas anti-retorno (“check”)

Estanques hidroneumáticos

Válvulas reductoras y sostenedoras de presión

Volantes de inercia

Otros elementos que puedan agravar o mitigar las presiones transientes

Modos de Operación Previstos en el Sistema

Es de suma importancia conocer en detalle los modos de operación previstos para un sistema de impulsión, en primer lugar, para decidir si realizar o no realizar un modelamiento del transiente hidráulico y, en segundo lugar, para establecer los escenarios a modelar.

Se deberá realizar un listado de los modos de operación previstos para el sistema para evaluar cuales de estos escenarios son críticos y finalmente definir los modos de operación que requieran ser modelados.

Software

El software deberá contar con la capacidad modelar cavitación, separación de columna del flujo y representar adecuadamente la generación de sobre presiones debido a la interacción gas-líquido.

Casos Como Fuentes de Generación de Transientes Hidráulicos

Según el sistema en estudio, se deberán verificar uno o más de los siguientes casos como fuente de generación de transientes hidráulicos para sistemas presurizados, dependiendo del caso particular:

Apertura y cierre de válvulas

Bloqueo de tubería

Vaciado o rotura de líneas

Partida y detención programada de bombas

Detención abrupta de bombas por corte de energía

Adicionalmente, se deberá incluir cualquier caso que pudiese generar una detención/vaciado abrupto del flujo y que no esté contemplado en la operación normal del sistema, siempre que se trate de un evento probable y lógico.

En todos los sistemas se deberá tomar en consideración la lógica de control, la cual en particular define los tiempos de apertura y cierre de válvulas actuadas.

Factores de Fricción

Para el desarrollo de los análisis transientes se utilizará un factor de fricción de tuberías constante y bajo, de manera de asegurar resultados conservadores, producto de una menor disipación de las ondas de presión debido a la fricción, junto con el aumento de los flujos y por ende de las velocidades.

Velocidad de la Onda

Para tuberías, la velocidad de onda se presenta a continuación:

Ecuación 11-2: Fórmula de velocidad de onda

$$a = \left[\frac{K/\rho}{1 + (K/E) \cdot (D/e) \cdot C_1} \right]^{1/2}$$

Donde:

α : Velocidad de onda (m/s)

ρ : Densidad del fluido (kg/m³)

K: Módulo de compresibilidad del líquido (GPa)

E: Módulo de elasticidad de la tubería (GPa)

D: Diámetro interno de la tubería (mm)

e: Espesor de la tubería (mm)

C₁: Coeficiente dependiente de los anclajes de la línea (adimensional)

μ : Módulo de Poisson (adimensional)

El coeficiente de restricción C₁ toma los siguientes valores cuando D/e es mayor que 25.

Caso a: $C_1 = 1 - \mu^2$ Anclaje en el extremo superior

Caso b: $C_1 = 1 - \mu^2$ Restricción longitudinal

Caso c: $C_1 = 1$ Líneas con juntas de expansión

Los valores más comunes para el módulo de compresibilidad, módulo de elasticidad y módulo de Poisson son los que se indican a continuación:

Valores módulos de compresibilidad, módulo de elasticidad y módulo de Poisson

Parámetro	Valores
Módulo de compresibilidad del líquido (k)	Agua 2.2 GPa
Módulo de elasticidad de la cañería (E)	Acero 216 GPa HDPE @ 20°C 0.96 GPa
Módulo de Poisson (μ)	Acero 0.27 HDPE 0.46

Momentos de Inercia Motor y Bomba

En sistemas impulsados mediante bombas, tanto partidas como detenciones pueden causar efectos transientes sobre las tuberías y los efectos en cambios abruptos en la operación del sistema dependen del momento de inercia del conjunto motor bomba.

En caso de no contar con información vendor, el momento de inercia tanto de la bomba como del motor puede ser determinado través de las ecuaciones que se presentan a continuación:

Ecuación: Fórmula de inercia de la bomba

$$I_P = 0.03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0.9556}$$

Ecuación: Fórmula de inercia del motor

$$I_M = 0.0043 \left(\frac{P^*}{N} \right)^{1.48}$$

El momento de inercia del conjunto motor bomba se calcula según la siguiente expresión:

Ecuación: Fórmula de inercia conjunta motor-bomba

$$I_T = I_P + \frac{N}{N_P} \cdot I_M$$

IT: Momento de inercia conjunto motor bomba (Kg-m2)

IP: Momento de inercia de la bomba (Kg-m2)

IM: Momento de inercia del motor (Kg-m2)

P: Potencia requerida en el punto de operación Best Efficiency Point o BEP (kW)

P*: Potencia nominal del motor de la bomba (kW)

N: Velocidad de rotación del motor (1000 × (rpm))

NP: Velocidad de rotación de la bomba ($1000 \times (\text{rpm})$)

Dado que los valores del momento de inercia del conjunto motor-bomba son valores medios de un ajuste empírico, para el cálculo de las presiones transientes se sensibilizará utilizando un 50% y un 200% de los momentos de inercia calculados.

Lo anterior no es válido si el sistema electromecánico tiene acoplado uno o más volantes de inercia.

Válvulas

La operación de válvulas genera cambios bruscos en la presión del sistema, los cuales se calculan según la siguiente expresión:

Ecuación 11-5: Fórmula de cambios bruscos en válvulas

$$Q = C.O.D. \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

Por otra parte, para evaluar los efectos de apertura o cierre de válvulas en un sistema se deberá introducir un coeficiente de descarga de la válvula, el cual se calcula, dependiendo de las unidades utilizadas, mediante las siguientes expresiones:

Ecuación: Expresiones adicionales

$$C.O.D. = K \cdot \frac{K_V}{D^2} \quad \text{ó} \quad C.O.D. = K \cdot \frac{C_V}{D^2}$$

Donde:

Q: Flujo a través de la válvula (m^3/s)

C.O.D.: Coeficiente de descarga de la válvula

CV: Coeficiente de flujo o descarga, característico de las válvulas,
gpm@1psi

KV: Coeficiente de flujo o descarga, característico de las válvulas,
m³/s@1bar

A: Área nominal de abertura de la válvula (m²)

g: Aceleración de gravedad (9.81 m/s²)

ΔH : Pérdida de carga de la válvula (m)

K: Factor que depende de las unidades utilizadas (adimensional)

D: Diámetro interior de la cañería (m)

Medidas de Mitigación en Impulsiones de Agua

Para todos los casos analizados, se deberá verificar que las máximas presiones obtenidas en el análisis de transientes sean menores que la presión de diseño de la línea informada en la clase del material, según especificación de materiales de tuberías del proyecto.

Para proteger el sistema y resguardar su integridad estructural, en caso de ser necesario se dispondrá de válvulas de venteo, válvulas de alivio de presión, válvulas anticipadoras, estanques hidroneumáticos u otros elementos capaces de aliviar altas y/o bajas presiones. Las válvulas de venteo serán pre-dimensionadas y especificadas de acuerdo a lo establecido en AWWA M51, mientras que las válvulas de alivio serán dimensionadas y especificadas de acuerdo a lo establecido en ASME VIII Div. I, API 520 y API 526.

Es importante establecer criterios de mantenimiento para este tipo de válvulas, en especial para las válvulas de venteo, ya que obstrucciones en sus tomas/salidas de aire pueden afectar fuertemente la correcta operación de estas.

Por otra parte, deberá demostrarse que las variaciones de presión en el sistema no son demasiado abruptas, con los elementos de mitigación presentes en el sistema, en especial cuando se trata de pipelines sobre terreno, ya que estos

cambios generan fuerzas transientes que pueden provocar fallas aceleradas por fatiga, roturas o movimientos violentos y eventualmente accidentes graves a causa de lo anterior.

FLEXIBILIDAD Y SOPORTES DE TUBERÍAS

Análisis de Esfuerzos

Para el Sistema se realizará un tipo de Análisis Formal se trata de una metodología analítica que considera la totalidad de esfuerzos y todos los desplazamientos y momentos, así como las restricciones que pueda presentar la tubería analizada. Para realizar este análisis se utiliza un software que tenga la aprobación y certificación correspondiente con lo cual se esperan resultados veraces y válidos.

El valor de la temperatura referida en las condiciones antes mencionadas es la mayor diferencia o mayor rango entre temperaturas, las que se registran en operaciones y las del lugar del proyecto.

Casos de carga

El sistema de tuberías se realizará considerando las siguientes cargas o efectos en el sistema de tuberías:

Cargas en operación

Cargas térmicas

Cargas Ocasionales (viento, sismo, casos especiales)

Cargas por fricción

Cargas durante pruebas

Para los casos de análisis de esfuerzos de las tuberías en operación, se deberán de considerar las condiciones más severas de trabajo, considerando a la vez y en combinación simultanea los efectos por presión interna, peso muerto,

temperatura, viento, sismo, y en el caso de que la línea cuente con una válvula de seguridad la acción por el relevo de presión durante la apertura de la válvula y los efectos en los cambios de trayectoria del sistema.

El valor de la temperatura referida en las condiciones antes mencionadas, es el que genere el diferencial térmico más grande entre la temperatura de operación que se muestra en el índice de líneas y la temperatura máxima ó mínima correspondiente al sitio del proyecto.

Tabla 10. *Requerimientos y casos según ASME B31.3*

REQUERIMIENTO DEL CODIGO ASME B31.3		
CASO	TIPO	ESFUERZO PERMISIBLE ASME B31.3 Ed. 2010
Temperatura + Desplazamiento	Térmica	SA
Peso + Presión + cargas Concentradas	Sostenidas	Sh
Temperatura + Peso + Presión + Cargas + Desplazamiento	Operacion al	302.3.6 (ASME B31.3)
Viento ó Sismos (Aplicación no simultánea)	Ocasional	302.3.6 (ASME B31.3)
Sostenida + Ocasional	Sostenida	1.33 Sh
Prueba Hidrostática	sostenida	1.33 Sh

Designación de literales a utilizar en el Análisis de Flexibilidad	
	Peso total de la tubería incluye aislamiento y accesorios
W	Peso total de la tubería incluye llena de agua
	Temperatura del fluido
P	Presión de prueba hidrostática
	Presión interna del fluido

	Desplazamientos térmicos		
IN	Viento Estático		
	Sismo Estático		
COMBINACION DE CARGAS Y FUERZAS			
COMBINACION	CASO	DE	RESULTADOS A
	CARGA		OBTENER
WW + HP	Ocasional		Esfuerzos y cargas
W + T + P+ D	Operacional		Desplazamiento y Cargas
W + P	Sostenidas		Esfuerzos
T + D	Térmicas		Esfuerzos
WIN, U, F	Ocasionales		Cargas
F, U ó WIN + W + P	Ocasionales		Esfuerzos
F, U ó WIN + W + P + D	Ocasionales		Desplazamiento y Cargas

Análisis de Esfuerzos por Efecto de Sismo

Para simular los efectos sísmicos aplicados al análisis, se utilizarán factores estáticos de aceleración de la gravedad, de acuerdo a: Norma Técnica Edificaciones E.030, Diseño Sismo Resistente, Cap. 6, Elementos no Estructurales, Apéndices y Equipo y ASCE 7- 2013.

Se considerarán como mínimo 4 casos de condiciones de sismo horizontal X y Y combinado con sismo vertical en el eje vertical Z, este factor igual a las 2/3 partes del valor considerado en el eje horizontal.

Análisis de Esfuerzos por Efecto de Fricción

Los factores de fricción que se emplearán en los análisis de esfuerzos de sistemas de tuberías serán como se indica:

Acero con acero 0.3

Casos de Cargas Especiales

Se deberán revisar las cargas, esfuerzos y soportes, donde aplique en los sistemas de tuberías, debido a los efectos de las siguientes cargas especiales:

Fuerzas de reacción de las válvulas de alivio o seguridad.

2.2.4. Caudales (Q)

Los caudales indican la cantidad de agua bombeada por la bomba en relación con el tiempo.

La medición de caudal es una de las variables más importantes en los equipos de bombeo ya que sin esta medida es imposible hacer el balance del material, control de Calidad o determinar el uso del equipo en un proceso.

2.2.5. Equilibrio hidráulico del sistema

En el dimensionamiento de sistemas de bombeo, el equilibrio hidráulico se determina mediante un balance de energía que considera la energía cinética, la potencial y las pérdidas de carga. Un error común entre muchos profesionales es denominar a esta expresión como la "ecuación de Bernoulli con pérdidas". Esta denominación es incorrecta, ya que la ecuación de Bernoulli, por definición, fue deducida para flujos ideales donde no existen pérdidas de energía. Aunque el equilibrio hidráulico en sistemas de bombeo se calcula con una ecuación de energía que incluye la energía cinética, la potencial y las pérdidas, es conceptualmente erróneo llamarla "ecuación de Bernoulli con pérdidas". Este error conceptual está muy difundido. La verdadera ecuación de Bernoulli representa un caso ideal para flujos sin fricción, por lo que la ecuación extendida que incorpora las pérdidas es una herramienta distinta y más general.

En 1939, Cyril F. Colebrook propuso la primera ecuación para calcular el factor de fricción (f) en tuberías comerciales. Motivado por comprender las transiciones de flujo documentadas experimentalmente por Johann Nikuradse,

Colebrook desarrolló una expresión que relaciona explícitamente el factor de fricción con el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa de la tubería (e/D). A continuación, mostramos la ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left[\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right]$$

La ecuación (1), de Colebrook, de carácter implícito, encontró inicialmente resistencia entre los ingenieros por su difícil resolución manual en una era previa a la computación. La primera solución práctica llegó en 1942 de la mano de Hunter Rouse, quien generó tablas de valores. No obstante, la divulgación masiva de esta herramienta ocurrió en 1944, cuando Lewis F. Moody graficó los resultados en el diagrama que lleva su nombre. Este hito impulsó la búsqueda de soluciones algebraicas explícitas, culminando en fórmulas ampliamente adoptadas como las de Swamee-Jain (1976), Churchill (1977) y Haaland (1983) para el cálculo eficiente del factor de fricción [1,3].

Frente a la ecuación de Darcy-Weisbach, el método de Hazen-Williams destaca por su simplicidad de cálculo. Si bien es cierto que su formulación no captura la física completa de la turbulencia y la fricción—lo que constituye su principal desventaja—, su aplicación se considera perfectamente válida en muchos escenarios de ingeniería cuando se emplea con las debidas precauciones, tal como se hace en el presente estudio.

El objetivo de esta investigación es la validación comparativa de los métodos de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach (con las aproximaciones de Haaland, Swamee-Jain y Churchill para el factor de fricción) en un estudio de caso real. Si bien se observa una dispersión de hasta un 28,6% en los valores de pérdida de carga calculados, la elección del método resulta ser un factor

irrelevante para el equilibrio hidráulico global en sistemas de bombeo mineros con las características aquí analizadas.

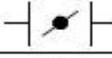
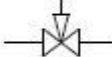
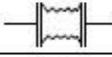
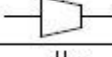
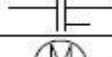
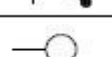
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

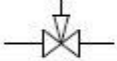
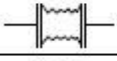
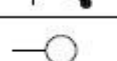
En la Figura 14 se ilustra el diagrama esquemático del sistema de bombeo analizado. Dicho esquema divide el sistema en cinco partes principales, identificadas mediante letras arábigas, cuya descripción se proporciona en la Tabla 12. Adicionalmente, la Tabla 13 cataloga los dispositivos de seguridad y regulación presentes en cada una de las líneas de bombeo.

Tabla 11. *Etapas del sistema de bombeo.*

Ítem	Descripción
A	Poza y canal de captación
B	Desarenador
C	Poza de succión
D	Estación de bombeo
E	Poza de descarga

Tabla 12. *Accesorios de la estación de bombeo.*

Item	Descripción
	Válvula Rompe Presión
	Válvula Mariposa
	Válvula compuerta
	Junta de dilatación
	Reducción
	Brida Slip On+Stub-End
	Motor Eléctrico
	Válvula Check
	Manómetro

Item	Descripción
	Válvula Rompe Presión
	Válvula Mariposa
	Válvula compuerta
	Junta de dilatación
	Reducción
	Brida Slip On+Stub-End
	Motor Eléctrico
	Válvula Check
	Manómetro

El agua proveniente de la profundización de las labores mineras es conducida —mediante gravedad o bombeo— hacia la poza de captación A. Desde allí, un canal con una pendiente del -1% la dirige al desarenador B, cuya entrada es controlada mediante compuertas metálicas. Las dimensiones de este desarenador están diseñadas para permitir la sedimentación de sólidos gruesos (partículas con diámetro superior a 2,5 mm) y reducir la concentración de sólidos finos en suspensión desde 250 ppm hasta 50 ppm.

