

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Optimización del sistema de bombeo para el drenaje del tajo norte de la unidad Minera  
Antapaccay- 2019

Presentado por:

Mauro Delgado Soria

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL DRENAJE DEL TAJO  
NORTE DE LA UNIDAD MINERA ANTAPACCAY- 2019”

Presentado por **Mauro Delgado Soria**, para optar el Título de:  
**INGENIERO DE MINAS**

Sustentado y aprobado el 13 de Octubre del 2021 a horas 16:00 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

\_\_\_\_\_  
*Ing. Walquer Huacani Calsin*

**Primer Miembro:**

\_\_\_\_\_  
*Ing. Hilario Carrasco Kolque*

**Segundo Miembro:**

\_\_\_\_\_  
*Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada*

**Asesor :**

\_\_\_\_\_  
*Ing. Giovanni Frisancho Triveño*

### **Agradecimiento**

*Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Apurímac de Micaela Bastidas e incluso al Escuela Académico - Profesional de Ingeniería en Minas, institución que me ha acogido en sus aulas. A través de sus distinguidos profesores me transfirieron sus conocimientos y experiencia. Para afrontar el competitivo mercado laboral, donde son todos los profesionales que deciden estudiar esta profesión en particular.*



## **Dedicatoria**

*Este trabajo está dedicado a mi madrecita, mis hermanos, quienes siempre han estado dispuestos a brindar su moral y comprensión en la conducción de toda mi carrera universitaria, brindándome vuestra consideración sincera y duradera.*



“Optimización del sistema de bombeo para el drenaje del tajo norte de la unidad Minera  
Antapaccay- 2019”

Línea de investigación: Geotecnia y Minería

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>4</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
1.1    Descripción del problema .....	4
1.2    Enunciado del problema .....	5
1.2.1    Problema General .....	5
1.2.2    Problema específico.....	5
1.2.3    Justificación de la investigación .....	5
1.2.4    Importancia de la investigación .....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS E HIPOTESIS.....</b>	<b>7</b>
2.1    Objetivos de la investigación.....	7
2.1.1    Objetivo general .....	7
2.1.2    Objetivo específico .....	7
2.2    Hipótesis de la investigación .....	7
2.2.1    Hipótesis General .....	7
2.2.2    Hipótesis Específico .....	7
2.3    Operacionalización de variables .....	7
2.4    Delimitación espacial .....	8
2.5    Delimitación social.....	8
2.4    Delimitación temporal .....	8
2.5    Delimitación conceptual .....	8
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>9</b>
3.1    Antecedentes .....	9
3.1.1    Antecedente internacional.....	9



3.1.2	Antecedentes a nivel nacional.....	9
3.2	Marco conceptual .....	10
3.2.1	Ubicación.....	10
3.1.1	Accesibilidad .....	11
3.2.2	Exploración .....	12
3.2.3	Explotación.....	13
3.2.4	Beneficio .....	21
3.2.5	Cierre de mina .....	22
3.2.6	Medio ambiente .....	25
3.2.7	Sistema de seguridad .....	25
3.2.8	Comercialización .....	26
3.2.9	Geología .....	26
3.2.10	El agua en la mina .....	32
3.2.11	Bombeo de aguas superficiales.....	33
3.2.12	Sistema de bombeo de aguas superficiales .....	34
3.2.13	Objetivos principales del bombeo de aguas superficiales .....	34
3.2.14	Clasificación de bombas en general.....	35
3.2.15	Captación de aguas superficiales .....	36
3.2.16	Obras de conducción.....	36
3.2.17	Drenaje de agua de minas .....	36
3.2.18	Ubicación de la estación de bombeo.....	37
3.2.19	Bombas en serie y en paralelo .....	37
3.2.20	Drenaje .....	38
3.3	Marco conceptual .....	38
3.3.1	Poza de succión .....	38
3.3.2	Estaciones de bombeo.....	39
3.3.3	Sistemas de Bombeo.....	39
3.3.4	Flujos.....	40
3.3.5	Tubo de corriente.....	40
3.3.6	Usages .....	40



3.3.7	Pozos .....	40
3.3.8	Napa freática.....	41
3.3.9	Nivel Estático .....	41
3.3.10	Nivel Dinámico .....	42
3.3.11	Nivel de Succión.....	42
3.3.12	Collar de Pozo .....	43
3.3.13	Nivel Final de Pozo .....	43
3.3.14	Perfil Hidráulico .....	43
3.3.15	Curva de Rendimiento de Bombas.....	43
3.3.16	Altura Dinámica Total (TDH) .....	43
3.3.17	Altura Neta Positiva de Aspiración.....	43
3.3.18	Abatimiento .....	44
3.3.19	Capacidad Específica de Pozos.....	44
3.3.20	Equipos Mecánicos .....	44
3.3.21	Bombas.....	44
3.3.22	Motor.....	44
3.3.23	Casing o Línea .....	44
3.3.24	Tubería .....	45
3.3.25	Flujometro .....	45
3.3.26	Sensor de Presión.....	45
3.3.27	Válvula de Control.....	45
3.3.28	Válvula Check .....	45
3.3.29	Tableros .....	46
3.3.30	Tanques de Rebombeo.....	46
3.3.31	Sub-estaciones de Energía .....	46
3.3.32	Sumidero .....	46
3.3.33	Tubería .....	46
3.3.34	Curvas características .....	46
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>47</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>		<b>47</b>



4.1	Tipo y nivel de investigación.....	47
4.2	Diseño de la investigación.....	47
4.3	Población y muestra .....	47
4.3.1	Población.....	47
4.3.2	Muestra.....	47
4.4	Procedimiento de la investigación .....	47
4.5	Técnicas e instrumentos.....	47
4.5.1	Instrumentos de Investigación .....	48
4.6	Análisis estadístico .....	48
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>50</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>		<b>50</b>
5.1	Descripción de los resultados .....	50
5.1.1	Cálculos principales.....	51
5.1.2	Diseño hidráulico.....	54
5.1.3	Accesorios a instalar en una bomba.....	56
5.1.4	Diseño antiguo del sistema de bombeo de aguas .....	57
5.1.5	Diseño de nuevo sistema de bombeo de mina Antapaccay .....	59
5.1.6	Resumen .....	78
5.2	Resultados .....	79
5.2.1	Selección de bombas para cada nivel.....	79
5.2.2	Comparación de eficiencia de bombas anterior y actual .....	83
5.2.3	Rendimiento de bombas .....	85
5.3	Discusión de resultados. ....	86
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>90</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>90</b>
6.1	Conclusiones .....	90
6.2	Recomendaciones .....	91
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>92</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>94</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> — Operacionalización de variables .....	8
<b>Tabla 2</b> — Acceso a la unidad minera.....	11
<b>Tabla 3</b> — Relación entre orientaciones obtenidas de datos geofísicos con la correlación .....hecha de estructuras reconocidas y descritas en los logeos geológicos .....	31
<b>Tabla 4</b> — Diseño de poso de bombeo de agua.....	57
<b>Tabla 5</b> — Eficiencia de bombas antiguo .....	59
<b>Tabla 6</b> — Ubicación de las pozas .....	60
<b>Tabla 7</b> — Preparación e instalación de tuberías a utilizar .....	60
<b>Tabla 8</b> — Características del fluido de mina .....	60
<b>Tabla 9</b> — Requerimientos por nivel respecto a la potencia de las bombas .....	79
<b>Tabla 10</b> — Cantidad total de bombas a requerir en mina .....	83
<b>Tabla 11</b> — Eficiencia de bombas anterior .....	83
<b>Tabla 12</b> — Eficiencia de bombas actual .....	84
<b>Tabla 13</b> — Rendimiento de bombas antiguo .....	85
<b>Tabla 14</b> — Rendimiento de bombas .....	86
<b>Tabla 15</b> — Rendimiento actual de bombas.....	87
<b>Tabla 16</b> — Rendimiento actual de bombas.....	87
<b>Tabla 17</b> — Eficiencia de bombas anterior .....	88
<b>Tabla 18</b> — Eficiencia de bombas actual .....	88
<b>Tabla 19</b> — Rendimiento de bombas antiguo .....	89
<b>Tabla 20</b> — Rendimiento de bombas actual.....	89
<b>Tabla 21</b> — Rendimiento del antiguo y nuevo sistema de bombeo .....	90
<b>Tabla 22</b> — Nuevo sistema de bombeo.....	90
<b>Tabla 23</b> — Eficiencia de equipos de bombeo sistema antiguo y el actual.....	91



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> — Ubicación de la Unidad Minera Antapaccay .....	11
<b>Figura 2</b> — Tajos abiertos N y S de Antapaccay .....	15
<b>Figura 3</b> — Modelo de los tajos abiertos de Antapaccay.....	15
<b>Figura 4</b> — Equipos de operación Antapaccay .....	16
<b>Figura 5</b> — parámetros de diseño de botaderos se muestran en la figura .....	17
<b>Figura 6</b> — Ancho de rampa .....	17
<b>Figura 7</b> — Diseño de rampas en open pit .....	18
<b>Figura 8</b> — Perforadora de roca .....	19
<b>Figura 9</b> — tabloncillos de anuncios en la entrada de la mina .....	20
<b>Figura 10</b> — Planta concentradora .....	22
<b>Figura 11</b> — Planta concentradora .....	22
<b>Figura 12</b> — Cierre de mina.....	23
<b>Figura 13</b> — Cierre Progresivo .....	24
<b>Figura 14</b> — Desempeño de Seguridad.....	25
<b>Figura 15</b> — Franja Eocena-Oligocena del cinturón Andahuaylas-Yauri .....	26
<b>Figura 16</b> — Plano Geológico del Distrito Minero de Tintaya .....	27
<b>Figura 17</b> — Geología del Proyecto Antapaccay .....	29
<b>Figura 18</b> — Principales fallas interpretadas en Antapaccay Norte y Sur .....	32
<b>Figura 19</b> — Bomba inclinada .....	38
<b>Figura 20</b> — Estaciones de bombeo.....	39
<b>Figura 21</b> — Napa freática .....	41
<b>Figura 22</b> — Ilustración de la medición de presión .....	51
<b>Figura 23</b> — Diagrama de Moody.....	54
<b>Figura 24</b> — Accesorios a instalar en una bomba.....	56
<b>Figura 25</b> — Diseño de poso de bombeo de agua .....	58
<b>Figura 26</b> — Características del fluido de mina.....	62
<b>Figura 27</b> — Abaco de Moody.....	65
<b>Figura 28</b> — Abaco de Moody.....	69



## INTRODUCCIÓN

El sistema de bombeo utilizado en la industria minera subterránea donde se observa filtraciones de agua en la mina luego de la perforación para desarrollar este proceso, el agua debe ser evacuada para asegurar la continuidad de la producción. Como problema general se tiene ¿Cómo se optimizará el sistema de bombeo para evacuar el agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay? y como objetivo optimizar el sistema de bombeo del tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay, logrando una mayor eficiencia.

En la tabla 23 se muestra el tiempo programado de operación de las bombas y el total de horas operativos por mes (h/mes) que hacen una diferencia de 19.48% de mejora entre las bombas anteriores respecto a las actuales. Los tiempos programados de toda la operación de las bombas deberán sumar las 720 horas/mes operativos y no operativos.

## RESUMEN

El sistema de bombeo empleado en el tajo norte de la Mina Antapaccay, la presencia de defectos relacionados con el rendimiento del equipo, especialmente la bomba, y el sistema de bombeo las cuales, para algunos casos de diseño, no respetan la relación caudal-potencia requerida para operar de manera óptima el sistema, por otro lado, los problemas de fallas y averías ocurren continuamente. Este caso incurre en costos operativos y en algunos casos afecta los avances de producción debido a falta de mantenimiento preventivo o planificación de contingencias. Para mejorar el sistema de bombeo de las minas, en primer lugar, se determinan las características del fluido que será transportado, ya que depende del tipo de bomba que se utilizará y de la selección de sus componentes. Esto se relaciona con el diseño, la construcción y los materiales, por otro lado, se diseñan un nuevo sistema de bombeo. Como objetivo general de la tesis se tiene, determinar la optimización del sistema de bombeo para el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, en la metodología se tiene que el tipo de investigación es descriptivo experimental y diseño de causa efecto, como resultado se cuenta con un sistema de bombeo completo y se han desarrollado importantes ahorros en costos operativos, procedimientos estándar de instalación y operación, así como un plan de mantenimiento preventivo. Así se disminuyó la cantidad de material particulado de una poza de sedimentación. En cuanto a las tuberías las partes vulnerables serán cubiertas por alcantarillas de 32” (32 pulgadas) para prevenir posibles roturas por desprendimiento de rocas y como conclusión general se optimizó el sistema de bombeo en el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, Los resultados obtenidos son los siguientes : la bomba Sulzer (potencia de 250 kw y la potencia óptima para bombear de un nivel a otro nivel es de 211.775 kw), la bomba Sulzer (potencia de 250 kw y la potencia adecuado para bombear de un nivel a otro es de 203.137 kw), la bomba Gould pumps (potencia de 298 kw y la potencia óptima para bombear de un nivel a otro es de 288.144 kw), la bomba Flyght MT (potencia de 104 kw y la potencia adecuado para bombear de un nivel a otro es de 211.775 kw), la bomba Gorman Rupp (potencia de 205 kw y la potencia adecuado para bombear de un nivel a otro es de 54.346 kw).

