

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Mejoramiento del sistema de bombeo para la  
evacuación de aguas subterráneas en Sociedad  
Minera El Brocal - Unidad Colquijirca**

Marcial Pino Licla

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Lima, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Jersoon Jesús Lazo Huaynalaya  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 4 de octubre de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: “**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA EVACUACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN SOCIEDAD MINERA EL BROCAL – UNIDAD COLQUIJIRCA**”, perteneciente al estudiante **MARCIAL PINO LICLA**, de la E.A.P. de **Ingeniería Industrial**; se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 20) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
**(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Marcial Pino Licla, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 42779477, de la E.A.P. de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA EVACUACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN SOCIEDAD MINERA EL BROCAL – UNIDAD COLQUIJIRCA**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

07 de Octubre de 2023.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## Revisión Tesis

### ORIGINALITY REPORT

<b>19%</b> SIMILARITY INDEX	<b>18%</b> INTERNET SOURCES	<b>1%</b> PUBLICATIONS	<b>10%</b> STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	------------------------------

### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Student Paper	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>pavcowavin.com.co</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.undac.edu.pe</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>6</b>	<b>s543388e92c771965.jimcontent.com</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>vdocuments.es</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>

10	<a href="http://repositorio.uptc.edu.co">repositorio.uptc.edu.co</a> Internet Source	1 %
11	<a href="http://dspace.uclv.edu.cu">dspace.uclv.edu.cu</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
13	Submitted to Universidad Peruana de Las Americas Student Paper	<1 %
14	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
18	Submitted to Universidad Abierta para Adultos Student Paper	<1 %
19	<a href="http://edoc.tips">edoc.tips</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="http://listings.plasticpipe.org">listings.plasticpipe.org</a> Internet Source	<1 %

Exclude quotes  On

Exclude matches  < 20 words

Exclude bibliography  On

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por haberme guiado y fortalecido cuando creía que no podría realizarlo. Gracias, mi Dios por todo.

Al Ing. Edgar Andrés Roque Ortiz y al Ing. Edgard Atencia Daga, por sus lecciones y oportunidades y a todo el grupo de profesionales del área de mina de la unidad minera Tambomayo, quienes fueron una fuente de inspiración y superación.

Al Ing. Eliazar Aranguez, por haber contribuido con su aporte en el avance de mi tesis.

Al Ing. Braulio Calapuja Condori, quien me impulsó e incentivó a iniciar mi carrera profesional.

A todos ustedes, mis más afectuosos agradecimientos.

***Marcial***

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Mili, por su apoyo incondicional y su gran corazón, a mis hijas Valeria y Antonela, este logro es para ustedes las amo.

A mi madre, por su infinito amor y sus enseñanzas de vida, a mi padre, QEPD, Marcial Pino Aguilar, un ejemplo de superación.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimientos.....</b>	<b>vi</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>xii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>xv</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>16</b>
<b>Planteamiento del estudio.....</b>	<b>16</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1. Problema general.....	17
1.1.2. Problemas específicos .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia .....	18
1.3.1. Justificación teórica.....	18
1.3.2. Justificación práctica .....	18
1.3.3. Justificación metodológica.....	18
1.3.4. Justificación económica .....	18
1.4. Limitaciones de la investigación.....	14
<b>Capítulo II .....</b>	<b>20</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes .....	20
2.1.1. Internacionales .....	20
2.1.2. Nacional .....	21
2.2. Bases teóricas .....	19
2.2.1. Sistema de bombeo.....	19
2.2.2. Bombas hidráulicas .....	24
2.2.3. Curva característica de la bomba.....	24
2.2.4. Curva de operación del sistema.....	25
2.2.4.1. Carga estática total .....	25
2.2.4.2. Carga dinámica total.....	25

2.2.4.3. Carga total del sistema.....	26
2.2.5. Clasificación general de las bombas.....	26
2.2.5.1. Bombas de desplazamiento positivo.....	26
2.2.5.2. Bombas rotodinámicas .....	27
2.2.6. Bombas sumergibles.....	28
2.2.7. Sistema de tuberías .....	29
2.2.7.1. Tuberías de aspiración .....	29
2.2.7.2. Tuberías de impulsión .....	29
2.2.7.3. Tanque de aspiración y descarga .....	29
2.2.8. Cálculo de concentración de sólidos .....	29
2.2.8.1. Se hallarán concentración de sólidos en peso y volumen, densidad de la pulpa .....	29
2.2.8.2. Velocidad límite .....	30
2.2.8.3. Factor de calidad de junta soldada, <i>ej</i> .....	30
2.2.8.4. Aumento en el factor de calidad .....	30
2.2.8.5. Espesor de diseño por presión, <i>t</i> .....	31
2.2.8.6. Espesor mínimo de tuberías de HDPE por presión .....	31
2.2.8.7. G. Base de diseño hidrostático, HDB .....	28
2.2.8.8. Factor de diseño de temperatura de servicio, <i>fT</i> .....	28
2.2.8.9. Tiempo de vida útil de la tubería .....	29
2.2.8.10. Inspección ultrasónica.....	29
2.2.8.11. Criterio de determinación del espesor mínimo de retiro.....	29
2.2.8.12. Cálculo de la vida útil de la tubería.....	34
2.2.9. Consideraciones de diseño .....	34
2.2.10. Modelo CPAM .....	35
2.3. Definición de términos básicos .....	31
<b>Capítulo III.....</b>	<b>37</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>37</b>
3.1. Método, y alcance de la investigación .....	37
3.2. Diseño de la investigación .....	37
3.3. Población y muestra .....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>39</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>39</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	39

4.1.1. Evaluación de la situación actual del sistema de bombeo de la sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca .....	39
4.1.2. Sistemas de bombeo y drenaje de aguas subterráneas.....	37
4.1.3. Sistema de bombeo.....	46
4.1.4. Estación poza 3912.....	48
4.1.5. Propuesta de mejora del sistema de bombeo .....	45
4.1.5.1. Memoria de cálculos: cálculo de velocidad crítica, presiones del sistema, selección del equipo de bombeo y potencia. ....	46
4.1.6. Opciones para mejorar.....	49
4.1.6.1. Túnel para evacuar aguas .....	49
4.1.6.2. Incrementar la potencia de las electrobombas .....	49
4.1.6.3. Integración del sistema de bombeo rampa 1462 y rampa 8942.....	49
4.1.7. Análisis económico financiero de la propuesta .....	58
4.2. Discusión de resultados .....	59
<b>Conclusiones .....</b>	<b>65</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>66</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de un sistema de bombeo .....	19
Figura 2. Electrobomba sumergible .....	24
Figura 3. Curva característica de electrobomba sumergible .....	25
Figura 4. Curva de operación del sistema .....	26
Figura 5. Clasificación de las bombas de agua .....	27
Figura 6. Estructura interna de una bomba sumergible .....	28
Figura 7. Estructura interna de una bomba sumergible .....	29
Figura 8. Estaciones del sistema de bombeo.....	40
Figura 9. Condición de labor de trabajo en época de lluvia.....	36
Figura 10. Demanda de energía en mina.....	37
Figura 11. Circuito de bombeo actual .....	38
Figura 12. Problemas internos en vías .....	38
Figura 13. Acumulación de lama y detritos .....	39
Figura 14. Programa de limpieza de pozas .....	44
Figura 15. Bombeo de aguas por guardia .....	45
Figura 16. Ubicación poza nivel 4032 .....	45
Figura 17. Operación bomba 58 HP .....	46
Figura 18. Perfil longitudinal estación de bombeo 3912 .....	48
Figura 19. Curva del sistema hidráulico actual.....	45
Figura 20. Ábaco de Durand.....	47
Figura 21. Cálculo de distancia de descarga .....	48
Figura 22. Características de la bomba .....	48
Figura 23. Curva de operación del sistema en rampa 1462 .....	54
Figura 24. Generación de agua en la rampa 1462 rampa 8942.....	55
Figura 25. Presencia de fuga de agua en exploración .....	56
Figura 26. Integración del sistema de bombeo mejorado .....	57
Figura 27. Detalle del sistema de bombeo propuesto .....	57
Figura 28. Poza principal de bombeo propuesto.....	58
Figura 29. Caudales de bombeo.....	55
Figura 30. Análisis de los costos por tonelada métrica.....	57
Figura 31. Costo de capital económico.....	58
Figura 32. Costo de capital económico.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones para sólidos.....	30
Tabla 2. Factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios, Ej.....	31
Tabla 3. Cuadro resumen de HDS a 23 °C .....	28
Tabla 4. Cuadro resumen a diferentes temperaturas PE 4710 .....	29
Tabla 5. Ubicación de las bombas por niveles .....	37
Tabla 6. Costo unitario operativo de bombas .....	43
Tabla 7. Datos de sistema de bombeo actual .....	48
Tabla 8. Caudales de nuevo sistema de bombeo.....	56
Tabla 9. Cálculo de costos de recursos usados .....	58
Tabla 10. Fore cast.....	56
Tabla 11. Costo de precio de Bomba 58 HP y 300 HP.....	57

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad proponer el mejoramiento del sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas del nivel 3912 al nivel 4032 en la empresa minera El Brocal – unidad Colquijirca modificando conexiones de tuberías, utilizando accesos de galerías e infraestructura creada para otras labores de explotación. el problema identificado se encuentra especialmente en el nivel 3912, porque no existe un adecuado sistema de bombeo, el que provoca inundaciones continuas en los niveles inferiores al nivel 3912, paradas en la extracción de mineral, mantenimiento de vías no planificadas, alta 58 *horsepower* (HP) rotación de bombas. El sistema de bombeo, actualmente consta de 2 líneas de bombeo cada una por la rampa 1462 y la rampa 8942. En total en ambas rampas se tiene 11 bombas de HP cada una de ellas ubicadas en serie en sus respectivas líneas de bombeo con descarga en el nivel 4032. Para mejorar este problema que deriva del uso de estas bombas, se propone retirar 09 bombas de 58 HP (5 bombas de la rampa 1462 y 04 de la rampa 8942) y ser reemplazadas por 01 bomba de 300 HP y así integrar una sola línea de bombeo de la rampa 1462 y la rampa 8942 con descarga en la poza del nivel 4032.

La metodología consiste en realizar un análisis del sistema de bombeo, la operación interna además de los aspectos técnico-hidráulicos. Se tomarán en cuenta los reportes mensuales de caudal, mantenimiento, uso de energía eléctrica, verificación de los reportes operativos, de horas de operación, vida útil, así como el estado de los elementos complementarios del sistema de bombeo. Como resultado se tendría un sistema de bombeo mucho más eficiente, con menos componentes constitutivos que generaría ahorro de energía, costos de operación, mantenimiento de vías, mantenimiento de equipos (bombas), y restar horas de parada en la extracción por inundaciones.

**Palabras claves:** costos de operación, mantenimiento, sistema de bombeo

## ABSTRACT

The objective of this research work is to propose the Improvement of the Pumping System for the evacuation of groundwater from Level (Lv) 3922 to Level 4032 in the El Brocal Mining Society - Colquijirca Unit modifying pipe connections, using access galleries and infrastructure created for other exploitation tasks. The problem identified is found especially at Level 3922, because there is no adequate pumping system, which causes continuous flooding at levels below level 3912, stoppages in mineral extraction, unplanned road maintenance, high pump rotation. The current pumping system consists of 02 pumping lines each one through rampa 1462 and rampa 8942. In total, in both ramps there are eleven pumps of 58 HP each one of them located in series in their respective pumping lines with discharge at level 4032. To improve this problem that derives from the use of these pumps, it is proposed to remove 09 58 HP pumps (05 pumps from rampa 1462 and 04 from rampa 8942) and be replaced by 01 pump of 300 HP and thus integrate a single pumping line of rampa 1462 and rampa 8942 with discharge in the Poza del Nivel 4032.

The methodology consists of conducting an analysis of the previous pumping system, the internal operating conditions as well as the technical-hydraulic aspects. The monthly reports of flow, maintenance of electrical energy consumption, verification of pump reports, hours of operation, useful life, as well as the status of the complementary elements of the pumping system will be considered. As a result, there would be a much more efficient pumping system, with fewer constituent components that would generate energy savings, operating costs, road maintenance, equipment maintenance (pumps), and subtract hours of stoppage in the extraction due to floods.

**Keywords:** maintenance costs, operation, pumping system

## INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación: mejoramiento del sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas en sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca se contó con la colaboración inestimable de los ingenieros y trabajadores de la empresa, así como del personal de las empresas tercerizadas.

La optimización del sistema actual de bombeo se centra en el análisis y estudio para el reemplazo de un sistema de bombeo que consta de 11 bombas distribuidas en 2 rampas de operaciones mineras que en conjunto han presentado una serie de inconvenientes en el drenaje respectivo de las aguas residuales. El sistema de bombeo propuesto contará con una sola línea de bombeo principal con 2 de líneas de alimentación de la profundización, en el proyecto se incluye los accesorios necesarios que deberán ser capaces de trasladar el caudal generado del fluido a través del sistema de bombeo.

Para el desarrollo del estudio de tesis se ha establecido los siguientes capítulos:

El capítulo I, comprende aspectos referidos al planteamiento del problema, la formulación del problema, los objetivos, en ambos casos general y específicos, así como de la justificación e importancia.

En el capítulo II, comprende el desarrollo del marco teórico conformado por antecedentes internacionales y nacionales, las bases teóricas que fundamentan el estudio y los términos básicos.

En el capítulo III, comprende la metodología de estudio, identificándose el método, tipo, alcance y diseño de investigación, asimismo, se definen la población y muestra del estudio.

En el capítulo IV, comprende el análisis actual del sistema de bombeo que incluye la descripción y análisis para dar paso a la propuesta de solución, discusión de resultados, conclusiones y por último recomendaciones.



## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El uso y gestión eficiente del agua es muy importante para las actividades de explotación y procesamiento en la industria minera, por ese hecho, debe ser analizada y usada respetando las normas y reglamentos durante cada ciclo operativo y de desarrollo.

Debido a ello, es necesario contar con la infraestructura adecuada al volumen de bombeo. Cabe indicar que las aguas subterráneas en mina se incrementan, conforme las operaciones de extracción y producción se van profundizando acrecentándose este efecto en las épocas de lluvias o nevada. El agua es vital en las actividades diarias y también lo es en las operaciones mineras debido a los beneficios que trae, pero si esta no tiene métodos apropiados de captación, control y direccionamiento, puede causar impacto negativo en las operaciones indicadas líneas arriba, impactando económicamente y rentable a la empresa. «{...} el drenaje de las minas subterráneas se hace para evitar la inundación mediante los métodos tradicionales de bombeo o gravedad» (1).

El drenaje de las aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 en la minera El Brocal, posee un sistema de drenaje con 11 bombas de 58 HP ubicados en serie, con los que se evacúan las aguas subterráneas con tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) de 4" desde la profundización de cada rampa hasta el nivel 4032. Actualmente, este sistema de bombeo presenta las siguientes debilidades:

- Reboses de agua en las pozas que afectan las vías en consecuencia paradas en la extracción de mineral y desmante.
- Deficiente limpieza de pozas que ocasionan fallas prematuras en las bombas.
- Inundaciones en la profundización de la rampa 1462 y rampa 8942 que ocasionan la paralización de los frentes de avance.

Es debido a los problemas mencionados, que el presente trabajo de tesis busca mejorar el sistema de bombeo a través de una propuesta para evacuar las aguas subterráneas en las rampas 1462 y 8942 con la finalidad de optimizar los procesos en interior de mina modificando conexiones de tuberías.

#### **1.1.1. Problema general**

- ¿Cómo mejorar el sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 de sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la situación actual del sistema de bombeo de evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 de sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca?
- ¿Cuáles son los beneficios que se obtendrán con la mejora del sistema de bombeo de evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 de sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

- Proponer la mejora del sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 de sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar el análisis de la situación actual del sistema de bombeo de evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 de sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca.

- Evaluar los beneficios que se obtendrán con el mejoramiento del sistema de bombeo de evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462 y la rampa 8942 de sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

Esta investigación tiene una justificación teórica porque se recopilará información de diferentes fuentes literarias que servirán para tener un punto de vista más claro de los fundamentos de sistemas de bombeo y evacuación de aguas subterráneas en minería.

#### **1.3.2. Justificación práctica**

Esta investigación tiene una justificación en la práctica porque la propuesta del mejoramiento del sistema de bombeo proporcionará una alternativa que pueda cumplir con las necesidades de la empresa relacionadas a la evacuación de las aguas subterráneas cumpliendo con aspectos de seguridad.

#### **1.3.3. Justificación metodológica**

Esta investigación tiene una justificación en lo metodológico porque la propuesta del mejoramiento del sistema de bombeo añade distintas herramientas para el control y análisis de evacuación de aguas subterráneas.

#### **1.3.4. Justificación económica**

El mejoramiento del sistema de bombeo obedece a una demanda de optimización de los recursos mediante una nueva organización que sea más eficiente y que procure que no haya cruces ni demoras en las actividades. Además, se pronostica que para la ejecución de las mejoras planteadas se requiere una inversión de \$ 129 028.6 lo que representaría en ahorro anual de \$ 459 348.8 en la operación del sistema de bombeo en la rampa 1462 y la rampa 8942.