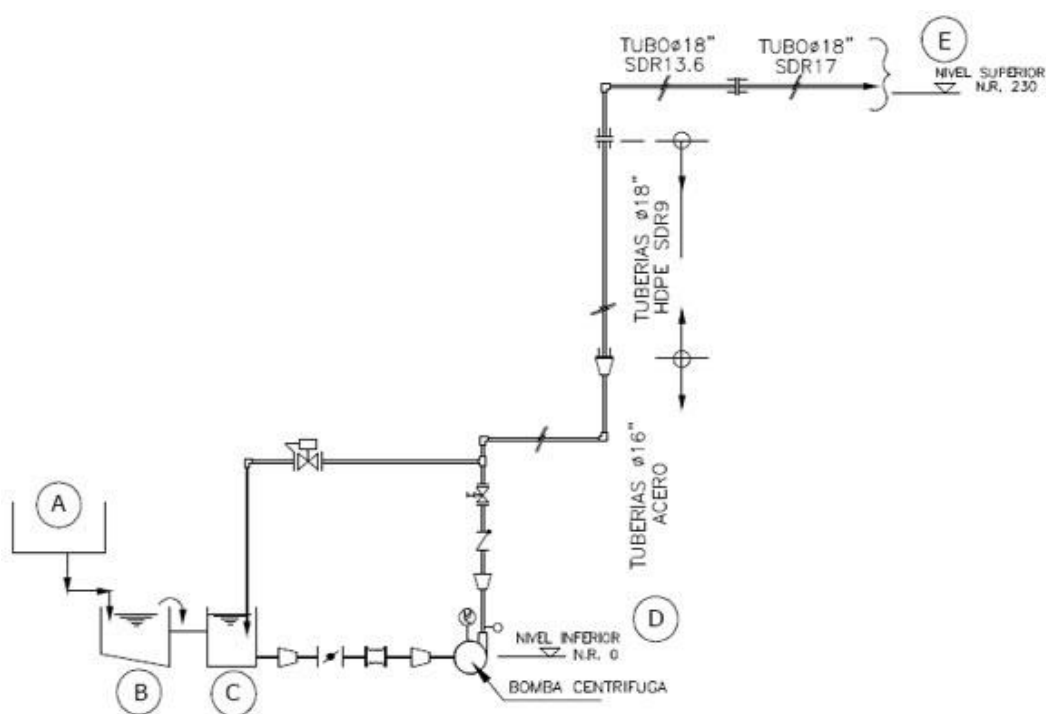
Posteriormente, el agua desarenada es almacenada en la poza de succión C. Esta poza no solo cumple una función de almacenamiento, sino que también actúa como un amortiguador hidráulico (colchón de agua) para el sistema de bombeo de succión positiva, garantizando una alimentación constante y manteniendo el NPSH disponible dentro de los límites requeridos.

La estación de bombeo D impulsa el agua almacenada mediante cinco bombas centrífugas de 1.500 HP y una capacidad de 270 l/s cada una. La estación cuenta con un sistema de protección contra golpe de ariete, que incluye una válvula anticipadora de onda, la cual se activa ante cortes de energía o paradas

repentinas de las bombas. Adicionalmente, como medida de contingencia ante fallos en este sistema, se han instalado discos de ruptura que actuarían como absorbedores de la energía generada por la onda de presión.

El agua es transportada a través de un sistema de tuberías —mostrado en la Figura 14— con una longitud total de 2.955 m, que incluye una altura geodésica de 230 m. Finalmente, en superficie (denominada "Nivel Superior" en la Figura 14), el agua es descargada en la poza E.

Figura. 15. Esquema del sistema de bombeo



ECUACIONES GOBERNANTES

El equilibrio hidráulico del sistema se establece mediante la aplicación de las ecuaciones fundamentales de conservación de masa, momento y energía. Para que estas ecuaciones representen de manera adecuada el fenómeno físico, es necesario introducir un conjunto de hipótesis simplificadoras. La primera de ellas consiste en modelar el transporte de fluido como un flujo monofásico. Esta suposición es válida, dado que el agua de mina —producto de las excavaciones—

es conducida a través de estructuras hidráulicas diseñadas específicamente para reducir la concentración de sólidos en suspensión a valores tendientes a 0.

Ecuación de conservación de la masa para volúmenes de control

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \int_{v.c.} \rho dV + \int_{s.c.} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2)$$

La ecuación representa el principio de conservación de la masa (ecuación de continuidad) en su forma integral para un volumen de control. Aquí, el primer término $\frac{\partial}{\partial t} \int_{v.c.} \rho dV$ cuantifica la tasa de cambio de masa dentro del volumen de control CC en el tiempo, mientras que el segundo término $\int_{s.c.} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$ calcula el flujo neto de masa a través de la superficie de control (S.C.). La suma igualada a cero indica que, en régimen permanente ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$), el flujo másico entrante y saliente se equilibran. Para fluidos incompresibles (densidad ρ constante), la ecuación se simplifica a que el flujo volumétrico entrante iguala al saliente. Esta ecuación es fundamental en mecánica de fluidos y ingeniería para modelar sistemas donde la masa se conserva.

Siendo ρ la densidad del fluido y $\vec{V}$ su velocidad, donde los subíndices v.c. y s.c. denotan volumen de control y superficie de control, respectivamente, la ecuación integral de conservación de la masa —representada por la ecuación (2)— puede simplificarse para modelar el transporte de fluidos en tuberías. Bajo las hipótesis de régimen permanente, volumen de control fijo, flujo uniforme en secciones constantes, configuración de una entrada y una salida, y fluido incompresible, la ecuación de continuidad se reduce a la siguiente forma [1-2,6]:

$$0 = \dot{m}_e - \dot{m}_s \quad (3)$$

Ecuación de energía para volúmenes de control

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{v.c.} e \rho dV + \int_{s.c.} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (4)$$

En la ecuación presentada, $\dot{Q}$ representa la tasa de transferencia de calor hacia el volumen de control, mientras que $\dot{W}$ denota la potencia neta (suma de trabajos por unidad de tiempo) intercambiada a través de la superficie de control, la cual incluye contribución como el trabajo de eje y el trabajo asociado a esfuerzos viscosos (tensiones tangenciales). El símbolo e corresponde a la energía específica total del fluido, h a la entalpía específica, g a la aceleración gravitacional y z a la altura o cota geodésica. Los subíndices v.c. y s.c. hacen referencia al volumen de control y a la superficie de control, respectivamente.

La ecuación de la energía en su forma integral, representada por la ecuación (4), es simplificada y acoplada con la ecuación de conservación de la masa previamente reducida. Este acople, plasmado en la ecuación (5), se deriva bajo las siguientes hipótesis: régimen permanente, flujo turbulento e incompresible, ausencia de transferencia de trabajo y calor ($\dot{W}=0$, $\dot{Q}=0$), y distribución uniforme de presión y velocidad en las secciones de entrada y salida del volumen de control [1-2,10].

$$\left(\frac{P_e}{\rho g} + \frac{V_e^2}{2g} + Z_e \right) - \left(\frac{P_s}{\rho g} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s \right) = h_{IT} \quad (5)$$

Siendo P presión (Pa); V velocidad media (m/s); Z altura manométrica (m); h_{IT} pérdida de carga total (m). Los subíndices "e" y "s" indican entrada y salida, respectivamente.

PÉRDIDA DE CARGA

Las ecuaciones constitutivas, o de cierre, son fundamentales para establecer el equilibrio hidráulico en sistemas de flujo. En el contexto del

transporte de fluidos en tuberías, estas ecuaciones cuantifican las pérdidas de carga, generadas predominantemente por los efectos de fricción y turbulencia. Las pérdidas de carga (h_{lhl}) se clasifican en primarias o distribuidas (h_{lphlp}), asociadas a la fricción a lo largo de tramos rectos de tubería, y secundarias o localizadas (h_{lshls}), ocasionadas por accesorios, cambios de dirección o geometría. La pérdida de carga total (h_{lThlT}) corresponde a la suma de ambas contribuciones [6-7].

Método de Darcy-Weisbach [1-2,6]

El método de Darcy-Weisbach es ampliamente utilizado para calcular pérdidas de carga en sistemas de tuberías. Su fundamento semiempírico le confiere versatilidad, permitiendo su aplicación en diversos tipos de flujo (laminar o turbulento), fluidos (newtonianos y no newtonianos) y materiales de tubería. Tanto las pérdidas de carga primarias (h_{lphlp}), asociadas a la fricción en tramos rectos, como las secundarias (h_{lshls}), generadas por accesorios y singularidades, pueden cuantificarse mediante la siguiente ecuación:

$$h_{lp} = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

$$h_{ls} = f \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2} \quad (7)$$

En las ecuaciones anteriores, f denota el factor de fricción de Darcy, L la longitud total de la tubería (m), L_e la longitud equivalente de los accesorios obtenida de tablas estandarizadas— (m), D el diámetro interno de la tubería (m) y V la velocidad media del flujo (m/s).

Las ecuaciones (8), (9) y (10-12) corresponden a expresiones explícitas propuestas por Swamee-Jain, Haaland y Churchill, respectivamente, para el cálculo del factor de fricción de Darcy. Estas correlaciones aproximadas,

derivadas de ajustes sobre la ecuación implícita de Colebrook-White, expresan f en función del número de Reynolds (Re) —que caracteriza el régimen de flujo— y la rugosidad relativa de la tubería ($\epsilon/D\epsilon$), parámetro adimensional que relaciona la rugosidad absoluta de la pared (ϵ) con el diámetro interno [1,4,8].

Swamee-Jain (1976): aplicable válidamente al régimen turbulento con desarrollo total,

$$f = 1,325 \left\{ \ln \left[0,27 \left(\frac{e}{D} \right) + 5,74 \left(\frac{1}{Re} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

Haaland (1983): aplicable válidamente al régimen de transición y turbulento,

$$f = \left\{ -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{e/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \right\}^2 \quad (9)$$

Churchill (1977): aplicable válidamente para todos los padrones de flujo,

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{3/2}} \right]^{1/12} \quad (10)$$

$$A = \left\{ 2,457 \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + 0,27 \left(\frac{e}{D} \right)} \right] \right\}^2 \quad (11)$$

$$B = \left[\frac{37530}{Re} \right]^{16} \quad (12)$$

Método de Hazen-Williams [11].

El método de Hazen-Williams se emplea para calcular pérdidas de carga en tuberías. Debido a su naturaleza empírica, su aplicación se restringe al transporte de agua en condiciones específicas de flujo turbulento, temperaturas cercanas a los 20°C y diámetros dentro de rangos establecidos [9]. Tanto las

pérdidas de carga primarias (h_{lp}), asociadas a la fricción en tramos rectos, como las secundarias (h_{ls}), generadas por accesorios y singularidades, pueden determinarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$h_{lp} = 10,643L \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} D^{-4,87} \quad (13)$$

$$h_{ls} = K \frac{V^2}{2} \quad (14)$$

En estas ecuaciones, C representa el coeficiente de Hazen-Williams, Q el caudal de agua (m^3/s), y K la constante de accesorios obtenida de tablas estandarizadas [1-2,6]. El equilibrio hidráulico del sistema se establece al resolver la ecuación (5) mediante la aplicación de cualquiera de los dos métodos presentados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se compararon los métodos de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach —este último implementado con las expresiones de Haaland, Churchill y Swamee-Jain para el factor de fricción— con el fin de establecer el equilibrio hidráulico del sistema bajo las condiciones previamente descritas. El sistema de bombeo analizado opera con números de Reynolds entre 8.8×10^5 a 8.8×10^5 y 9.7×10^5 a 9.7×10^5 , confirmando un régimen de flujo turbulento.

Las expresiones de Swamee-Jain, Haaland y Churchill se aplicaron a tuberías de acero Ø16" (rugosas) y HDPE Ø18" (lisas) para evaluar su comportamiento en ambos tipos de superficie. Los resultados, ilustrados en las Figuras 15 y 16, revelan que en tuberías rugosas las expresiones de Swamee-Jain y Churchill producen valores superpuestos, mientras que Haaland predice coeficientes de fricción ligeramente inferiores.

Para tuberías lisas, las tres expresiones muestran valores prácticamente coincidentes, lo que indica que la selección de cualquiera de ellas resulta irrelevante en el cálculo de pérdidas de carga para este tipo de material. Esta similitud confirma la robustez de las aproximaciones en condiciones de baja rugosidad.

Figura. 16. Factor de fricción en tuberías rugosas con función de Re . Tubo de acero Ø16" ($e/D = 1,19 \times 10^{-4}$).

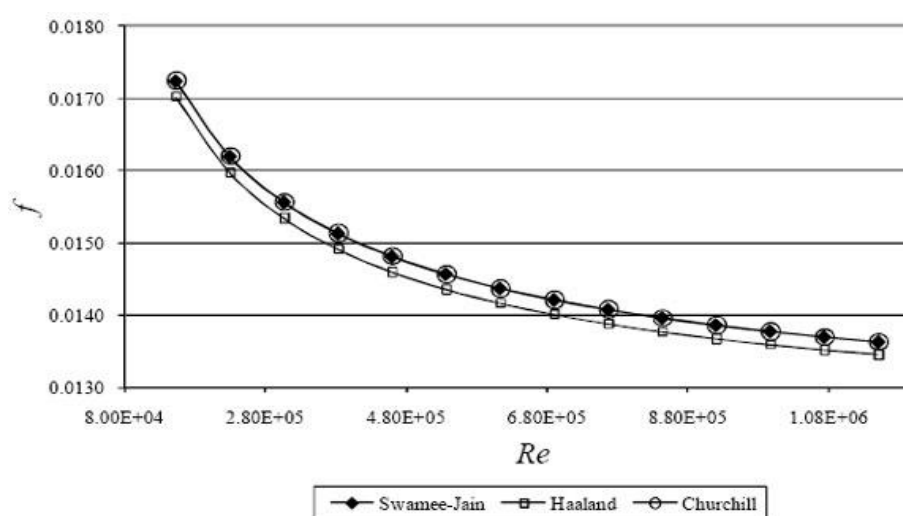


Figura. 17. Factor de fricción en tuberías lisas con función de Re . Tubo de HDPE Ø18" ($k/D = 3,87 \times 10^{-6}$).

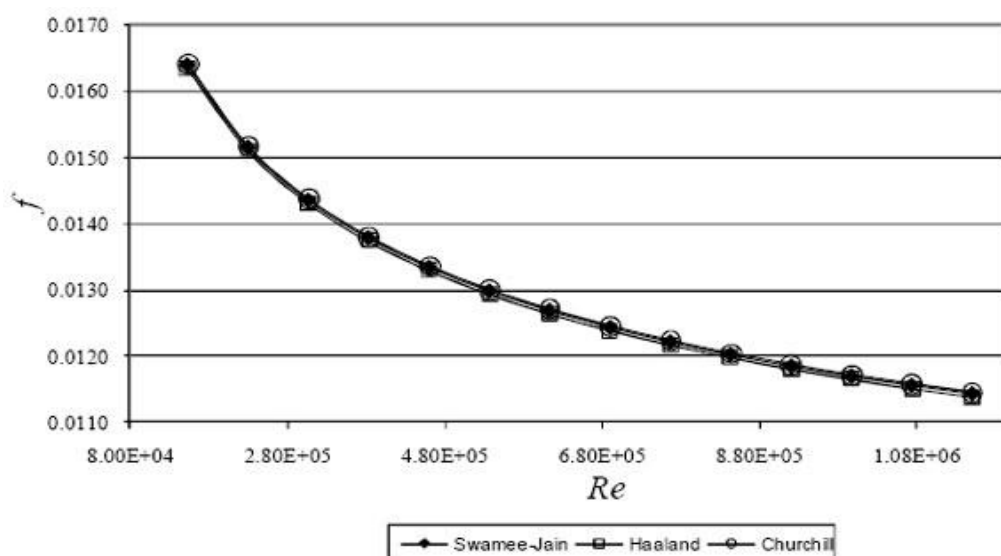


Figura. 18. Pérdidas de carga por kilómetros de tuberías rugosas en función de Re . Tubo de acero Ø16" ($e/D = 1,19 \times 10^{-4}$).

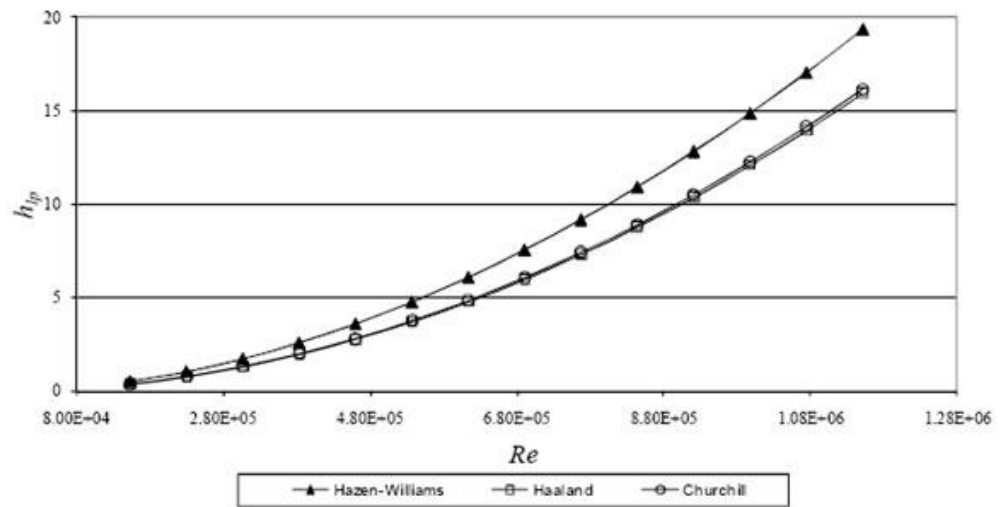
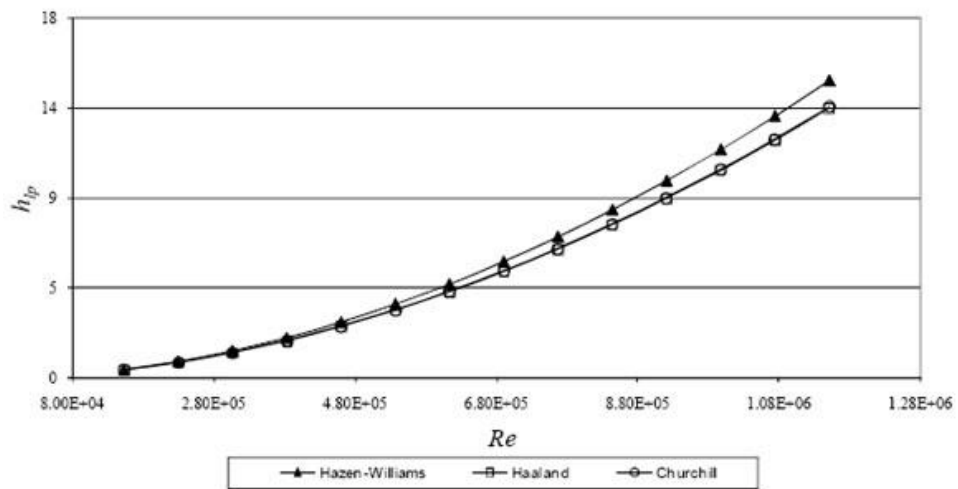


Figura. 19. Pérdidas de carga por kilómetros de tuberías lisas con función de Re . Tubo de HDPE Ø18" ($k/D = 3,87 \times 10^{-6}$).