**Palabras clave:** Agua de tajo, bombas de agua, Pozos de agua, Sistema de bombeo.



## ABSTRACT

The pumping system used in the north pit of the Antapaccay Mine, the presence of defects related to the performance of the equipment, especially the pump, and the pumping system which, for some design cases, do not respect the flow-power relationship required to optimally operate the system, on the other hand, failure and breakdown problems occur continuously. This case incurs operating costs and in some cases affects production progress due to lack of preventive maintenance or contingency planning. To improve the mine pumping system, firstly, the characteristics of the fluid to be transported are determined, since it depends on the type of pump to be used and the selection of its components. This relates to design, construction and materials, on the other hand, a new pumping system is designed. The general objective of the thesis is to determine the optimization of the pumping system for the drainage of the north pit of the Antapaccay Mining Unit. In the methodology, the type of research is experimental descriptive and design of cause and effect. It has a complete pumping system and significant savings in operating costs, standard installation and operation procedures, as well as a preventive maintenance plan have been developed. Thus, the amount of particulate material in a sedimentation pond was reduced. As for the pipes, the vulnerable parts will be covered by 32" (32-inch) culverts to prevent possible breakage due to rockfall and as a general conclusion, the pumping system in the drainage of the north pit of the Antapaccay Mining Unit was optimized, Los The results obtained are the following: the Sulzer pump (power of 250 kW and the optimum power to pump from one level to another level is 211,775 kW), the Sulzer pump (power of 250 kW and the adequate power to pump from one level to another another is 203,137 kw), the Gould pumps (power of 298 kw and the optimal power to pump from one level to another is 288,144 kw), the Flyght MT pump (power of 104 kw and the right power to pump from one level to another is 211,775 kW), the Gorman Rupp pump (power of 205 kW and the adequate power to pump from one level to another is 54,346 kW).

**Keywords:** Pit water, water pumps, water wells, pumping system.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

En la explotación de mineral del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay la presencia de agua en un problema grande debido a que las medidas de manejo no son adecuadas. Para la exploración continua y la profundización de la unidad minera, es muy primordial drenar el agua existente, para evitar un gran problema si no se toman las medidas adecuadas. (BARRETO, 2017)

Para mejorar el sistema de bombeo en las minas, en primer lugar, se determinan las características del fluido que será transportado, ya que de él depende el tipo de bomba a utilizar y la elección de sus componentes. Esto se relaciona con el diseño y los materiales de construcción, en segundo lugar, se diseña un nuevo sistema de bombeo en base a los requisitos y condiciones por un período de cinco (5) años y algunas otras recomendaciones en el corto plazo. (MUÑOZ, 2016)

Con un sistema adecuado de evacuación de aguas del fondo del tajo norte, los costos de operación y rendimiento de los equipos de bombeo serán óptimos generando mayores utilidades para las operaciones mineras.

Estas aguas retrasan los trabajos de operación del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, la presencia de agua se vuelve en un problema cuando no se pueden manejar, el agua es un obstáculo en la perforación, un gasto de tiempo y presupuesto. Por estos motivos, es necesario mejorar el sistema de bombeo para poder realizar los trabajos con las medidas más adecuadas de operación.

Por lo anterior el objetivo principal es determinar la optimización del sistema de bombeo para el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay.

En un inicio la capacidad de bombeo es de 420 l/s, hay la necesidad de incrementar esta capacidad debió a que hay inundaciones en el fondo de tajo, se incrementó a 480 l/s, donde actualmente satisface las demandas de evacuación de aguas.



## 1.2 Enunciado del problema

### 1.2.1 Problema General

¿Cómo se optimizará el sistema de bombeo para evacuar el agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019?

### 1.2.2 Problema específico

- ¿En qué medida el sistema de bombeo mejorara las operaciones mina en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019?
- ¿Cómo se optimizarán los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019?

### 1.2.3 Justificación de la investigación

La investigación está justificada porque trata sobre las operaciones mineras y su continuidad sin sufrir paralizaciones, para ello se optimizará el sistema de bombeo del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, teniendo los lugares de trabajo, libres de presencia de aguas y adecuado desarrollo de las actividades mineras.

La necesidad de que el tajo norte continúe en operación y no pare su producción y evitar que la presencia de agua pudiera, se convierte en un problema de diseño para explotación minera a rajo abierto.

Actualmente se tienen tiempos muertos debido a que se tienen que esperar los trabajos de bombeo de aguas del fondo del tajo norte y la utilización de equipos.

El trabajo de bombeo del tajo norte es constante debido a la excesiva cantidad de agua que se acumula, generando parada de los equipos de operaciones mineras y no cumplir con la producción programada.

Con un adecuado sistema de bombeo se lograría minimizar o eliminar los tiempo muertos o perdidos y continuar con los trabajos de explotación, de esa manera obtener las metas programas en la producción y así no ver afectadas las utilidades de la empresa.

#### 1.2.4 Importancia de la investigación

La importancia de esta investigación permite mejorar los estándares de los trabajos de bombeo del tajo norte, brindando una alternativa de solución eficiente el cual permite el normal desarrollo de los trabajos de minado, manteniendo así una producción obtenga.

La optimización del sistema de bombeo del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay es importante debido a que permite la optimización de los costos operativos en la empresa, deja los lugares de trabajo libres de la presencia de aguas, para un normal desarrollo de los trabajos mineros.

La optimización del sistema de bombeo nos permite el libre acceso de los equipos que están interrelacionados con la actividad extractiva del tajo norte.

La optimización del sistema de bombeo brinda un ambiente adecuado para realizar los trabajos de diseño de malla, perforación, carguío de explosivos y obtener una adecuada voladura.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPOTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.1.1 Objetivo general

Determinar la optimización del sistema de bombeo para el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay - 2019.

##### 2.1.2 Objetivo específico

- Determinar el sistema de bombeo óptimo de agua en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019
- Optimizar los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.1 Hipótesis General

Se optimizara del sistema de bombeo en el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019.

##### 2.2.2 Hipótesis Específico

- Se determinará el sistema de bombeo de agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019
- Se optimizar los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019

#### 2.3 Operacionalización de variables

**Variable X:** Sistema de bombeo

**Variable Y:** Drenaje del tajo norte de la unidad minera Antapaccay- 2019

**Tabla 1— Operacionalización de variables**

<b>Tipo de variable</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Variable independiente	X: Sistema de bombeo	capacidad de bomba	cantidad de agua evacuada (480 l/s)
		tiempo de bombeo	Drenaje
			horas totales por turno (12 h/gd)
Variable dependiente	Y: Drenaje del tajo norte.	cantidad de bombas	Porcentaje de disminución de bombas (23-18) 21.74%

#### 2.4 Delimitación espacial

El proyecto de investigación está delimitado en la profundización del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay - que se encuentra en el Distrito de Yauri – Provincia Espinar – Región de Cusco.

#### 2.5 Delimitación social

El proyecto de investigación incluye colaboradores del área de costo, drenaje, bombeo, seguridad y operaciones. En otras palabras, los trabajadores de las áreas de la unidad Minera Antapaccay verán la mejora del sistema de bombeo subterráneo del norte con cambios positivos y encontrarán que crea un mejor ambiente de trabajo.

#### 2.4 Delimitación temporal

Comenzó a recopilar datos y / o investigar la Unidad Minera Antapaccay, de diciembre de 2018 a mayo de 2019, un total de 6 meses, incluidos 2 meses dedicados a evaluar el proyecto de tesis y recopilar datos, 4 datos restantes en preparación para este trabajo de investigación.

#### 2.5 Delimitación conceptual

Este proyecto de investigación incluye investigaciones en el campo de la ingeniería minera.

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Antecedente internacional

De acuerdo con ORTÍZ, (2014) en su trabajo de grado “Diseño E Implementación Del Sistema De Bombeo Principal Del Sector A - Mina Calenturitas, Propiedad De C.I Prodeco S.A, La Loma, Cesar” menciona sobre el desarrollo del proyecto que mejoró el manejo y manejo de los caudales que afectan las operaciones tanto en la época húmeda como seca, provocando retrasos operacionales y logrando mayores eficiencias con menores costos al reducir las estaciones de bombeo, tuberías y materiales. Además, se ha mejorado la capacidad de drenar el agua de las alcantarillas temporales a las alcantarillas principales. Inicialmente, se utilizarán para almacenamiento durante la temporada de lluvias, manteniendo otras carreteras en buen estado de funcionamiento y abasteciendo a todo el sistema durante la temporada de lluvias

##### 3.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Según (SÁNCHEZ 2018) En el Acuerdo No. 32 del Instituto Peruano de Ingenieros de Minas se establece que cerca del 80% de la energía consumida en el proceso minero se relaciona con operaciones de bombeo, por ejemplo; en una planta concentradora, los sistemas de bombeo se aplican normalmente para transportar lodos, desechos, el agua y otros líquidos. En una planta de lixiviación, los sistemas de bombeo se utilizan en el riego de los pad's, administrar la solución “rica”, etc. Asimismo, en la operación de presas de estéril y en el sistema de abastecimiento y tratamiento de agua de la finca, etc. La optimización del consumo de energía del sistema de bombeo (kW / m<sup>3</sup>) puede conducir a reducciones significativas de los costes y, por tanto, de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía. Este trabajo presenta una metodología para optimizar los sistemas de bombeo en las operaciones mineras; El esquema propuesto considera el uso de un sistema SCADA para rastrear y almacenar variables de proceso, modelado hidráulico de Powertrain, utilizando el modelo EPANET y respaldado por las capacidades computacionales numéricas de MATLAB para desarrollar esquemas de optimización por su flexibilidad en diferentes estructuras o esquema operativo del sistema hidráulico.



Según (CANSAYA, 2016) en su tesis titulada “Diseño e Implementación del Sistema de Drenaje Para Mejorar el Sistema de Acarreo de Mineral en la Mina Antapaccay -2016” indicó que de acuerdo a su ampliación, debido a la profundización del pozo existente, hay agua por la aparición de ríos subterráneos y lluvias, es necesario sacar esta agua del pozo para asegurar la continuación de su trabajo, Porque nuestras mayores reservas y mejores minerales están en las profundidades. Para drenar esta cantidad de agua se instaló un sistema de drenaje compuesto por cuatro líneas de bombeo (tuberías de HDPE de 16”, 14” y 10” de diámetro), con un caudal de 400 l / s con bombas sumergidas de superficie. Se utilizaron bombas de 95 HP (GR-95HP), 140 HP (MT-140HP) y 275 HP (GR-275HP), con una tensión de funcionamiento de 460V, 60Hz, trifásica con un caudal de 100 l / h. Entregado en tanques de clase 3735msnm, se instalaron un total de cuatro bombas MT-140HP; 3765msnm, un total de cuatro bombas GR-275HP instaladas; 2885msnm, un total de cuatro bombas GR-275HP instaladas; Bomba GR-95HP de 4000msnm montada; Se requieren 2356 kW de potencia total. El sistema está en buen estado de funcionamiento, bombeando a las especificaciones especificadas 400 l / s trabajando las 24 horas del día, pero esto no es suficiente para drenar un río subterráneo de 500 l / s, que está por encima del costo. El costo inicial debido al mayor acceso tributario a este problema debería permitir una línea de bombeo adicional para las ya instaladas, lo que significaría rediseñar cuencas cada vez más grandes; Como alternativa, se está implementando un proyecto de bomba estacionaria de mayor capacidad de flujo.

## 3.2 Marco conceptual

### 3.2.1 Ubicación

La mina Antapaccay se encuentra a una altitud de 4100 metros. en el distrito de Yuri, condado de Espinar en Cusco, Perú; Aproximadamente 256 km al sureste de Cusco, 265 km al noreste de Arequipa y/o 450 km al suroeste de la ciudad de Abancay.

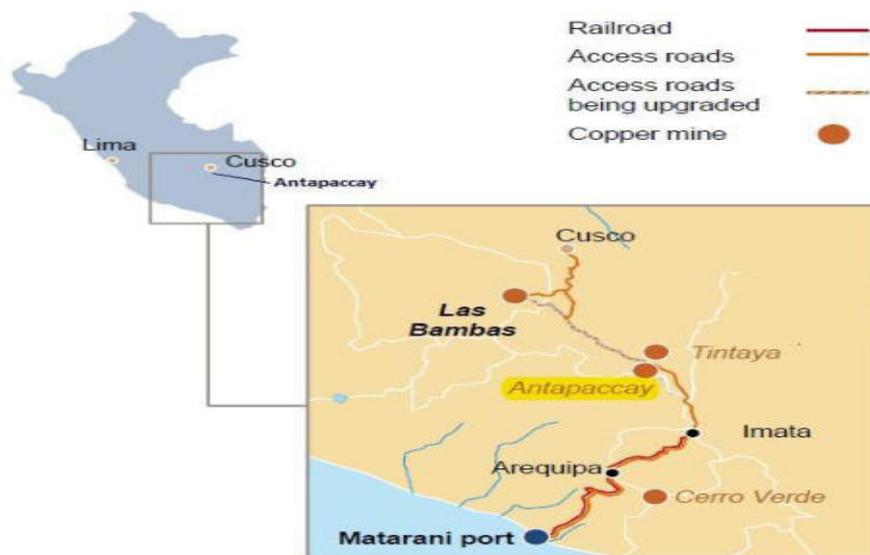
Geológicamente se ubica en el extremo sureste del Cinturón de Andahuaylas, Yauri, donde se ha demostrado una relativa diversidad por la presencia de los conocidos skarn Tintaya (Cu-Au- Ag-Mo) y Las Bambas (Cu-Au-Ag y Depósitos de Mo), fue confirmado por el descubrimiento de nuevos depósitos de pórfido de cobre de bajo costo, como Quechuas (Cu), Haquiri (Cu).