### **1.4. Limitaciones de la investigación**

El alcance del trabajo de investigación es realizar el análisis para determinar las necesidades de diseño y construcción de un sistema de bombeo más eficiente que pueda ayudar a cumplir los objetivos de producción, seguridad, calidad y control de tiempo de la empresa minera.

Asimismo, las limitaciones están enmarcadas a las variables hidrogeológicas presentes en el interior de las labores de la empresa minera. El agua subterránea presente en operaciones mineras puede estar a poca profundidad interrelacionándose con las aguas superficiales o hallarse a una profundidad mayor sin interrelación con las aguas superficiales. Ante este hecho, existen dos formas de evacuar las aguas subterráneas, la primera es construyendo túneles cuyos costos de inversión pueden ser altos y la segunda es a través de sistemas de bombeo que es el método mayormente usado.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Internacionales**

Ortíz (14), en su trabajo «Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector A - mina Calenturitas, propiedad de C. I. Prodeco S. A., La Loma, Cesar», identificó como problema la presencia en época de lluvia genera la suspensión temporal de las actividades de los equipos de carga y acarreo con lo que se afecta la producción normal dentro de la mina. El trabajo tuvo como objetivo el diseño e implementación de un sistema de bombeo principal en el sector del pit, y obtuvo como resultados la reorganización del departamento de obras civiles y bombas además de la mejora del sistema de evacuación. Asimismo, se realizaron las actualizaciones de la base de datos de todos los equipos de bombeo, con la finalidad de llevar un control y tener en stock los materiales para cualquier necesidad generando con estas medidas una organización más eficiente que disminuya los retrasos en los procesos productivos de la operación.

Muñoz (15), en su trabajo «Optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera en la mina de carbón San Fernando, vereda paso nivel, Amaga – Antioquia», identificó como problema las deficiencias relacionadas con el rendimiento de las bombas, las que, en algunos casos de diseño, no satisfacen la relación que debe existir entre caudal y potencia requerida, necesarios ambos para la operación óptima del sistema. Debido a ello, el trabajo tiene como objetivo determinar las propiedades del fluido a evacuar, ya que este aspecto

influirá en el tipo de bomba y componentes que deben seleccionarse. En segundo término, se requiere diseñar un nuevo sistema de bombeo con base en las necesidades y proyecciones futuras a cinco años de la mina. Como resultado se obtuvo ahorro de los costos operativos, la elaboración de procedimientos estándares de instalación y operación además del plan de mantenimiento preventivo del sistema de bombeo.

Falconi (16), en su trabajo «Diseño de un Sistema de gestión integral de aguas residuales industriales generadas por el proceso de explotación minera en el Proyecto Corazón, Cantón Cotacachi», identificó como problema los desechos líquidos que se generan como consecuencia de la actividad minera alterando las condiciones físicas, químicas o bióticas del lugar en el que se descargan debido a sus características fisicoquímicas. El objetivo fue el diseño de un sistema de gestión integral de las aguas residuales industriales para tener como resultado que las explotaciones subterráneas de las actividades mineras generan efluentes de características ácidas debido a la oxidación natural de los minerales sulfurados contenidos en las rocas, las que son expuestas al aire y agua. Este efluente tóxico es también conocido como drenaje ácido de mina.

Portilla (17), en su trabajo «Evacuación de aguas subterráneas por bombeo en la construcción de túneles», identificó que el problema es el agua infiltrada en las labores subterráneas que impiden el avance de la exploración y explotación minera. Se tuvo como objetivos el desarrollo de una estrategia para el diseñar de forma óptima un sistema de bombeo en un túnel durante su construcción, de tal forma que se pueda replicar esta estrategia durante la construcción de la hidroeléctrica del río Amoyá en Chaparral, Tolima. Debido a ello, se obtuvo como resultado que durante los trabajos de excavación se presentaron fallas mecánicas y eléctricas en las bombas, así como accidentes que las deterioraron recomendando para ello, realizar el análisis para hacer una buena selección de los equipos, tener bombas de stand by, tener sistemas eléctricos de emergencia, realizar los mantenimientos preventivos de forma continua con el fin de lograr que los equipos trabajen eficientemente.

### **2.1.2. Nacional**

Rafael (7), en su trabajo «Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en minera Kolpa S. A.», identificó como problema que, durante la última temporada de lluvias, específicamente entre los meses de enero y abril, la bomba de la primera etapa de bombeo en la rampa 2 falló, generando

que la extracción del caudal de 2.03 l/s se deje de evacuar con la consiguiente inundación de la zona baja. El objetivo de este trabajo fue determinar la implementación de un nuevo sistema de bombeo integral en la minera Kolpa S. A. Como resultado, se obtuvo que la implementación del sistema de bombeo permitirá optimizar la evacuación del agua acumulada debido a las lluvias en el fondo del interior de la mina, y de esta manera, se pueda continuar sin inconvenientes con la explotación y extracción de los recursos minerales.

Condezo (8), en su trabajo «Mejoramiento del sistema de bombeo y drenaje de aguas subterráneas unidad de producción Uchucchacua – Cía. de minas Buenaventura S. A. A.», identificó como problema la deficiencia en el abastecimiento del recurso agua y el drenaje de la misma, especialmente en el nivel 3990, debido a que no existe un buen sistema de bombeo generando inundaciones continuas. En la inspección se hallaron accesorios y equipos de bombeo que no cumplen su función operativa. Luego del estudio de la tecnología actualizada se logró reemplazar tres bombas instaladas en serie de menor potencia y mayor consumo de energía eléctrica por una bomba de mayor capacidad.

Cansaya (9), en su trabajo «Diseño e implementación del sistema de drenaje para mejorar el sistema de acarreo de mineral en la mina Antapaccay -2016», identificó como problema que el drenaje de minas a cielo abierto presenta los siguientes aspectos: la acumulación de agua procedentes de lluvias y filtraciones subterráneas. Este problema genera dificultades en la operación de minado. Se propuso como resultado la instalación de 04 bombas de la marca Flygt 140 HP para obtener un caudal de extracción de 400 l/s con tuberías HDPE de 10” de diámetro, la instalación 04 bombas de la marca Gorman Rupp 275 HP en el nivel 3765 para obtener también un caudal de extracción de 400 l/s con tuberías de HDPE 14” de diámetro, 04 bombas de la marca Gorman Rupp 274 HP en el nivel 4885 para obtener también un caudal de extracción de 400 l/s con tuberías de HDPE de 16” de diámetro y por último 04 bombas de la marca Gorman Rupp 95 HP en el nivel 4000 para obtener también un caudal de extracción de 400 l/s con tuberías de HDPE de 14” de diámetro.

Barreto (11), en su trabajo «Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - unidad minera Antapaccay», señala que es necesario optimizar el bombeo del agua acumulada en el pozo de Antakapa para continuar con la actividades de minado, para ello, el trabajo realizado fue utilizar tuberías (d = 14 pulgadas de diámetro y soldadura de fusión en caliente de 10 pulgadas de diámetro);

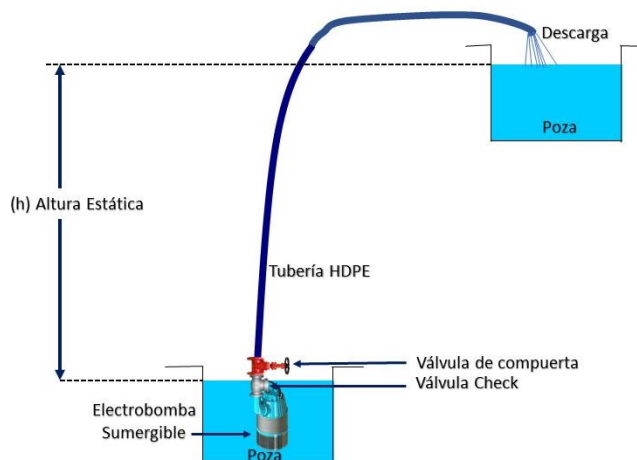
determinar la ubicación y excavación de la piscina en una zona más estable, uso de geomallas para el recubrimiento de la piscina. Se determinó mediante estudios porcentuales de utilización y rendimiento el uso de bombas Gorman Rupp, Flygt MT, Zulser y Goulds Pumps. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: se seleccionaron bombas para el nuevo sistema de drenaje, bombas Flygt MT (104 kW, 87.92 kW), bombas Highmanup (205 kW).

Rodríguez (10), en su trabajo «Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S. A. A - unidad San Cristóbal», determinó que el problema en interior de mina es la acumulación de aguas subterráneas en las zonas de trabajo lo que repercute en los retrasos e incumplimiento de las metas de producción programadas con las consiguientes sanciones de penalidades. Siendo los resultados obtenidos, que al mejorar el sistema de bombeo la disponibilidad alcanzó el 96 %, en comparación con el 74 % del sistema anterior; el consumo de energía del nuevo sistema fue de 10600.83 kWh, en comparación con 12940.87 kWh del sistema anterior. De esta manera se ahorró el 18 % del consumo de energía.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Sistema de bombeo

Según Rafael (7), indica que «un sistema de bombeo es un conjunto de componentes hidráulicos que permiten el transporte de fluido a través de desde el interior de la mina hasta la superficie con la finalidad de cumplir las especificaciones requeridas de flujo y presión. Las bombas se pueden conectar en serie, paralela o mixta».



*Figura 1. Representación esquemática de un sistema de bombeo*



### 2.2.2. Bombas hidráulicas

Según Rafael (7), «las bombas hidráulicas son máquinas que generan energía hidráulica mediante la conversión de energía mecánica»



*Figura 2. Electrobomba sumergible  
Fuente. (Tomocorp SAC)*

Asimismo, indica que las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía al flujo del fluido, impulsándolo, desde una zona de baja presión estática a otro de mayor presión, dinámica. Sus componentes principales son el impulsor, la voluta y los álabes.

### 2.2.3. Curva característica de la bomba

Con respecto a las curvas características de las bombas, Rafael (2019) indica que se deben consultar los catálogos o información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga. Como referencia de la descripción realizada se presenta la siguiente figura:

## Electrobomba sumergible 58 HP TIGRE H

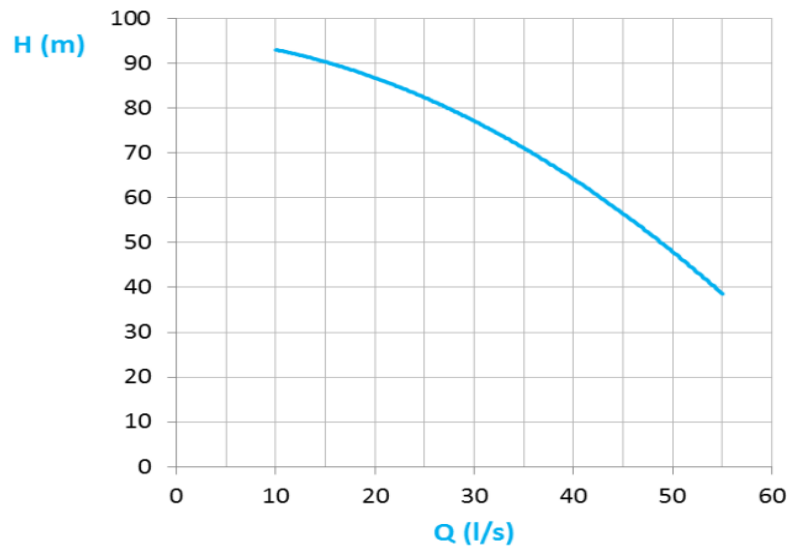


Figura 3. Curva característica de electrobomba sumergible

También indica que, las curvas características que se ven en las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante e incluyen: la curva de carga vs. caudal, la curva de presión neta de succión positiva vs. caudal, la curva de eficiencia vs caudal (o curvas de isoeficiencia), y la curva de potencia vs. caudal.

### 2.2.4. Curva de operación del sistema

Con relación a la curva de operación del sistema de bombeo en el interior de la mina, según Rafael (7), indica que la carga total está definida por la carga estática total y la carga dinámica (las pérdidas de presión en el sistema de bombeo).

#### 2.2.4.1. Carga estática total

Se determina conociendo la altura geométrica del nivel del líquido entre los recipientes de succión y descarga y la línea de centros de la bomba, así como las presiones en esos mismos puntos.

#### 2.2.4.2. Carga dinámica total

Representa las pérdidas de presión, las que se originan por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser intercambiadores de calor u otros. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios y las características del líquido bombeado.

### 2.2.4.3. Carga total del sistema

Es la carga que el sistema debe operar con la bomba, que equivale a:

$$H_{total} = H_{est} + H_{din}$$

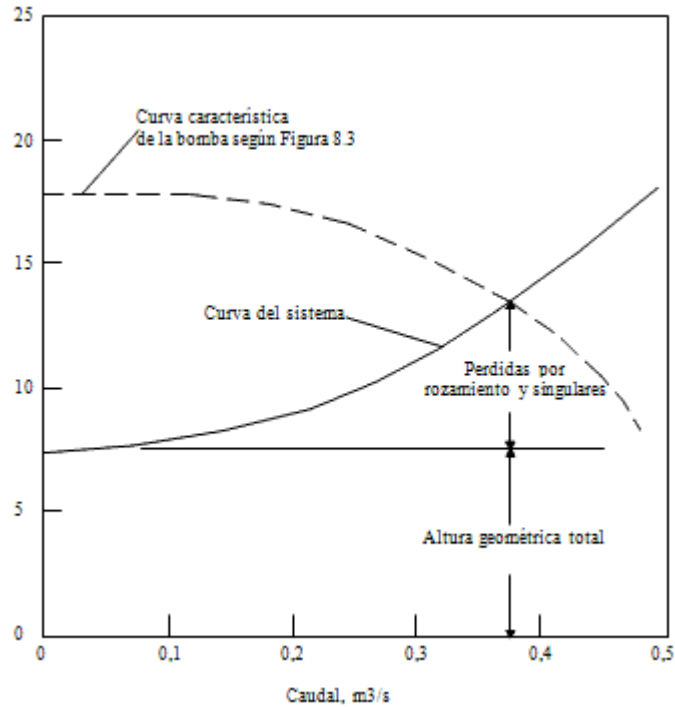


Figura 4. Curva de operación del sistema  
Fuente: <https://n9.cl/eh7qy>

### 2.2.5. Clasificación general de las bombas

#### 2.2.5.1. Bombas de desplazamiento positivo

Principios de funcionamiento: en las bombas volumétricas, la máquina le transmite la presión al fluido mediante un cambio de volumen en el reducto donde éste se halla situado.

##### A. Reciprocantes

En las que el movimiento que produce el cambio de volumen que provoca el aumento de presión en el fluido es alternativo o de vaivén.

##### B. Rotativas

En las que dicho cambio de volumen es consecuencia de un movimiento rotativo.

### 2.2.5.2. Bombas rotodinámicas

Principios de funcionamiento: la bomba le transmite la presión al fluido mediante cambios de velocidad y de dirección en las partículas del fluido, no hay cambios volumétricos de ningún tipo.

#### A. Bombas radiales

Estas bombas transmiten la energía al fluido en forma de velocidad y presión, mediante la fuerza centrífuga

#### B. Bombas axiales

En estas bombas la energía se transmite mediante un cambio de velocidad como consecuencia del empuje físico que los álabes originan sobre la misma, es decir, mediante una fuerza superficial.

##### a. Bombas semiaxiales

En estas bombas la energía se transmite al fluido por el cambio de velocidad y de dirección de las partículas.

##### b. Bombas en funcionamiento en seco

Son bombas en las que todas sus partes exteriores, tanto voluta como motor se encuentran fuera del líquido.