Se comparó el comportamiento de los métodos Darcy-Weisbach (implementado con las expresiones de Haaland y Churchill) y Hazen-Williams para tuberías rugosas de acero Ø16" y lisas de HDPE Ø18". Los resultados de pérdida de carga por kilómetro de tubería en función del número de Reynolds (Re) se muestran en las Figuras 17 y 18. En ambos casos, el método de Darcy-Weisbach predice menores pérdidas de carga que Hazen-Williams, siendo esta

diferencia más pronunciada en tuberías rugosas y acentuándose con el aumento del número de Reynolds.

En sistemas de bombeo minero, no es común encontrar tuberías de acero de grandes longitudes, por lo que los resultados para tuberías lisas (Figura 18) son más representativos en la práctica.

La Figura 19 ilustra la pérdida de carga teórica en el sistema de bombeo del estudio de caso, desglosando pérdidas primarias, secundarias y totales para cada sección: acero, HDPE SDR9, SDR13.6 y SDR17. El tramo de acero presenta altas pérdidas secundarias debido a accesorios como válvulas, codos y reducciones, mientras que en la tubería HDPE SDR17 las pérdidas primarias son dominantes por su gran longitud.

Se recopilaron datos experimentales en campo, donde un manómetro ubicado a la salida de la bomba registró una presión promedio de 360 psi. Sustituyendo este valor en la ecuación de la energía (ecuación 5) bajo las condiciones del estudio, se obtuvo la pérdida de carga experimental. La comparación teórico-experimental (Figura 20) revela que el método Darcy-Weisbach-Churchill presenta la menor desviación (6.8%), siendo el más preciso, mientras que Hazen-Williams mostró la mayor imprecisión (28.6%). No obstante, al comparar los métodos respecto a la altura manométrica total (H_{man}) del sistema, las desviaciones fueron significativamente menores: 3.1% para Hazen-Williams y 1.1% para Darcy-Weisbach-Churchill. Esto se debe a que el H_{man} total incorpora predominantemente la altura geométrica del sistema, la cual tiene mayor peso que las pérdidas de carga.

Dado que el parámetro crítico para la selección de equipos de bombeo es el H_{man} del sistema, el equilibrio hidráulico puede establecerse con cualquiera

de los métodos analizados, aunque Darcy-Weisbach-Churchill demuestra mayor precisión en la estimación de pérdidas de carga.

Figura. 20. Pérdida de cargas teóricas en los sistemas de bombeo

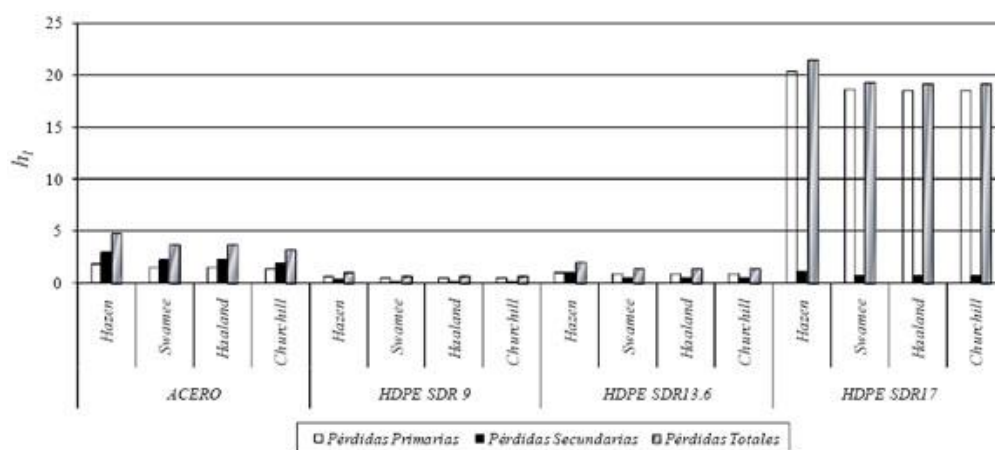
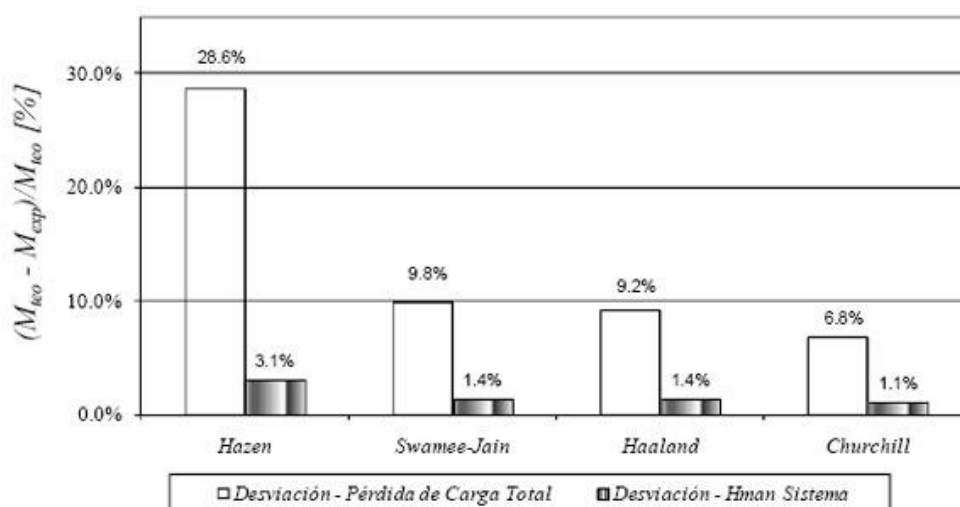


Figura. 21. Desviaciones de las pérdidas de cargas y Hman total del sistema frente a los datos experimentales.



CONCLUSIONES

Se evaluó la influencia de los métodos de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach en el establecimiento del equilibrio hidráulico de un sistema de bombeo minero. Mediante hipótesis pertinentes, las ecuaciones de continuidad y energía fueron simplificadas y aplicadas a las condiciones del estudio de caso. Se compararon las expresiones de Swamee-Jain, Haaland y Churchill para el cálculo

del factor de fricción de Darcy, realizándose predicciones teóricas de pérdidas de carga en tuberías rugosas y lisas para ambos métodos.

Los resultados teóricos indican que el método de Darcy-Weisbach predice menores pérdidas de carga que Hazen-Williams, registrándose los valores más bajos con la expresión de Churchill. Las comparaciones teórico-experimentales demostraron que Darcy-Weisbach-Churchill presenta la mejor concordancia con los datos experimentales, con una desviación del 6.8% en pérdidas de carga, frente al 28.6% de Hazen-Williams. Sin embargo, al evaluar la altura manométrica total (H_{man}) del sistema, ambas metodologías mostraron desviaciones mínimas (3.1% para Hazen-Williams y 1.1% para Darcy-Weisbach-Churchill), lo que permite concluir que cualquiera de ellas es adecuado para establecer el equilibrio hidráulico en sistemas de bombeo minero con características similares al caso estudiado.

El equilibrio hidráulico se fundamenta en el balance energético del sistema, considerando la energía cinética, potencial y las pérdidas de carga. Su determinación es crucial para evaluar la eficiencia de los sistemas de bombeo, optimizar la selección de equipos y garantizar operaciones energéticamente sostenibles en contextos mineros.

2.2.6. Carga estática total

La carga estática total corresponde a la energía que debe suministrar la bomba para elevar un fluido entre dos puntos (A y B) ubicados a distintas cotas y bajo posibles diferencias de presión. Este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$H_E = H_D - H_S + (P_D - P_S) / \gamma$$

Donde:

HE: Carga estática total,

HD: Altura de descarga (cota del punto de descarga),

HS: Altura de succión (cota del punto de succión),

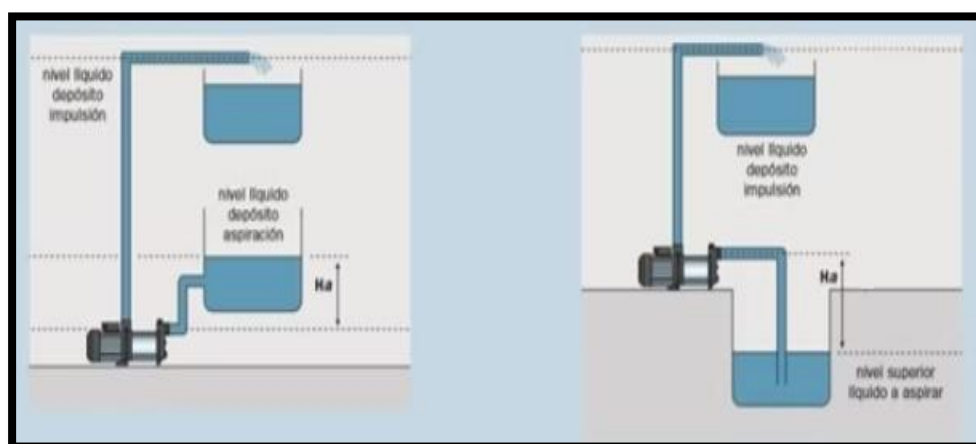
PD: Presión en el recipiente de descarga,

PS: Presión en el recipiente de succión,

γ : Peso específico del fluido.

El valor de HS es positivo cuando la succión de la bomba se sitúa por debajo del nivel libre del fluido en el depósito de captación (succión positiva) y negativo cuando se encuentra por encima de dicho nivel succión negativa o aspiración. (Ver Figura 21).

Figura. 22. *Altura de succión respecto al nivel del fluido en el depósito*



Fuente: Diseño agronómico e hidráulico. Miguel Ángel Monge.

2.2.7. Pérdidas de energía en el sistema

Estas pérdidas, denominadas pérdidas de carga o carga dinámica, surgen de la fricción y turbulencia generadas durante el transporte del fluido a través de tuberías y ductos. Dependen principalmente del factor de fricción, longitud y diámetro de la tubería, accesorios (pérdidas locales), propiedades del fluido y velocidad de flujo. Las pérdidas pueden ser distribuidas a lo largo de tramos

rectos o localizadas en singularidades como reducciones, cambios de dirección, válvulas, entre otros.

Clasificación de las pérdidas de carga:

Pérdidas primarias (distribuidas): Ocurren por la fricción entre el fluido y la pared interna del conducto, así como entre las partículas del fluido. Su magnitud depende del régimen de flujo (laminar o turbulento), la rugosidad de la tubería y las propiedades del fluido.

Pérdidas secundarias (localizadas): Se generan en accesorios, cambios de sección (expansiones/contracciones) o alteraciones de la trayectoria (codos, tes). Son causadas por la disipación energética asociada a la redistribución de la velocidad y la formación de vórtices.

Estas pérdidas se cuantifican mediante modelos semiempíricos (Darcy-Weisbach para pérdidas primarias, métodos de longitud equivalente o coeficientes K para secundarias) y son críticas en el diseño y análisis de sistemas de bombeo.

Las fórmulas más utilizadas para el cálculo de pérdidas primarias incluyen: Scobey, Scimemi, Hazen-Williams, Manning y Darcy-Weisbach. Todas estas fórmulas asumen que la tubería tiene una sección circular. No obstante, pueden aplicarse a secciones no circulares mediante el concepto de diámetro hidráulico, definido por la siguiente ecuación:

$$D_h = (4 \cdot A) / P$$

Donde:

D_h : Diámetro hidráulico,

A: Área de la sección transversal del conducto,

P: Perímetro mojado por el fluido.

Este enfoque permite adaptar las fórmulas clásicas a ductos de geometría arbitraria, manteniendo consistencia en la estimación de pérdidas por fricción.

Forma sección	Área sección transversal	Perímetro mojado	Diámetro hidráulico
	$\frac{\pi \times D^2}{4}$	$\pi \times D$	D
	a^2	$4 \times a$	a
	$a \times b$	$2(a + b)$	$\frac{2 \times a \times b}{a + b}$
	$\frac{\pi \times (D_1^2 - D_2^2)}{4}$	$\pi \times (D_1 + D_2)$	$D_1 - D_2$

Darcy – Weisbach

Es la fórmula más exacta para cálculos hidráulicos, ya que considera explícitamente el régimen de flujo (laminar o turbulento), la rugosidad de la tubería (ϵ) y el diámetro hidráulico (D_h). Su expresión en función del caudal (Q) es:

$$h: 0.0826 \times f \times (D^2) \times L$$

D^5

Donde:

f : coeficiente de fricción(adimensional)

L : longitud de la tubería (m)

D : diámetro de la tubería (m)

Q : caudal (m³/s)

2.2.8. Carga dinámica total

La carga dinámica total representa la energía total que debe suministrar la bomba para elevar el fluido desde el punto de succión hasta el punto de descarga.

Incluye:

La altura de elevación vertical,

Las pérdidas por fricción en tuberías,

Las pérdidas localizadas en accesorios y singularidades.

Para evaluar el sistema, es necesario calcular la carga total del sistema, definida como la suma de la carga estática total y la carga dinámica:

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{estatica}} + H_{\text{Dinamica}} \quad [8]$$

Es decir:

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{Estatica}} + h_{fs} + h_{fi} + h_{ls-i} \quad [9]$$

Donde:

Hestatica: Carga estática total (diferencia de cotas y presiones entre descarga y succión),

hfs: Pérdidas por fricción en la tubería de succión (m),

hfi: Pérdidas por fricción en la tubería de impulsión (m),

hls-i: Pérdidas localizadas (accesorios) en succión e impulsión (m).

Esta carga total (Htotal) es crítica para la selección y operación de bombas, asegurando que cuenten con la energía suficiente para vencer todas las resistencias del sistema.

2.2.9. Potencia real consumida por el sistema.

La potencia real consumida por el sistema se determina mediante mediciones eléctricas directas en los motores de las bombas. El cálculo se realiza utilizando los valores de voltaje (V) y amperaje (I) medidos en cada motor, junto con el factor de potencia ($\cos \phi$) especificado en la placa del motor. La expresión para la potencia real (trifásica) es:

$$P_{con}(Kw) = \sqrt{3} VI \cos\phi / 1000 \quad [10]$$

Este valor representa la energía eléctrica efectivamente demandada por el sistema de bombeo, considerando las pérdidas inherentes de los motores y la eficiencia del conjunto motor-bomba.

2.2.10. Eficiencia del conjunto motor-bomba (η total)

La eficiencia del conjunto motor-bomba representa la capacidad del sistema para convertir la energía mecánica del motor en energía hidráulica transmitida al fluido. Se calcula como el cociente entre la potencia hidráulica suministrada al fluido y la potencia real consumida por el motor:

La eficiencia total refleja las pérdidas energéticas en la bomba (hidráulicas, volumétricas, mecánicas) y el motor (eléctricas, magnéticas). Un valor alto indica una transferencia eficiente de energía al fluido, mientras que valores bajos sugieren oportunidades de optimización en el sistema.

$$\eta = P / P_{eb}$$

2.2.11. Tiempos de operación y tiempos muertos

Uno de los principales trabajos críticos de la mina es atender el Sistema de bombeo por lo cual, este se realiza durante las 24 horas del día, en los dos turnos de trabajo.

No obstante, el tiempo de trabajo en horas por día, puede calcularse al relacionar el Caudal entregado o recibido, desde los frentes de trabajo a las pozas de captación, para centralizarlo al PTARI, donde es tratado el agua para bajar los sólidos en suspensión, y su posterior bombeo a superficie.

así:

$$t = (Q \text{ recibido} / Q \text{ descargado}) 24 \text{hrs}$$

2.2.12. Procedimiento estándar de instalación, operación y mantenimiento

No se tiene un procedimiento estándar para la instalación de las bombas, no obstante, en cuanto a la instalación de las bombas se tiene cuadrillas de personal de servicio, quienes realizan esta actividad, ahora el mantenimiento de las bombas esta tercerizado a una empresa especializada, en este caso geo hidráulica, quienes suministran las bombas sumergibles y realizan el mantenimiento o reparación de dichas bombas, según sea el caso.

El mantenimiento preventivo es un bajo porcentaje de unos 15%, generalmente son trabajos correctivos que se realiza.

2.2.13 Reporte de Fallas o Averías

Las fallas más considerables en las bombas son por la presencia de lodos, lo que hace un desgaste prematuro de impulsores y sellos mecánicos, disminuyendo el rendimiento de las bombas.

También se tiene el funcionamiento de las bombas en vacío, cuando las boyas de control automático no funcionan, hacienda que las bombas se calienten.

El caudal entregado a la PTARI, en su momento supera a la capacidad de bombeo de esta, por lo que se está aliviando al instalar una bomba sumergible más, en el sifón.

Para así evitar la recirculación a lo largo de la rampa, saliendo a la via, superando la capacidad de las cunetas. razón por la cual, se constituye además en un problema de seguridad.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Altura Dinámica Total (TDH)

Es la energía que necesita una bomba para mover un fluido, a través de un Sistema de tuberías.

Para calcular la altura dinámica total, se requiere calcular dos cosas:

- * la elevación vertical
- * Las pérdidas por fricción

2.3.2. Altura Estática

Corresponde a la diferencia vertical entre el nivel de succión y el punto de descarga, excluyendo pérdidas por fricción o efectos dinámicos del flujo.