Ubicación del tajo norte Antapaccay

E: 241432.52

N: 8347648.67



**Figura 1— Ubicación de la Unidad Minera Antapaccay**

Extraído de Unidad Minera Antapaccay

**3.1.1 Accesibilidad**

**Tabla 2— Acceso a la unidad minera**

Ruta	Distancia (km)	Tiempo de viaje (hr)
Abancay – Cusco	194	4.5
Cusco – Sicuani	132	3.5
Sicuani – Yauri	90	2
Yauri – Antapaccay	17	0.5
Total	433	10.5

Xstrata Tintaya S.A el 09 de abril de 2010 de acuerdo al procedimiento previsto en el reglamento de procedimientos mineros aprobados por el decreto supremo



Nº 018-92-EM presento la solicitud de concesión minera de beneficio Antapaccay consignando una extensión de 2396.2 hectáreas.

### 3.2.2 Exploración

La unidad minera de Antapaccay es la mina de pórfido de Cu (Ag, Au y Mo) en la sección sur de Copper Xstrata, donde se planifica la explotación a través de dos tajos abiertos denominadas Norte y Sur. En él se realizó una extensa campaña de investigación geotécnica para determinar los parámetros geotécnicos y propiedades geomecánicas del macizo rocoso existente y así evaluar la estabilidad del talud de diseño. Como los parámetros diferían en aproximadamente 11 litografías diferentes, se aplicó un procesamiento de tipo geoestadístico para determinar los parámetros de resistencia y deformabilidad a partir de pruebas de mapeo geomecánico y en ensayos de laboratorio (PLT, UCS, corte directo y triaxial); aplicando el krigagem básico y tradicional, se determinaron los modelos geoestadísticos para RQD, RMR y GSI.

Geología local El Proyecto Antapaccay es un depósito de pórfido constituido por Skarn de Cu, Au, Ag y Mo, mineralización localizada en los cuerpos intrusivos como diseminado y rellenando fracturas y hacia el contacto con las rocas sedimentarias (calizas) se desarrolla el skarn, el depósito está cubierto con material aluvial. Skarn: grupo de minerales calcosilcatados formados por la permeación de magma en fluidos hidrotermales calientes.

**Reservas Minables:** La reserva se estima en alrededor de 520 millones de toneladas de cobre, tipo 0,68%; 0,15 g/tonelada de Au; 1,7 g/ton Ag, la fase de construcción duró 24 meses y se completó en 2012. Tipo de depósito: pórfido (Cu-Au) y Skarn (Cu-Au) Grado de metal: Cu, Au y Ag.

**Plan de minado:** El proyecto de cobre Antapaccay permite un aumento del 60%, a 160.000 toneladas / año de cobre con una ley de 0,68%; 0,15 g / tonelada de Au; 1,7 g / ton Ag, que extenderá la vida útil de la mina en 20 años a partir de 2012. Conducirá a la producción de unas 115.000 o 116.000 toneladas de cobre



Fino en Tintaya. La mina a cielo abierto Tintaya agotada para preservar relaves mineros, lo que reducirá en gran medida el costo de inversión del proyecto.

**Prod. /día =  $\frac{160000 \text{ TM} \times \text{año}}{360 \text{ días}} = 444.44 \text{ TM/día de cobre (Cu)}$**

Los topógrafos recopilan información utilizando dispositivos GPS y estaciones totales, que se cargan en la red, donde se puede acceder al inicio del trabajo. Los ingenieros de planificación utilizan información topográfica y geológica en red para preparar planes operativos diarios y seguir los planes, ofreciendo alternativas para mejorarlos. Los ingenieros desarrollan juntos un plan semanal, que incluye un plan para las próximas cuatro semanas, y cada mes completa un plan mensual con un plan para el próximo trimestre. Toda esta planificación se basa en información de campo, en áreas como minería, geología, mantenimiento, planta y otros campos relacionados y su interpretación de las soluciones de diseño de mejor alternativa, también en base al plan anual hasta el cierre de la mina. Se tiene trabajos de exploración constante con los equipos DDH, sacando líneas de perforación diamantina BQ, NQ, HQ, Antapaccay corresponde a un yacimiento metasomático Skarn Cu- (Ag-Au), ubicada en el área minera Antapaccay, donde se ubican las minas Antapaccay, Coroccohuayco, quechuas y Hatún Pucara. Regionalmente, pertenece a Metalotexto Ferrobamba, la cual se caracteriza por la presencia de depósitos de Skarn asociados a calizas de la formación Ferrobamba, intersectando con pórfido de cobre monzonítico.

En Antapaccay, los principales minerales en la ganga de Skarn incluyen: granate, magnetita y piroxeno. La mena contiene principalmente calcopirita - bornita - calcosita - molibdenita - pirita en el sulfuro; y en los óxidos: crisocola - malaquita - tenorita - cuprita. El Skarn es muy peculiar y se da a manera de pasas en una torta, por lo que se requiere un alto grado de selectividad para la extracción.

### 3.2.3 Explotación

Las operaciones mineras se han trasladado de Tintaya a Antapaccay, y la compañía planea expandir sus operaciones por más de 20 años a partir de 2012 y aumentar la escala de producción inicial. 110 ktpa de cobre a 160 ktpa (se espera que lleguen en el mismo año)

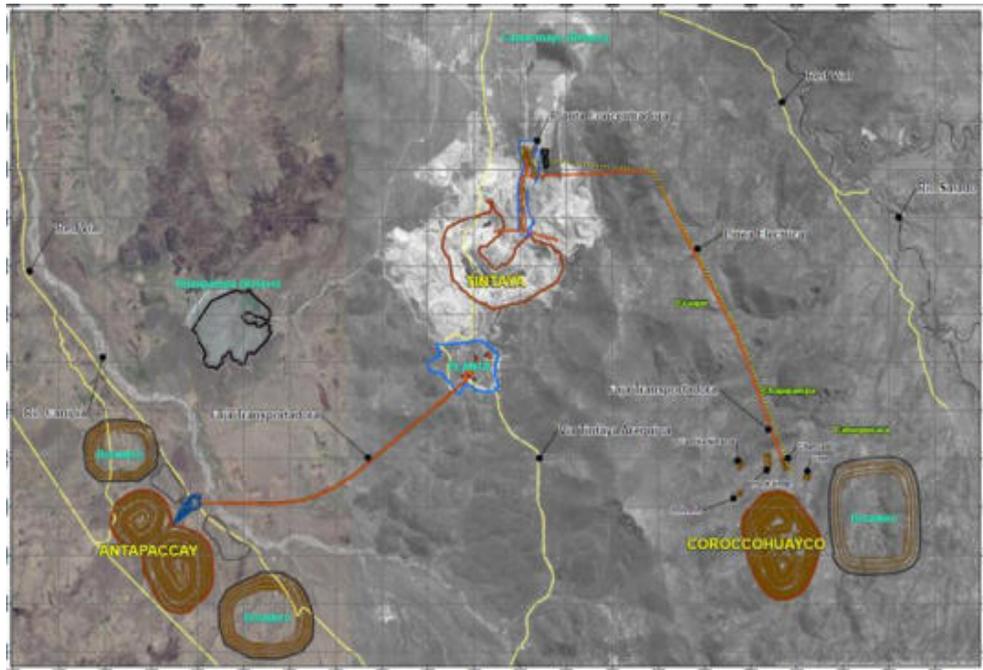
El proceso de minería proporciona los siguientes datos:

- Dos tajos abiertos: Antapaccay N y S.

- Tasa de utilización anual: 110 Mt.
- Tamaño de flota: 6 palas, 5 cargadores y 52 camiones gigantes (proyectado a ampliarse) , 7 perforadoras, 8 tractor orugas, 5 tractor de ruedas, 5 motoniveladoras, 4 excavadoras, 3 cisternas,
- La longitud de la cinta transportadora es de 6,8 km.
- Un molino SAG de 40' y dos molinos de bolas de 26'. Gearless.
- Grandes celdas flotantes (14 celdas con una superficie de 260 m<sup>3</sup>).
- Remolienda ISAMill (02 molinos M300)
- Filtro central horizontal de 2300 ton/día
- Tratamiento de residuos en minas.

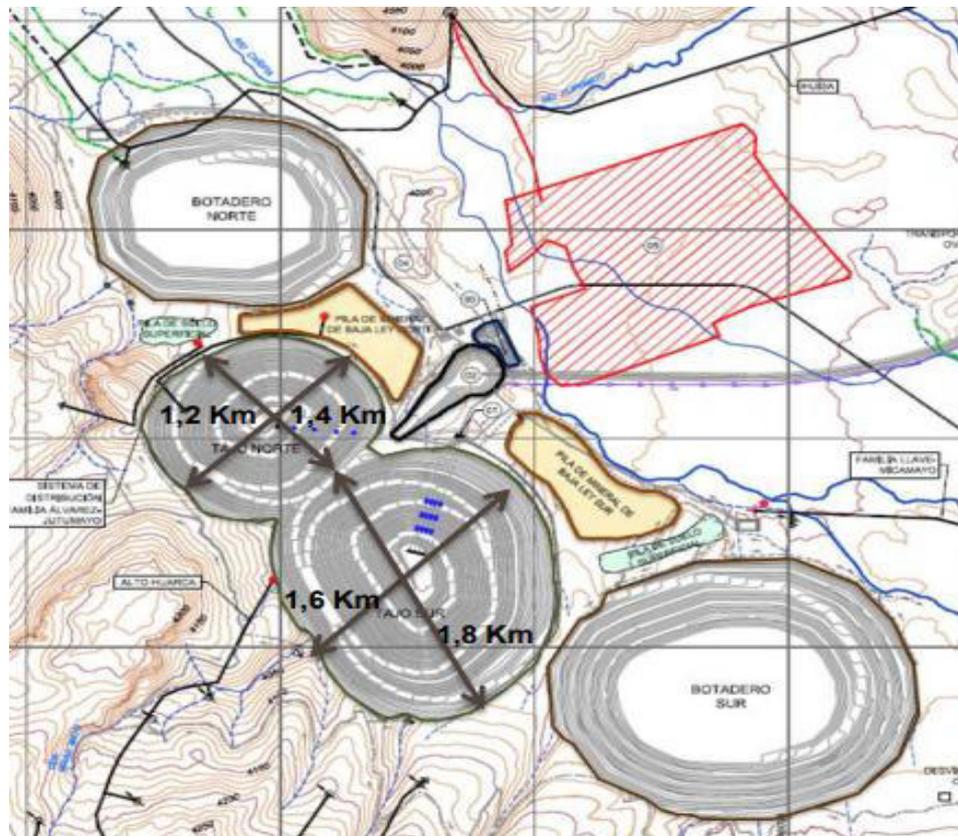
**Talud Final:** Los taludes finales para realizar el diseño operativo final son los mismos ángulos utilizados para realizar las líneas de optimización, y han sido considerados de acuerdo a las áreas presentadas por el estudio preliminar de SVS. El ancho mínimo de la berma = 6 m La altura de banqueteta = 0,80 m anchura de banqueteta = 1,50 m.

El diseño de perforación utiliza información topográfica y planificación geológica por operaciones de MEDSystem y la aplicación GPS del Dispatch en las excavaciones. Se diseña la cuadrícula de perforación, que es una base de datos que genera coordenadas para cada punto de perforación, mediante GPS o Estación Total, importado del software 2DBench, permitiendo el diseño y simulación de columnas portantes a partir de agujeros, conexiones o amarres de diferentes tiempos, utilizando variables como geometría, litología, energía y geomecánica. Por último, hay una salida con una estimación granulometría, esponjamiento, y rendimiento. Otros programas son Problast (para voladuras), Prodig (para eficiencia de la flota) y Prowall (para estabilidad de taludes), que se utilizan opcionalmente para la planificación y el análisis de resultados de Perforación y Voladura.



**Figura 2 — Tajos abiertos N y S de Antapaccay**

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay



**Figura 3 — Modelo de los tajos abiertos de Antapaccay**

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay



Perforadoras bucyrus 495H

Camiones cat 797/kom 930

#### **Figura 4 — Equipos de operación Antapaccay**

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay

**Para el diseño de botaderos;** Se consideraran las siguientes características del área de emplazamiento: (topografía, características mineras y de la superficie), ubicación de la trituradora primaria, infraestructura, desechos y forma de la mina. Gracias a lo anterior, se soluciona construir 2 botaderos.

- **Botadero Sur:** Esta dispuesto hacia la zona sur; y en este se almacenará material de desmonte proveniente del Tajo Sur.
- **Botadero Norte:** Esta dispuesto hacia la zona norte; y en este se almacenará material de desmonte proveniente del Tajo Norte.