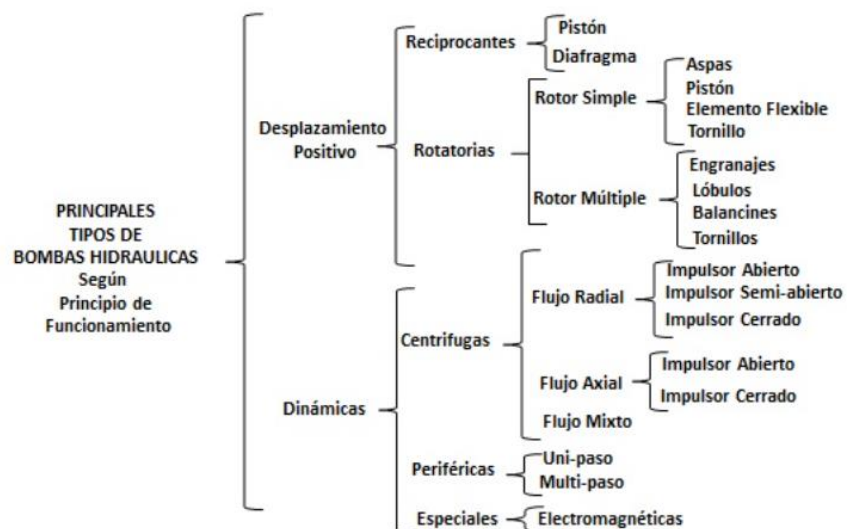
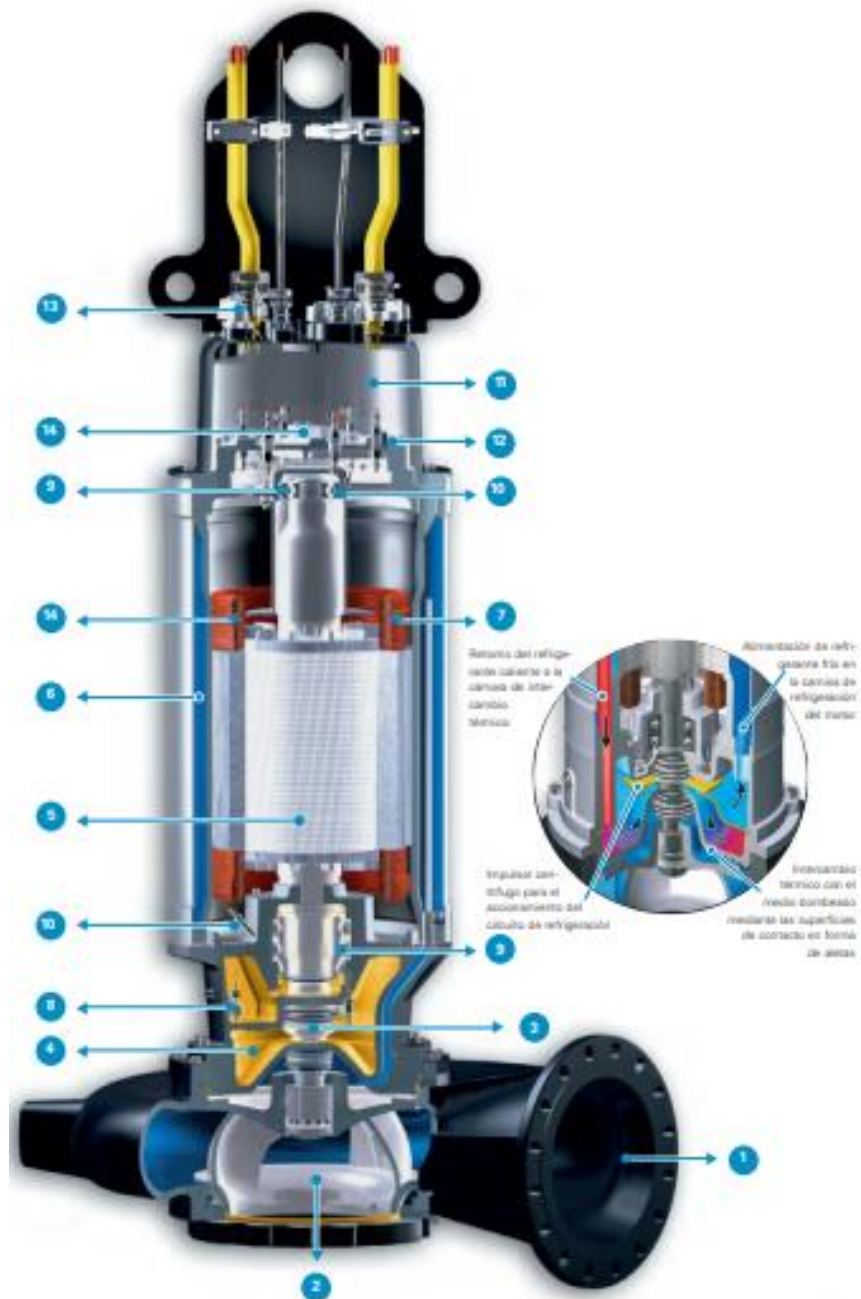


Figura 5. Clasificación de las bombas de agua

Fuente: <https://n9.cl/fn4z>

### 2.2.6. Bombas sumergibles

Con relación a la descripción de las bombas sumergibles que se utilizan en interior de mina y el que se utilizará para este trabajo, Rafael (7) indica que estas bombas son útiles para retirar el agua que no se desea en sitios como construcción, minas, la succión de la bomba está en el fondo donde fluye el agua a través de un filtro y hacia el ojo del impulsor resistente a la abrasión.



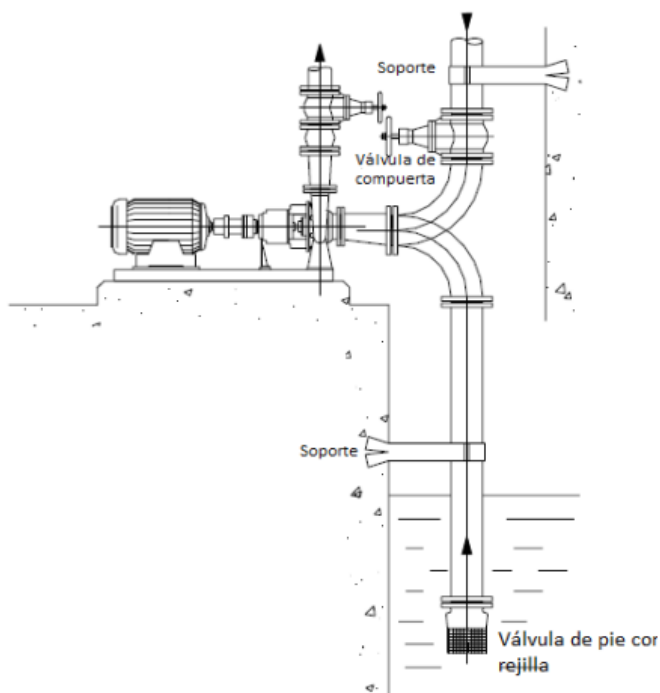
**Figura 6. Estructura interna de una bomba sumergible**

Fuente: [https://technodrive.cl/wp-content/uploads/2016/01/0005\\_bombas\\_sumergible\\_aguas\\_residuales\\_dn200\\_dn500.pdf](https://technodrive.cl/wp-content/uploads/2016/01/0005_bombas_sumergible_aguas_residuales_dn200_dn500.pdf)

## 2.2.7. Sistema de tuberías

### 2.2.7.1. Tuberías de aspiración

Es la tubería que conecta el tanque de aspiración y la entrada de la bomba, el buen funcionamiento hidráulico de las bombas depende en gran parte de esta tubería.



*Figura 7. Estructura interna de una bomba sumergible*

Fuente: <https://www.google.com/search?q=sistema+de+tuberia+de+aspiración>

### 2.2.7.2. Tuberías de impulsión

Esta parte de la tubería es la que conecta entre la salida de la bomba, la entrada al tanque de descarga. En conducciones largas se recomienda instalar tuberías de mayores diámetros y requiere un estudio técnico-económico que estimamos ha sido realizado previamente a la elección de la bomba.

### 2.2.7.3. Tanque de aspiración y descarga

El tanque de descarga se construye sobre la superficie del terreno, otros sobre torres de concreto o de estructura metálica, a fin de elevarlos para que el agua alcance una altura adecuada para su distribución por gravedad.

## 2.2.8. Cálculo de concentración de sólidos

### 2.2.8.1. Se hallarán concentración de sólidos en peso y volumen, densidad de la pulpa

Para ello se hará uso de las ecuaciones de la tabla 1.

**Tabla 1. Concentraciones para sólidos**

	$C_w$	$C_v$	$J$	$\rho_p$
$C_w =$	****	$\frac{C_v \times \rho_s}{C_v \times (\rho_s - \rho_l) + \rho_l}$	$\frac{J}{10^3 \times \rho_l + J \times \frac{(\rho_s - \rho_l)}{\rho_s}}$	$\frac{\rho_s \times (\rho_s - \rho_l)}{\rho_p \times (\rho_s - \rho_l)}$
$C_v =$	$\frac{C_w \times \rho_l}{\rho_s - C_w \times (\rho_s - \rho_l)}$	****	$\frac{J}{10^3 \times \rho_s}$	$\frac{(\rho_s - \rho_l)}{(\rho_s - \rho_l)}$
$J =$	$\frac{\rho_l \times 10^3}{\frac{1}{C_w} - \frac{(\rho_s - \rho_l)}{\rho_s}}$	$C_v \times \rho_s \times 10^3$	****	$\frac{(\rho_s - \rho_l)}{(\rho_s - \rho_l)} \times \rho_s \times 10^3$
$\rho_p =$	$\frac{\rho_l}{1 - C_w \times \frac{(\rho_s - \rho_l)}{\rho_s}}$	$C_v \times (\rho_s - \rho_l) + \rho_l$	$\rho_l + \frac{J}{10^3} \times \frac{(\rho_s - \rho_l)}{\rho_s}$	****
Otras	$\frac{C_v \times \rho_s \times J}{\rho_p \times \rho_s \times 10^3}$	$\frac{C_w \times \rho_p}{\rho_s}$	$C_w \times \rho_p \times 10^3$	****

**Nota.** Sociedad minera El Brocal

### 2.2.8.2. Velocidad límite

Para el cálculo, se considera la ecuación de Durand y Cave en la que se propuso determinar la velocidad límite en función de las densidades de sólido y líquido.

$$V_l = F_l \times \sqrt{2 \times g \times D_i \times \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l}}$$

### 2.2.8.3. Factor de calidad de junta soldada, ej

Factores de calidad básicos.

Los factores de calidad de juntas soldadas, Ej, tabulados en la tabla A-1B de la Norma ASME 31.3, (ver tablas en anexo 6 y 7)

### 2.2.8.4. Aumento en el factor de calidad

Además, la tabla 302.3.4 de la Norma ASME 31.3 muestra factores de calidad de junta más elevados, que pueden substituir aquellos que se muestran en la tabla A-1B de la Norma ASME 31.3 para cierto tipo de soldaduras.

**Tabla 2. Factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios, Ej**

N.º Espec	Clase (o tipo)	Descripción	Ej (2)
	Tipo S	Tubería sin costura	1
A53	Tipo E	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85
	Tipo F	Soldada a tope en horno	0.6

**Nota:** Sociedad minera El Brocal

### 2.2.8.5. Espesor de diseño por presión, t

Para valores de  $t < D/6$ , el espesor de diseño de presión interna para tubo recto no debe ser inferior al valor calculado según la norma ASME 31.3 mediante la ecuación:

$$t = \frac{P * D}{2(S * E * W + P * Y)}$$

Donde:

S: valor del esfuerzo del material obtenido de la tabla A-1 ASME 31.3.

P: presión de diseño interna manométrica.

E: factor de calidad obtenido de la tabla A-1A o A-1B de la Norma ASME B31.3.

W: factor de reducción de la resistencia de la junta de soldadura.

Y: coeficiente obtenido de la tabla 304.1.1 de la Norma ASME B31.3.

### 2.2.8.6. Espesor mínimo de tuberías de HDPE por presión

Las tuberías y accesorios de polietileno se fabrican con materiales que han sido evaluados para su desempeño bajo estrés mecánico. Las tuberías tienen una forma cilíndrica simple. Las siguientes formulas relacionan el esfuerzo de tracción permisible con la presión interna.

$$P = \frac{2 * HDB * fE * fT}{(DR - 1)}$$

$$DR = \frac{OD}{t}$$

Donde:

HDB: base de diseño hidrostático(psi)

P: presión de diseño interna manométrica(psi)

fE: factor de diseño ambiental



$fT$ : factor de diseño de temperatura de servicio

DR: relación de dimensión de tubería

OD: diámetro exterior de la tubería

t: espesor mínimo de pared de la tubería

### 2.2.8.7. G. Base de diseño hidrostático, HDB

Para obtener el valor del HDB, se puede utilizar el diseño hidrostático a la tensión (HDS), al que lo dividiremos por el factor de diseño ambiental.

$$HDB = \frac{HDS}{fE}$$

Donde el valor de HDS lo obtendremos de la siguiente tabla

**Tabla 3. Cuadro resumen de HDS a 23 °C**

Material	Máximo HDS a 73 °F (23 °C) PSI
PE 1404	400
PE 2406	630
PE 2708	800
PE 3408	800
PE 3608	800
PE 3708	800
PE 3710	1000
PE 4608	800
PE 4708	800
PE 4710	1000

**Nota:** Sociedad minera El Brocal

### 2.2.8.8. Factor de diseño de temperatura de servicio, $fT$

Se obtendrá de la siguiente tabla en donde varía en función a temperatura de trabajo.

**Tabla 4. Cuadro resumen a diferentes temperaturas PE 4710**

Temperatura de servicio (°F)	ft
<80 °F	1.00
90 °F	0.90
100 °F	0.78
110 °F	0.75
120 °F	0.63
130 °F	0.60
140 °F	0.50

**Nota:** Sociedad minera El Brocal

#### **2.2.8.9. Tiempo de vida útil de la tubería**

Se utilizará las normas establecidas para el transporte y distribución de relaves y relleno hidráulico, en particular el código ASME B31.3 y API 574 para cálculos respectivos de espesores límites de retiro.

#### **2.2.8.10. Inspección ultrasónica**

Se realizará con el uso de la onda ultrasónica que se transmite y se propaga dentro de una pieza hasta que esta es reflejada y regresa al transmisor proporcionando información de su recorrido.

Se recomienda realizar esta inspección trimestralmente desde el momento de su instalación para poder tener una mayor cantidad de información al momento de hacer el análisis estadístico así tener una predicción de la vida útil de la tubería mucho más exacta.

#### **2.2.8.11. Criterio de determinación del espesor mínimo de retiro.**

Calcular el espesor mínimo requerido por presión (ASME B31.3 o ecuación de Barlow).

ASME B31.3

$$t = \frac{P * D}{2(S * E * W + P * Y)}$$

**Ecuación de Barlow**

$$t = \frac{P * D}{2(S * E)}$$

### 2.2.8.12. Cálculo de la vida útil de la tubería

Para calcular la vida útil de la tubería debemos seguir los siguientes pasos:

- Calcular el espesor mínimo de la tubería (ASME 31.3 y API 574).
- Medición de los espesores de la tubería como mínimo por 3 años de manera trimestral desde el momento de su instalación.
- Ajustamos los valores obtenidos de forma empírica con la distribución de Weibull o con la función de Gompertz, las que nos describirán el comportamiento de la velocidad de reducción del espesor de la tubería.
- Se procede a hacer un pronóstico con las distribuciones de Weibull y con la función de Gompertz donde tomaremos el valor más crítico para obtener la vida útil de la tubería.

### 2.2.9. Consideraciones de diseño

- Para el cálculo de resistencia de tuberías de acero al carbono se considera el coeficiente ( $Y = 0.4$ ) para un material A53 a una temperatura  $< 482$  °C, obtenido de la tabla 4 - 1.
- Para el cálculo de resistencia de tuberías de Acero al carbono se considera el factor de reducción de resistencia de soldadura ( $W = 1$ ), obtenido de la tabla 4 - 2.
- Para el cálculo de resistencia de tuberías de acero al carbono se considera el factor de calidad básico para juntas longitudinales soldadas en tuberías ( $E = 1$ ) para un material A53 tipo S (tubería sin costura), obtenido de la tabla 4 - 3.
- Se considera un factor de corrosión de 1.6mm para las tuberías metálicas.
- Para el cálculo de resistencia de tuberías de HDPE se considera un valor para HDS para un material de PE 4710 de 1000 psi, obtenido de la tabla 4 - 4.
- Para el cálculo de resistencia de tuberías de HDPE se considera un valor para el factor de diseño ambiental ( $fE = 0.5$ ), obtenido de la tabla 4 - 5

- Para el cálculo de resistencia de tuberías de HDPE se considera un valor para el factor de diseño de temperatura de servicio ( $f_T = 1$ ), obtenido de la tabla 4 - 6.

### 2.2.10. Modelo CPAM

Según indican Lawrence y Chad (13) se utiliza para determinar la rentabilidad que un inversionista debe solicitar al desarrollar una inversión en un activo financiero en función del riesgo que está asumiendo.

Así, tenemos la ecuación que se utilizará para el cálculo:

$$\text{CAPM} = K_j = R_f + \beta_j * (R_m - R_f)$$

- $K_j$  = rendimiento requerido del activo j
- $R_f$  = tasa de rendimiento libre de riesgo
- $\beta_j$  = coeficiente beta, indica las fluctuaciones que se causarán en las acciones debido a un cambio en las condiciones del mercado (0 a mayores de 1)
- $R_m$  = rendimiento del mercado, rendimiento del portafolio de mercado de los activos

### 2.3. Definición de términos básicos

**Gestión:** referidas a las actividades relacionadas con la planificación, organización, coordinación y control; con el objetivo de mejorar la toma de decisiones (18).

**Inspección:** técnica que se realiza frecuentemente para identificar deficiencias y fallas en componentes de un sistema (19).

**Mantenimiento:** son las actividades de corrección, prevención y detección de fallas que se realizan mediante un plan y la finalidad es asegurar la continuidad del funcionamiento y operación del activo (20).

**Orden de trabajo:** documento de gestión, virtual o físico necesario para el control y ejecución de actividades de mantenimiento, contiene información los recursos usados en éstas (21).

**Plan de mantenimiento:** conjunto de actividades que se realizarán para la adecuada gestión de mantenimiento durante un periodo específico de tiempo, debe revisarse periódicamente para realizar ajustes de ser necesario (22).

**Productividad:** relación existente entre los recursos utilizados y la producción, es útil y necesario para controlar la producción (23).

**Tasa de fallas:** indicador que analiza la frecuencia de falla y su consecuencia (24).

**Vida útil:** tiempo que debería poseer el activo para obtener un beneficio, dependerá del tipo de desgaste y la obsolescencia del mismo (25).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método, y alcance de la investigación**

«El método científico constituye un sistema de procedimientos, técnicas, instrumentos, acciones estratégicas y tácticas para resolver el problema de investigación» (12).