Componentes de la energía en sistemas de bombeo:

Altura de velocidad (h_v): Representa la energía cinética del fluido y se calcula como: $h_v = \frac{V^2}{2g}$ (m)

donde V es la velocidad del flujo (m/s) y g la gravedad (9.81 m/s^2).

Altura de presión (h_p):

Considera la energía debida a presiones distintas a la atmosférica en succión o descarga: $h_p = \frac{P}{\gamma}$ (m)

donde P es la presión manométrica (Pa) y γ el peso específico del fluido (N/m^3).

Altura de fricción (h_f):

Representa la energía necesaria para vencer las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios. Se expresa en metros (m) del fluido bombeado e incluye:

Pérdidas primarias (por fricción en tramos rectos),

Pérdidas secundarias (en accesorios, cambios de dirección, etc.).

2.3.3. Número Reynolds

El número de Reynolds es un valor sin unidades que compara dos tipos de fuerzas en un fluido en movimiento: las fuerzas de inercia (que tienden a mantener el movimiento) y las fuerzas viscosas (que se oponen a este). Su

propósito principal es determinar si el flujo es laminar (ordenado) o turbulento (desordenado).

El flujo es laminar cuando predominan las fuerzas viscosas; en este caso, el fluido se mueve lentamente y en trayectorias rectas y paralelas. Por el contrario, el flujo es turbulento cuando dominan las fuerzas de inercia, lo que causa cambios constantes en la velocidad y movimiento en todas direcciones.

La transición entre flujo laminar y turbulento ocurre cuando el número de Reynolds está entre 2000 y 4000.

Se calcula así:

$$Re=(V*D)/U$$

V: velocidad del flujo, m/s

D: diámetro hidráulico (diámetro interno del tubo)

U: viscosidad cinemática, m²/s

El tipo de flujo se determina:

Flujo laminar: $Re < 2300$

Flujo turbulento: $Re > 2300$

2.3.4. NPSH

La altura neta positiva de aspiración (NPSH) es la diferencia entre la presión del fluido en la entrada del impulsor de la bomba y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. En términos simples, es la presión mínima requerida a la entrada de la bomba para evitar la cavitación.

Si la bomba opera con una succión demasiado elevada, la presión a la entrada puede disminuir hasta igualar la presión de vapor del líquido. Esto provoca la formación de burbujas de vapor que, al desplazarse a zonas de mayor

presión dentro de la bomba, colapsan violentamente. Este fenómeno (cavitación) genera daños progresivos en el impulsor y otros componentes de la bomba.

NPSH req

El NPSH requerido (NPSHreq) depende exclusivamente del diseño de la bomba y no de la instalación donde se ubique. Este valor siempre es positivo y varía según el caudal manejado y la velocidad de giro del motor.

El NPSHreq indica la capacidad de succión de la bomba en un punto específico de su curva de funcionamiento. Un valor más bajo de NPSHreq significa una mayor capacidad de succión, ya que la bomba necesita menos presión mínima a la entrada para evitar la cavitación. Por el contrario, un valor alto implica mayores restricciones operativas.

NPSHdisp

El NPSH disponible (NPSHd) depende de las características de la instalación y representa la presión total disponible por encima de la presión de vapor del fluido en la brida de succión de la bomba. Este valor integra en un único concepto todas las condiciones de la instalación que afectan a la capacidad de aspiración de la bomba.

Una instalación de bombeo puede ser de aspiración (cuando el nivel del líquido está por debajo del eje de la bomba) o de carga (cuando el nivel está por encima del eje de la bomba). En ambos casos, el NPSHd debe ser siempre mayor que el NPSH requerido por la bomba (NPSHreq) para evitar la cavitación.

2.3.5. Golpe de Ariete

Fenómeno hidráulico caracterizado por un aumento repentino de presión en una tubería, generado por cambios bruscos en la velocidad del flujo (ej.: cierre rápido de válvulas, parada abrupta de bombas).

Factores que influyen:

Diseño del sistema:

Tuberías largas con grandes diferencias de altura elevan el riesgo, ya que requieren mayores presiones para vencer la carga estática.

Sistemas con fluidos de alta densidad o velocidad son más susceptibles.

Consecuencias:

Daños estructurales en tuberías, accesorios y equipos (válvulas, bombas).

Vibraciones y ruidos anómalos en la red.

Prevención:

Uso de válvulas de alivio o chimeneas de equilibrio.

Cierre gradual de válvulas y arranques/paradas suaves de bombas.

Instalación de tanques hidroneumáticos o absorbedores de presión.

Este fenómeno es crítico en sistemas de bombeo minero, donde las alturas geodésicas y caudales suelen ser significativos.

2.3.6. Tuberías

Son conductos metálicos o de hdpe que cumplen la función de transportar fluido.

2.3.7. Válvula automática para control de bombas

Válvula controla el arranque y la parada de la bomba mediante la presión de arranque y parada. Cuando la presión de la tubería cae al valor de inicio, la bomba arranca automáticamente. Cuando la presión alcanza el valor de parada, la bomba deja de funcionar.

2.3.8. Válvulas de Alivio

Dispositivos de seguridad instalados en puntos estratégicos de sistemas de tuberías, diseñados para liberar automáticamente el exceso de presión

generado durante eventos como cierres bruscos de válvulas o paradas abruptas de bombas (golpe de ariete).

Características clave:

Mecanismo de respuesta rápida:

Cuentan con un sistema de apertura/cierre automático que reacciona instantáneamente a picos de presión.

Funcionamiento:

Al detectar un aumento repentino de presión, la válvula se abre para liberar fluido hacia un canal de descarga segura (ej.: tanque de almacenamiento), evitando que la sobrepresión se propague por el sistema.

Una vez estabilizada la presión, la válvula se cierra gradualmente para restaurar el flujo normal.

Ventajas:

Protegen tuberías, accesorios y equipos (bombas, válvulas) de daños estructurales.

Reducen riesgos operativos en sistemas con grandes alturas geodésicas o caudales elevados.

Aplicación en minería:

Criticas en sistemas de bombeo donde los golpes de ariete son frecuentes debido a largas tuberías y cambios bruscos de operación.

2.3.9. Válvula Anticipadora de Onda

Dispositivo diseñado para prevenir el golpe de ariete al reaccionar ante caídas bruscas de presión causadas por paradas súbitas de bombas o cierres instantáneos de válvulas.

Funcionamiento:

Detección de caída de presión:

Al detenerse la bomba, la presión en la tubería desciende rápidamente, la válvula detecta este cambio y se abre de forma automática.

Disipación de la onda de presión:

Permite la entrada de aire o la liberación controlada de fluido para neutralizar la onda de retorno de alta presión.

Evita que la sobrepresión se propague por el sistema.

Cierre gradual:

Una vez estabilizada la presión, la válvula se cierra suavemente para restaurar el flujo normal.

Ventajas:

Respuesta ultrarrápida (milisegundos).

Ideal para sistemas con bombas de alta potencia o tuberías largas.

Reduce estrés mecánico en equipos y tuberías.

Aplicación:

Común en estaciones de bombeo minero, donde las paradas abruptas son críticas para la integridad del sistema.

2.3.10. Válvula ventosa o válvulas de aire

Dispositivos diseñados para gestionar el aire dentro de tuberías a presión, cumpliendo dos funciones esenciales:

Expulsión de aire:

Eliminan bolsas de aire acumuladas en puntos altos de la tubería, evitando que obstruyan el flujo y reduzcan la eficiencia del sistema.

Admisión de aire durante el vaciado:

Al detenerse el flujo o durante el vaciado de la tubería, permiten la entrada de aire para evitar la formación de vacío interno, lo que previene el colapso o aplastamiento de la tubería por presión externa.

Características clave:

Operan automáticamente mediante flotadores o mecanismos de membrana que responden a cambios de presión.

Ideales para sistemas con cambios de elevación, tramos largos o operaciones de llenado/vaciado frecuentes.

Aplicación:

Criticas en redes de agua, riego, minería y sistemas de bombeo donde la presencia de aire o vacío podría dañar la infraestructura.

Filtro

La función principal es evitar el ingreso de cuerpos extraños a la bomba.

Válvula mariposa

Válvula de seccionamiento de diseño simple y operación rápida, que controla el flujo mediante un disco giratorio.

Funcionamiento:

Posición cerrada: El disco se alinea perpendicularmente a la tubería, bloqueando por completo el paso del fluido.

Posición abierta: El disco gira 90° (un cuarto de vuelta) para alinearse con el flujo, permitiendo la circulación del fluido con mínima restricción.

Ventajas:

Operación rápida: Transición total entre abierto y cerrado en un cuarto de vuelta.

Compactas y livianas: Ideales para espacios reducidos.

Bajo costo de mantenimiento: Diseño sencillo con pocos componentes.

Aplicaciones:

Control de flujo en sistemas de agua, ventilación, minería y procesos industriales.

Uso en tuberías de gran diámetro donde otras válvulas serían más costosas o voluminosas.

Limitaciones:

No recomendada para estrangulamiento parcial prolongado, ya que el disco puede sufrir erosión o vibraciones.

Sellado menos eficiente en altas presiones comparados con válvulas de compuerta o globo.

Sumidero

Elemento crítico en el diseño de estaciones de bombeo, ubicado y dimensionado para garantizar un flujo uniforme hacia las bombas sin afectar su operación. Sus características clave incluyen:

Distribución uniforme del flujo:

Evita turbulencias y zonas de estancamiento donde puedan acumularse sedimentos.

Diseñado para disipar la energía cinética del flujo de entrada, lejos de las succiones de las bombas.

Control de velocidades:

Velocidad en la entrada de la cámara: ≤ 0.9 m/s (previene turbulencias cerca de las bombas).

Velocidad de aproximación a la toma: ≤ 0.3 m/s (reduce pérdidas energéticas y evita arrastre de sólidos).

Retención de sólidos:

Incorpora rejillas o tamices para retener partículas que podrían dañar las bombas.

Prevención de vórtices y aireación:

Geometría optimizada para evitar la formación de vórtices que introduzcan aire en las bombas.

Importancia:

Un sumidero mal diseñado puede causar cavitación, desgaste prematuro de bombas o reducción de la eficiencia del sistema. Su geometría (ej.: forma hidrodinámica, baffles direccionales) es clave para mantener condiciones ideales de flujo.

Disponibilidad mecánica

Es una manera de cuantificar, cuanto tiempo esta su bomba funcionando sin falla alguna.

Política ambiental

Conjunto de compromisos y principios adoptados por una empresa para integrar la sostenibilidad en sus operaciones, con el fin de:

Prevenir la contaminación:

Minimizar emisiones, residuos y impactos negativos en el aire, agua y suelo.

Optimizar procesos:

Implementar tecnologías limpias y eficientes que reduzcan el consumo de recursos (agua, energía, materias primas).

Fortalecer la gestión ambiental:

Establecer sistemas de monitoreo, cumplimiento legal y mejora continua.

Promover conciencia ambiental:

Capacitar a empleados, colaboradores y comunidades sobre prácticas sostenibles.

Fomentar la responsabilidad transversal:

Integrar criterios ambientales en todas las áreas de la organización, desde producción hasta logística.

Objetivo final:

Alcanzar un equilibrio entre productividad y conservación ambiental, asegurando el cumplimiento normativo y contribuyendo al desarrollo sostenible.

Productividad

La productividad mide la eficiencia de un factor productivo (como mano de obra, capital o tecnología) para generar bienes o servicios por unidad de tiempo. En el caso del trabajo, se calcula dividiendo la producción total entre las horas trabajadas o el número de empleados, reflejando así la capacidad de un trabajador para producir en un período determinado. Este indicador es clave para optimizar recursos, mejorar procesos y aumentar la competitividad empresarial.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La implementación de un sistema de bombeo para el control y eliminación de aguas subterráneas en los niveles inferiores de la mina optimizará el drenaje de la unidad minera Yumpag, reduciendo significativamente los sólidos en suspensión y garantizando la descarga de agua tratada al medio ambiente, en cumplimiento con los estándares de protección ecológica y las necesidades de las comunidades aledañas.

2.4.2. Hipótesis específicas

Si se determina la capacidad de bombeo requerida, será posible evacuar el agua subterránea desde el tope de rampa hasta la superficie, previo tratamiento y vertimiento controlado al río en la unidad minera Yumpag.

Si se establece el funcionamiento y los componentes del sistema de bombeo, se garantizará la evacuación eficiente del agua subterránea desde el tope de rampa hasta la superficie en la unidad minera Yumpag.

Si se cuantifica la concentración mínima de sólidos suspendidos en el agua subterránea, se facilitará su traslado desde el tope de rampa hasta la planta de tratamiento (PTARI) de la unidad minera Yumpag.

2.5. Identificación de variables

Se estudiarán cada una de las variables, las que se correlacionarán y compararán. Se identificaron las siguientes variables.

2.5.1. Variable independiente

X: Caudal de agua subterránea.

2.5.2. Variable dependiente

Y1: capacidad de bombas

Y2: Diámetro de las tuberías

2.5.3. Variable interviniente

Política de la Unidad Minera Yumpag

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 13. Definición operacional de variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Caudal del agua subterránea del tope de rampa de la unidad minera Yumpag.	La implementación de un nuevo diseño de sistema de bombeo para drenar el agua del tope de rampa al PTARI de la unidad minera Yumpag permite reducir las inundaciones de agua de los niveles inferiores, para controlar el caudal del agua. Para ello se elaboran diseños hidráulicos de acuerdo a las características de las diferentes alturas de un punto de inicio y un punto final de bombeo, indicando el número de bombas correspondientes de acuerdo a su capacidad y número de tuberías con un diámetro. Así mismo calculando el caudal de agua mediante software o modelos matemáticos.	Características del agua subterránea	Calidad de agua	H
				lodos	TU
				Caudal	3
			Poza de acumulación	Velocidad de acumulación	l/s.
VARIABLE DEPENDIENTE	Y1: Capacidad de bombas Y2: Diámetro de tuberías del tope de rampa de la unidad	Cuando realizamos Explotación subterránea muchas veces aguas subterráneas deben ser bien controladas, las inundaciones que ocasionan estas aguas por las filtraciones y operaciones de minado: se deben tomar en cuenta en el caudal total para no afectar los niveles inferiores evitando la paralización de las operaciones del ciclo de minado.	Bomba	Capacidad	l/s.
			Motor de bomba	Fuerza	p
			tuberías	Diámetro	Pulg.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de tesis, de acuerdo con sus objetivos, se enmarca como una investigación aplicada. El estudio se desarrolla en tres niveles de profundización:

3.2. Nivel de investigación

Descriptivo: Caracteriza el sistema de bombeo, los componentes hidráulicos y las condiciones operativas de la unidad minera Yumpag.

Correlacional: Analiza la relación entre variables como capacidad de bombeo, eficiencia energética, reducción de sólidos en suspensión e impacto ambiental.

Explicativo: Identifica causas y efectos del rendimiento del sistema, así como su influencia en la optimización del drenaje y el cumplimiento normativo.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), este enfoque multidimensional permite no solo describir realidades operativas (ej.: tiempos, marcas de equipos, magnitudes), sino también establecer correlaciones entre

variables técnicas y ambientales, así como explicar su interacción en contextos específicos como la extracción minera.

3.3. Métodos de investigación

El estudio emplea dos categorías metodológicas: métodos lógicos y métodos empíricos, siguiendo la clasificación de Custodio Ruiz (2019).

Métodos lógicos:

Inductivo: Parte de datos específicos (ej.: mediciones de caudal, presión) para formular principios generales aplicables al sistema de bombeo.

Analítico: Descompone el sistema en componentes (bombas, tuberías, tratamiento) para evaluar individualmente su funcionamiento e impacto.

Sintético: Integra los resultados analíticos en una perspectiva holística que optimice el drenaje y la gestión del agua.

Métodos empíricos:

Observación investigativa: Registro directo de variables operativas (niveles de agua, sedimentación, eficiencia de bombas) en la unidad minera Yumpag.

Experimentación: Validación de hipótesis mediante pruebas de bombeo, medición de sólidos suspendidos y simulación de escenarios de vertimiento.

Este enfoque mixto garantiza rigor técnico y aplicabilidad, combinando el análisis teórico con la verificación en campo para resolver problemas concretos de la operación minera

3.4. Diseño de investigación

El presente estudio se enmarca en un diseño cuantitativo, descriptivo y correlacional. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), este enfoque permite:

Descripción de variables: Caracterizar técnicamente el sistema de bombeo, los niveles de agua, la concentración de sólidos suspendidos y los parámetros operativos.

Análisis correlacional: Establecer relaciones entre variables clave, como:

Vibración de equipos ↔ Método de bombeo empleado,

Eficiencia energética ↔ Reducción de sólidos en suspensión,

Capacidad de bombeo ↔ Impacto en el drenaje y vertimiento.

Esquema metodológico:

Variables de estudio:

Independientes: Método de bombeo, capacidad de equipos, diseño de tuberías.

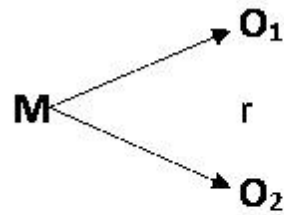
Dependientes: Nivel de sedimentación, eficiencia del drenaje, calidad del agua vertida.

Recolección de datos: Mediciones in situ, registros operativos y experimentos controlados.

Análisis estadístico: Uso de correlaciones (ej.: Pearson) para validar hipótesis causales y técnicas de regresión para predecir comportamientos.

Este diseño asegura una evaluación rigurosa de la interacción entre variables técnicas y ambientales, fundamentando la optimización del sistema en datos cuantificables.