Dónde: Según la figura 5

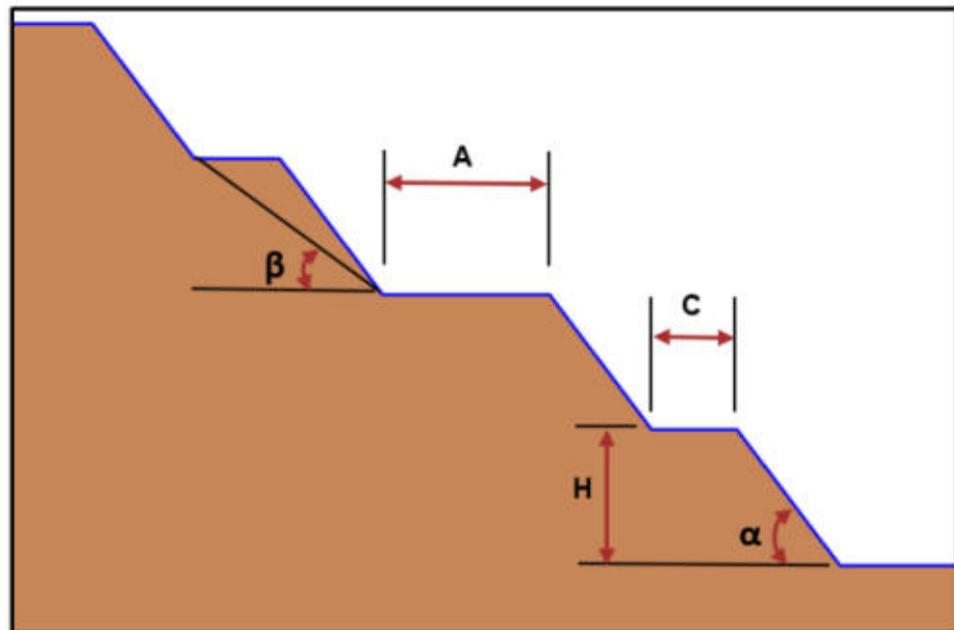
H: Altura de Lift =40 metros

$\alpha$ : Angulo de reposo =  $37^\circ$

B: Angulo Interrampa (IRA) =  $26^\circ$

C: Ancho de Berma = 43.5 metros para BS y 45 metros para BN.

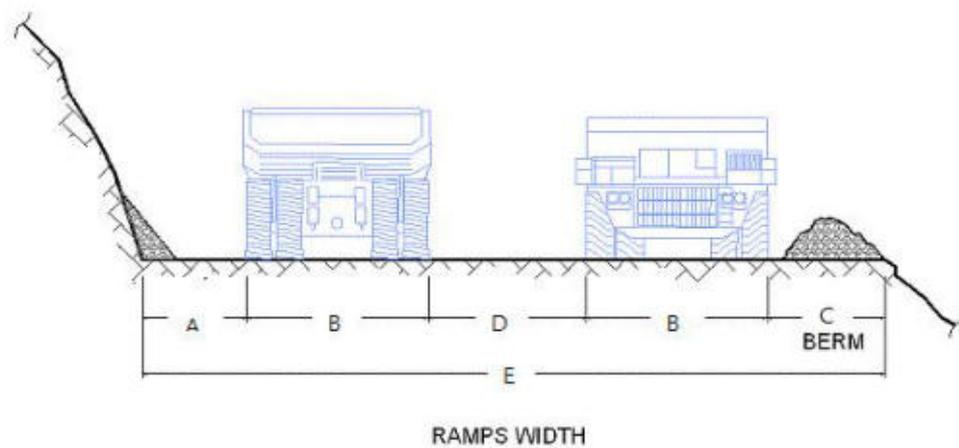
A: Ancho de rampa = 50 metros Gradiente de rampa de  $8^\circ$  y densidad del material quebrado igual a 1.89 t/m<sup>3</sup>.



**Figura 5** — parámetros de diseño de botaderos se muestran en la figura

Extraído de Área de planeamiento 2019

Para el diseño del ancho de rampa consideramos como base al Camión más grande que en este caso es el camión CAT 797F.



**Figura 6** — Ancho de rampa

Extraído de Área de planeamiento 2019

Dónde:

A: Distancia de seguridad = 1.60 metros

B: Ancho de camión (CAT 797F) = 9.8 metros

C: Ancho de la berma = 7.00 metros

D: Distancia entre camiones = 9.80 metros

E: Ancho de la rampa =  $A + 2*B + D + C = 38$  metros

## Diseño de rampas en open pit

El diseño de rampas considera una gradiente 10 y 12% en el tajo

-Perfil de rampa al 12% de pendiente

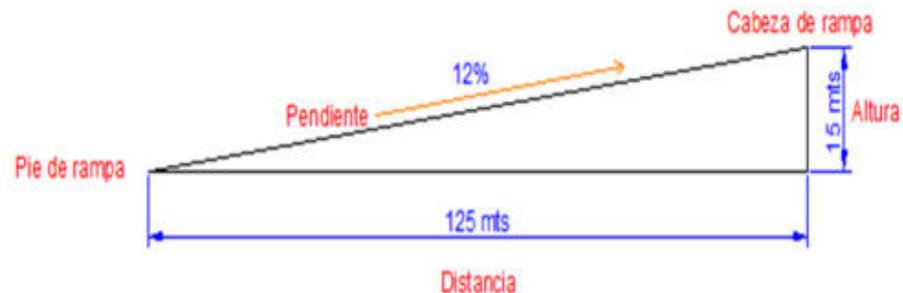


Figura 7 — Diseño de rampas en open pit

Extraído de Área de planeamiento 2019

**La perforación:** Esta es la primera operación unitaria en operaciones mineras; su propósito es cavar un taladro de minado en un banco minero para cargarlo con explosivos. La perforación de los agujeros en los que se colocarán los explosivos implica realizar las siguientes operaciones:

1. Disponga los orificios de perforación de acuerdo con el diseño de la rejilla de perforación
2. Preparación del área de trabajo (Topografía y limpieza).
3. Coloque el dispositivo en los orificios replanteados.
4. Taladre cada agujero. 60
5. Toma de muestras y manejo de detritos.
6. Verifique la calidad y cantidad de agujeros perforados
7. Se retiró el equipo del área de trabajo.

La mayoría de las cribas perforadas tienen un diseño rectangular para obtener una buena fragmentación y reducción. Por tanto, cada agujero está determinado por longitud y diámetro.



**Figura 8 — Perforadora de roca**

Extraído de Empresa Minera Antapaccay.

#### **Parámetros de perforación de Antapaccay**

- Diámetro de taladro: 12 ¼ pulgadas.
- Profundidad de taladro: 15 – 16.5 metros.
- Sobre perforación: 1.5 metros.
- Malla de perforación Rectangulares : 8.0 x 8.5, 8.5 x 8.5 y 9.0 x 10.0
- Velocidad de penetración: 55 – 62 Metros/hora.

**Voladura:** Romper rocas requiere el uso de energía, en la mayoría de los casos esta energía se obtiene de una reacción química resultante de la detonación de cargas explosivas colocados dentro de la masa de rocas. El material volado debe respetar la distribución del tamaño de las partículas y estar adecuadamente espaciados para las operaciones posteriores pertinentes.

La detonación realiza o realiza una serie de acciones que incluyen:

- Prepare los agujeros, explosivos y accesorios, verifique la longitud y limpieza, acomode las mezclas explosivas
- Cargar los explosivos y accesorios correspondientes.
- Aplicar sistema de amarre si es necesario.
- Fuego (encender, chispear o provocar una explosión).

Actualmente, en la empresa minera Antapaccay, el trabajo de voladura se encarga un subcontrata a la empresa de servicios Orica Mining, que es la encargada de implementar la secuencia de trabajo completa del programa de simulación de explosión 2D Bench, que se utiliza para calcular el tiempo de disparo, chispeo, determinación del tamaño de partícula y número de taladros al mismo tiempo para desarrollar una labor de trabajo más eficiente y seguro la fragmentación

En Antapaccay lo ideal es que detonen 8 taladros al mismo tiempo y que la fragmentación adecuada de las rocas para las operaciones de carguío y chancado primario sea de 8 Pulg. A continuación se muestra alguna de las consideraciones importantes para la voladura de rocas.

En Antapaccay, lo ideal es que se detonen 8 hoyos al mismo tiempo, y que la fragmentación de rocas óptimas para carguío y la trituradora que es de 8 pulgadas. Aquí hay algunas notas importantes al hacer voladuras de rocas:

El horario de voladuras es de 12 horas 40 minutos de tarde y se envía por correo electrónico, tablones de anuncios en la entrada de la mina y reuniones de coordinación.



**Figura 9 — tablones de anuncios en la entrada de la mina**

Extraído de Empresa Minera Antapaccay

Durante la coordinación de voladuras, la frecuencia 11 debe mantenerse libre de interferencias.

### 3.2.4 Beneficio

Compañía Minera Antapaccay cuenta con una planta concentradora (una línea) con capacidad para procesar 70.000 toneladas/día de minerales sulfurados por trituración / flotación; su producción inicial es de 160.000 toneladas de concentrado de cobre por año y el límite actual de recursos minerales: 1.034 MT. Las plantas de oxidación (Tintaya) y sulfuros (Tintaya) dejaron de funcionar; debido al cierre de la mina Tajo Tintaya. Sin embargo, hay, algunos proyectos futuros como:

- Procesamiento de Minerales Antapaccay y Proyecto Coroccohuayco. (comenzó a operar a principios de 2015).
- Planta de Óxidos: En pilotaje, tratamiento de mineral sulfurado (Lixiviación de Sulfuros), Biolixiviación
- La longitud de la cinta transportadora es de 6,8 km
- Un molino SAG de 40 pies y dos molinos de bolas de 26 pulgadas
- Gearless.
- Grandes celdas flotantes (14 celdas con una superficie de 260 m<sup>3</sup>).
- Remolienda ISAMill (02 molinos M300)
- Filtro central horizontal 2300 toneladas / día
- Tratamiento de residuos en minas.

**El chancado primario:** Es el primer paso en la operación de la planta; pero, esta es la segunda etapa de reducción de volumen, después del minado y, en menor medida, utilizando presión, fricción, flexión, cizallamiento y otras fuerzas que rompen rocas de uno a dos metros de tamaño (tamaño mayor) hasta un P80 nominal de 95.000  $\mu\text{m}$  y un diseño de 150.000  $\mu\text{m}$ . El mineral roto se transporta desde la mina y se descarga al chancador primario, donde se transporta por cinta al stockpile ubicada junto a la concentradora a unos 450 metros de distancia. E+l molino inicial de 60 "x 113" funcionaba con 750 HP a un promedio de 70.000 toneladas por día y alcanzó un máximo de 105.000 toneladas por día. La molienda de minerales es el último paso del proceso de conminación. El mineral obtenido de la trituración primaria se recibe y se coloca en un molino SAG (40 pies de diámetro, 24 MW de capacidad instalada), dos molinos de bolas (26 pies cada uno y 16 MW de capacidad instalada) para obtener el nivel de liberación adecuado.



**Figura 10 — Planta concentradora**

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay 2009



**Figura 11 — Planta concentradora**

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay 2009

### 3.2.5 Cierre de mina

El plan de cierre de Tintaya se aprobó en 2009.

- Debido a la expansión del proyecto Antapaccay, el plan fue revisado y aprobado en Mayo de 2011.

#### Componentes de cierre zona Tintaya

- Botaderos de desmonte
- Depósito de relaves Tintaya
- Planta óxidos
- Depósito de relaves Camaccmayo

- Pad de lixiviación
- Planta concentradora
- Depósito de relaves Huinipampa

#### Componentes zona Antapaccay

- Tajos abiertos (Norte y Sur)
- Botaderos de desmonte (Norte y Sur)
- Pilas de mineral de baja ley (Norte y Sur)
- Chancadora primaria
- Taller de mantenimiento de camiones y oficinas;
- Actualmente se están realizando cierres graduales Botaderos (centro y 28) y en la presa Huinipampa.

#### Propósito del trabajo de ingeniería

1. Demostrar las ventajas de utilizar las sinergias de las minas al final de su vida útil para desarrollar nuevas actividades.
2. Demuestra el uso de instalaciones próximas a cierre para nuevas operaciones con impacto ambiental reducido.
3. Cerrar la mina de manera eficiente aprovechando la continuidad de un nuevo proceso.



Figura 12 — Cierre de mina

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay 2009

**Cierre gradual del botadero de desmonte** Central Trabajos de estabilidad geoquímica, techado estilo barrera con arcilla y tierra vegetal de baja permeabilidad



**Figura 13 — Cierre Progresivo**

Extraído de Estudio Técnico Antapaccay 2009

Cierre progresivo botadero 28 (219 Ha)

Fase 1: Rehabilitación: 56 Has • Trabajos de conformación de taludes (2012-2013) • Revegetación de 8 Ha. (2012) • Sistema de Drenaje: 2013 • Término: 2014.

Cierre de talud de presa de relaves Huinipampa (184 Ha.) Colocación de coberturas y revegetación: 25 Has

Resultados de las obras de revegetación: a partir de los estudios realizados, se han identificado tres especies nativas aptas para la revegetación: pastos Cachú, Iru ichu y Llama ichu, y otras especies bianual y 2 perennes.

Los resultados obtenidos son buenos, la cobertura vegetal es superior al 80%, lo que asegura la herencia de especies vegetales y crea condiciones favorables para el resurgimiento de las características del bioma en ese lugar.

#### **Ventajas del cierre progresivo**

- Permite el aprovechamiento de la sinergia total del proceso.
- Realiza las actividades con un plan más amplio.
- Realice mejoras de manera oportuna.
- Mejor mantenimiento, monitorización de componentes autónomos.
- Mejorar la conciencia de la comunidad.

### 3.2.6 Medio ambiente

EIA presentado en el año 2009 y aprobado en 2010.

- Las audiencias públicas de la EIA concluyeron con éxito en marzo de 2010.
- La licencia minera se emitió en marzo de 2012.