Para desarrollar el trabajo de investigación se realizará en función al método científico porque es una metodología diseñada con el fin de obtener nuevos conocimientos. En este caso, se busca mejorar el sistema de bombeo actual por una que sea óptima, lo que en el proceso de investigación y análisis permitirá descubrir y entrelazar conocimientos y experiencias desarrolladas para dar solución a problemas similares

**Tipo de investigación:** asimismo, el tipo de investigación es aplicada porque «se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos. Para realizar investigaciones aplicadas es muy importante contar con el aporte de las teorías científicas, que son producidas por la investigación básica» (12).

Para el desarrollo del trabajo de tesis se aplicará principios físicos, teorías de hidráulica, experiencias desarrolladas en los antecedentes y cálculo de costos; aplicando así conocimiento desarrollado para dar solución a los problemas identificados.

### **3.2. Diseño de la investigación**

El estudio de alcance de esta investigación es de tipo descriptivo, el que es definido «porque buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis», (26). En este sentido, por medio de esta

investigación, se pretende describir la situación actual del sistema de bombeo de evacuación de las aguas subterráneas en sociedad minera El Brocal.

La investigación es no experimental; que es definido porque lo que se hace es «observar los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para posteriormente analizarlos» del tipo transeccional «porque su propósito es describir variables y analizar su incidencia en un momento dado» (26)

### **3.3. Población y muestra**

«La población es el conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) y la muestra es una parte o fragmento representativo de la población cuyas características esenciales son las de ser objetiva y reflejo fiel de ella » (12).

Considerando los conceptos anteriores, para el estudio, la población y muestra están comprendidos por el sistema de bombeo de aguas subterráneas de la rampa 1462 y la rampa 8942 que consta de 11 bombas de 58 HP en la sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca

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

Las técnicas de recolección de datos que se usarán serán:

- Observación
- Entrevista
- Análisis documental (marca de bombas, catálogos de tuberías y mangueras)
- Bibliográfica

Los instrumentos de recolección a utilizar serán:

- Base de datos del área de planificación de mina
- Manuales de mantenimiento y operación de las bombas hidráulicas
- Reportes de operación de las bombas hidráulicas
- Informes técnicos

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

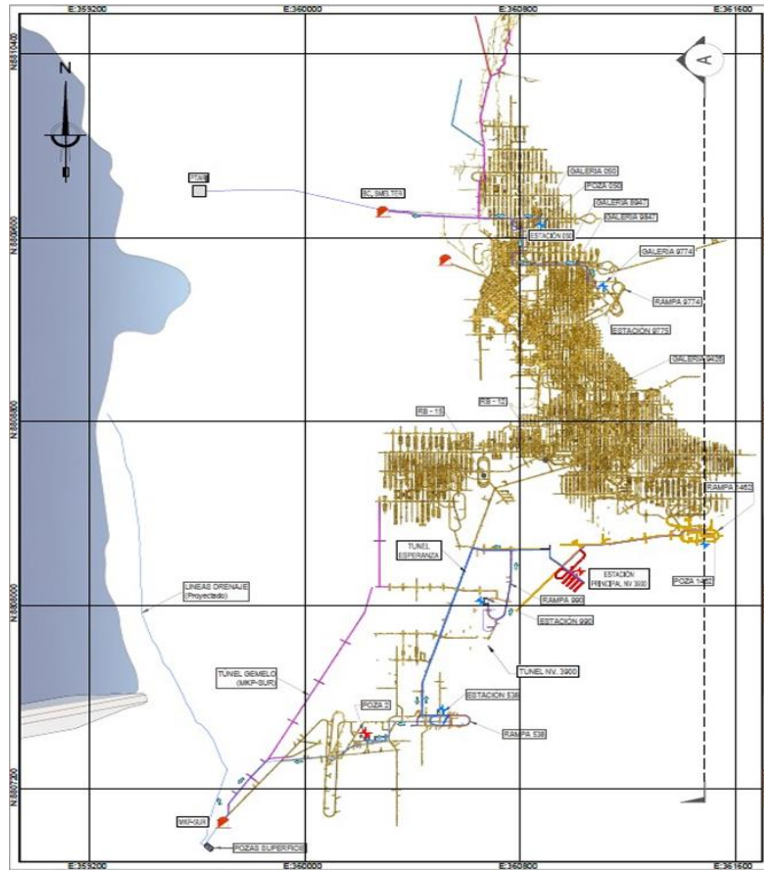
#### **4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información**

Para el desarrollo de la evaluación de la situación actual del sistema de bombeo, la determinación de los resultados, el análisis de la información obtenidas hasta el desarrollo del presente trabajo, se usarán los tablas y gráficos contenidos en este capítulo el que se divide en subtemas que se explican a continuación:

##### **4.1.1. Evaluación de la situación actual del sistema de bombeo de la sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca**

El Brocal es una empresa minera dedicada a la extracción, concentración y comercialización de minerales polimetálicos: plata, plomo, zinc y cobre. La empresa realiza sus operaciones en las unidades mineras de Colquijirca y la planta concentradora de Huaracaca, localizadas en el distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco, departamento y región de Pasco, Perú. Sus oficinas administrativas están localizadas en el distrito de San Isidro, en la ciudad de Lima, Perú.





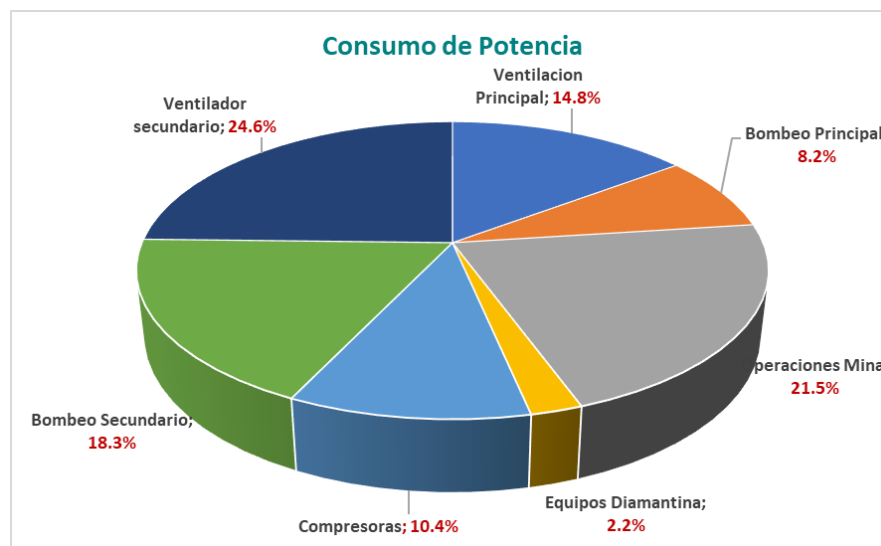
**Figura 8. Estaciones del sistema de bombeo**  
*Nota:* elaboración oficina Planeamiento de Operaciones de Mina

En la sociedad minera El Brocal – unidad Colquijirca debido a los períodos estacionales lluvias entre los meses de setiembre y mayo de cada año, se produce un aumento considerable del caudal de agua perjudicando el normal curso de las operaciones, colmatándose algunas vías de acceso y operaciones debido a las fallas y fracturas del macizo rocoso y brotando el agua.



**Figura 9. Condición de labor de trabajo en época de lluvia**

Asimismo, el consumo de potencia de energía está dividida entre diversos equipos, entre ellos los que pertenecen al sistema de bombeo cuya demanda de energía en interior de mina, se muestra en la siguiente figura.



**Figura 10. Demanda de energía en mina**  
 Nota: elaboración oficina planeamiento de operaciones mina

#### 4.1.2. Sistemas de bombeo y drenaje de aguas subterráneas

El sistema de bombeo actual de las rampas 1462 y 8942 tiene una capacidad de descarga de 50 l/s en la poza del nivel 4032, conformándose de la siguiente manera con las siguientes estaciones que componen el sistema de bombeo:

**Tabla 5. Ubicación de las bombas por niveles**

RAMPA	NIVEL	POZA	POTENCIA DE BOMBA (HP)	CAUDAL l/s
1462	Profundización	0	30	25
	3912	1	58	25
	3922	2	58	25
	3942	3	58	25
	3986	4	58	25
	4012	5	58	25
8942	Profundización	0	35	25
	3922	1	58	25
	3942	2	58	25
	3986	3	58	25
	4012	4	58	25

Nota: Sociedad minera El Brocal

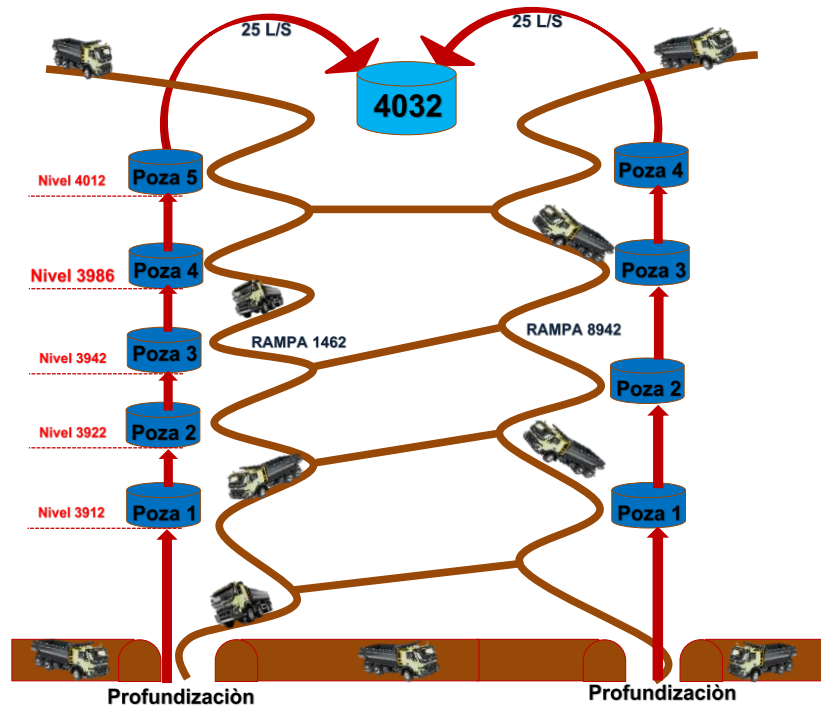


Figura 11. Circuito de bombeo actual

La evacuación de aguas subterráneas en la rampa 1462, posee un sistema de drenaje con 5 bombas de 58 HP ubicados en serie y una bomba de 30 HP, con las que se evacúan las aguas subterráneas con una tubería HDPE de 4" desde la profundización hasta el nivel 4032. De igual forma, en la rampa 8942 el sistema de bombeo es con 4 bombas de 58 HP y una bomba de 35 HP desde la profundización hasta el nivel 4032. Cabe mencionar que el tránsito de los volquetes de extracción, vehículos livianos, equipos y otros se desciende a la profundización por la rampa 1462 y la salida en subida es por la rampa 8942. Estos sistemas de bombeo tienen los siguientes problemas:

- Al haber reboses de agua en las pozas afecta la vía principal tanto en la rampa 1462 y 8942, limitando el tránsito por esta zona llegando hasta paralizar la extracción de mineral o desmante.



Figura 12. Problemas internos en vías

Nota: elaboración oficina planeamiento de operaciones mina

- Cambio de bombas por fallas prematuras que se presentan como consecuencia de la saturación de lama de las pozas. Esto debido a la saturación con lama y detritos de las pozas por rebose de las pozas aguas arriba. Se tiene un programa de mantenimiento de pozas, pero ahí no se contempla trabajos adicionales ya que solo se tiene un equipo para la limpieza de las pozas.



*Figura 13. Acumulación de lama y detritos*



indicadas líneas arriba el sistema de bombeo actual tiene 10 horas como capacidad crítica para bombear lo generado en la guardia. Una contingencia por falla de bombas o incremento de filtraciones mayor a 21.8 m<sup>3</sup>/h da como resultado inundaciones que paralizan las operaciones en esta zona. Este problema es frecuente en la mina El Brocal en la zona de la rampa 1462 y rampa 8942.

Cabe mencionar que estas zonas son el futuro de la mina a mediano plazo y los retrasos por un mal manejo de agua repercutirá en la producción de mineral en la secuencia de minado.

DETALLE DE BOMBEO POR GUARDIA DE 12 HORAS					
CAPACIDAD M <sup>3</sup> /HR	GENERADO M <sup>3</sup>	INCREMENTO M <sup>3</sup> /HR	HOLGURA M <sup>3</sup> /HR	HORAS DE BOMBEO	COMENTARIOS
180	2520.53	81.864	-29.988	14.0	Inundacion Rampa 1462 y Rampa 8942
180	2340.38	66.852	-14.976	13.0	Inundacion Rampa 1462 y Rampa 8942
180	2160.672	51.876	0	12.0	Voladura, no hay bombeo inminente inundacion
180	1980.10	36.828	15.048	11.0	Ventilacion por voladura, no hay bombeo
180	1800.00	21.816	30.06	10.0	Limite de capacidad de bombeo con personal
180	1620.24	6.84	45.036	9.0	Capacidad tolerable de bombeo con personal
180	1538.16	0	51.876	8.5	Estado actual de bombeo

Figura 15. Bombeo de aguas por guardia

Nota: elaboración oficina planeamiento de operaciones mina

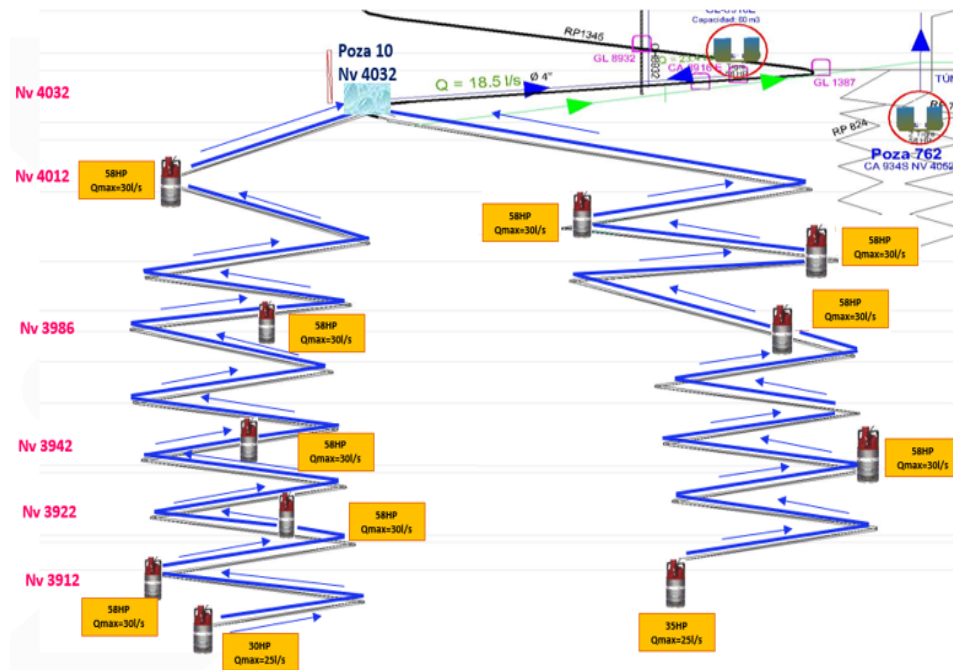


Figura 16. Ubicación pozo nivel 4032

Nota: elaboración oficina planificación mina

#### 4.1.3. Sistema de bombeo

El sistema de bombeo de cada rampa es independiente, con bombas ubicadas en serie desde la profundización (nivel 3860) hasta el nivel 4032. Las cámaras de bombeo son ventanas excavadas en negativo con 12 % de gradiente y en el ingreso se hace un dique con bolsarenas (sacos con arena). En estas estaciones se utilizan bombas sumergibles Tomocorp modelo Tigre de 58 HP ( $Q = 30 \text{ l/s}$ ); cada bomba impulsa el agua a través de una línea de tubería de HDPE de 4" de diámetro, hasta una distancia horizontal de 150 m. con pendiente entre  $20^\circ$  y  $25^\circ$  descargando en la estación de bombeo poza n°10 ubicada en el nivel 4032. La tubería de impulsión se sujeta a los hastiales de la rampa mediante alcayatas.

El proceso de limpieza de estas cámaras se realiza con cargadores de bajo perfil (scoop) de 4 yardas, el scoop retira el material sedimentado en el fondo de la cámara, lo traslada hacia una cámara de secado para después cargarlo hacia un volquete que lo saca fuera de la mina.



*Figura 17. Operación bomba 58 HP*

Asimismo, se determinó que el precio unitario de operación de cada bomba de 58 HP es de \$6.69 por hora, la bomba de 35 HP y 30 HP es \$5.02 la hora. De lo mencionado, se calculó que en promedio mensualmente se valoriza en alquiler de bombas entre, la rampa 1462 y rampa 8942, \$50,580 dólares americanos.