DISEÑO CORRELACIONAL:



M = Muestra

O₁ = Observación 1

O₂ = Observación 2

r = Relación

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de estudio está constituida por el caudal total de aguas subterráneas presentes en las labores mineras de la unidad Yumpag, incluyendo todos los puntos de acumulación y flujo natural identificados en los niveles inferiores de la mina. Esta población se define por las siguientes especificaciones:

Origen: Aguas subterráneas provenientes de filtración, fracturas geológicas y escorrentía interna.

Alcance: Todas las galerías, tajos y rampas en profundización donde se registra acumulación o flujo de agua.

Temporalidad: Datos recopilados durante un ciclo hidrológico completo (ej.: estación seca y húmeda).

Unidad de análisis: Cada medición de caudal (m³/s) y calidad de agua (sólidos suspendidos, pH, metales) en puntos críticos del sistema de drenaje.

Este enfoque permite generalizar resultados a todo el sistema hidrogeológico de la mina, asegurando representatividad en la evaluación del impacto del bombeo.

3.5.2. Muestra

La muestra corresponde a un subgrupo representativo de la población, seleccionado para su estudio mediante criterios técnicos y operativos. En esta investigación, la muestra está constituida por:

Elementos: Caudal de agua subterránea almacenado en las pozas de sedimentación de la unidad minera Yumpag.

Criterios de selección:

Pozas con mayor acumulación de agua subterránea.

Puntos críticos donde se registran altos niveles de sólidos suspendidos.

Diversidad geográfica y profundidad (ej.: pozas en distintos niveles de la mina).

Tamaño muestral: Determinado por saturación de datos, asegurando representatividad estadística.

Justificación:

Las pozas de sedimentación concentran características clave de la población (caudal, calidad de agua, sedimentación), permitiendo extrapolar resultados al sistema general de drenaje. Su estudio facilita el análisis de variables como eficiencia de bombeo, reducción de sólidos e impacto ambiental.

Referente teórico: Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista Lucio (2014).

3.6. Técnicas instrumentos de recolección de datos

El proceso se llevó a cabo en las siguientes etapas:

Estructuración y organización de datos:

Transcripción y digitalización de datos recolectados en campo.

Creación de una base de datos en Excel para integrar mediciones de caudal, niveles de agua, sólidos en suspensión y parámetros operativos.

Análisis técnico:

Uso de equipos especializados (caudalímetros, sensores) para determinar caudales pico y promedios en puntos críticos.

Validación de datos mediante contrastación con información histórica y estándares técnicos.

Control de calidad:

Evaluación de la validez y confiabilidad de los datos mediante revisiones cruzadas y métodos estadísticos (ej.: desviación estándar, margen de error).

Monitoreo continuo de parámetros de calidad del agua (sólidos suspendidos, pH, metales) para garantizar cumplimiento normativo antes de su vertimiento a la vertiente.

Herramientas complementarias:

Software de análisis (SPSS, MATLAB) para modelar relaciones entre variables (ej.: caudal vs. sedimentación).

Informes de seguimiento para documentar tendencias y alertas operativas.

Este enfoque asegura precisión en la toma de decisiones y optimización del sistema de bombeo y tratamiento.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Selección

Los datos utilizados en esta investigación se obtuvieron de:

Bases de datos históricos de la unidad minera Yumpag.

Mediciones directas con equipos actualizados (caudalímetros, sensores de presión, turbidímetros) para monitorear caudales de aguas subterráneas en tiempo real.

Validación

Los datos relacionados con la selección de bombas y tuberías son válidos debido a:

La verificación y aprobación documentada por ingenieros del área de Yumpag, quienes avalaron los parámetros técnicos mediante firmas y visto bueno oficial.

La congruencia entre los datos recolectados y los estándares de diseño hidráulico

Confiabilidad

Los datos poseen alta confiabilidad gracias a:

Mediciones repetidas en diferentes estaciones del año (época seca y húmeda), considerando la variabilidad estacional de los caudales de aguas subterráneas.

El uso de equipos calibrados y protocolos estandarizados para minimizar errores.

La consistencia entre los valores históricos y las mediciones recientes, lo que refuerza la representatividad de los datos.

Este rigor metodológico asegura que las conclusiones y recomendaciones de la tesis se basen en información sólida y aplicable a la optimización del sistema de bombeo.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las Técnicas de procesamiento y análisis de datos de mediciones de caudal, medición de turbidez del agua, medición del Ph del mismo, fueron realizados con equipos tales como:

Para medir el caudal, se utilizó un caudalímetro de medición ultrasónica flexim fluxus 731.

Para medir la turbidez del agua se utilizó un turbidímetro digital marca Hash, modelo 2100Q.

Para medir el Ph del agua se utilizó un medidor de Ph digital, marca Hash modelo HQ.

El procesamiento es la fase de recopilación de datos donde se acopio información durante 4 meses, además de datos históricos del clima, avance de operaciones mineras.

Estos análisis se interpretaron los datos procesados que nos indicaron promedios y apoyo en la toma de decisiones.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el análisis de los datos se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, utilizando las siguientes herramientas:

Cálculo de frecuencias:

Frecuencias absolutas y relativas para categorizar variables como caudal, niveles de sedimentación y eficiencia de bombeo.

Tablas de contingencia:

Cruce de variables (ej.: tipo de bomba vs. reducción de sólidos suspendidos) para identificar patrones o relaciones preliminares.

Histogramas y gráficos de distribución:

Visualización de la concentración de datos (ej.: rangos de caudal predominantes, variación de la calidad del agua).

Parámetros muestrales:

Cálculo de medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar, rango) para caracterizar el comportamiento del sistema.

Herramienta principal: Microsoft Excel, utilizado para el recuento, organización y representación gráfica de los datos. Este enfoque permitió:

Ordenar y comparar información de manera eficiente.

Establecer bases para análisis inferenciales futuros (ej.: correlaciones, pruebas de hipótesis).

Validar la consistencia de los datos frente a los objetivos de la investigación.

Los resultados de este tratamiento facilitan la interpretación objetiva de la eficacia del sistema de bombeo y su impacto en la gestión hídrica de la mina.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente tesis es de autoría propia y original, desarrollada durante mi ejercicio profesional en la unidad minera Yumpag. Los datos, análisis y conclusiones se basan en:

Investigación directa: Mediciones in situ de caudales de aguas subterráneas en niveles inferiores de la mina, realizadas con equipos calibrados y protocolos estandarizados.

Documentación interna: Informes técnicos del proyecto Yumpag, debidamente citados y referenciados en el texto.

Fuentes externas: Consulta de literatura académica, normas técnicas y publicaciones especializadas, todas reconocidas mediante citas y bibliografía.

Compromisos éticos:

Originalidad: Todos los datos, imágenes y cuadros no originales están acreditados a sus fuentes correspondientes.

Transparencia: Los métodos de recolección y análisis son descritos con rigor para permitir la replicabilidad.

Confidencialidad: La información operativa sensible de la mina se maneja con reserva, priorizando el interés científico sin comprometer la seguridad operativa.

Principales fuentes consultadas:

Informes geo-hidrológicos de la unidad Yumpag.

Normas ISO para sistemas de bombeo y calidad de agua.

Publicaciones de autores como Hernández-Sampieri y Custodio Ruiz en metodología de investigación e hidrología.

Evaluación Conceptual del Proyecto minero de Yumpag, del área de Planeamiento, (2023).

Informe Estudio Hidráulico y dimensionamiento del Minado Subterráneo del Proyecto minero Yumpag, ISEMIN S.A, (2021).

Este marco ético garantiza la integridad académica y la validez técnica del trabajo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Estudio de Caudales

Se tiene 3 frentes bien definidos:

Las aguas que vienen desde el tope de rampa de 2w, son bombeadas de la poza 6 y llegan a la poza de la Ca 112 y de ahí es bombeado al PTARI, y el agua que proviene del Cx 9890 y captación de cunetas llegan a la poza 9, desde ahí son bombeadas al PTARI.

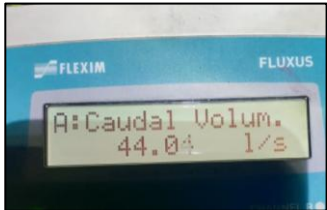
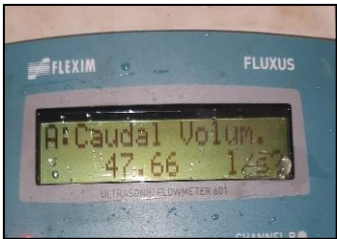
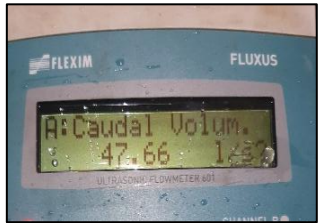
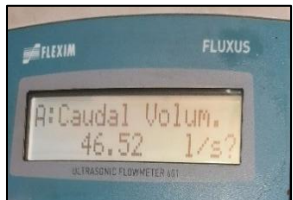
Las aguas que se captan en Integración son bombeadas en serie a PTARI.

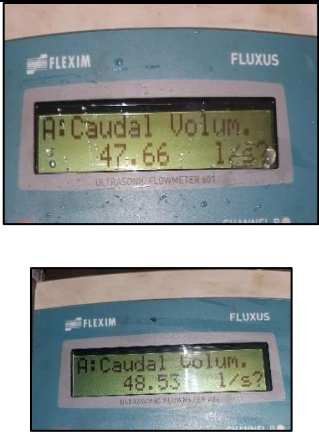
Las aguas que se captan de Tomasa son bombeadas en serie desde tope de rampa hasta el PTARI.

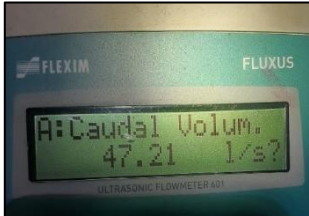
Desde el PTARI, luego de un tratamiento para bajar los sólidos en suspensión, son bombeados a la poza 4A, luego de un proceso de sedimentación son bombeadas a la poza 2A, de igual manera sigue un proceso de sedimentación, son bombeadas al PTAM, desde el cual son bombeada a superficie, donde se

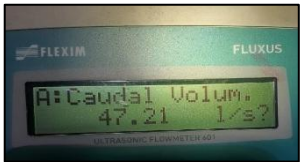
encuentran 3 pozas, desde el cual como ultimo tratamiento con neutralizante, son vertidos en la vertiente del rio que pasa por la unidad.

Tabla 14. Caudales en pozas del sistema de bombeo

UBICACION	NV 4410 - PTAM	EVIDENCIA
BOMBA 1	44.04 lt/seg	
BOMBA 2	47.66 lt/seg.	 
UBICACION	NV 4320 POZA 2A	EVIDENCIA
BOMBA 1	46.52 lt/seg	
BOMBA 2	48.53 lt/seg.	

		
--	--	---

UBICACION	NV 4244 POZA 4A	EVIDENCIA
BOMBA 1	47.21 lt/seg	
BOMBA 2	44.65 lt/seg.	

UBICACION	NV 4200 PTARI	EVIDENCIA
BOMBA 1	51.33 lt/seg	
BOMBA 2	49.39 lt/seg.	

UBICACION	RAMPA 2 OESTE – POZA 9	EVIDENCIA
BOMBA 1	30.84 lt/seg	

UBICACION	RAMPA 2 OESTE – CAMARA 112	EVIDENCIA
-----------	-------------------------------	-----------

CAUDAL EN RAMPAS DE AVANCE:

RAMPA INTEGRACION	12.7 LT/seg
RAMPA TOMASA	11.5 Lt/seg
RAMPA 2 OESTE	37.6 Lt/seg

Tabla 15. *Tramos y características de tuberías*

TRAMO	TIPO TUBERIA	DIAMETRO TUBERIA	LONGITUD DE RECORRIDO	LONGITUD TOTAL DE TUBERIA (2 LINEAS)
POZA 9 A PTARI	HDPE	8"	220	
POZA 112 A PTARI	HDPE	8"	190	
INTEGRACION A PTARI	HDPE	4"	280	
TOMASA A PTARI	HDPE	4"	300	
PTARI A POZA 4A	HDPE	8"	180	360
POZA 4A A POZA 2A	HDPE	8"	460	920
POZA 2A A PTAM	HDPE	8"	600	1200
PTAM A POZA SUPERF.	HDPE	8"	800	1600
POZA SUPERFICIE A VERTIENTE	HDPE	8"	1200	2400

4.1.2 Trabajos de monitoreo

Componentes Convencionales

Los componentes del sistema de bombeo principal son las pozas de captación en 2W, Integración y Tomasa, Pozas de tratamiento en PTARI, el sifón, las pozas de sedimentación y bombeo 4 A, 2 A, PTAM y las pozas de superficie.

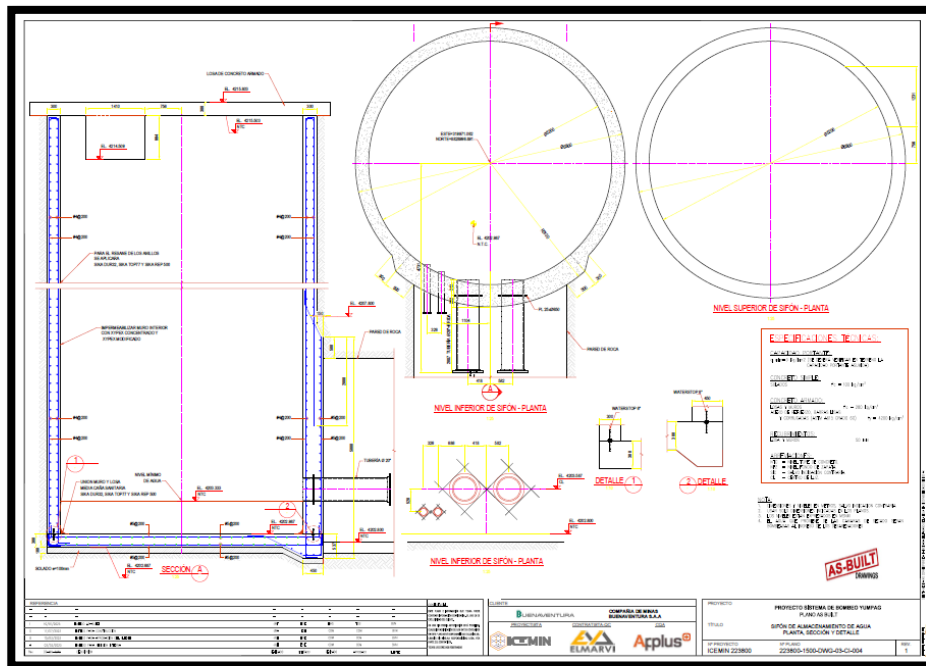
A continuación, se detallan los componentes.

a) Pozas de Captación

Las pozas de captación y bombeo de encuentran en la zona de 2W, las pozas 6 y 9, con un volumen de almacenamiento de 180m³ cada uno.

Las otras pozas de captación están en Tomasa con una capacidad de almacenamiento de 180m³.

Figura. 24. Cámara de bombas



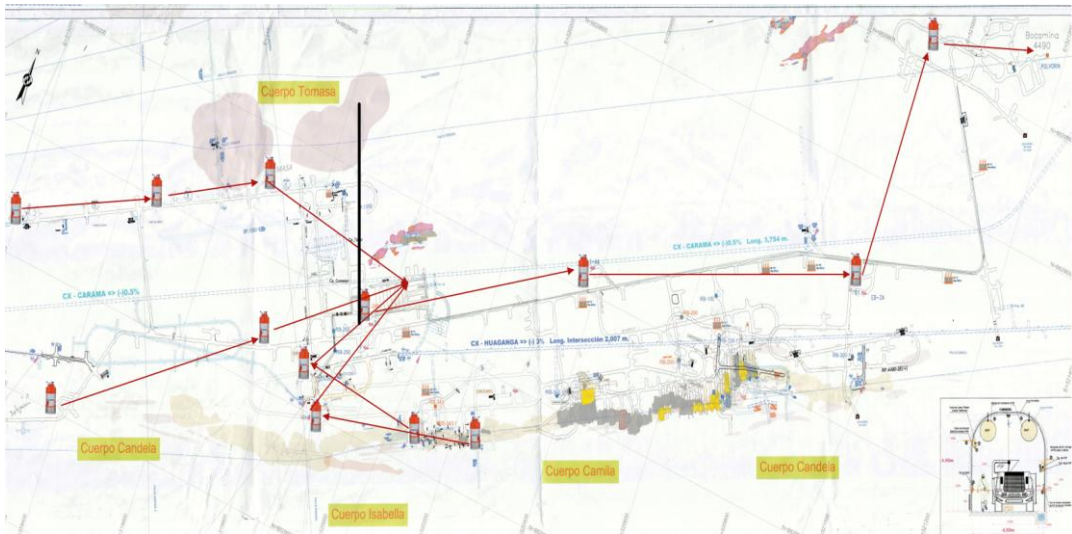
Fuente: Proyectos Yumpag

d). Pozas de sedimentación y bombeo

Las pozas de sedimentación y bombeo son la 4A y 2A, así como las pozas del PTAM, tiene una capacidad de almacenamiento de 250m³ c/u.

Fueron construidos con muros intermedios a diferentes alturas para que el agua que llega en la primera cámara pasa al siguiente por rebose, llegando a la principal desde donde es bombeado de la 4A hasta la 2A, y de ahí hasta las pozas del PTAM (anteriormente se utilizaba para bajar la turbidez y Ph, pero actualmente se está utilizando como una poza más de impulsión).

Figura. 25. *Lozas de sedimentación y bombeo*



e). Pozas en superficie

Para completar el Sistema de bombeo, se tiene las pozas que se encuentran en superficie, para la llegada del agua proveniente de mina, y su vertimiento a la vertiente.