Nuestras operaciones deben establecer objetivos firmes, más estrictos que las regulaciones locales, para la reducción de la intensidad de carbono y energía, el consumo de agua dulce en las regiones áridas y las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Este EIA ha sido sometido a modificación debido a la ampliación del Proyecto de Exploración Antapaccay bajo el DS N° 020-2008-EM-DM “Reglamento Ambiental para Actividades de Exploración Minera” y Resolución Ministerial Sección 167-2008 -EM-DM Aprueba los Términos Generales de Referencia para el Desarrollo de Estudios Ambientales para Proyectos de Exploración.

### 3.2.7 Sistema de seguridad

Seguridad y medio ambiente Existe un plan para comenzar a implementar un sistema de seguridad integrado, que incluye, •Sistema de Seguridad NOSA •Gestión de Control de Riesgos – Oshas 18001. •Gestión de Control Ambiental – ISO 14001. NOSA (National Occupational Safety Association) le ha dado a la organización el marco que necesita para desarrollar una arquitectura sistemática hacia la seguridad.

Proteger la salud y el bienestar de todos los trabajadores es nuestra principal prioridad en el lugar de trabajo.

Adoptamos un enfoque proactivo de la salud y la seguridad; Nuestro objetivo es mejorar continuamente la prevención de accidentes laborales y enfermedades profesionales.



Figura 14 — Desempeño de Seguridad

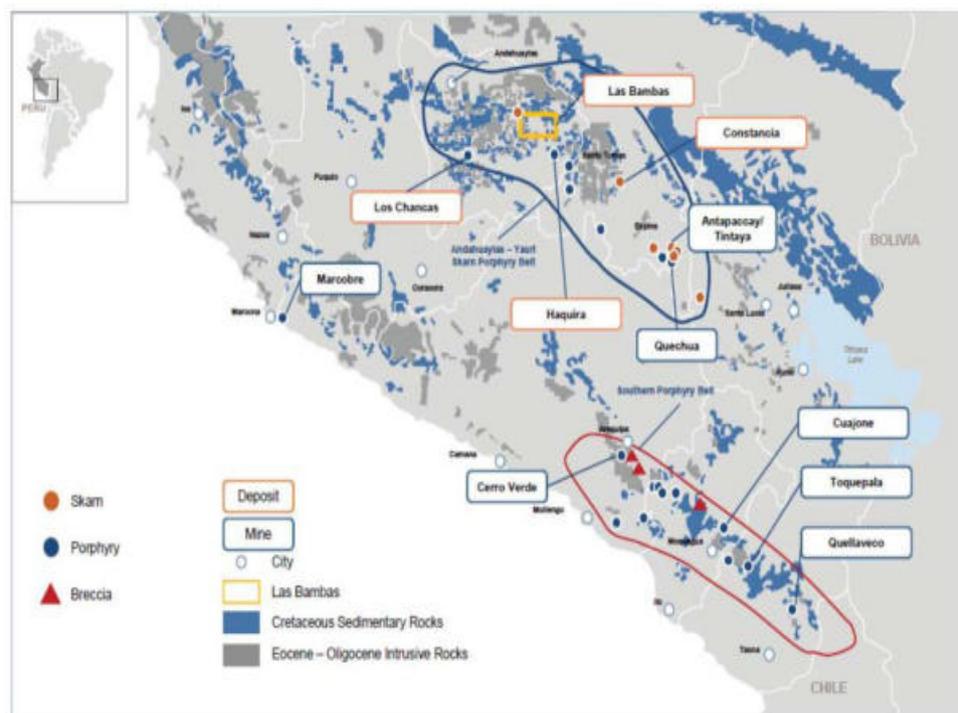
Extraído de Estudio Técnico Antapaccay 2009

### 3.2.8 Comercialización

Oficinas de comercialización repartidas en cinco continentes, uno de los principales fabricantes y distribuidores de materia prima del mundo, suministra a la industria global los componentes esenciales que necesita todos los días.

### 3.2.9 Geología

(TEJSI, 2019) Los depósitos de skarn-pórfido de Antapaccay se encuentran en el cinturón Eoceno-Oligoceno del cinturón Andahuaylas-Yauri (Fig. 6). Este cinturón alberga una serie de importantes proyectos como: Las Bambas, Haquira, Quechua y Constanza.



**Figura 15 — Franja Eoceno-Oligocena del cinturón Andahuaylas-Yauri**

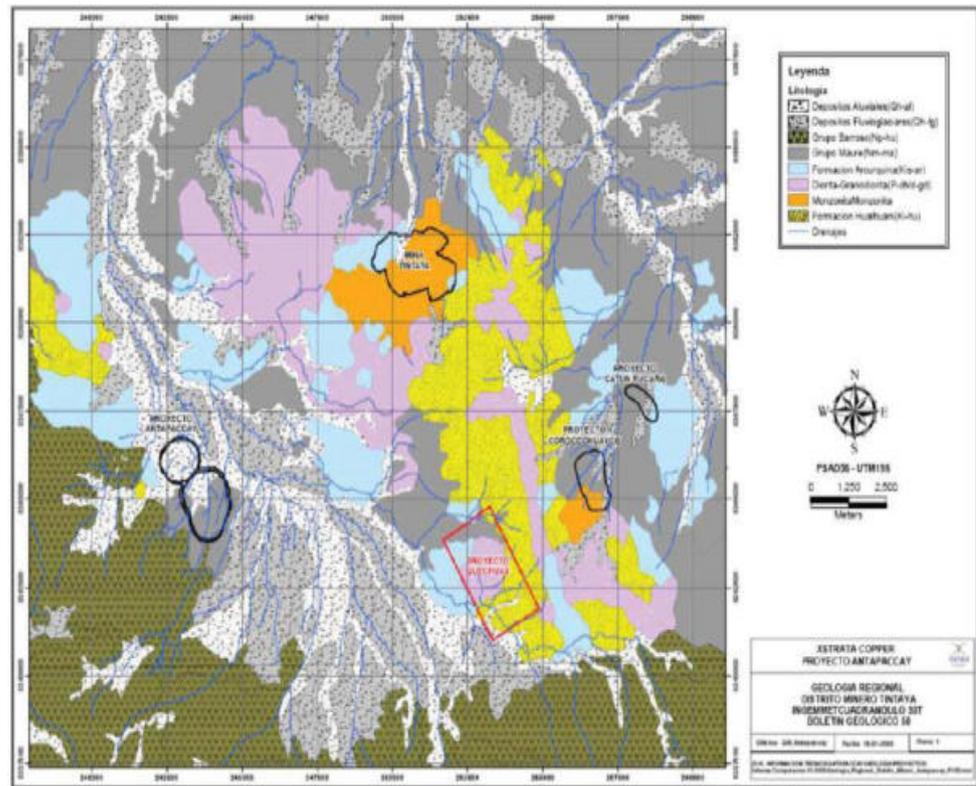
Extraído de Área de geología mina, Antapaccay, 2016.

#### 3.2.9.1 Geología Regional

(TEJSI, 2019) El Proyecto Antapaccay es un depósito de pórfido (Cu-Ag-Au) ubicado a 9,4 km, en línea recta, al suroeste de la Mina Tintaya cerca de la antigua Mina Atalaya; Políticamente, se ubica dentro de la comunidad agrícola de Alto Urraca, Provincia y Distrito de Espinar, Región Cusco. La franja Eoceno-Oligoceno del cinturón Andahuaylas-Yauri se encuentra a 250 a 300 km al oeste de la actual Fosa Perú-Chile. Se encuentran en una capa gruesa de la corteza sálica (50-60 km; James,



1971), en la zona de transición entre el sistema de subducción plano del centro de Perú y el sistema de subducción natural del sur de Perú y el



**Figura 16 — Plano Geológico del Distrito Minero de Tintaya**

Extraído de Área de geología mina, Antapaccay, 2015.

norte de Chile de Chile (Caía y Isaacs, 1992). Sureste de la deflexión de Abancay (Marocco, 1978). Desde el punto de vista geológico, se trata de una serie de espesos sedimentos de creta que fueron plegados durante la deformación de los Andes y en gran parte erosionados por los stocks, sills y diques del Batolito Andahuaylas - Yauri, cubiertos de depósitos lacustrinos y volcánicos cenozoicos y depósitos cuaternarios.

### **Geología local**

El proyecto Antapaccay es un depósito tipo pórfido-skarn compuesto por Cu, Au, Ag y Mo, mineralizado en cavidades en forma de diseminado y rellenando fracturas y la dirección de contacto con rocas sedimentarias (calizas)-Skarn, el depósito está cubierto de material aluvial. Skarn: grupo de minerales calcosilcatados formados por la permeación de magma en fluidos hidrotermales calientes. (XTRATA, 2015)



### 3.2.9.2 Geología del Depósito

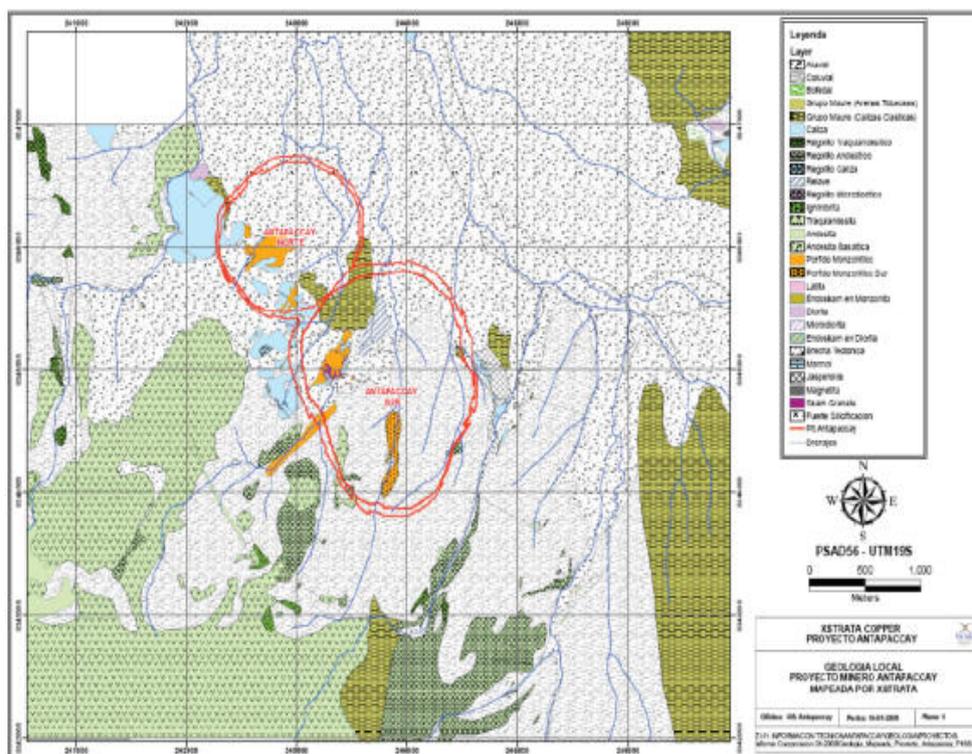
(TEJSI, 2019) El proyecto Antapaccay es consistente con depósitos de tipo pórfido (Cu-Ag-Au), mineralización de cobre común y en recipientes de almacenamiento de diorita y principalmente en varias porfirias nitrificantes. En contacto con rocas sedimentarias del período Cretácico, forman masas inusuales de skarn (calizas) y stockwork (hornfels y cuarcitas) que contienen altos valores de cobre, pero solo un elemento, y son pequeños de todos los recursos. Cuenta con dos áreas: Antapaccay Norte con 300 m. Dirección NWSE y ancho 450 m. El más largo, Antapaccay Sur, mide 1.300 metros. En dirección NW-SE varía de 250 a 430 m. Los afloramientos rocosos en el área del proyecto se limitan a algunos afloramientos de caliza y mármol en el noroeste y sureste; así como afloramientos de intrusivos dacíticos en el área de Atalaya. Se han hecho muchas descripciones litológicas a partir de los especímenes excavados.

#### Litología

(TEJSI, 2019) En Antapaccay Norte, el 6% corresponde a afloramientos, especialmente en el Cerro Juta ubicado en el extremo noroeste del proyecto, los cuales están conformados por un fuerte afloramiento de caliza. Ferrobamba, al sureste, a través de un pequeño valle sin nombre (dirección N35 ° este), llegamos a una ladera al noreste del Cerro Quello; entre las altitudes 4050 y 4000, se mapearon pequeños afloramientos intrusivos (Porfirio 75 y 79) para bloquear grandes afloramientos de mármol gris y pardo, de grano fino a medio, bandas de blanqueamiento con venillas de calcita y OxFe. Ambos intrusivos hacia el oeste entran en contacto con caliza, lo que resulta en la formación de una delgada banda Skarn de magnetita, granate y piroxeno (G. Villón y E. Vicarra, E., 2006). El resto del área (alrededor del 94%) está cubierto por sedimentos cuaternarios morrénicos y aluviales. En Antapaccay Sur, de la zona que corresponde a un grupo de afloramientos intrusivos (Porfirio 80, Porfido 74 y diorita) que intruyen calizas de la Formación Ferrobamba, limitando su afloramiento a pequeños parches entre los intrusivos. El 50% de la zona del proyecto está cubierta con tobas de color gris claro ligeramente



rosado con una matriz afanítica de grano fino a medio y fragmentos líticos. El 15% corresponde al grupo. Moore y el resto del territorio están cubiertos con material cuaternario. El 50% del área del proyecto, está cubierta por tobas de color gris claro, con ligera tonalidad rosada con matriz afanítica de grano fino a medio y fragmentos líticos. El 15% corresponde al Grupo. Moore y el resto del área está cubierta por material cuaternario.