**Tabla 6. Costo unitario operativo de bombas**

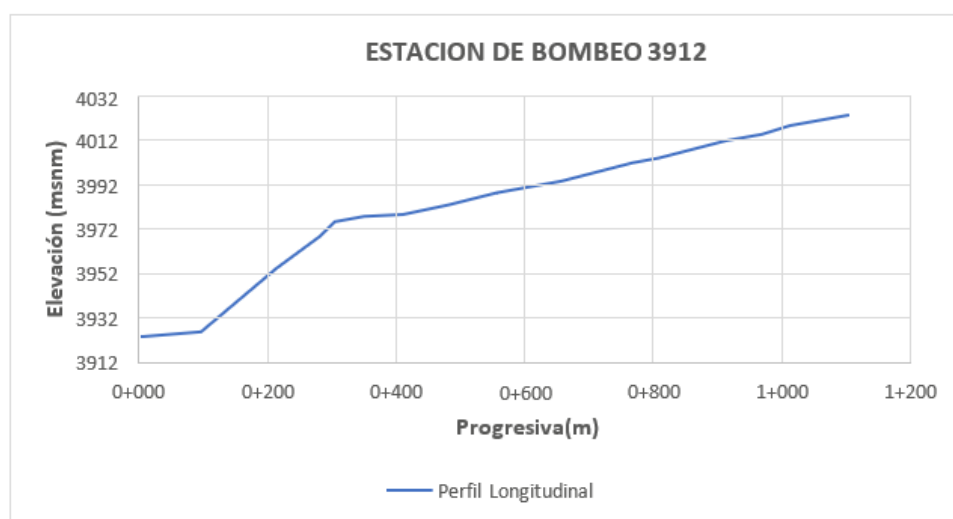
Rampa	Nivel	Poza	Potencia de bomba (HP)	Caudal l/s	Pu operación \$/h	Tiempo promedio operación mensual (h)	Subtotal valorización mensual (\$)
1462	Profundización	0	30	25	5.02	720	\$ 3,614.40
	3912	1	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	3922	2	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	3942	3	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	3986	4	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	4012	5	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
8942	Profundización	0	35	25	5.02	720	\$ 3,614.40
	3922	1	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	3942	2	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	3986	3	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
	4012	4	58	25	6.69	720	\$ 4,816.80
							<b>\$ 50,580.00</b>



#### 4.1.4. Estación poza 3912

La infraestructura de esta estación de bombeo tiene una capacidad de almacenamiento de 500 m<sup>3</sup>, está debidamente acondicionada con pasarela y poza de sedimentación, capta las aguas de la profundización y se bombea a la siguiente estación con una bomba de 58 HP. En comparación a las otras estaciones que solo son ventanas acondicionadas como pozas de bombeo con capacidad de 30 m<sup>3</sup>.

A continuación, se mostrará el perfil de la línea de impulsión desde la estación de bombeo 3912 hacia la estación de bombeo 4032.



*Figura 18. Perfil longitudinal estación de bombeo 3912*

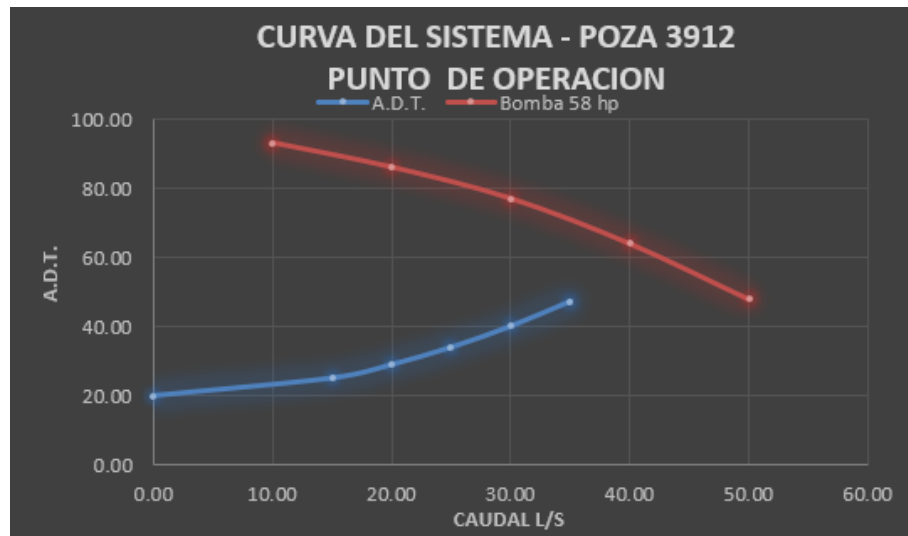
El caudal de bombeo actual que se tiene en la rampa 1462 es de 25 l/s ya que se tiene bombas en serie de 58 HP. Se ha calculado el punto de operación considerando lo siguiente:

**Tabla 7. Datos de sistema de bombeo actual**

Descripción del sistema		
Caudal	25.00	l/s
Altura bruta	20.00	m
Long. tubería	100.00	m
Diámetro	4.00	Pulgadas
Rugosidad $\epsilon$	0.2500	mm
Material PVC		
Temp. líquido	15.00	°C

Como se puede observar, la curva del sistema esta fuera con la curva de la bomba, es una de las razones del siguiente estudio en pro de mejora del sistema de

bombeo, cabe mencionar que se considera los mismos cálculos en la rampa 8942 por tener las mismas condiciones en el sistema de bombeo de este.



*Figura 19. Curva del sistema hidráulico actual*

#### **4.1.5. Propuesta de mejora del sistema de bombeo**

El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo proponer el mejoramiento del sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas del nivel 3912 al nivel 4032. Para ello, se realizarán trabajos de modificación en conexiones de tuberías, uso de equipos a través del alquiler por horas, adquisición y reutilización de componentes, aprovechamiento de accesos a galerías mineras e infraestructura creada para otras labores de explotación.

Por lo antes descrito, queda claro que existen observaciones en la parte económica y operativa del sistema de bombeo de la rampa 1462 y rampa 8942 por ello, se requiere un sistema de bombeo que disminuya o elimine las observaciones hechas.

- Curva de la bomba fuera de la curva del sistema
- Estaciones de bombeo sin capacidad de almacenamiento
- Vías deterioradas por rebose de pozas
- Capacidad de evacuación de agua de la profundización es de 25 l/s en la rampa 1462 y de igual capacidad en la rampa 8942

#### 4.1.5.1. Memoria de cálculos: cálculo de velocidad crítica, presiones del sistema, selección del equipo de bombeo y potencia.

Se calcula la velocidad crítica y velocidad real de transporte de la pulpa.

- Densidad del agua:  $\rho_{\text{agua}} = \rho_l = 998.1 \text{ Kg/m}^3$
  - Relave sólido:  $G_c = 2.986$  (gravedad específica)
- Entonces, se tiene que el relave sólido  $\rho_s = 2980.3 \text{ Kg/m}^3$
- Se considera una granulometría medio  $d_{50} = 132.6 \text{ }\mu\text{m}$
  - Cálculo del caudal proyectado:  $85 \text{ l/s} = 306 \text{ m}^3/\text{h}$ , con  $c_w = 57.37 \%$
  - Calculando el porcentaje de sólidos en volumen ( $c_v$ ) y porcentaje de sólidos en peso ( $c_w$ ).

$$\gamma_{\text{pulpa}} = \gamma_{\text{líquido}} + (c_v/100) (\gamma_{\text{sólido}} - \gamma_{\text{líquido}})$$

$$\gamma_{\text{pulpa}} = 15597.75 \text{ N/m}^3$$

$$\gamma_{\text{líquido}} = \gamma_{\text{agua}} = 9791.4 \text{ N/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sólido}} = \gamma_{\text{relave}} = 29236.7 \text{ N/m}^3$$

Remplazamos datos en la fórmula anterior.

$$c_v = \text{porcentaje de sólidos en volumen} = 0.2986 = 29.86 \%$$

Ahora aplicamos la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de sólidos en peso

$$C_w = \frac{C_w \cdot \rho_l}{\rho_s - (C_w \cdot (\rho_s - \rho_l))} \cdot 100$$

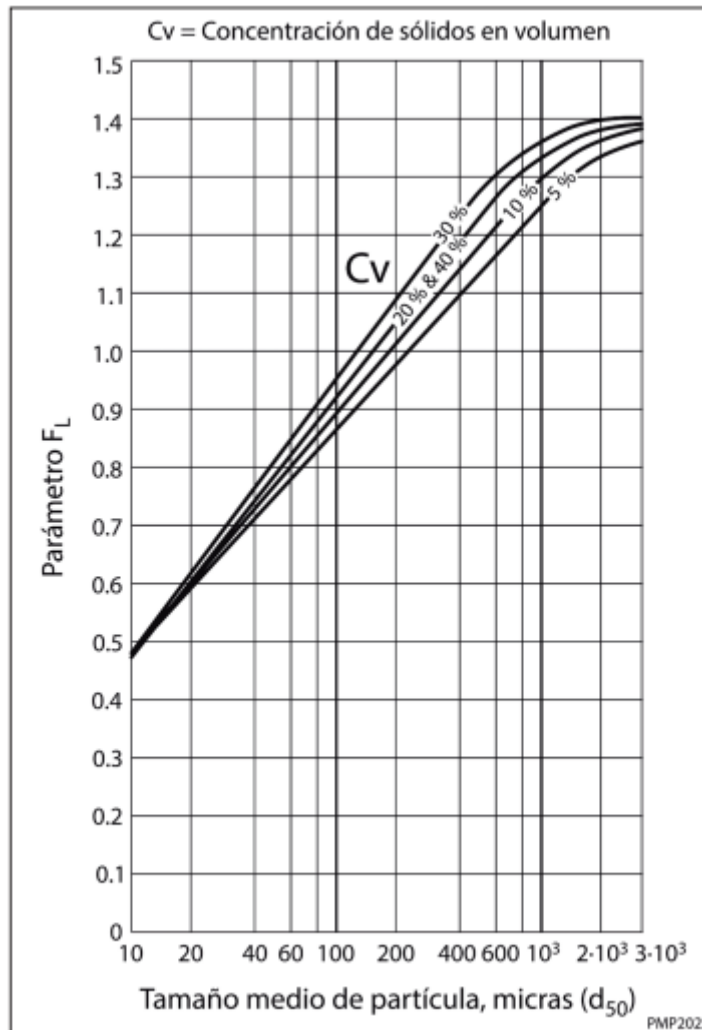
Al remplazar datos hallamos:

$$C_w = \text{porcentaje de sólidos en peso} = 55.97 \%$$

- Cálculo de velocidad crítica, diámetro de la tubería y velocidad de transporte

$$V_c = F_1 \times \sqrt{2 \times g \times D_i \times \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l}}$$

Con  $d_{50} = 132.6 \text{ }\mu\text{m}$  y  $c_v = 29.86$ , se halla  $F_1 = 1.05$  de tabla adjunta



**Figura 20. Ábaco de Durand**  
 Nota: revista Rocas y Minerales

De acuerdo con las variables halladas, la tubería adecuada que cumpla con los requisitos del circuito de bombeo sería de acero con revestimiento de goma de 203.2 mm de diámetro exterior por 38.8 mm de espesor, obteniendo 164.4 mm de diámetro interior.

Por lo tanto, considerando  $D_i = 0.1644\text{m}$ , se tiene  $V_l = 2.6575\text{m/s}$

Utilizando:  $V = Q/A$ , tenemos que la velocidad de transporte es:

$$Q = 306 \text{ m}^3/\text{h} = 0.085 \text{ m}^3/\text{s} \text{ y } A = 0,0212 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{transporte}} = 4 \text{ m/s}$$

g. La presión de succión será  $P = \gamma_{\text{líquido}} \cdot 120\text{m} = 1174.97 \text{ N/m}^2$

h. Teniendo una altura de bomba de 1041m, que es lo que requiere el sistema y un caudal de 85 l/s (306 m<sup>3</sup>/h), se realiza la selección de la bomba.

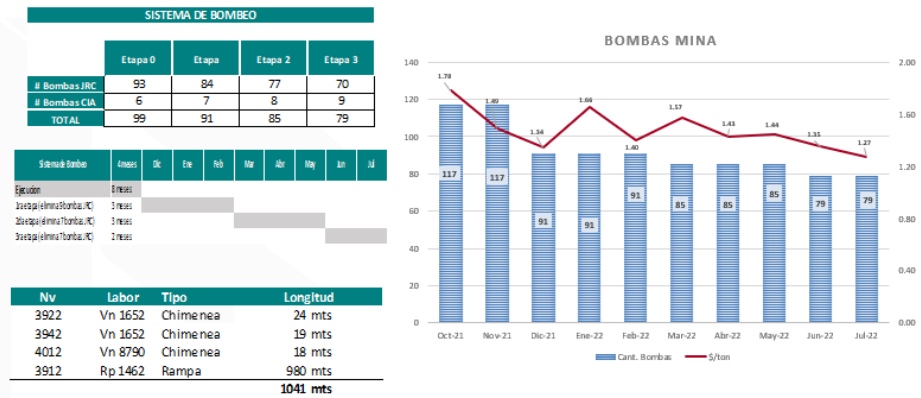


Figura 21. Cálculo de distancia de descarga

- i. Utilizando la tabla adjunta, se considerará una eficiencia mecánica de  $N_m = 72\%$ , 1750 rpm, NPSH 3.1 m, H bomba = 120 m y caudal  $306 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $\gamma$  pulpa =  $15597.9 \text{ N/m}^3$ .

Entonces la potencia requerida  $P = \frac{Q \times H_{\text{bomba}} \times \gamma \text{ pulpa}}{N_m}$

Reemplazando los datos se tiene  $P = 220.95 \text{ kW} = 296,32 \text{ HP}$

Por lo que se escoge la bomba Silver de 300 HP



Figura 22. Características de la bomba

Nota: elaboración oficina planeamiento de operaciones mina

#### **4.1.6. Opciones para mejorar**

Para las propuestas mostradas líneas abajo, se realizó un análisis superficial considerando opiniones de ingenieros expertos en el tema, lo que debe demostrarse con un trabajo más específico que requerirá más tiempo y recursos.

##### **4.1.6.1. Túnel para evacuar aguas**

Es una opción que es utilizada en varias unidades mineras como Uchucchacua con su túnel Patón de 4.2 km, de hecho, esta opción requeriría un mayor análisis, tanto técnico como económico ya que las aguas de la profundización se bombearían hasta 2 niveles sin llegar a superficie. Por las características geográficas de la mina el Brocal, que en su extensión superficial es relativamente llano, necesariamente tiene que bombearse hasta superficie.

##### **4.1.6.2. Incrementar la potencia de las electrobombas**

Si se incrementase la potencia de las electrobombas en cada una de las pozas de las líneas de bombeo de la 1462 y rampa 8942, se podría mejorar una de las observaciones del estudio, que de tener 25 l/s podemos pasar a 35 l/s por la línea de bombeo, pero los otros 3 problemas presentados, persistirían recurrentemente.

##### **4.1.6.3. Integración del sistema de bombeo rampa 1462 y rampa 8942**

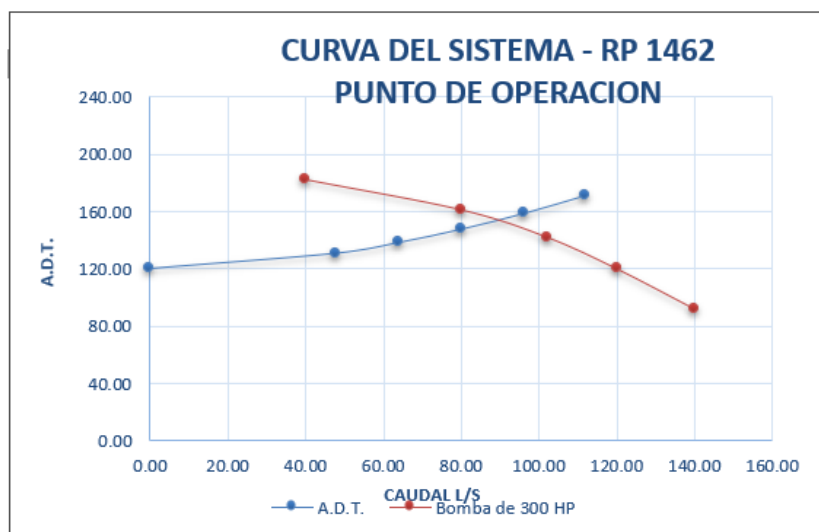
El objetivo de nuestra propuesta consiste en unificar los sistemas de bombeo de la rampa 1462 y rampa 8942, para lograr que el sistema sea más eficiente considerando que en el nivel 3912 – rampa 1462 tiene una infraestructura de 500 m<sup>3</sup> de almacenamiento con poza de sedimentación. Con ello se quiere mejorar en los siguientes puntos que son los problemas del sistema de bombeo actual:

##### **A. Curva de la bomba fuera de la curva del sistema**

Esta observación ocasiona que la bomba no tenga el caudal necesario de descarga, en este caso los 25 l/s que evacua lo realiza cavitando la bomba, y las tuberías de HDPE están propensas a roturas. Con una bomba de 300 HP y una altura de 120 m se puede optimizar el sistema de bombeo.

Como se muestra en la figura la curva de la bomba de 300 HP intercepta con la curva del sistema y con esta bomba se obtendrá un caudal de

descarga de 85 l/s en la poza del nivel 4032 mejorando la capacidad de descarga.