Figura. 26. *Pozas en superficie*



Fuente: trabajo de campo

Componentes de optimización

Las aguas que vienen del tope de rampa, Integración y Tomasa llegan al PTARI, con 227 NTU, en promedio, dónde está instalada una Planta de Floculante y neutralizante, en dicha Planta se le suministrará floculante previamente mezclado con agua, así como neutralizante. Las aguas mezcladas con el floculante llegan por manguera a la poza del desarenador 1 y 2, en este paso los sólidos en suspensión son retenidos en Desarenador 1 y luego el agua con 79 ppm pasa a la Poza de deslamador a través de un canal en el cual también sigue el proceso de sedimentar los sólidos en suspensión, pasando por filtros que se encuentran en el rebose del agua, que llega a la poza sifón, saliendo con 20.2 NTU en promedio desde donde es bombeado a la poza 4A; donde sigue el proceso de sedimentación y es bombeado a la poza 2A, continuando el proceso de sedimentación, para ser bombeado a las pozas del PTAM, continuando con el proceso de sedimentación, desde donde es bombeado a las pozas en superficie, donde llega con un promedio de 3.9 NTU, del cual por gravedad es vertido a la vertiente, donde también se sigue realizando el proceso de neutralizado del agua.

Planta floculante

Se instala una planta floculante frente a los desarenadores 1 y 2, la labor tiene una sección de 6x4 metros y una longitud de 20 metros con 1000 lt de capacidad con su respectivo agitador de 1.5kW, donde es vertido el floculante para ingresar al Sistema por medio de una manguera que va hacia el inicio del desarenador.

Planta de neutralizante

Se construye una loza, donde son almacenados tanques de IBC, donde se encuentran los neutralizantes, el cual a través de una bomba peristáltica succiona e ingresa al Sistema el neutralizante respectivo para tener al agua en un Ph 7.

Planta de soda caustica

Todavía no se construye, solo se fabricó los tanques, y la losa donde va estar ubicado.

Desarenadores

Los desarenadores son pozas donde llega el agua captados del tope de rampa 2w, integración y Tomasa. En el cual pasa por un proceso de sedimentación a través de los floculantes que ingresan al Sistema bajando los sólidos en suspensión, así como el neutralizante para alcanzar un Ph neutro.

Estos desarenadores tienen una capacidad de 200 m³, el cual son limpiados con scoop cuando se llena la poza con lodo.

Deslamadores

Los deslamadores son depósitos de agua con una capacidad de 194m³(deslamador 4) y 201.83m³ (deslamador3), como su nombre lo indica se produce a deslamar el agua, el cual pasa por rebose hacia el sifón, después de un proceso de filtrado de los sólidos con mallas geomatrix y geotextil de 200gr.

Cámara de secado

Estas cámaras se construyeron para poder hidratar el lodo que se retira de los desarenadores y deslamadores, luego del proceso de secado su posterior retiro

Sedimentadores

Se construye sedimentadores en la poza 4 y 2, así como en el PTAM, para continuar con el proceso de eliminar los sólidos en suspensión. Tienen una capacidad de 180m³.

Se tiene un área de ingreso de agua en el cual se construyó muros para que el agua pase a la siguiente cámara por rebose, hasta el área de bombeo de agua.

Sifón

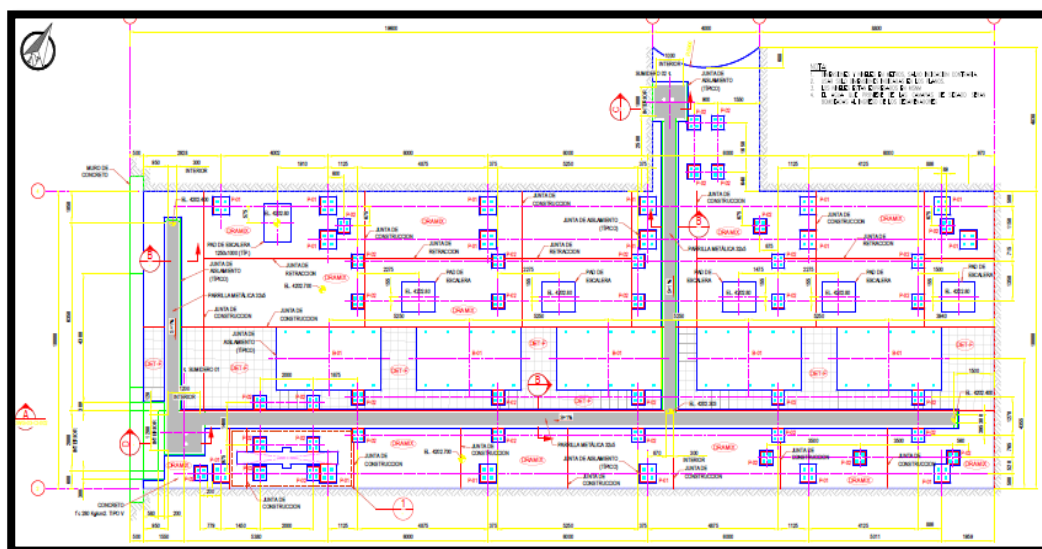
Se construye a la salida del deslamador 4, con una capacidad de 254m³. En el cual se llena con agua proveniente de los deslamadores, para ser bombeados hasta la poza 4A

También cuenta con una pasarela de acceso con su respectiva baranda y un monorriel para poder trasladar la bomba sumergible.

Cámaras de bomba

Se ubica debajo del PTARI, en la cámara 960, donde se construye una cámara para 5 bombas estacionaria, donde la alimentación se va realizar por el sifón, luego bombeados a superficie, por una tubería de 14” que sale de la cámara de bombas hasta debajo del RB 249 en superficie.

Figura. 27. Cámara de bombas CA 960

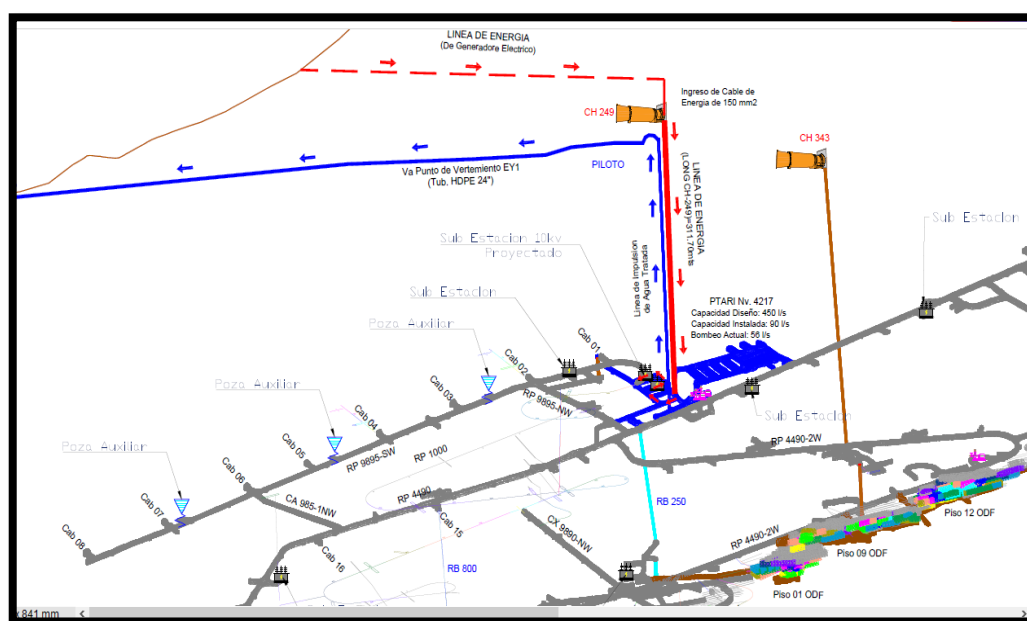


Fuente: Proyectos Yumpag

Chimenea de evacuación de agua

Esta chimenea se construyó para instalar tubería de 14”, abarca 300m desde superficie hasta la cámara de bombas en el 960, de la salida se amplía el diámetro de la tubería a 24”, con tubería de HDPE, el cual llega hasta el río.

Figura. 28. *Chimenea Piloto*



Fuente: Proyectos Yumpag

Energía

La unidad de Yumpag, no cuenta con un sistema de energía, alimentado desde centrales eléctricas, se ha construido una subestación para poder interconectar a la línea de pasco, pero esta etapa todavía no se realiza, razón por la cual se tiene generadores que funcionan con petróleo, teniendo un consumo diario de 5000 galones de petróleo, en los 4 grupos electrógenos instalados, teniendo una capacidad de generación de energía de 3200 Kw.

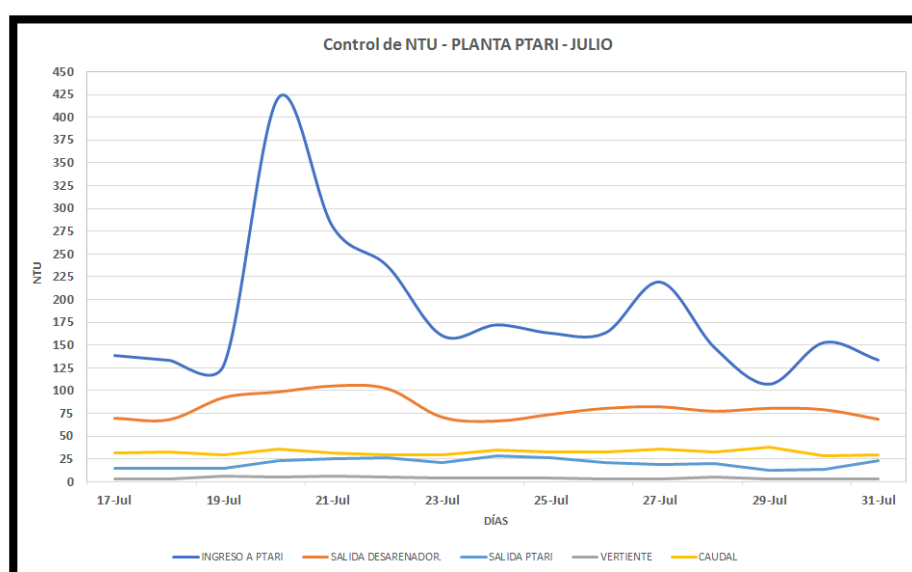
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Presentación de los Datos de Campo

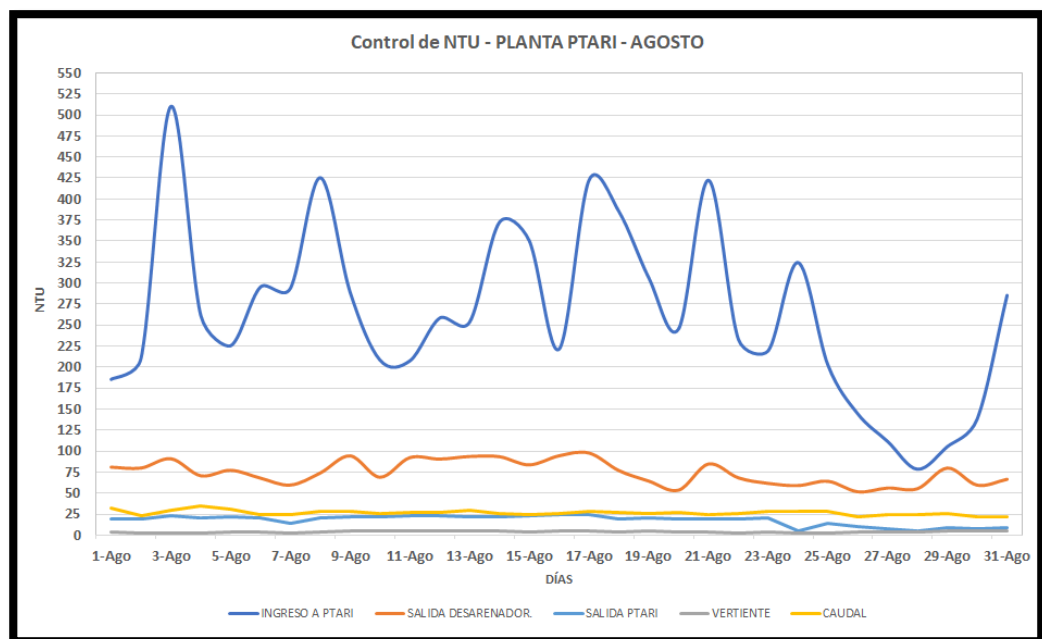
Sistema de bombeo convencional

Tabla 16. Medición de caudales y NTU

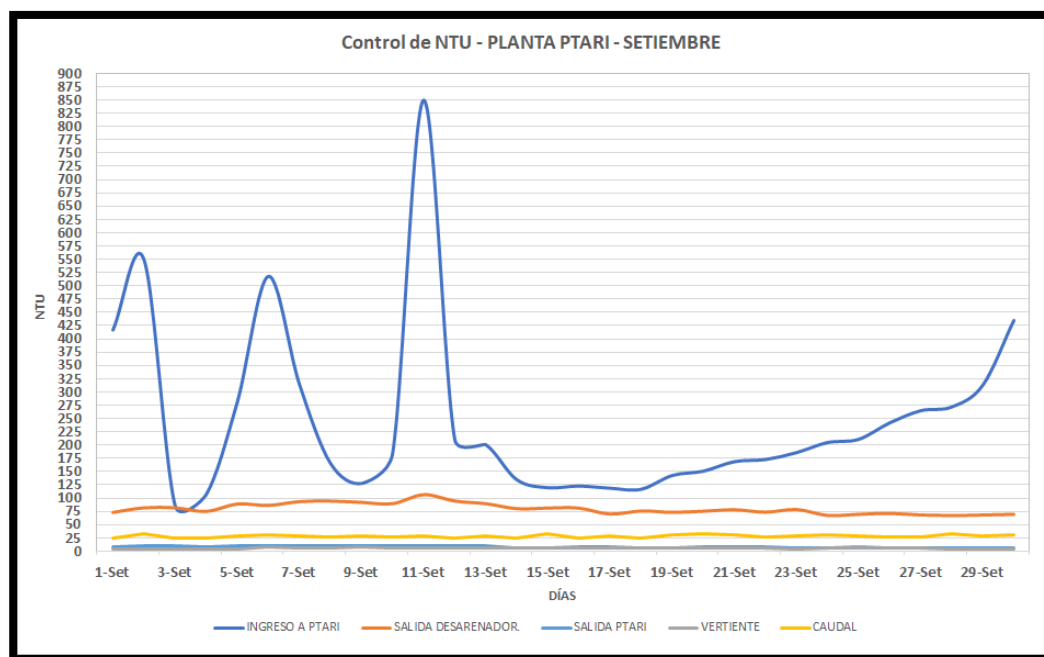
BUENAVENTURA CONTROL DE NTU - PTARI					
DIA	INGRESO A PTARI	SALIDA DESARENADOR.	SALIDA PTARI	VERTIENTE	CAUDAL
18-Jul	134	68.1	14.5	2.9	32.3
19-Jul	129	92.3	15.1	6.5	29.4
20-Jul	422	98.5	23.6	5.0	35.5
21-Jul	280	105.0	25.7	6.7	31.7
22-Jul	237	102.0	26.5	5.2	29.2
23-Jul	161	70.8	21.1	4.5	29.0
24-Jul	173	66.5	28.7	4.3	35.3
25-Jul	163	73.9	26.5	4.4	32.7
26-Jul	164	80.5	21.3	3.3	32.4
27-Jul	220	82.2	18.4	3.5	36.0
28-Jul	148	77.3	19.9	4.6	32.2
29-Jul	108	80.5	12.5	3.0	38.0
30-Jul	0	0.0	13.5	3.4	28.0
31-Jul	134	68.6	23.2	3.2	29.2



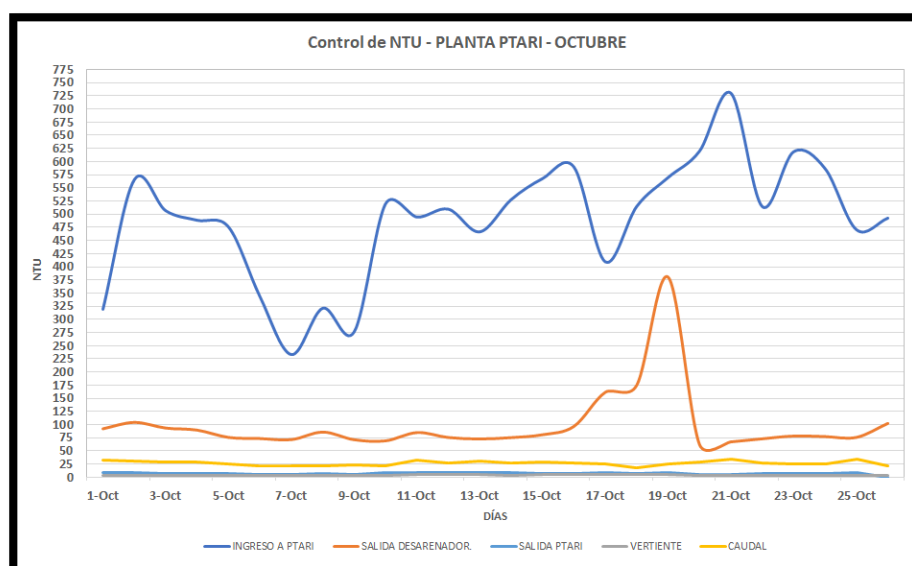
CONTROL DE NTU - PTARI					
DIA	INGRESO A PTARI	SALIDA DESARENADOR.	SALIDA PTARI	VERTIENTE	CAUDAL
1-Ago	185	80.5	19.4	3.5	31.6
2-Ago	210	79.4	18.7	2.8	23.6
3-Ago	510	90.5	23.7	2.8	29.7
4-Ago	261	70.3	20.9	2.8	34.4
5-Ago	225	76.8	21.3	3.4	30.4
6-Ago	295	67.4	20.8	3.9	24.4
7-Ago	293	59.2	13.8	3.0	24.5
8-Ago	425	73.5	20.9	3.9	28.1
9-Ago	289	93.9	21.6	4.3	28.3
10-Ago	208	68.5	22.2	4.6	25.7
11-Ago	207	91.8	22.5	4.8	26.7
12-Ago	258	90.1	22.5	4.9	26.8
13-Ago	253	93.2	22.4	4.8	29.3
14-Ago	372	92.9	22.3	4.9	25.9
15-Ago	350	83.2	23.7	4.2	23.9
16-Ago	221	94.0	24.1	4.4	25.7
17-Ago	422	97.3	25.0	4.6	28.3
18-Ago	385	76.4	19.6	4.0	27.0
19-Ago	306	63.9	20.5	4.9	25.7
20-Ago	245	53.2	19.2	3.5	26.4
21-Ago	422	84.2	19.8	3.1	24.8
22-Ago	233	67.8	19.2	3.0	26.2
23-Ago	219	61.2	20.2	3.9	28.1
24-Ago	324	58.6	5.1	2.9	27.7
25-Ago	202	63.7	13.7	2.9	27.8
26-Ago	144	51.2	9.6	3.3	21.7
27-Ago	111	55.7	8.0	3.1	24.7
28-Ago	78	54.9	5.2	4.1	24.2
29-Ago	105	79.4	9.5	4.5	25.3
30-Ago	138	59.1	7.1	5.0	22.0
31-Ago	285	66.1	8.6	4.5	22.0