**Figura 17 — Geología del Proyecto Antapaccay**

Extraído de Área de geología mina, Antapaccay, 2016.

### Alteración

(TEJSI, 2019) Antapaccay presenta un patrón de patrón asimétrico de zonamiento de alteraciones, como consecuencia de evidentes cambios litológicos debido principalmente a la aparición de pliegues asimétricos con convergencia al este que junto a fallas principales controlaron el emplazamiento de los intrusivos (G. Villón, 2008). Se han identificado siete conjuntos metamórficos de pórfido-skarn (se está laborando en la zonación a detalle en las rocas sedimentarias).

## Mineralización

(TEJSI, 2019) La mineralización de cobre del proyecto Antapaccay se localiza principalmente en las rocas intrusivas intermedias en diseminación, venillas, brechas hidrotermales en contacto con rocas pre-minerales como dioríticas y rocas sedimentarias (calizas, lutitas calcáreas, limonitas y areniscas), formando así brechas mineralizadas, exoskarn y stockwork en cuerpos sedimentarios en bloques sedimentarios con calcopirita notablemente prevalente sobre bornita hasta 350 m; a mayores profundidades, el papel se invierte y se relaciona con la proporción de anhídrido de yeso. La principal mineralización del pórfido es la calcopirita, seguida de la bornita y la calcocita. La mineralización de ambos incluye en diseminación y vetillas, las leyes más altas de oro correspondientes a áreas de stockwork intensos de bornita. El principal tipo de cambio en el pórfido es la alteración de potásica de la diorita huésped. El pórfido también entra en contacto con rocas sedimentarias cretáceas, que forman skarn (piedra caliza) y stockwork (cuernos y cuarcitas) que contienen un alto valor de cobre, pero solo como un pequeño componente de todos los recursos. Se han identificado dos cuerpos aparentemente separados, el más al sur de 1.300 metros de largo. En dirección NW-SE y el ancho varía de 250 a 430 m. Y el cuerpo norte con 300 m. en dirección NW-SE y ancho de 450 m. Al contacto con las calizas se dan las condiciones para que ocurra metasomatismo generando cuerpos irregulares de exoskarn de granate-magnetita+/-piroxeno con parches de calcopirita principalmente. Además se identificó amplias zonas con intenso venilleo de cuarzo gris “stockwork” con fuerte contenido de bornita y calcopirita siempre cerca al contacto hornfels intrusivo llegando a expandirse varios metros en el hornfels. La diferencia en las áreas de mineralización está determinada principalmente por el predominio de minerales presentes en cada una de estas áreas y el índice de Ratox, que está determinado por la relación entre los valores de cobre oxidado y el contenido total de cobre.



### Estructuras

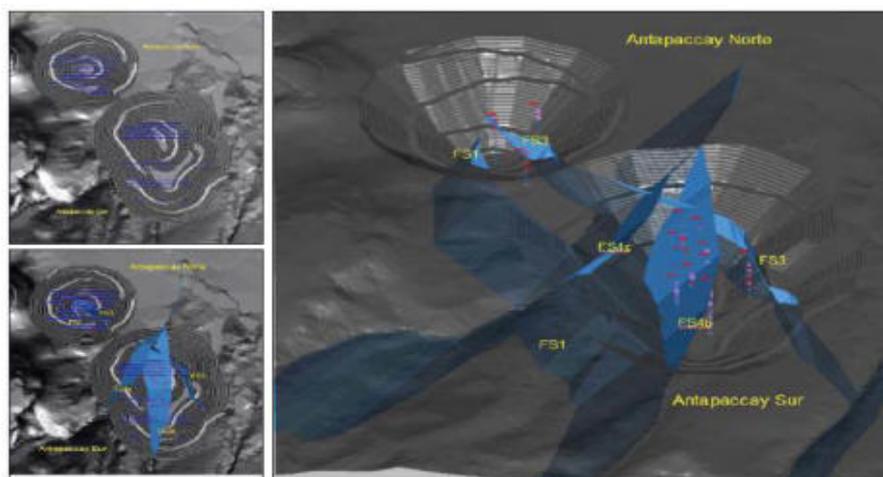
(TEJSI, 2019) El proyecto Antapaccay se ubica en el cinturón de Andahuaylas-Yauri, y está controlado por un conjunto de bloques que generan altura estructural, como es el caso del Alto Cuzco-Puno controlado por fallas NW-SE. Al definir nuestra ergonomía, nos moveremos hacia el oeste desde este umbral (Fig. 9). El sistema de fallas Cuzco-Lagunillas-Mañaso habría controlado los cabalgamientos con convergencia NE, que luego durante el Eoceno medio en un corto periodo de alivio regional sirvieron para el emplazamiento de los cuerpos dioríticos y porfíricos del batolito Andahuaylas- Yauri. El magma asociado con la mineralización de pórfido de Cu-Au en Antapaccay coincidió con un período de rápido crecimiento de la corteza de más de 10 km de espesor durante menos de 5 MA, lo que resultó en la formación de 58 km antes de la meseta. Con base en la interpretación de los lineamientos y mapeo estructural en el distrito de Tintaya, se determinó que existe una repetición en los patrones estructurales de pliegues y fallas de un distrito a otro (proyecto Antapaccay), destacando entre ellos los patrones NNW-NW y NS por ser propios de pliegues y cabalgamientos asociados. Y los modelos NE son típicos de estructuras frágiles. La estructura secundaria frágil está presente en las direcciones NW y NS, así como algunos pliegues dirigidos EW

**Tabla 3 — Relación entre orientaciones obtenidas de datos geofísicos con la correlación hecha de estructuras reconocidas y descritas en los logeos geológicos**

Antapaccay Norte		Antapaccay Sur	
E > 40	E10 a 40	E > 40	E 10 a 40
165/68 (FSI)	150/60 (FSI)	10)4/65	240/58(FS4c)
8/62(FS3)	280/78	73/62	338/73
		244/50(FS4c)	0/47
			352/62(FS3)

Extraído de Área de geología mina, Antapaccay, 2016.

Las fallas de más de 40 cm de espesor de 13 pozos tienen un registro de estructura geofísica, que se correlaciona con estructuras de código 60 y 62 en pozos no orientados. Se elaboraron 12 secciones en Antapaccay Norte y 11 en Antapaccay Sur, pudiéndose definir 3 sistemas de fallas principales (FS1, FS3 y FS4c) y con base en la relación con la topografía, se infirieron dos sistemas de fallas (FS4a y FS4b) y se determinaron sus interacciones con la mineralización.



**Figura 18 — Principales fallas interpretadas en Antapaccay Norte y Sur**

Extraído de Área de geología mina, Antapaccay, 2016.

### 3.2.10 El agua en la mina

BEDREGAL (2012) en su tesis titulada optimización del sistema de bombeo en la mina de cobre Xstrata Tintaya - cusco menciona que, para el drenaje superficial, es necesario conocer las propiedades del suelo: en la cuneta la velocidad del flujo del agua debe ser lo suficientemente rápida para contener el sedimento, pero no hasta el punto de causar erosión (incluso se puede verter hormigón); los desagües deben diseñarse de modo que no se vean afectados por la minería ni se vuelvan a poner en servicio. Para lograr el drenaje profundo de las aguas subterráneas, se construyó una red de pozos de bombeo, y en su interior se instalaron bombas sumergibles que bajarían el nivel de las aguas subterráneas en el área o lo mantendrían a una profundidad alejada del área minera. La estabilidad de la pendiente es muy importante y, a veces, hay agua flotante que conduce a la inestabilidad, agua hay que recogerlas si salen a la superficies, pero a veces están actuando en el interior del talud y la única forma de sacarla al exterior es realizar pequeños sondeos de drenaje y conducirla donde menos perjudique. En definitiva, se trata de aislar al máximo las zonas de trabajo, pero

por una razón u otra es difícil sacar toda esta agua, cuando se llevan al punto más bajo del agua. Se denominan depósitos de fundición y desde allí se bombea, dependiendo de la profundidad en una o más etapas, a uno de los canales terminales para extraer agua del proceso. En el fondo de la mina siempre habrá espacio para que se acumule el agua y desde allí se bombeará con una bomba sumergible resistente a la corrosión de capacidad adecuada para intentar simplificar la instalación con múltiples bombas y al mismo tiempo reducir el número de decantadores. Entonces será una bomba sumergible con una altura de elevación de 180 metros. Dicha agua se vierte comúnmente en un canal o directamente con el mangón introducido en un depósito externo, en el que se produce la deposición de material subterráneo, si es un chorro de agua cuando llega a un nivel, seguirá fluyendo de lo contrario será como una balsa fusionándose en el medio, pero se puede utilizar para muchas acciones posteriores, ya sea para regar los caminos, o incluso abastecer los cultivos de sintéticos para el lavado, según explotación.

### 3.2.11 Bombeo de aguas superficiales

BARRETO, (2017) en su tesis titulada “Optimización Del Sistema De Bombeo – Construcción Y Drenaje - Unidad Minera Antapaccay” dice que: el rol del agua en las operaciones mineras es muy importante. Para un proyecto minero, el agua puede ser una fuente alternativa de suministro, pero a menudo se convierte en un problema durante la explotación. El agua puede ser un obstáculo para nuestras operaciones, la mina hay que vaciarla, porque las herramientas son muy importantes, como las bombas y el agua la sacaremos desde el fondo de la mina. Por lo que deberíamos tener un mejor conocimiento de los diferentes tipos de bombas según sus características, ya sea en términos de caudal, HP o eficiencia. De esta forma podemos seleccionar la máquina adecuada para el trabajo, debido al proceso de bombeo y desagüe en la mina, el nivel del agua subterránea cambia, lo que crea condiciones para que el proceso de extracción sea más eficiente, por tanto, la bomba de mina es un estudio muy importante, durante el funcionamiento de la bomba, la energía mecánica (recibida por el motor) se convierte en energía potencial y cinética, y una poca cantidad de calor, de fluido líquido. En el sistema de bombeo, el equilibrio hidráulico se obtiene a partir del balance energético, en el que se tienen en cuenta la energía cinética, la energía potencial y la pérdida de energía.

### 3.2.12 Sistema de bombeo de aguas superficiales

BEDREGAL, (2012) En la disertación Mejorando el Sistema de Bombeo de la Mina de Cobre xstrata Tintaya - Cusco, se afirma que la deshidratación del agua y otras formas de control de las aguas superficiales que se acumulan en el fondo de la mina son elementos esenciales de muchos proyectos mineros. Se expandirán por debajo del nivel freático y un control deficiente del agua puede afectar la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

Con un buen sistema de bombeo, será posible lograr:

- Condiciones de trabajo más eficientes: menor tiempo de inactividad por inundaciones.
- Costos de voladura reducidos: bajar el nivel del agua superficial antes del trabajo proporcionará agujeros secos, lo que reducirá la necesidad de emulsiones.
- Bajos costos de transporte: el mineral seco y la roca estéril son más livianos que los materiales húmedos, por lo que la roca deshidratada reduce los costos de transporte.
- Mayor estabilidad y seguridad de la pendiente: la reducción de los niveles de agua superficial y la reducción de la presión pueden permitir el uso de ángulos más pronunciados, al tiempo que se mantienen o aumentan los factores de seguridad.

### 3.2.13 Objetivos principales del bombeo de aguas superficiales

(AGUIRRE, 2014) En minería se bombea agua para lograr los siguientes objetivos básicos:

- Para desaguar la mina
- Para suministrar agua a la planta de beneficio y para el uso doméstico.
- Para recuperar las aguas, conservando el recurso y minimizando el impacto ambiental.

La mayoría de las bombas son eléctricas y hay pequeñas bombas neumáticas para fines especiales. Las bombas más comúnmente utilizadas en la minería son las bombas centrífugas y las bombas de pistón. Cada uno de estos tiene su propia aplicación. Las bombas de pistón se utilizan para bajos volúmenes de agua y altas presiones, mientras que las centrífugas se utilizan para pequeños y grandes volúmenes de agua, así como para pequeñas y grandes presiones.

### 3.2.14 Clasificación de bombas en general

#### 3.2.14.1 Bombas volumétricas

(CANSAYA, 2016) Afirmó en su tesis que las bombas de desplazamiento positivo, que son máquinas que transfieren presión a un fluido cambiando el volumen donde se ubica, se clasifican principalmente según el tipo de movimiento del elemento de desplazamiento:

##### **Alternativas**

Donde el movimiento que produce un cambio de volumen aumenta la presión en el fluido, es un movimiento alternativo o vaivén. Estas bombas son tipo embolo o pistón.

##### **Rotoestáticas**

Aquí, el cambio de volumen es el resultado del movimiento de rotación. Las piezas móviles y los tipos de bombas de expansión de esta clasificación son:

- Bombas de engranaje.
- Bombas de membrana.
- Bombas de Lóbulos.
- Bombas de paletas.
- Bombas de tornillo.

#### 3.2.14.2 Bombas centrífugas

Según ORTÍZ (2014) Según sus características, se agrupan en varios tipos:

**Por el número de etapas:** en bombas de una etapa, el proceso es desarrollado por un impulsor; Mientras que en la bomba de etapas múltiples se desarrolla mediante dos o más impulsores.

**De acuerdo a la posición del eje:** Las bombas horizontales suelen tener sus ejes en posición horizontal, mientras que las bombas verticales tienen ejes en posición vertical.