*Figura 23. Curva de operación del sistema en rampa 1462*

*Nota:* elaboración oficina planeamiento de operaciones mina

## **B. Estaciones de bombeo sin capacidad de almacenamiento**

Las pozas actuales no tienen la característica en su infraestructura de poza de bombeo, son ventanas acondicionadas con un dique de bolsa-arenas para la acumulación de agua. Para su limpieza se tiene que retirar el dique para que ingrese el equipo scoop. Tienen una capacidad aproximada de 30 m<sup>3</sup> en el mejor de los casos y ante una contingencia de acumulación de agua imprevista esta rebosa inmediatamente y hasta llega a colapsar el dique. Y en los mantenimientos programados de limpieza de pozas se paraliza el tránsito en la vía contigua a la poza.

También cabe mencionar que estas pozas están ubicadas en el trayecto principal de tránsito de la rampa 1462 y rampa 8942. La mejor opción es eliminarlas y con la integración del sistema de bombeo rampa 1462 y 8942 con descarga directa en el nivel 4032 se puede realizar.

### **a. Vías deterioradas por rebose de pozas**

El mantenimiento de vías es frecuente según el cronograma, pero estas paradas deterioradas por los constantes reboses de pozas. Esto ocasiona un sobre costo de \$ 1380 dólares americanos mensual solo en ambas rampas, y con la eliminación de pozas de la rampa 1462 y rampa 8942 representaría un ahorro anual de \$ 16 560.00 dólares.

### b. Capacidad limitada en la línea de bombeo 25 l/s

Entre la línea de bombeo de la rampa 1462 y la rampa 8942 se tiene una capacidad de evacuación de aguas en esta zona de 180 m<sup>3</sup>/h (50 l/s), y el agua que se genera en mina es aproximadamente 1538.16 m<sup>3</sup>, según los datos recopilados en todas los frentes de trabajo, lavadero y filtraciones de esta zona (rampa 1462 rampa 8942), cabe mencionar que los equipos en la operación son Jumbo Boomer atlas Copco 282, Simba S7D, Equipo XDTH 55 UFDR Rock Drill.

Para evacuar el agua generada durante la guardia se requiere como máximo 10 horas continuas de bombeo, y si se incrementa el agua que se genera en esta zona mayor a 1800 m<sup>3</sup> durante la guardia o falla alguna electrobomba en el circuito se inundara la profundización paralizando las operaciones hasta solucionar el evento y que es algo que recurrentemente ocurre en esta zona.

Para ello es necesario incrementar la capacidad de bombeo en todo el circuito.

GENERACION DE AGUA POR GUARDIA						
EQUIPO	NVEL	CAUDAL L/S	CAUDAL L/MIN	MINUTOS	LITROS	M3
JUMBO	4012	1.1	66	45	2970	2.97
	4012	1.1	66	45	2970	2.97
	3986	1.1	66	45	2970	2.97
	3986	1.1	66	45	2970	2.97
	3986	1.1	66	45	2970	2.97
	3942	1.1	66	45	2970	2.97
	3922	1.1	66	45	2970	2.97
	3860	1.1	66	45	2970	2.97
SIMBA	3922	1.2	72	480	34560	34.56
	3986	1.2	72	480	34560	34.56
	4012	1.2	72	480	34560	34.56
EMPERNADOR	4012	1.1	66	60	3960	3.96
	4012	1.1	66	60	3960	3.96
	3986	1.1	66	60	3960	3.96
	3986	1.1	66	60	3960	3.96
	3986	1.1	66	60	3960	3.96
	3942	1.1	66	60	3960	3.96
	3922	1.1	66	60	3960	3.96
	3860	1.1	66	60	3960	3.96
DIAMANTINA	3912	8	480	510	244800	244.8
	3856	8	480	510	244800	244.8
LAVADO DE EQUIPOS	Varios	14.6	876	80	70080	70.08
ROCK DRILL	4022	5.6	336	510	171360	171.36
FILTRACIONES	Varios	15	900	720	648000	648
AGUAS	Por definir		0	720	0	0
AGUA GENERADA RP 1462 RP 8942					1538.16 M <sup>3</sup>	

Figura 24. Generación de agua en la rampa 1462 rampa 8942



Se tuvo un incidente en el nivel 4052 Gal 1184 rampa 8942 en donde el avance de la galería corto un taladro de diamantina por donde inicia a salir abundante agua a una razón de 18 l/s, esto ocasionó que se inunde la profundización en 2 guardias de trabajo. Se corrigió instalando un obturador en el taladro y se controló la salida de agua, pero tomo más de una semana en recuperar la profundización.



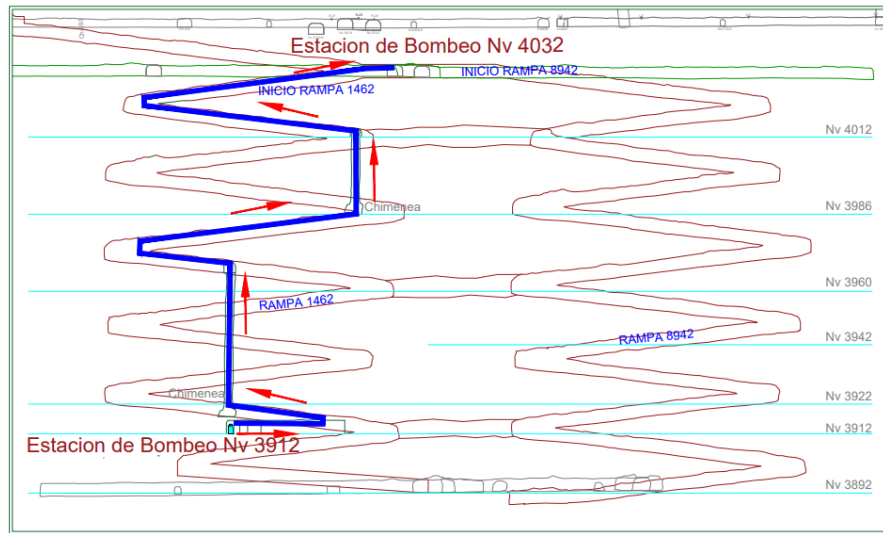
*Figura 25. Presencia de fuga de agua en exploración*

El nuevo sistema constará de 3 bombas de las siguientes características como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 8. Caudales de nuevo sistema de bombeo**

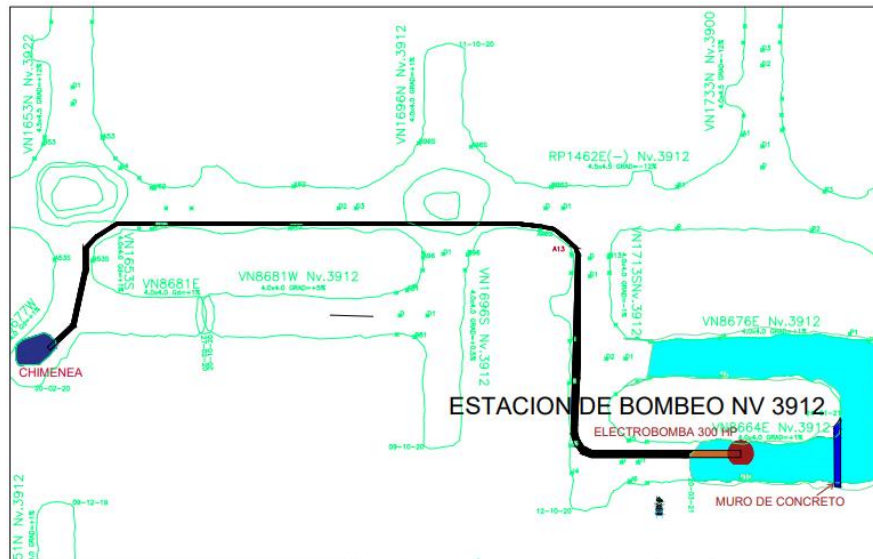
<b>Rampa</b>	<b>Nivel</b>	<b>Potencia de bomba (hp)</b>	<b>Caudal</b>
1462	Profundización	30	25 l/s
1462	3912	300	85 l/s
8942	3912	35	25 l/s

Asimismo, la ubicación de las bombas en el interior de la mina estará conformada de la siguiente forma:



**Figura 26. Integración del sistema de bombeo mejorado**

Asimismo, se propone una nueva red de bombeo de 1041 m de longitud y una altura de cabeza de 120 m, en donde una sola línea de bombeo evacua el agua de mina del nivel 3912 al nivel 4032 con una capacidad de bombeo de 85 l/s.



**Figura 27. Detalle del sistema de bombeo propuesto**

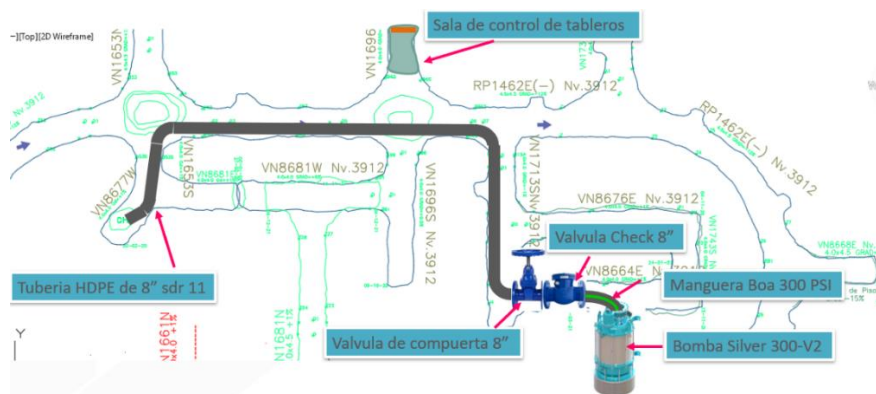
Para lograr el objetivo indicado, el nuevo sistema de bombeo deberá contar con los siguientes componentes, uso de otros recursos además de realizarse los siguientes trabajos de obras civiles detallados en la siguiente tabla con sus respectivos costos:

**Tabla 9. Cálculo de costos de recursos usados**

CONSTRUCCION DE SISTEMA DE BOMBEO INTEGRAL RAMPA 1462 . RAMPA 8942						
MONTO PROYECTADO DE OBRA						\$ 129,028.60
ITEM	DENOMINACION	U/M	CANTIDAD	P.U.	DIAS PROYECTADOS	TOTAL
<b>1.0 MANO DE OBRA</b>						<b>\$ 55,262.40</b>
1.1	Ingeniero	und	1	\$ 140.00	87.00	\$ 12,180.00
1.2	Supervisor	und	1	\$ 110.00	87.00	\$ 9,570.00
1.3	Tecnico	und	2	\$ 80.00	87.00	\$ 13,920.00
1.4	Obreros	und	4	\$ 56.30	87.00	\$ 19,592.40
<b>2.0 MATERIALES</b>						<b>\$ 42,104.40</b>
2.1	Alcayatas	und	347	\$ 4.00	-	\$ 1,388.00
2.2	cuñas	und	347	\$ 2.00	-	\$ 694.00
2.3	tuberia HDPE 8" sdr 11	mts	1041	\$ 25.00	-	\$ 26,025.00
2.4	Valvula Check 8"	und	14	\$ 250.00	-	\$ 3,500.00
2.5	Manguera tipo boa 300 PSI	und	10	\$ 101.00	-	\$ 1,010.00
2.6	Cadena galvanizada eslabonada de 1/4"	mts	347	\$ 4.20	-	\$ 1,457.40
2.7	Cancamos de 1"	kg	10	\$ 41.60	-	\$ 416.00
2.8	Backing Ring de 8"	und	70	\$ 22.20	-	\$ 1,554.00
2.9	Stub end hdpe de 8"	und	70	\$ 30.00	-	\$ 2,100.00
2.10	Esparragos de 3/4" x 8"	und	560	\$ 5.00	-	\$ 2,800.00
2.11	Tuercas hexagonales de 3/4"	und	1120	\$ 0.50	-	\$ 560.00
2.12	Letreros de seguridad	und	20	\$ 30.00	-	\$ 600.00
<b>3.0 EQUIPOS</b>						<b>\$ 28,061.80</b>
	Telehandler	hrs	348	\$ 57.00	-	\$ 19,836.00
	Cargador de Bajo Perfil Scoop 6 yardas	hrs	20	\$ 97.85	-	\$ 1,957.00
	Jumbo	hrs	24	\$ 105.20	-	\$ 2,524.80
	Equipo de Termofusion	Pegas	208	\$ 18.00	-	\$ 3,744.00
<b>4.0 OBRAS CIVILES</b>						<b>\$ 3,600.00</b>
	Muro de concreto 0.5 x 4.5 x 4.5 mts resistencia 21	und	2	\$ 1,500.00	-	\$ 3,000.00
	Cuneta de 0.5 x 0.5 x 20 mts concreto 210 kg/cm	mts	20	\$ 30.00	-	\$ 600.00

El monto total calculado para la ejecución de los trabajos del proyecto alterno presentado en esta tesis, suman en total \$ 129028,6

Para mayor detalle de los trabajos y componentes que se realizarán y usarán se presenta el siguiente plano en vista planta en donde se ubicó la poza y el recorrido de la tubería por la rampa 1462.



**Figura 28. Poza principal de bombeo propuesto**

El objetivo de retirar 5 bombas de 58 HP de la rampa 1462 y 04 bombas de 58 HP de la rampa 8942 por 1 bomba Silver de 300 HP en el circuito de bombeo de la rampa 1462, es incrementar la capacidad de bombeo a 306 m<sup>3</sup>/h y a su vez el bombeo de estar al límite de 10 horas de bombeo este se reducirá a 5.9 horas de bombeo durante la guardia de manera continua y así se incrementa la holgura ante una contingencia. Siempre considerando una bomba en stand by de 300 hp en el nuevo sistema de bombeo.

DESCRIPCION	BOMBEO ACTUAL	NUEVO BOMBEO
M3 POR GUARDIA	1800	1800
CAPACIDAD M <sup>3</sup> /HR	180	306
HORAS DE BOMBEO	10	5.9

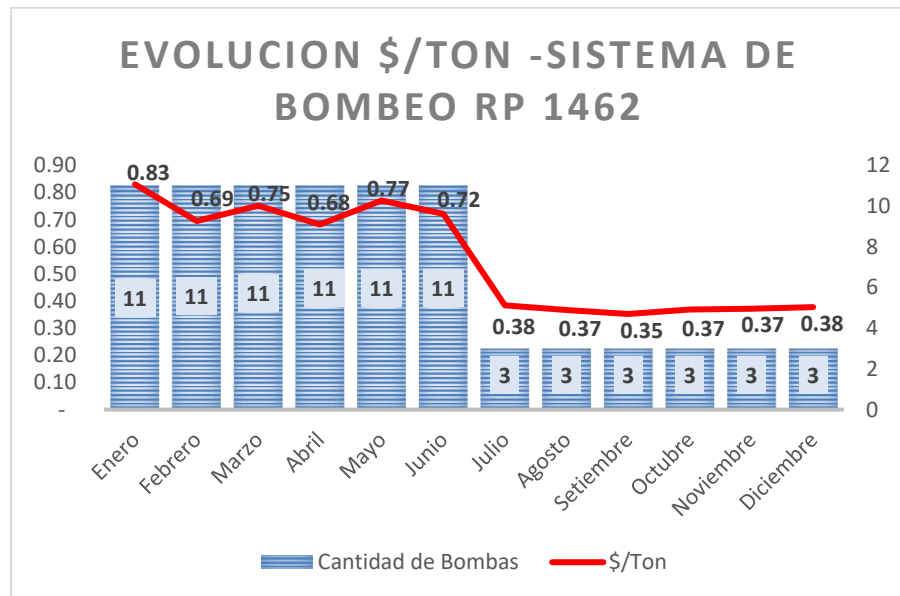
*Figura 29. Caudales de bombeo*

También se realizaron cálculos económicos en base al *fore cast* del año (pronóstico) y se plantea que con el nuevo sistema de bombeo se logrará una reducción de 0.37 US\$/t, eso quiere decir que en el costo general de extracción de mineral de mina a planta se reducirá el costo indicado líneas arriba.

**Tabla 10. Fore cast**

Fore cast												
Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mineral de tajos primarios	175,124.15	186,866.76	172,585.18	215,859.14	183,921.66	194,044.06	213,028.19	216,951.97	197,804.12	234,278.82	227,026.87	197,865.10
Mineral de preparaciones	12,165	14,858.82	14,130.08	14,432.73	7,478.19	16,340.60	11,892.21	12,369.77	11,682.33	8,777.74	7,649.82	9,045.19
Mineral de tajos remanentes	9,667.21	17,895.94	15,373.33	4,516.19	0.00	9,109.31	0.00	7,415.91	12,512.32	0.00	11,233.41	30,288.13
Mineral de pilares	15,034.13	33,571.72	32,086.27	23,331.91	37,078.90	24,508.63	17,815.78	17,421.63	42,791.96	9,890.70	5,085.77	9,905.91
<b>Mineral extraído</b>	<b>211,991</b>	<b>253,193</b>	<b>234,175</b>	<b>258,140</b>	<b>228,479</b>	<b>244,003</b>	<b>242,736</b>	<b>254,159</b>	<b>264,791</b>	<b>252,947</b>	<b>250,996</b>	<b>247,104</b>

*Nota:* planeamiento mina



**Figura 30. Análisis de los costos por tonelada métrica**

Adicional a ello, el mantenimiento de vías es frecuente según el cronograma, pero estas paradas deterioradas por los constantes reboses de pozas. Con la eliminación de pozas de la rampa 1462 y rampa 8942 representaría un ahorro anual de \$ 16 560.00 dólares.