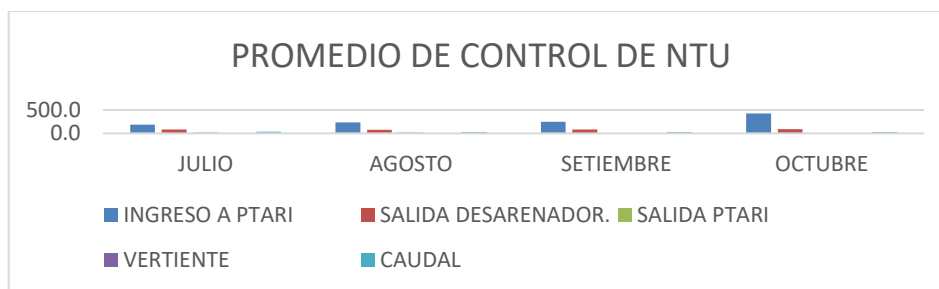


CONTROL DE NTU - PTARI					
DIA	INGRESO A PTARI	SALIDA DESARENADOR.	SALIDA PTARI	VERTIENTE	CAUDAL
1-Set	417	73.3	8.8	4.3	24.2
2-Set	549	81.7	9.0	4.3	33.6
3-Set	86	81.8	9.2	4.8	23.9
4-Set	107	75.2	8.4	4.3	25.0
5-Set	281	88.7	9.1	4.4	27.6
6-Set	518	86.2	10.6	7.1	30.0
7-Set	315	93.2	9.8	6.6	29.3
8-Set	166	94.2	9.9	6.2	26.1
9-Set	128	91.8	10.2	7.2	27.8
10-Set	184	89.4	9.9	6.1	26.8
11-Set	850	106.0	10.2	6.6	29.4
12-Set	211	94.3	10.0	6.1	25.4
13-Set	201	89.4	9.0	6.6	29.6
14-Set	135	80.2	6.0	6.3	25.3
15-Set	120	81.3	6.2	6.2	33.1
16-Set	123	81.2	8.1	6.1	24.5
17-Set	119	70.2	7.1	6.1	28.7
18-Set	117	75.9	6.3	5.4	25.0
19-Set	143	73.4	6.8	5.9	30.2
20-Set	151	75.4	7.2	6.2	33.3
21-Set	169	78.2	7.4	6.9	31.5
22-Set	173	73.7	7.6	5.1	27.0
23-Set	186	78.7	6.4	4.7	27.7
24-Set	205	67.7	6.5	5.0	31.7
25-Set	211	69.7	7.2	5.4	28.6
26-Set	242	71.4	6.6	6.0	27.5
27-Set	265	68.5	5.5	5.1	26.4
28-Set	272	67.4	5.6	4.3	32.3
29-Set	313	68.4	5.5	3.9	28.0
30-Set	435	69.7	5.9	3.7	30.1

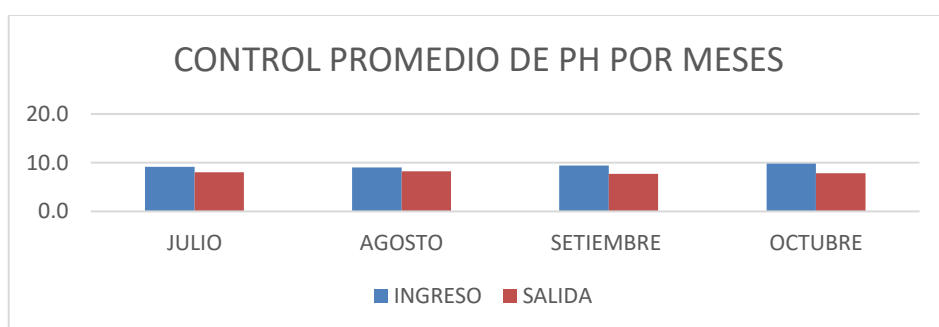


CONTROL DE NTU - PTARI					
DIA	INGRESO A PTARI	SALIDA DESARENADOR.	SALIDA PTARI	VERTIENTE	CAUDAL
1-Oct	320	92.8	7.9	3.7	33.3
2-Oct	566	105.0	8.9	3.4	31.6
3-Oct	507	94.2	6.2	3.2	29.2
4-Oct	489	90.3	6.2	3.3	29.2
5-Oct	476	76.5	6.2	3.7	24.6
6-Oct	344	74.3	5.3	3.3	20.8
7-Oct	234	72.3	5.3	3.3	21.0
8-Oct	322	86.6	6.5	3.3	21.2
9-Oct	277	72.1	5.6	3.2	24.2
10-Oct	520	70.0	8.2	3.7	21.9
11-Oct	495	85.7	8.7	4.8	32.2
12-Oct	510	76.3	8.5	5.5	27.1
13-Oct	467	73.5	8.3	4.3	30.3
14-Oct	528	76.1	8.0	4.0	27.9
15-Oct	568	81.6	7.0	4.7	29.5
16-Oct	590	97.4	6.9	4.7	26.2
17-Oct	410	162.0	9.5	4.6	24.7
18-Oct	515	175.0	7.1	4.5	18.6
19-Oct	570	380.0	8.2	4.7	25.4
20-Oct	620	63.2	5.2	4.2	28.3
21-Oct	730	68.1	5.1	3.5	33.7
22-Oct	515	73.8	6.3	3.5	26.5
23-Oct	619	79.1	7.1	3.9	25.3
24-Oct	587	78.1	6.3	3.6	24.6
25-Oct	471	76.5	8.8	3.4	34.0
26-Oct	493	103.0	5.68	3.4	22.1
27-Oct	506	116.0	5.8	3.3	22.1
28-Oct	0	0.0	5.5	3.4	24.0
29-Oct	0	0.0	5.7	3.2	27.8
30-Oct	0	0.0	5.5	3.2	26.0
31-Oct	0	0.0	5.4	3.3	22.2





	INGRESO A PTARI	SALIDA DESARENADOR. R.	SALIDA PTARI	VERTIENTE	CAUDAL
JULIO	184.1	81.0	20.3	4.2	32.2
AGOSTO	237	76	19	4	28
SETIEMBRE	246	80	8	6	28
OCTUBRE	427	87	7	4	26



	INGRESO	SALIDA
JULIO	9.2	8.0
AGOSTO	9.02	8.23
SETIEMBRE	9.40	7.74
OCTUBRE	9.78	7.85

Tabla 17. Sistema de bombeo convencional

Componentes	Medid	Características
Caudal de agua subterránea	De 40 a 56 litros/segundo Sólido retenido de 300 NTU	Tubería 4" y 8" de diámetro
	90 lt/seg 3.9 NTU	Tubería de 8"
Sifón con 2 bombas	254m3, 90 lt/seg	Concreto armado
Poza de sedimentación y bombas	Capacidad de 180 m3	Muros de concreto
Pozas de superficie	Capacidad 400m3, 3.9 NTU, en promedio	Forrado con geomembrana, el agua llega a la vertiente por gravedad, con 2

Sistema de bombeo Optimizado

En la tabla se presenta la información del sistema de bombeo optimizado:

Tabla 18. Sistema de bombeo optimizado

Componentes	Medidas	Características
Caudal de agua subterránea	De 40 a 56 litros/Segundo	Tubería 8" de diámetro
Planta de floculante	Capacidad de 1000 lt.	Agitador y distribuidor
Planta de soda caustica	Capacidad de m3	Tanques de fierro, Loza de concreto
Planta de neutralizante	Capacidad de 1000 m3	Tanques IBC, bomba peristáltica, Loza de
Pozas desarenadores	Capacidad 200m3	Pozas de concreto con pantalla filtrante
Pozas deslamadores	Capacidad 201 y 194.6 m3	Pozas de concreto con pantalla filtrante
Cámara de secado de	Cámara de 6x4x25m	Loza de concreto, a un costado del desarenador.
Sifón	Capacidad 254 m3.	Construido con concreto armado
Cámara de bombas	Capacidad de 450 l/S.	2 bombas multietapa, de contingencia
Chimenea piloto	1 línea de tubería de 14"	Tubería de acero y
Tubería de descarga	Una línea de tubería de 24"	Tubería de HDPE
Energía	Capacidad de 3200 Kw	Se encuentra construido, falta la interconexión

4.2.2. Análisis e Interpretación de Resultados

El sistema de bombeo se instaló una cámara de bombas, con infraestructura para 5 bombas estacionarias, con una capacidad de bombeo de 450 lt/seg, se incrementa una planta de tratamiento con soda caustica, se pone en servicio la chimenea piloto, por donde se bombea el agua tratada hacia la vertiente, y se mejora con la interconexión para la dotación de energía.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis General

Planteamos la hipótesis siguiente: “Sí se logra implementar el sistema de bombeo para, eliminar el agua subterránea de las labores inferiores de la profundización de la mina entonces habremos optimizado el drenaje subterráneo de la unidad Yumpag.”

Como se evidencia en los resultados, la implementación de los componentes del sistema de bombeo —seleccionados y validados metodológicamente— permitió drenar eficientemente el agua subterránea de los niveles inferiores de la unidad minera Yumpag. En comparación con los datos iniciales (previos a la intervención), se observa:

Reducción significativa de niveles de agua:

Disminución del volumen acumulado en pozas de sedimentación y galerías.

Optimización del caudal manejado:

Aumento de la capacidad de extracción, alcanzando los caudales proyectados para el drenaje.

Mejora en la calidad del agua:

Reducción de sólidos suspendidos previo al vertimiento, cumpliendo estándares ambientales.

Impacto demostrado:

Los componentes instalados (bombas, tuberías, válvulas de alivio) operan en sinergia para minimizar riesgos de inundación y cavitación.

La validación in situ confirma que el sistema responde a las hipótesis planteadas: mayor eficiencia en el drenaje y sostenibilidad operativa.

Estos resultados no solo justifican la inversión en infraestructura, sino que establecen un precedente para la replicabilidad del modelo en otras unidades mineras con desafíos hidrológicos similares.

4.3.2. Hipótesis Específica

Primera hipótesis específica

A nivel específico planteamos: “Sí se determina la capacidad de bombas necesarias entonces se podrá evacuar el agua subterránea desde los topes hacia superficie, con el mínimo de NTU y PH en la unidad Yumpag.”

La instalación de dos bombas estacionarias de mayor capacidad optimizó el sistema de bombeo, incrementando significativamente la extracción de agua subterránea en la unidad minera Yumpag. Esta mejora permitió:

Evacuar volúmenes mayores en menor tiempo.

Garantizar operación continua con redundancia ante fallos.

Reducir riesgos de inundación y cavitación.

Los resultados confirmaron una solución eficiente y escalable para el drenaje minero.

Segunda hipótesis específica

A nivel específico planteamos: “Si se determina el funcionamiento y componentes del sistema de bombeo entonces se podrá evacuar el agua subterránea de los topes de rampa en la unidad Yumpag.”

El sistema opera de forma automatizada, con sensores de nivel en pozas que regulan el encendido y apagado de las bombas. La mayor capacidad y cantidad de componentes instalados permite evacuar eficientemente el agua subterránea de los frentes de rampa y labores de desarrollo, asegurando un drenaje continuo y minimizando la intervención manual.

Tercera hipótesis específica

A nivel específico planteamos: “Sí se determina el contenido máximo de sólidos en suspensión del agua de la mina subterránea entonces se podrá evacuar el agua en la unidad Yumpag”

Se logró reducir el contenido de sólidos suspendidos de 300 NTU a 3.9 NTU mediante la instalación de una planta floculante, cumpliendo con los estándares ambientales para el vertimiento. Como resultado, se permite la evacuación eficiente del agua desde los topes de rampa hacia el sistema de descarga, eliminando riesgos de sedimentación y obstrucción en el sistema de bombeo.

4.4. Discusión de resultados

Resultados de la Implementación del Sistema de Bombeo

La optimización del sistema de bombeo en la Unidad Minera Yumpag de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. obtuvo resultados significativos:

Capacidad de bombeo incrementada de 56 Lt/seg a 450 Lt/seg, lo que representa un aumento del 704%.

Evacuación eficiente de agua subterránea desde los niveles inferiores hasta la superficie.

Reducción de riesgos operativos (inundaciones, sedimentación) y cumplimiento de normativas ambientales.

Estos resultados validan el éxito de la implementación y la escalabilidad del sistema para futuras expansiones.

Que, en épocas de Lluvia, la capacidad del PTARI, era insuficiente, teniendo problemas de inundación, significaba valores menores del caudal de drenaje de las aguas subterráneas.

Sin embargo, es muy importante resaltar que la construcción de la cámara de bombas, mejorar la planta de tratamiento de agua, la construcción de la chimenea piloto, han hecho posible alcanzar los objetivos del trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

1. La implementación del sistema de bombeo optimizó el drenaje de aguas subterráneas en los topes de rampa 2W, Integración y Tomasa de la Unidad Minera Yumpag, incrementando la capacidad de bombeo de 56 Lt/seg a 450 Lt/seg (704%) y reduciendo los sólidos suspendidos de 300 NTU a 3.9 NTU. Los resultados validan la eficacia del sistema para eliminar riesgos de inundación y cumplir con normativas ambientales.
2. Con la implementación del sistema de bombeo se tendrá la confiabilidad de drenar el agua en forma sostenible, garantizando la continuidad de labores y el avance en 2w, integración y Tomasa, porque el Sistema está previsto para drenar caudales de 450 litros por segundo.
3. El uso del PTARI, nos garantizan el bombeo con el mínimo NTU a la vertiente.
4. En las épocas de Lluvia se incrementa el caudal del agua por las filtraciones, pero con la puesta en marcha de la cámara de bombas del Nv 960 y su evacuación a superficie con tuberías de 14" garantiza el drenaje.
5. La limpieza continua de los desarenadores y deslamadores en forma periódica garantiza la vida útil de las pozas y el tratamiento del agua antes de ser bombeados a superficie.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir monitoreando el caudal de aguas subterráneas de niveles inferiores, así como la aparición de nuevas fuentes de agua para determinar cuánto incrementa el caudal del agua
2. Se recomienda centrarse en los costos que origina el Sistema de bombeo, y analizar cuanto afecta seguir utilizando la energía eléctrica suministrado por grupos generadores.
3. Evaluar la mejora continua dentro de componentes de las bombas, ya sea impulsores con mayor rendimiento en las pozas de captación de agua, instalación de válvulas de Alivio para evitar golpes de ariete.
4. Mejorar la disposición de lodos de la cámara de lodos, por la demora en la hidratación del lodo.
5. Automatizar el suministro de floculante y neutralizante, para un mayor control del agua tratada.
6. Fomentar la construcción de pozas de sedimentación en las pozas de captación, para poder disminuir los sólidos en suspensión, antes de su bombeo a PTARI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Área de planeamiento, UNIDAD YUMPAG

Área de exploraciones, UNIDAD YUMPAG

Área de Medio Ambiente, UNIDAD YUMPAG

Área de mina, UNIDAD YUMPAG

Área de proyectos, UNIDAD YUMPAG

Área de Control de explosivos, FAMESA, UNIDAD YUMPAG

Reglamento de seguridad e higiene minera – DS 024-2016 y su modificatoria DS-023
2017 EM.

Empresa Geo hidráulica, Uchucchacua

Sistemas de bombeo en minería, Cesar Cardona 2021

Métodos de tajeo, William Diaz, 2018

Introducción al drenaje minero, Juan Herrera 2009

Ruhrpumpem, Manual de bomba estacionaria. México 2021

<https://www.bermad.com/app/uploads/2016/06/ww-740q-spanish.pdf>

<https://geohidraulica.com/sistema-de-bombeo-tipos-y-sus-funciones/>

<https://www.cindex.com.mx/bombas/guia-completa-sobre-los-componentes-de-un-sistema-de-bombeo/>

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3677/Rojas%20Perez.pdf?sequen>

http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2681/1/T026_40573871_T.pdf

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13732/1/IV_FIN_108_TE_Pino_Licla_2023.pdf

https://www.uv.mx/veracruz/miaplicada/files/2021/07/Tesis_Carlos-Alberto-Martinez-Farias.pdf

<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/d820f082-e075-40f5-9e5f-8724830b930d>

ANEXO

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos son:

Caudal:

Caudalímetro digital marca FLUXUS, modelo F601.