**De acuerdo a la succión:** La bomba de primera etapa de una etapa está equipada con un motor de succión y el líquido ingresa solo, por un lado. Bomba de primera etapa de doble aspiración con impulsor de doble aspiración y el líquido entra en el impulsor por ambos lados.



### 3.2.15 Captación de aguas superficiales

MUÑOZ, (2016) En su tesis titulada Optimización Del Sistema De Bombeo Y Manejo De Las Aguas Residuales Producto De La Explotación Minera En La Mina De Carbon San Fernando, Operada Por Carbones San Fernando Sas, Vereda Paso Nivel, Amaga-Antioquia Afirmó: que los aspectos esenciales de este tipo de fregadero son la elección del tipo y ubicación. En general, una empresa de extracción de agua debe cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- Siempre reaccione ante situaciones que cambien las fuentes de agua.
- La estructura se adapta al impacto del corriente líquido, al impacto de objetos flotantes y materiales de remolque.
- No debe causar una erosión significativa o erosión de la vía fluvial.
- En todas las circunstancias, se permitirá el cálculo de caudal.

### 3.2.16 Obras de conducción

BARRETO, (2017) en su tesis titulada “Optimización Del Sistema De Bombeo – Construcción Y Drenaje - Unidad Minera Antapaccay” define que, desde la entrada de agua hasta la planta de tratamiento, tendríamos el caso de una tubería de agua cruda. En este proceso, la entrega puede ser a través de canales cerrados o canales abiertos, regulando la contaminación que el agua puede acumular en los canales abiertos de la planta de tratamiento. Desde la instalación de producción hasta el centro de consumo o distribución es el estado del agua tratada, y esto siempre debe hacerse en canales cerrados. En cualquier caso, el agua se puede mover por gravedad, bombeando o mixta.

### 3.2.17 Drenaje de agua de minas

FRANCO, (2015) En su tesis titulada “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA, PARA SATISFACER SU DEMANDA VOLUMÉTRICA, EN VOLCÁN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.- UNIDAD CHUNGAR” Señaló que toda la minería se ubica dentro de una cuenca hidrogeológica e hidrogeológica específica y que en la mayoría de los casos ocurre por debajo del nivel freático de la zona. Como tales, las minas superficiales constituyen puntos de descarga o drenaje de los caudales superficiales y / o subterráneos, en cuyo caso pueden alterar la función hidrogeológica o hidrogeológica del área. El objetivo principal es asegurar que



el contacto del agua con la mina (tanto superficial como subterránea) sea lo mínimo posible y que el contacto sea menos posible. El estudio del drenaje de minas tiene dos aspectos. El primero es mantener las condiciones de trabajo adecuadas en interiores y superficiales, donde la necesidad de bombear agua es frecuente. Esta sección no se tratará en este capítulo porque se trata más de su funcionamiento y diseño que de su impacto en el medio ambiente. El segundo aspecto del drenaje de la mina es la gestión de la interferencia operativa en la hidrosfera. Esta gestión suele tener los siguientes objetivos:

- Reducir la cantidad de agua que circula en las áreas operativas.
- Reutilizar la máxima cantidad de agua utilizada en el proceso industrial.
- Extracción de agua con determinadas características para que no afecte negativamente a la calidad del cuerpo de agua receptor.

### **3.2.18 Ubicación de la estación de bombeo**

El instituto de ingenieros de minas del Perú IIMDP, (2012) En el 31° Acuerdo Operativo, se especifica que, para un funcionamiento seguro y continuo, se debe determinar la ubicación de la estación de bombeo, ya que se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de inundaciones, deslizamientos, huaycos y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- Topografía del terreno.
- Características de los suelos.

### **3.2.19 Bombas en serie y en paralelo**

FRANCO, (2015) Según Eduardo Blanco Marigorta (1994), A veces se utilizan varias bombas que funcionan en serie o en paralelo en el mismo circuito. Esto puede ser útil como sistema de control o cuando se requieren propiedades diferentes. Cuando se colocan varias bombas en serie, se pueden reemplazar, por motivos de cálculo, con otra bomba hipotética que genera la suma de las alturas de caída separadas para cada caudal. Asimismo, varias bombas en paralelo darán una curva común en la que se suman los caudales de cada altura.

### 3.2.20 Drenaje

(SÁNCHEZ, 2018) En las presentaciones de PERUMIN, señaló que el sistema de drenaje en una mina debe adaptarse de manera flexible a los programas mineros, debe moverse o profundizarse, así como los cambios de flujo interno con respecto al sistema de lluvia.

#### 3.2.20.1 Problemas y recomendaciones en el montaje y operación de bombas en drenaje mina

(CANSAYA, 2016) Especifica en su tesis la imagen en la que aparece la bomba basculante, debido a la falta de un puntal flexible cuando se usa, permitiendo que el agua ingrese a la cámara conectada, el impacto pierde instantáneamente el aislamiento de la bomba, haciéndola inoperable.



**Figura 19 — Bomba inclinada**

Extraído de (CANSAYA, 2016)

### 3.3 Marco conceptual

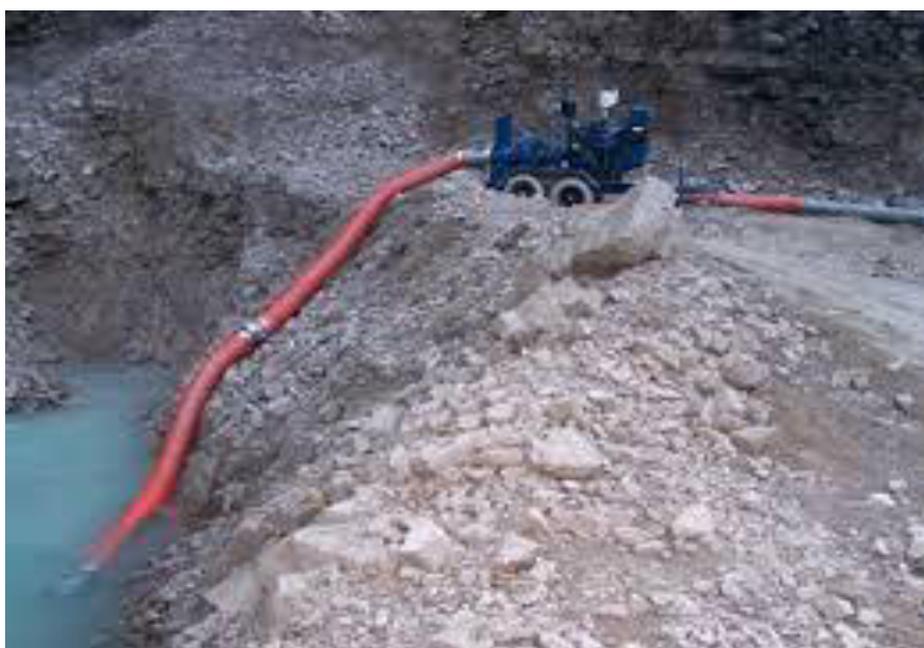
#### 3.3.1 Poza de succión

Un pozo o tanque de recolección, también conocido como tanque de succión, es un contenedor para recibir y recolectar aguas residuales durante un período de tiempo. Si en algún momento el caudal de la bomba es superior a la entrada, la bomba generará una entrada de aire y su rendimiento se verá afectado, y esto puede causar serios daños al equipo. Las funciones del tanque de succión son almacenar el agua de la mina en caso de un corte de energía o falla de la bomba

y dejar tiempo suficiente para que las partículas en suspensión se asienten. (RODRIGUEZ, 2014)

### 3.3.2 Estaciones de bombeo

Una estación de bombeo es una estructura diseñada para elevar un líquido desde su nivel de energía inicial a un nivel de energía más alto. Su aplicación es muy amplia en diversos campos de la ingeniería, la estación de bombeo es un conjunto de obra civil, equipos, tuberías y accesorios, que tienen la función de absorción directa o indirecta de agua en el suministro y conducen a tanques de almacenamiento o distribución directa a la red. (CABANILLAS, 2009).



**Figura 20 — Estaciones de bombeo**

Extraído de (CABANILLAS, 2009).

### 3.3.3 Sistemas de Bombeo

Es un conjunto de pozos y bombas que traen agua de un área específica, para Tajo Oeste contamos con varios sistemas de bombeo y rebombeo que conforman todo el sistema de bombeo. El propósito del sistema de bombeo es elevar la presión del termofluido para vencer la resistencia que el circuito resistiría su rotación. Las presiones de trabajo siempre deben garantizar que el fluido permanezca en estado líquido y no se evapore. (ANDRITZ, 2017).

### 3.3.4 Flujos

Es la cantidad de agua absorbida por cada pozo o sistema de bombeo, y su unidad de medida son los litros por segundo. (l/s). (CABANILLAS, 2009)

Un aspecto de la dinámica de fluidos es el comportamiento de los flujos de fluidos, es decir, el movimiento de los flujos de fluidos. La retención de masa de fluido en las dos secciones (A1 y A2) del conducto (tubería) o tubo de flujo prueba que la masa de entrada es igual a la masa de salida. (WIKIPEDIA, 2019)

### 3.3.5 Tubo de corriente

La superficie consta de líneas de corriente. Corolario: solo hay flujo de corriente si  $\mathbf{V}$  es diferente de  $\mathbf{0}$ . (WIKIPEDIA, 2019)

La ecuación de continuidad se puede expresar como:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

Cuando  $\rho_1 = \rho_2$ , que es el caso general tratándose de agua y flujo en régimen permanente, se tiene que:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

o de otra forma:

$$Q_1 = Q_2 \quad (\text{el caudal que entra es igual al que sale})$$

Donde:

- $Q$  = caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $V$  = velocidad ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $A$  = área transversal del tubo de corriente o conducto ( $\text{m}^2$ )

### 3.3.6 Usages

El porcentaje (%) del tiempo de actividad total de cada pozo o sistema de bombeo, tomado en turnos, días, semanas o períodos de tiempo para los que se debe evaluar el rendimiento del sistema. (AGUIRRE, 2014)

### 3.3.7 Pozos

Son hoyos perforados en el macizo rocoso con un diámetro de 17.5 "a 24" y profundidades que van desde los 200 m. Y 250 metros, según Investigaciones

Hidrogeológicas, se ubica en una zona con alta capacidad de transmisibilidad y almacenamiento de agua para aprovechar al máximo la capacidad de las bombas instaladas en su interior. (BARRETO, 2017)

### 3.3.8 Napa freática

La capa freática es un conjunto de agua subterránea relativamente poco profunda debajo de la superficie de la Tierra. Específicamente, es un acuífero relativamente poco profundo, donde los acuíferos también pueden ser mucho más profundos. También conocido como nivel del agua subterránea, el nivel del agua subterránea es la altura o nivel que identifica dónde se encuentra el agua subterránea en el suelo o la masa rocosa. (AGUAMARKET., 2018).



Figura 21 — Napa freática

Extraído de (AGUAMARKET., 2018)

### 3.3.9 Nivel Estático

El nivel estático es la profundidad en el pozo de agua, medida desde la superficie hasta el espejo del agua en reposo cuando la bomba se detiene. Este indicador es muy importante y valioso, por lo que incluso en algunas regiones del país existe un servicio de monitoreo especial para medir la profundidad estática del agua en los pozos de monitoreo. Los datos son la base para mantener registros de las reservas de agua subterránea. En general, en los pozos arenosos poco profundos, el nivel de agua estática en el pozo a menudo coincide con el nivel del agua subterránea. A menudo, los propietarios de tales pozos se preguntan sobre la ubicación del cuerpo de agua a una altura de solo uno o dos metros sobre la superficie del agua o incluso que fluye en la superficie. Este es el nivel de agua



subterránea en el pozo antes de arrancar la bomba, de acuerdo a su altura, se determina la posición de la bomba dentro del pozo para asegurar el bombeo continuo, tomando en cuenta el NPSH (Altura Neta Positiva de Aspiración). (CHEBNIKSANTEHNIKA, 2018)

### 3.3.10 Nivel Dinámico

El nivel dinámico es el horizonte de la superficie del agua obtenido durante el funcionamiento de la bomba. También se mide en metros desde el suelo y suele estar indicado en el pasaporte del pozo. Tenga en cuenta que cada bomba tendrá su propio nivel de pozo dinámico. Que en la mayoría de los casos se diferencia de otros y depende del rendimiento. También es un indicador importante que debe conocer para elegir la altura óptima de la suspensión de la bomba, cuyo precio puede ser significativo. Es el nivel del agua subterránea el que se produce como efecto de bombeo, se forma un efecto de cono invertido que crea un vacío con respecto al nivel estático. (CHEBNIKSANTEHNIKA, 2018)

### 3.3.11 Nivel de Succión

Este es el ajuste de succión de la bomba, se basa en NPSH (Altura Neta de Aspiración) y es importante confiar en él para evitar la cavitación que puede dañar la unidad. La profundidad del pozo desde el suelo está determinada por tres celdas en orden descendente: (CABANILLAS, 2009)

- Cota de la solera del afluente.
- Distancia entre niveles máximos y mínimos. Este rango de operación es del orden de 1.0 m, admitiéndose 0.10 m, por encima y por debajo para activar alarma cuando fuese necesaria. En pequeñas estaciones, se puede reducir este rango, hasta un mínimo de 0.60m.
- Altura requerida para la instalación de la bomba y piezas especiales, manteniéndose el nivel mínimo de forma de proporcionar condiciones para que la bomba opere siempre ahogada (nivel de aguas servidas igual o superior al plano que pasa por el eje del rotor). Esta submersión debe ser tal que la columna líquida sobre el eje de la toma de succión sea como mínimo 2.5 veces el diámetro de la referida toma. En casos especiales, siempre que sean justificados, se puede admitir que solamente durante la partida la bomba quede sumergida.