Considerando estos costos, se realiza la siguiente tabla de flujo para una vida de proyecto de 5 años debido a las proyecciones realizadas por el área de planeamiento de mina para exploración y explotación de las labores mineras inferiores en la siguiente figura.

Cuadro de costos de bomba de 58 hp y bomba de 300 hp.

**Tabla 11. Costo de precio de Bomba 58 HP y 300 HP**

	Cantidad	Costo unitario mensual	Costo total anual	Observaciones
Alquiler 58 HP	5	\$ 4816.80	\$ 289 008.00	Sistema de bombeo rampa 1462
Alquiler 58 HP	4	\$ 4816.80	\$ 231 206.40	Sistema de bombeo rampa 8942
Total			\$ 520 214.40	
Alquiler 300 HP	1	\$ 11 200.00	\$ 134 400.00	
<b>Ahorro alquiler</b>			<b>\$ 385 814.40</b>	

#### 4.1.7. Análisis económico financiero de la propuesta

Para el determinar el costo de capital económico, se usó el modelo CAPM, que en la ecuación considerada en el ítem 2.2.10 del presente trabajo cuyos valores individuales fueron asumidos debido a la reticencia hallada en el área de finanzas de la minera, así se consideró:

$$\text{CAPM} = K_j = R_f + \beta_j * (R_m - R_f)$$

$R_f = 2.23 \%$ ; tasa de rendimiento de libre riesgo en Perú, considerando el promedio de los últimos 10 años

$\beta_j = 1.2$ ; considerando para este caso un activo riesgoso

$R_m = 7 \%$ , la rentabilidad real ajustada que han recibido los inversionistas considerando la inflación del Standard and Poor's (S&P500)

Reemplazando valores en la ecuación precedente:

$$\text{CAPM} = 2.23 \% + 1.2 * (7 \% - 2.23 \%) = \mathbf{7.95 \%}$$

Sin embargo, para dar una aproximación más certera al costo de capital de la propuesta presentada, se utilizó como fuente el portal free.esan de la Universidad Esan el que mediante su página web Pro Finance:

<https://kapitals.org/calcula/KAP6482248824664>

Donde se pueden obtener datos del costo de capital o rendimientos esperados para evaluar proyectos, en este caso **se consideró 8.25 %**. Se recurrió a este medio debido al hermetismo que se halló en el área de finanzas de la empresa minera al momento de solicitar la tasa de descuento que utilizan para sus proyectos.

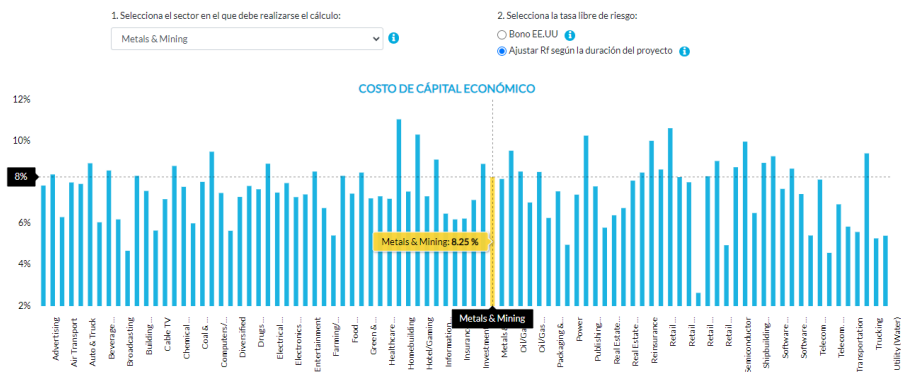


Figura 31. Costo de capital económico

Nota: <https://kapitals.org/calcula/KAP6482248824664>

Se realizó el cálculo de los flujos e indicadores financieros tal como se muestra en la siguiente figura:

	VIDA DE PROYECTO					
	0	1	2	3	4	5
INVERSION INICIAL	-\$ 129,028.6					
COSTO LIMPIEZA DE POZA		\$ 11,742.0	\$ 11,742.0	\$ 11,742.0	\$ 11,742.0	\$ 11,742.0
COSTO OPERARIO BOMBERO		\$ 81,072.0	\$ 81,072.0	\$ 81,072.0	\$ 81,072.0	\$ 81,072.0
COSTO BOMBA 300 HP		\$ 134,400.0	\$ 134,400.0	\$ 134,400.0	\$ 134,400.0	\$ 134,400.0
COSTO BOMBA 35 HP		\$ 32,529.6	\$ 32,529.6	\$ 32,529.6	\$ 32,529.6	\$ 32,529.6
COSTO ENERGIA KW		\$ 154,628.4	\$ 154,628.4	\$ 154,628.4	\$ 154,628.4	\$ 154,628.4
AHORROS ALQUILER 300 HP		\$ 385,814.4	\$ 385,814.4	\$ 385,814.4	\$ 385,814.4	\$ 385,814.4
AHORRO LIMPIEZA DE POZAS		\$ 16,438.8	\$ 16,438.8	\$ 16,438.8	\$ 16,438.8	\$ 16,438.8
AHORRO MANO DE OBRA		\$ 40,536.0	\$ 40,536.0	\$ 40,536.0	\$ 40,536.0	\$ 40,536.0
AHORROS MANTTO VIA		\$ 16,560.0	\$ 16,560.0	\$ 16,560.0	\$ 16,560.0	\$ 16,560.0
FLUJO TOTAL	-\$ 129,028.6	\$ 44,977.2	\$ 44,977.2	\$ 44,977.2	\$ 44,977.2	\$ 44,977.2

COSTO DE CAPITAL PROYECTOS EN MINERIA	8.25%
---------------------------------------	-------

CALCULO DEL VAN	\$ 49,375.43
CALCULO DEL TIR	22%

*Figura 32. Costo de capital económico*

**Consideraciones:** para el cálculo de los indicadores se consideraron los costos de alquiler y operación constantes.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se obtuvo un VAN de \$49375.43 y el TIR 22 % mayor a la rentabilidad que el inversionista (minera) exige por la ejecución del proyecto que es de 8.25 %

#### 4.2. Discusión de resultados

De acuerdo con lo mostrado en el desarrollo del trabajo de tesis, los diferentes beneficios que traería la implementación del nuevo sistema de bombeo buscan dos objetivos específicos que forman parte del problema general: analizar la situación actual del sistema de bombeo y establecer los beneficios que se obtendrían. En función a ello, se analizan los resultados obtenidos contrastándolos con los antecedentes considerados previamente.

El objetivo planteado de la propuesta consiste en mejorar el sistema de bombeo para ello se propone unificar los sistemas de bombeo de las rampas 1462 y 8942 para mejorar el sistema de bombeo para la evacuación de las aguas subterráneas permitiendo eliminar ocho estaciones de bombeo y optimizar la limpieza de pozas. Esto último tiene similitudes con el trabajo presentado por Rafael (7) es su trabajo de tesis que obtuvo como resultado que el sistema de bombeo de la minera Kolpa, optimice la evacuación de agua acumulada en el interior de mina para trabajar de manera óptima con la explotación y extracción de los recursos minerales.



Como se indicó líneas arriba, el sistema anterior estaba conformado por 5 bombas de 58 HP instaladas en serie con capacidad de 25 l/s en la rampa 1462 y de igual manera 4 bombas de 58 HP en la rampa 8942, y 1 bombas de 30 HP en la profundización de cada rampa con capacidad de caudal de 18 l/s las que en su conjunto sirven para evacuar el agua de mina desde el nivel 3912 al nivel 4032. El sistema propuesto cuenta con una bomba de 300 HP de 85 l/s, una bomba de 30 HP con capacidad de caudal de 18 l/s en la profundización de la rampa 1462 y una bomba de 35 HP con capacidad de caudal 18 l/s en la 8942. Todas ellas reemplazarían a las bombas del sistema anterior y se incrementaría la capacidad de evacuación de agua de la profundización de 180 m<sup>3</sup>/h (50 l/s) en la rampa 1462 y rampa 8942 a 306 m<sup>3</sup>/h (85 l/s). A su vez las horas de bombeo del sistema actual en su momento crítico de 10 horas pasará a 5.9 horas de bombeo continuo, generando mayor tiempo y capacidad de bombeo de aguas subterráneas. Esto último tiene similitudes con el trabajo presentado con el trabajo de tesis presentado por Condezo (8) que obtuvo como resultado el reemplazo de tres bombas instaladas en paralelo por tres instaladas en serie de menor potencia y menor consumo de energía eléctrica.

El problema es trasladar el agua de mina en 1041 m de distancia con un sistema de bombeo que presenta fallas para el funcionamiento continuo y eficiente que se requiere, con las repercusiones en las operaciones que facilitarían la explotación subterránea de minerales debido a las inundaciones de las zonas de trabajo. Realizando el estudio y con la consideración de la tecnología actualizada se lograría reemplazar el sistema de bombeo por otro sistema de bombeo, representando un aumento cualitativo y cuantitativo en la extracción de aguas subterráneas evitando así la inundación de las labores mineras, reduciendo el costo operacional en el sistema de bombeo en al menos \$ 0.37 por tonelada extraída.

Finalmente, con la propuesta presentada no ha sido necesario el desarrollo de un proceso estadístico en particular, porque se busca demostrar que un nuevo sistema de bombeo diseñado con la adecuada selección de sus componentes es más eficiente que el sistema anterior.

## CONCLUSIONES

1. Para que las operaciones en interior de mina sean optimizadas se requerirán del uso de mayores recursos económicos y técnicos para la implementación de procesos de optimización y también para el uso eficiente de los recursos ante la inminencia del incremento de los niveles de las fuentes de agua.
2. La mejora de los sistemas de bombeo representa una importante oportunidad para el ahorro de energía, optimizando los procesos además del ahorro de costos que representa.
3. La selección adecuada de las características de las bombas, de tuberías y los accesorios para el diseño o rediseño de sistemas de bombeo considerando la variación de los caudales, aseguran una operación eficiente y buen estado de todos los componentes.
4. La cantidad de agua que puede encontrarse en los túneles es variable y dependerá de la época del año en el que se realicen las labores de exploración y explotación. Ello incidirá en la instalación del sistema de bombeo oportunamente para que no se presenten indicios de grandes vertimientos de agua, ya que los imprevistos se presentan en cualquier momento de la perforación
5. Un aspecto importante por tomar en cuenta en el avance y perforación de las galerías de explotación es establecer los lugares donde se construirán los pozos de bombeo. Es muy importante determinar las características del terreno, seguridad en construcción y accesos para hacer mantenimientos, teniendo en cuenta el uso eficiente de los recursos.
6. El sector minero demanda del mercado una gran variedad de tipos de bombas. El uso de bombas sumergibles tiene unas características técnicas que la hacen versátil en el uso, siendo ideal para las inundaciones que se presentan en operaciones con mínima demanda de obras civiles.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe planificar las operaciones de mina que deben ser optimizadas de tal forma que el uso de los recursos económicos y técnicos redunden en su uso eficiente y se pueda contrarrestar el incremento de los niveles de agua que se presentan.
2. El análisis para la optimización de los sistemas de bombeo debe ser un trabajo entre las distintas áreas que intervienen en las operaciones mineras que conllevará en el ahorro de energía, optimización de procesos y ahorro de costos.
3. Es importante el conocimiento de las operaciones mineras para que se pueda hacer la selección adecuada de las bombas, presentar diseños y rediseños de sistemas. Este trabajo debe ser desarrollado por los ingenieros de operaciones y planificación.
4. Es importante tener planes de acción que involucren a las distintas tareas de operaciones, exploración y explotación, para hacer frente al incremento de agua que se puedan presentar en las diferentes épocas del año.
5. El área de planificación de labores mineras debe ser el responsable de establecer los lugares en los que se construirán las pozas de bombeo, tomando en cuenta aspectos referidos al análisis de suelos, seguridad y accesos.
6. Las bombas sumergibles seguirán siendo las que mayormente se usen en la evacuación de aguas subterráneas, por ello, la importancia de tener comunicación directa y constante con los proveedores de estas para establecer los planes de mantenimiento.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **TOVAR PACHECO, Jorge A.** *El agua subterránea en el medio ambiente minero*. Lima: Minem, 2019.
2. **SANCHEZ SANCHEZ, Walter.** *Boletín Estadístico Minero*. 31 mayo, Lima: Ministerio de Energía y Minas, 2019.
3. **BENAVIDEZ GANOZA, Roque.** *Cuatro claves para una minería del futuro*. Rumbo Minero. Lima, 26 de febrero de 2020.
4. **SILES NATES, Fernando David.** *Drenaje en minería superficial y subterránea*. Universidad Católica Santa María, 2015. [Citado el: 29 de febrero de 2020.]  
<https://prezi.com/q9hk5acmpgvw/drenaje-en-mineria-superficial-y-subterranea/>.
5. **Tomocorp.** *Bombas*. Febrero de 2020. [Citado el: 28 de febrero de 2020.]  
<https://www.tomocorp.com.pe/bombas/>.
6. **RIVERA, Luis.** *Innovación en Minería: 04 líneas de acción*. Gestión. 2019.
7. **RAFAEL, José.** *Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S. A.* Tesis de Grado. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2019. [consultado 12 marzo 2022].  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5149>
8. **CONDEZO, Huston.** *Mejoramiento del sistema de bombeo y drenaje de Aguas subterráneas Unidad de Producción Uchucchacua – Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.* Tesis de Grado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2019. [consultado 12 marzo 2022]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1784>
9. **CANSAYA, Fleming.** *Diseño e Implementación del Sistema de Drenaje para Mejorar el Sistema de Acarreo de Mineral en la Mina Antapaccay -2016*. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2017 [consultado 12 marzo 2022].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3884>
10. **RODRIGUEZ, Yover.** *Mejoramiento del Sistema de Bombeo para Evacuación Eficiente de Aguas Subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A - Unidad San Cristóbal*. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2014 [consultado 12 marzo 2022]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3215>
11. **BARRETO, Celestino.** *Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - Unidad Minera Antapaccay*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 2017. [consultado 12 marzo 2022].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2442>
12. **CARRASCO DIAZ, S.** *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Edit. San Marcos, 2005. ISBN 9972-34-242-5

13. **LAWRENCE y CHAD.** *Principios de la Administración Financiera*. 12.<sup>a</sup> ed. México: Edit. Pearson, 2012. ISBN 978-607-32-0983-0
14. **ORTÍZ.** *Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector A - mina Calenturitas, propiedad de C. I. Procedo S. A., La Loma, Cesar*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería de Minas, 2014.
15. **MUÑOZ.** *Optimización del Sistema de Bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera en la mina de carbón San Fernando, vereda paso nivel, Amaga – Antioquia*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería de Minas, 2016.
16. **FALCONI.** *Diseño de un Sistema de gestión integral de aguas residuales industriales generadas por el proceso de explotación minera en el Proyecto Corazón, Cantón Cotacachi*. Universidad Central del Ecuador, Facultad del Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, 2012.
17. **PORTILLA.** *Evacuación de aguas subterráneas por bombeo en la construcción de túneles*. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2012.
18. **RAMÍREZ CASCO, Andrea del Pilar; RAMÍREZ GARRIDO, Raúl Germán; CALDERÓN MORAN, Edison Vinicio.** La gestión administrativa en el desarrollo empresarial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, *Revista: CE Contribuciones a la Economía*, 2017. ISSN: 1696-8360.  
<https://www.eumed.net/ce/2017/1/gestion.html>
19. **HADAD, Graciela; SEBASTIÁN, Alberto; RAFFO, Daniela.** *Estudio comparativo de variantes de inspección sobre el Modelo Léxico Extendido del Lenguaje : gestión de la calidad de un modelo léxico en el proceso de requisitos*, Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina. 2019 <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/8815>
20. **ABAMBARI-VERA, Johnny Antonio; PÉREZ-VEGA Efraín.** Experiencias en el mantenimiento de la Máquina Empacadora de Conservas Herfraga. *Un Proyecto Factible. Polo de conocimiento*, (Edición núm. 57) Vol. 6, No 4, Abril 2021, pp. 897-921, ISSN: 2550 - 682XDOI: 10.23857/pc.v6i4.2617  
<https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/7926997.pdf>
21. **GARZÓN, Marco.** *Diseño de un sistema de gestión de calidad para el escuadrón aeronaval de mantenimiento bajo estándares ISO 9001-2000*, tesis. Universidad Técnica Particular de Loja. 2019.  
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/7396/1/TESIS%20FINAL%20MARCO%20GARZON%20AYALA%20UTPL.pdf>
22. **RAMOS, Marcos.** *Propuesta de un plan de mantenimiento en las grúas automotrices de la empresa Autotecnia Car E. I. R. L. para disminuir pérdidas económicas*, tesis. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/5344>