Medición de turbidez del agua

Medidor de Ph digital, marca Hash, modelo HQ.

Turbidimetro digital, marca Hash, modelo 2100Q

ANEXOS

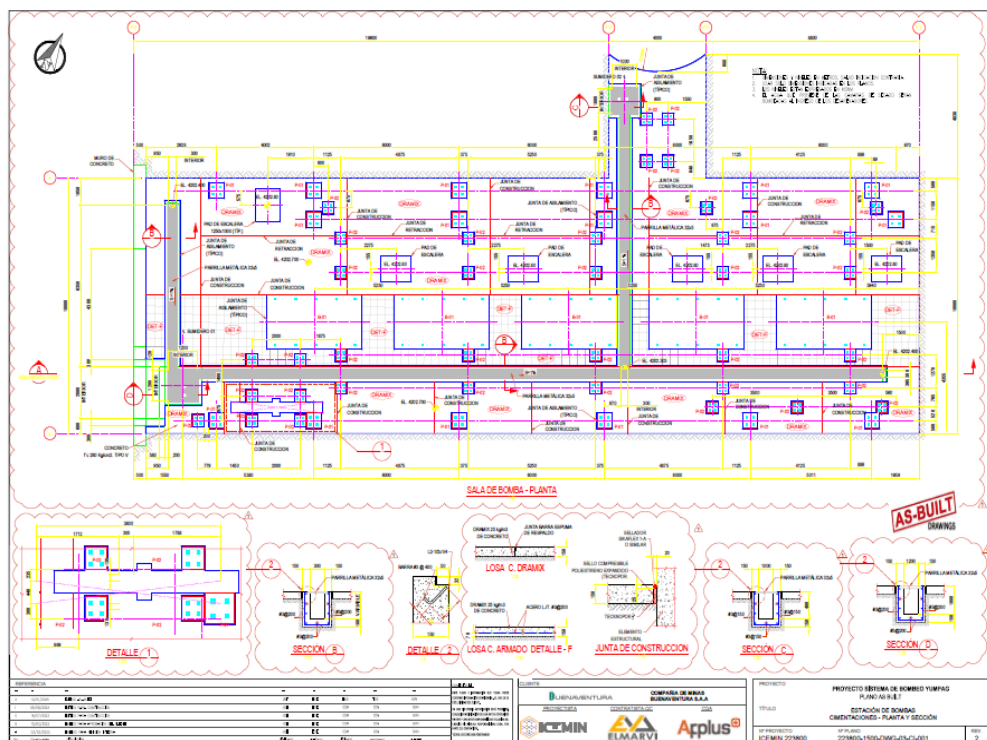
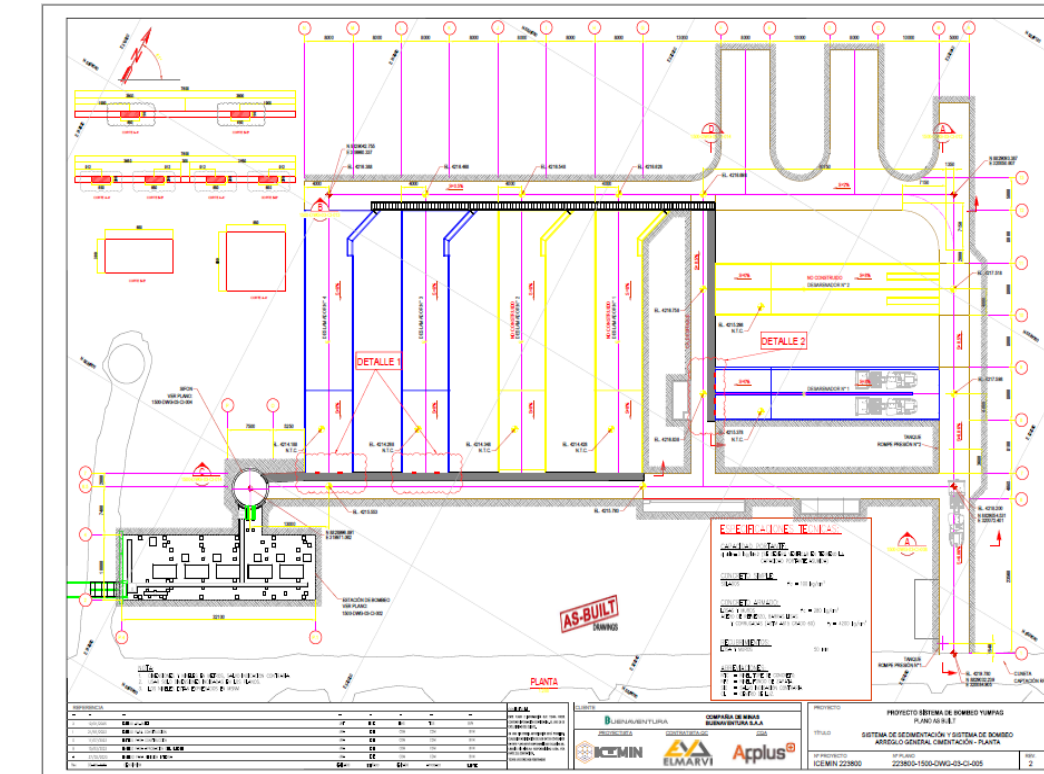
MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Implementación del sistema de bombeo para optimizar el drenaje en unidad Yumpag”							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	SUBDIMENSIONES	POBLACION	DISEÑO
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPÓTESIS GENERAL:	INDEPEN – DIENTE				METODO
¿Cómo sería el sistema de bombeo para optimizar el drenaje de tope de rampa 2w, integración y Tomasa hasta el PTARI y Superficie	Implementar el sistema de bombeo del PTARI hasta superficie para el drenaje del agua de interior mina de la Unidad Yumpag.	Si se logra implementar el sistema de bombeo, para controlar, eliminar, el agua subterránea de las labores inferiores de la mina, entonces habremos optimizado el drenaje subterráneo en unidad Yumpag, con NTU bajo	Caudal del agua subterránea	Caracterización del agua subterránea Tiempo de acumulación del agua en las pozas	Tipo de agua PH Presencia de lodos Caudal Velocidad de acumulación	La población está representada por el caudal total de todas las aguas subterráneas de las labores mineras de la unidad Yumpag	Tecnológica Operativa
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECIFICO:	HIPÓTESIS ESPECIFICA:	DEPENDIENTE			MUESTRA	NIVEL DE INVESTIGACIÓN
¿Cómo se va ejecutar la evacuación del agua desde los niveles inferiores hasta el PTARI y luego a superficie en unidad Yumpag?	Determinar la capacidad de las bombas para evacuar el agua el PTARI hasta superficie, en unidad Yumpag	Sí se determina la capacidad de las bombas necesarias, entonces se podrá evacuar el agua subterránea desde el PTARI hasta superficie, en unidad Yumpag		Tipo de Bomba	HP de motor eléctrico	La muestra está representada por el caudal de agua subterránea concentrada en los niveles inferiores	Descriptivo, explicativo y de correlación.

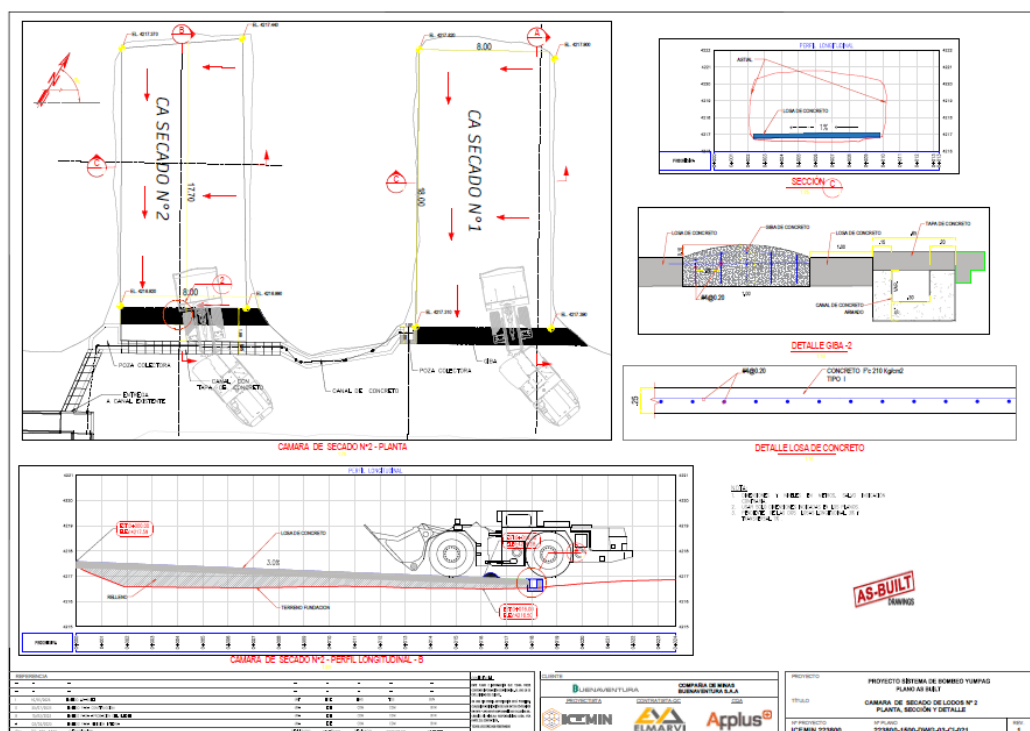
							DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
¿Cómo será el funcionamiento de las bombas y sus componentes del sistema de bombeo desde los niveles inferiores hasta el PTARI, luego a superficie, en unidad Yumpag?	Determinar el funcionamiento y sus componentes del sistema de bombeo desde los niveles inferiores hasta el PTARI, y luego a superficie, en unidad Yumpag.	Si se determina el funcionamiento y sus componentes del sistema de bombeo, entonces se podrá evacuar el agua subterránea desde el PTARI a superficie, en unidad Yumpag.	Capacidad de bombas Diámetro de las tuberías	Tipo de tuberías	Diámetro		OG = O1O2 HG=R1R2 OG=C1C2... 01,...03=Evaluación De los objetivos R1,...R3= Resultados y demostración de hipótesis. C1...c3= Conclusiones de la investigacion

PLANO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL

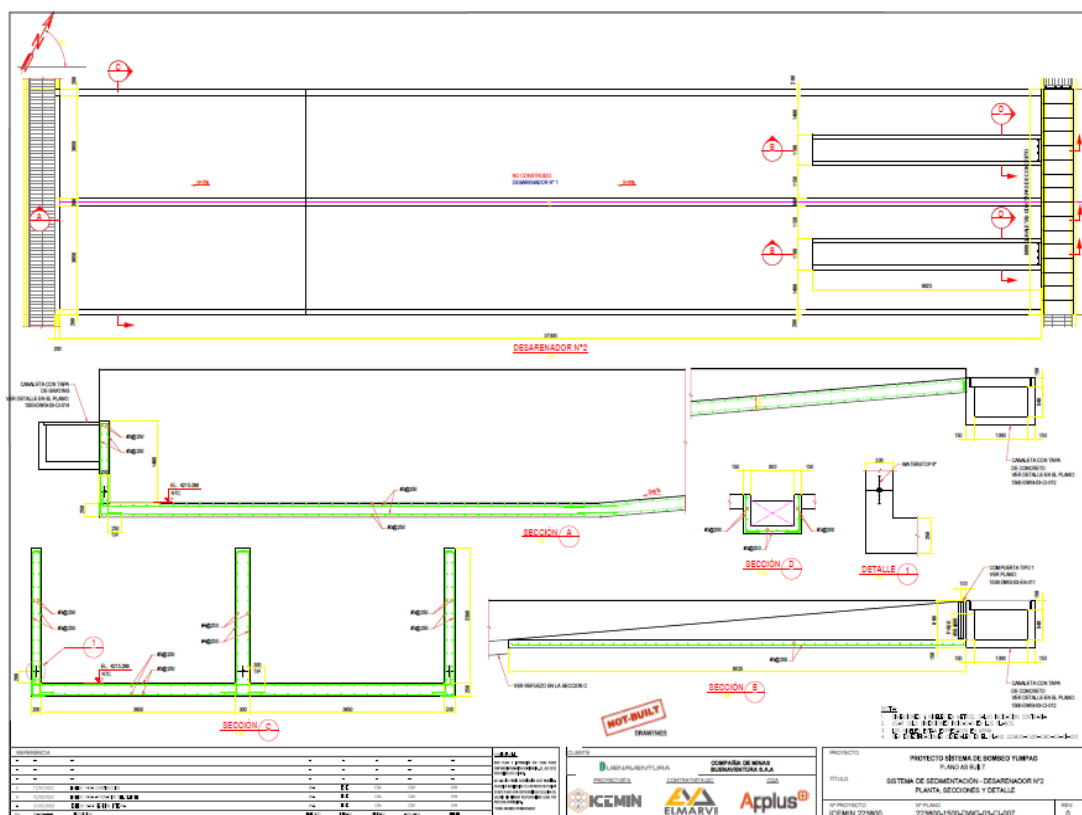
PLANO DE CAMARA DE BOMBAS ESTACIONARIAS



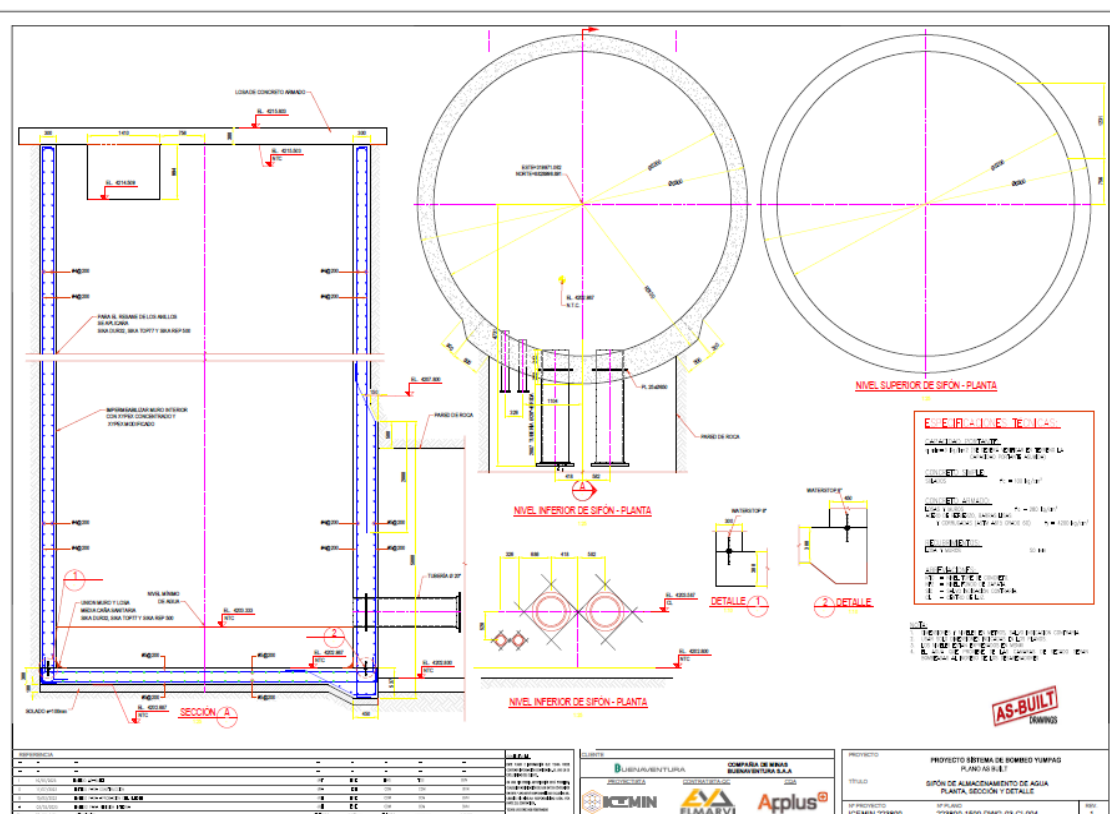
PLANO DE CAMARA DE SECADO



PLANO DE DESARENADORES



PLANO DE SIFON



La validación y confiabilidad de sistemas de bombeo implican verificar el rendimiento (caudal, turbidez del agua) frente a las curvas de diseño y monitorear variables críticas (vibración, temperatura) para prevenir fallas. Los procedimientos incluyen monitoreo de caudales, así como medición de turbidez del agua al ingreso y salida a la vertiente.

Procedimientos de Validación (Pruebas de Funcionamiento)

- **Pruebas de Rendimiento:** Medición directa de caudal, presión de descarga y succión, revoluciones por minuto (RPM) y potencia consumida para verificar que las bombas operen cerca de su punto de mejor eficiencia.
- **Inspección de Vibraciones:** Medición de vibración radial y axial para detectar problemas en rodamientos, sellos o desalineación.

- **Pruebas Funcionales Automatizadas:** Validación del arranque automático, paneles de control, sistemas de cebado y sistemas de enfriamiento/lubricación.
- **Pruebas de Caudal:** Extracción de agua durante un tiempo prolongado para verificar el comportamiento de la bomba bajo carga real.

Procedimientos de Confiabilidad

- **Análisis RAM:** Evaluación general del sistema (diseño físico, histórico de fallas) para calcular confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.
- **Análisis de Criticidad:** Identificación de los equipos críticos del sistema y aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para aumentar la disponibilidad.

Factores Críticos para la Evaluación

- **Operación fuera de diseño:** Operar a caudal muy alto (sobrecarga/vibración) o muy bajo (recirculación/sobrecalentamiento) reduce drásticamente la vida útil.