23. **CANCHANYA; GUERRERO.** *Aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la productividad de la empresa RD RENTAL S.A.C., Ate- 2019*, tesis. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47615>
24. **HINCAPIE, Luis.** Metodología de gestión de mantenimiento desde una perspectiva de Confiabilidad-Disponibilidad-Mantenibilidad (CDM) para aplicación en equipos de Tecnología de la Información (TI), tesis. Universidad Nacional de Colombia. 2018 <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62279>
25. **ANAYA RAYMUNDO, Mario Antonio.** *Características de la gestión del mantenimiento industrial*, Trabajo de Investigación, Universidad Privada del Norte. 2018 <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13067?show=full>
26. **HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, P.** *Metodología de la investigación*. (5.<sup>a</sup> ed.). México : McGraw-Hill, 2010. 978-607-15-0291-9

## **ANEXOS**

Anexo 1  
Diagrama de Woody

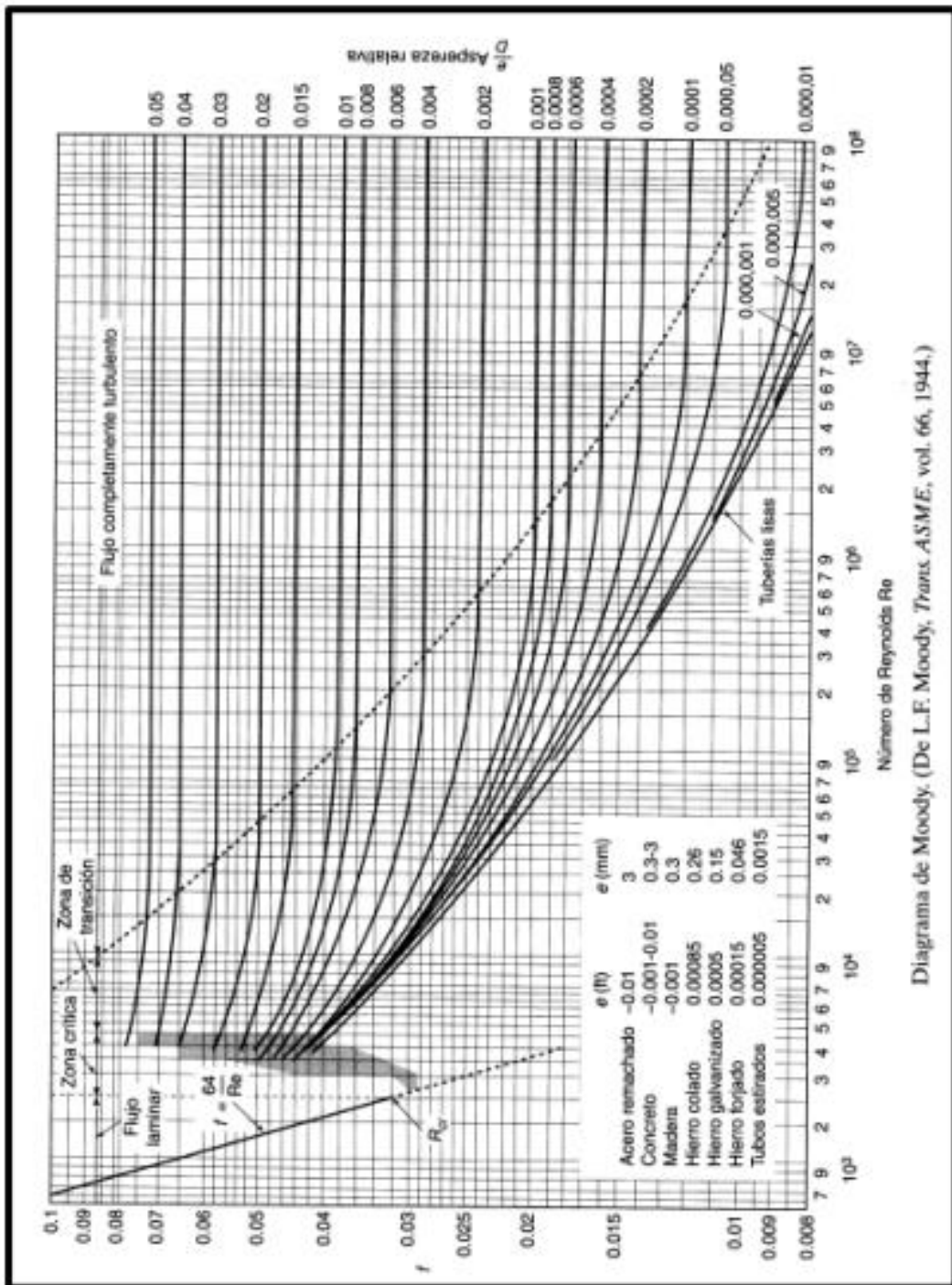
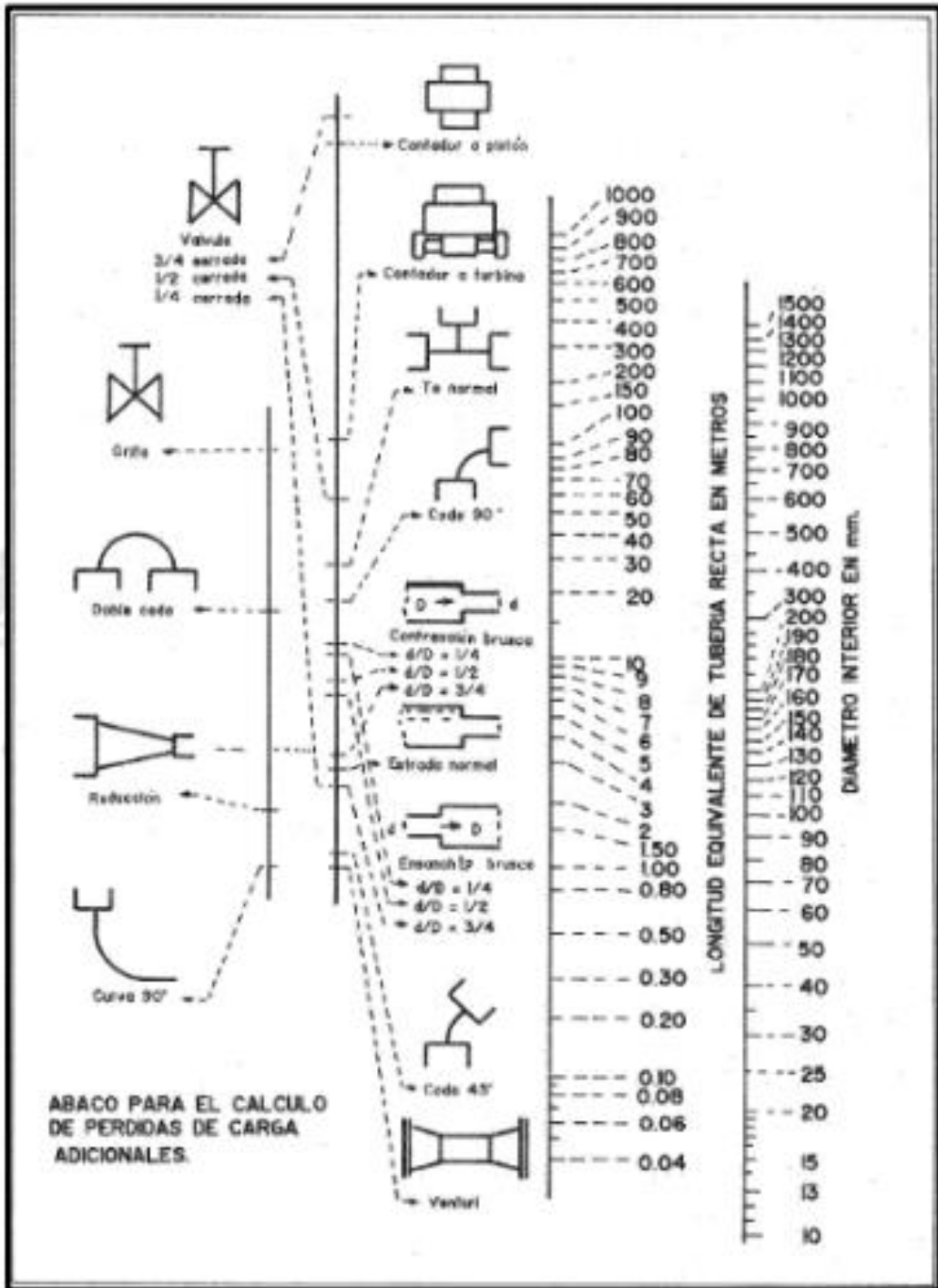


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)



## Anexo 2

### Diagrama de pérdidas debido a accesorios



### Anexo 3

#### Propiedades físicas del agua con una presión de 101 KPa

Temperature (°C)	Peso Especifico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad Dinámica $\eta$ (Pa·s)	Viscosidad Cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

#### Anexo 4.

Tabla de resumen de espesores de tuberías

Clase	Presión de diseño (PSI)	Material	Cedula	Corrosión (mm)	Factor de Seguridad mínimo	Servicio
CS1	285.0	ASTM A53 Gr.B	Sch 80 / Sch40 / STD	1.6	3.94	Agua de mina
CS3	740.0	ASTM A53 Gr.B	Sch80 / Sch40	1.6	1.52	Agua de mina
SS1	150.0	ASTM 316/316L	Sch10S / Sch40S	0.0	4.65	Agua de mina
PE1	240.0	PE 4710	SDR 7.3	0.0	1.33	Agua de mina
PE3	187.5	PE 4710	SDR 9	0.0	1.33	Agua de mina
PE5	150.0	PE 4710	SDR 11	0.0	1.33	Agua de mina
PE6	120.0	PE 4710	SDR 13.5	0.0	1.33	Agua de mina
PE7	97.5	PE 4710	SDR 17	0.0	1.33	Agua de mina / Lechada de cal / Floculante

Fuente: SRK Consulting (Perú) S.A

## Anexo 5

### Factores de calidad básicos






**Tabla A-1B factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios, E<sub>j</sub>**  
 Estos factores de calidad son determinados de acuerdo con el párrafo 302.3.4(a). vea también párrafo 302.3.4(b) y  
 Tabla 302.3.4 para factores de calidad incrementados aplicables a casos especiales. Las especificaciones, excepto  
 API, son ASTM.

No. espec.	Clase (o tipo)	Descripción	E <sub>j</sub> (2)	Notas. Apéndice A
<b>Acero carbono</b>				
API SL	...	Tubería sin costura	1.00	...
		Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
		Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.95	...
		Soldada a tope en horno	0.60	...
A 53	Tipo S	Tubería sin costura	1.00	...
	Tipo E	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
	Tipo F	Soldada a tope en horno	0.60	...
A 105	...	Forjas y accesorios	1.00	(9)
A 106	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 134	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...
A 135	...	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
A 139	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...
A 179	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 181	...	Forjas y accesorios	1.00	(9)
A 234	...	Accesorios con y sin costura	1.00	(16)
A 333	...	Tubería sin costura	1.00	...
		Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
		Tubo sin costura	1.00	...
A 334	...	Tubo sin costura	1.00	...
A 350	...	Forjas y accesorios	1.00	(9)
A 369	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 381	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, radiografiados al 100%	1.00	(18)
		Tubería soldada por fusión eléctrica, radiografía por lotes	0.90	(19)
		Tubería soldada por fusión eléctrica, como se fabricó	0.85	...
A 420	...	Accesorios soldados, radiografiados al 100%	1.00	(16)
A 524	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 587	...	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...

## Anexo 6

### Factores de calidad de junta longitudinal

Tabla 302.3.4 Factor de calidad de junta longitudinal soldada,  $E_j$

N.º	Tipo de junta	Tipo de costura	Examen	Factor, $E_j$
1	Soldadura a tope en horno, soldadura continua 	Recta	Conforme a las especificaciones definidas	0,60 [Nota (1)]
2	Soldadura por resistencia eléctrica 	Recta o en espiral	Conforme a las especificaciones definidas	0,85 [Nota (1)]
3	Soldadura por fusión eléctrica			
	(a) Soldadura a tope simple  (con o sin metal de aporte) 	Recta o en espiral	Conforme a las especificaciones definidas en este Código  Además de la radiografía por lotes según el párrafo 341.5.1  Además del radiografiado al 100% según el párrafo 344.5.1 y la tabla 341.3.2	0,80  0,90  1,00
	(b) Soldadura a tope doble  (con o sin metal de aporte) 	Recta o en espiral [excepto que se indique lo contrario en el punto 4 (a) a continuación]	Conforme a las especificaciones definidas en este Código  Además de la radiografía por lotes según el párrafo 341.5.1  Además del radiografiado al 100% según el párrafo 344.5.1 y la tabla 341.3.2	0,85  0,90  1,00
4	Según las especificaciones precisas			
	(a) API 5L  Soldadura por arco sumergido (SAW) Soldadura por arco metálico y gas (GMAW) Soldaduras GMAW y SAW combinadas 	Recta con una o dos costuras En espiral	Conforme a las especificaciones	0,95

Anexo 7

Ingeniería básica y de detalle sistema de drenaje integral mina

Pipe o diameter:	pulga	2"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"
Pipe parámetros:	Uñitas								
- Material		A106- Grado B	A-53 Grado B	A-53 Grado B	A-53 Grado B	A-53 Grado B	A-53 Grado B	A-53 Grado B	A-53 Grado B
Pipe Material Data is per ASME B31.3-2004 (Tables A-1 and A-1A)									
- Pipe & tuve manufacturing		SLMS	ERW	ERW	ERW	ERW	ERW	ERW	ERW
- Allowable Stress in Tension (B31.3)	psi	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
- S									
At design temp: ASME B31.3-2004 (Tables A-1 and A-1A)	Tabla								
- Allowable Stress in Tension (B31.3)	MPa	138	138	138	138	138	138	138	138
- S									
At designa temp:									
- Weld:		P-1	P-1	P-1	P-1	P-1	P-1	P-1	P-1
- Longitudinal joint quality factor - (For B31.3) E=	Tabla	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Table A-1B of ASME B31.3									
- Weld joint Strength Reduction Factor - (For B31.3) W=		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
- Coefficient from Table 304.1.1 of Code Y=	Tabla	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Table 304.1.1 o ASME B31.3									
- Min. Ténsale Stress: St=	psi	60000.00	60000.00	60000.0	60000.0	60000.0	60000.0	60000.0	60000.00
				0	0	0	0	0	
- Min. Field Stress: Sy=	psi	35000.00	35000.00	35000.0	35000.0	35000.0	35000.0	35000.0	35000.00
				0	0	0	0	0	
<b>Designa pressure:</b>									
- Designa pressure: P=	psi	740.00	740.00	740.00	740.00	740.00	740.00	740.00	740.00
- Design pressure: P=	kPa	5102	5102	5102	5102	5102	5102	5102	5102
<b>Design temperature:</b>									
<b>- Curve</b>									
- Design temperature: temp=	deg. F	70	70	70	70	70	70	70	70
- Design temperature: temp=	deg. C	21	21	21	21	21	21	21	21
<b>Others:</b>									
- Thickness tolerance; mill=	%	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
- Corrosion / Mech. Allowance; or Tolerance C=	in	0.00	0.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
- Nominal pipe size	in	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00
- Pipe outside diameter d=	in	2.38	4.50	6.63	8.63	10.75	12.75	14.00	16.00
- Pipe inside diameter d=	in	1.94	4.03	6.07	7.98	10.02	11.94	13.12	15.00
- Thickness tolerance mech. h=	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
- Thickness allowance c2=	in	0.00E+0	0.00E+0	6.30E-	6.30E-	6.30E-	6.30E-	6.30E-	6.30E-02
		0	0	02	02	02	02	02	
- Min. Req'd. Pipe Thk. t <sub>m</sub> =	in	0.0433	0.0820	0.1838	0.2202	0.2590	0.2954	0.3182	0.3547
Refer 304.1, t <sub>m</sub> = minimum required									

thickness = PD/[2(SEW+PY)] +c eq. (3a)									
- <b>Pipe schedule / SDR ...</b>		<b>Sch80</b>	<b>Sch 40</b>	<b>Sch 40</b>	<b>Sch 40</b>	<b>Sch 40</b>	<b>Sch 40</b>	<b>Sch 40</b>	<b>Sch 40</b>
- <b>Mom. Thk. (pipe thickness)</b>	<b>in</b>	<b>0.22</b>	<b>0.24</b>	<b>0.28</b>	<b>0.32</b>	<b>0.37</b>	<b>0.41</b>	<b>0.44</b>	<b>0.50</b>
- <b>Wall thickness</b> (measured or min. Per purchase spec). <b>T=</b>	<b>in</b>	<b>0.1908</b>	<b>0.2074</b>	<b>0.2450</b>	<b>0.2818</b>	<b>0.3194</b>	<b>0.3553</b>	<b>0.3833</b>	<b>0.4375</b>
The min. T, considering mill tolerance, shall not be less than $t_m$									
$T = (\text{Nom Tahk}) (1 - \text{Mill \%}) - h$									
- <b>T mus be <math>\geq t_m</math></b>		<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>
- <b>Che King <math>T &lt; D/6</math></b>		<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>
<b>SAFETY</b>									
- <b>Max. pressure (B31.3)</b>	<b>psi</b>	<b>3467</b>	<b>1924</b>	<b>1531</b>	<b>1347</b>	<b>1222</b>	<b>1144</b>	<b>1123</b>	<b>1122</b>
- <b>Safety Factor (B31.3)</b>		<b>4.69</b>	<b>2.60</b>	<b>2.07</b>	<b>1.82</b>	<b>1.65</b>	<b>1.55</b>	<b>1.52</b>	<b>1.52</b>