### **3.3.12 Collar de Pozo**

Este es el nombre que se le da a la parte superior de un pozo expuesto por encima de la superficie, donde un eje instalado entre el casing del pozo y la tubería de HDP dirige el flujo.. (MUÑOZ, 2016)

### **3.3.13 Nivel Final de Pozo**

Este es el nivel final de la sesión de perforación, determina la profundidad total del pozo y el tiempo de vida en el tajo según el cronograma de explotación. (ORTÍZ, 2014).

### **3.3.14 Perfil Hidráulico**

El perfil hidráulica es uno de los documentos que nos ayuda a analizar las oportunidades de mejora del sistema de bombeo, seleccionar tipos de bombas adecuados o utilizar principalmente sistemas de bombeo (ANDRITZ, 2017).

### **3.3.15 Curva de Rendimiento de Bombas**

Este es el gráfico proporcionado por el fabricante de la bomba, donde la curva de eficiencia de la bomba se representa como una función de la altura dinámica total (HDT), la eficiencia, los requisitos de potencia y los requisitos de NPSH. Esto es muy importante porque dependerá de la capacidad de seleccionar el equipo de pozo adecuado de acuerdo con el perfil hidráulico. (CABANILLAS, 2009).

### **3.3.16 Altura Dinámica Total (TDH)**

También llamada altura de bomba o altura hidráulica, es la distancia vertical entre el nivel dinámico de la bomba y el punto de descarga, teniendo en cuenta las pérdidas de resistencia en líneas y accesorios, y es importante porque permite seleccionar la bomba correcta. (RODRIGUEZ, 2014).

### **3.3.17 Altura Neta Positiva de Aspiración**

NPSH se conoce ampliamente como la distancia por debajo del nivel del agua en la que se debe instalar el punto de succión de la bomba para garantizar que la diferencia de presión entre el interior de la bomba y el pozo de agua no cree cavitación. (BARRETO, 2017).



### **3.3.18 Abatimiento**

Es la distancia creada entre los niveles estáticos y dinámicos creados por la bomba en el pozo, es decir, desde donde el agua está estancada y se bombea, hasta donde fluye el agua a medida que ingresa.. (MUÑOZ, 2016).

### **3.3.19 Capacidad Específica de Pozos**

Es el valor que se encuentra al tener la relación entre el caudal de la bomba y abatimiento, es decir, litros por segundo por metro de abatimiento. El abatimiento es la diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico del nivel del agua subterránea. Por ejemplo, si bombeamos 100 l/s y el abatimiento es de 10 metros, la Capacidad específica será de 10 l/s – m, Cuanto mayor sea la capacidad, mayor será la capacidad para aumentar la capacidad de la bomba en el pozo. (AGUAMARKET., 2018).

### **3.3.20 Equipos Mecánicos**

Es importante conocer el concepto general de cada dispositivo utilizado en los sistemas de bombeo y rebombeo subterráneos, con el fin de comprender mejor los equipos con los que contamos. (BEDREGAL, 2012):

### **3.3.21 Bombas**

Estos son los principales dispositivos del sistema, tienen muchos tipos diferentes según la naturaleza del trabajo, y las bombas son dispositivos mecánicos que se encargan de absorber y transportar fluidos de un punto a otro, mover una cierta cantidad llamada flujo a una cierta distancia vertical se llama Altura Total Dinámica. (ABELPUMPS, 2018).

### **3.3.22 Motor**

Se encuentra ubicado en la parte final de la línea del pozo, es el encargado de transmitir la fuerza mecánica a la bomba, funciona mediante la alimentación de una línea de energía de 0.48KW, existen de diferentes potencias (ANDRITZ, 2017).

### **3.3.23 Casing o Línea**

Esta es la línea de fondo de pozo dentro del pozo, desde la Cota Collar del Pozo hasta la bomba, la cual es de acero inoxidable, tiene un diámetro de 10 y 14

pulgadas y usa 5,5 metros. Con sistema de enganche rápido, Esto permite una mayor maniobrabilidad para la instalación y desinstalación ya que la extracción debe avanzar verticalmente minando. (ABELPUMPS, 2018).

### **3.3.24 Tubería**

Estas son las líneas de líquido, que son HDP (Poliétileno de Alta Densidad) y se utilizan como medio de transporte para drenar las aguas residuales de los puntos de bombeo a las estaciones, las tuberías de diferentes diámetros que se utilizan van desde 6 "a 24" así como SDR (Relación de Tamaño Estándar) (17 y 11.9 y 7.3) que varían en función del caudal a transportar y la presión a tolerar según al perfil hidráulico. (AGUAMARKET., 2018).

### **3.3.25 Flujometro**

Es un dispositivo electrónico que permite leer el tráfico o tráfico a través de un ducto, y es capaz de conectarse con el sistema de telemetría, y transmitir información al centro de operación por radiofrecuencia, permitiendo ver el flujo emitido desde cada pozo en tiempo real. Haciendo posible detectar distracciones como caídas de flujo y pozos que fallan a tiempo. (ANDRITZ, 2017).

### **3.3.26 Sensor de Presión**

Es un aparato de medición que permite visualizar la presión ejercida por la bomba en el sistema, y su apoyo es importante para monitorear el funcionamiento de la bomba así como verificar que los tubos de la bomba cumplen con los parámetros. Ingeniería de presión del sistema no. . (ABELPUMPS, 2018).

### **3.3.27 Válvula de Control**

Es un dispositivo controlado mecánicamente para abrir, cerrar, restringir o redirigir el flujo a otros arroyos, y también se utiliza para evitar el golpe de ariete causado por el disparo de otros pozos conectados a la misma salida, es decir, controla la entrada de flujo a los pozos que están inactivos debido al flujo de otros pozos (ANDRITZ, 2017).

### **3.3.28 Válvula Check**

Se trata de un accesorio mecánico que, gracias a su diseño de válvula, permite el flujo solo en un sentido, evitando reflujos y golpes de ariete en el sistema que



pueden dañar los tubos del pozo y / o la bomba o el motor. (AGUAMARKET., 2018).

### **3.3.29 Tableros**

Estos son los componentes electrónicos que regulan el suministro de energía al motor permitiendo un suministro uniforme al sistema, esto evita picos de potencia que pueden dañar el equipo, algunos de ellos utilizan inversores para ajustar gradualmente la potencia de entrada. (AGUIRRE, 2014).

### **3.3.30 Tanques de Rebombeo**

Son la estructura de la ruta de flujo de la bomba, pueden reducir la carga dinámica general de la bomba en el pozo para aumentar el flujo. (ORTÍZ, 2014).

### **3.3.31 Sub-estaciones de Energía**

Los Sistema de Bombeo utiliza energía de 0.48 KW, considerada energía de Baja Tensión, para lo cual hay que implementar Subestaciones y transformadores que puedan reducir el voltaje de Alta Tensión 22.9 KW a Media Tensión 4.16 KW y/o Baja Tensión 0.48KW (MUÑOZ, 2016)

### **3.3.32 Sumidero**

Los tubos o canales por donde se encuentra el agua para ser evacuadas o dirigida, ya que estos canales recogen el agua para ser evacuadas de los tajos, y son de gran importancia para la eficiencia de esta obra. (ORTÍZ, 2014)

### **3.3.33 Tubería**

Los canales están formados por tubos utilizados para distribuir líquido o gas, y en nuestro caso estos tubos resisten la alta presión por la que el agua se escurre a gran velocidad. (ABELPUMPS, 2018).

### **3.3.34 Curvas características**

Una forma de visualizar fácilmente el comportamiento de un sistema de tuberías es utilizar curvas características. La idea es resolver ecuaciones que definan gráficamente un problema en particular. (BARRETO, 2017).



## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo básico de nivel descriptivo-cuantitativo, el estudio analizó la economía de la empresa optimizando el sistema de bombeo, en cuyo caso se aplicó la economía.

#### 4.2 Diseño de la investigación

Se considera esta investigación de diseño correlacional-causa efecto, pues se determina el análisis de la optimización del sistema de bombeo del tajo norte. Se determinó el análisis de bombeo para reajustarlos, el cual implicará una descripción del cómo se logrará optimizar este sistema. Donde el diseño se realizó de la siguiente manera.

#### 4.3 Población y muestra

##### 4.3.1 Población

Se toma como universo poblacional a los 2 tajos de la Unidad Minera Antapaccay, tajo NW y SE.

##### 4.3.2 Muestra

Se toma como muestra el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay. El procedimiento de muestreo es no probabilístico, es decir, según lo previsto por el investigador.

#### 4.4 Procedimiento de la investigación

Las búsquedas de datos dependen del cronograma establecido para el proyecto de tesis. Esto lo hacen dos personas, un tesista y un asistente.

- La duración es de aproximadamente 6 meses.
- Medios de seguimiento y revisión de informes.

Para recopilar datos, consideramos archivos en papel, hojas de cálculo de Excel y el uso de procesamiento de texto.

#### 4.5 Técnicas e instrumentos

Se utilizará los softwares como el office (Excel, Word) y graficadores (Autocad civil 3d) y materiales de apoyo como libretas de campo y reportes.

Los datos se cifran y clasifican de forma manual y electrónica. Para el segundo caso, el programa utilizado es Excel.



#### 4.5.1 Instrumentos de Investigación

Las herramientas utilizadas en esta encuesta son informes, informes, registro estadístico de sistemas de bombeo y datos bibliográficos.

De acuerdo a las intenciones que se tiene con el presente trabajo de tesis, es mejorar el mediante investigaciones de mejores sistemas de bombeo donde se busca optimizar el sistema de bombeo con el fin de minimizar costos, esto se realizara mediante los siguientes pasos.

- **Identificación del problema:** Este proceso se lleva a cabo durante la época de lluvias porque en este momento no se controla el problema del agua superficial en el pozo, se determina que la bomba es insuficiente, el sistema de entrega de la tubería aún está lleno de defectos y las etapas de control y logística son difíciles.
- **Planteamiento de investigación para solucionar el problema:** En esta parte se realizan investigaciones para poder mejorar el sistema de bombeo, donde se buscan bombas con más capacidad, se busca tener una red de tuberías adecuadas, todo esto con la finalidad de optimizar los costos de operaciones en trabajos de bombeo, aumentar el caudal de evacuación y disminuir las horas de bombeo de aguas.

Tomando en cuenta la variable dependiente que es el drenaje del tajo norte. Se toma como definición y objetivos a la capacidad de bomba y al tiempo de bombeo

#### 4.6 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se procedió a realizar las estimaciones estadístico representativo para la optimización del sistema de bombeo, Luego, se realizan simulaciones donde se evalúa la factibilidad de aplicar la optimización, para ver una reducción en los costos operativos.

Una vez se vio la factibilidad del proyecto de tesis se comenzó con la elaboración del presente trabajo de tesis para que pueda ser evaluado por lo jurados de la universidad.

En la elaboración de esta tesis se contó con la ayuda de un asesor, donde se comenzó a realizar la estructura correspondiente del Trabajo de tesis.



- Primero, se tomaron datos de campo, como registros fotográficos, apuntes en libreta de campo.
- Segundo, se realizó análisis de datos y trabajo en gabinete.
- Tercero, se sacaron los resultados de la investigación de acuerdo a los objetivos de la misma.
- Cuarto, se realizó una discusión de resultados.
- Quito, se procedió con las conclusiones y recomendaciones del trabajo de tesis.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Descripción de los resultados

Es fundamental que la Minera Antapaccay continúe explotando racionalmente sus reservas minerales, debido al hecho de que el agua puede convertirse en un problema importante en el diseño de operaciones mineras abiertas, es necesario tener conocimiento sobre el volumen de agua presente en la mina y caudal presente teniendo en cuenta la pluviometría o régimen de lluvias de la zona, Poder evaluar de manera más adecuada el sistema de drenaje para no poner en peligro las obras en funcionamiento normal; Luego calcule los componentes hidráulicos. Entre estos sistemas, se seleccionó un nuevo sistema de bombeo.

Con un buen sistema de bombeo, será posible lograr:

- Condiciones de trabajo más eficientes: menor tiempo de inactividad por inundaciones.
- Reducción de los costos de voladura: bajar el nivel del agua superficial antes del trabajo proporcionará orificios secos, lo que reducirá la necesidad de explosivos.
- Menores costos de envío: los minerales secos y la roca estéril pesan menos que el material húmedo, por lo que la roca seca ahorra costos de transporte.
- Mejora de la estabilidad y seguridad de la pendiente: los niveles más bajos de agua superficial y la presión de poro más baja pueden permitir el uso de ángulos más pronunciados, mientras se mantienen o aumentan los factores de seguridad.
- Es necesario cambiar el diseño y mejorar el sistema de bombeo por las siguientes razones:
  - La cantidad de agua es mayor debido a la constante penetración de agua subterránea.
  - La altura del tajo debido a una perforación más profunda.
  - Expansión del agujero.
  - Instalación de bombas estacionarias de mayor capacidad.
  - Instalación de bomba de lodo.
  - Instalación de subestaciones eléctricas. Los generadores se utilizarán únicamente en situaciones de emergencia.
  - Cambie el sistema de bombeo a otra área.

- Agua en los puntos de carga de metal (dificulta la carga de las palas en los camiones. Si no se puede recolectar agua, la operación puede detenerse).

### 5.1.1 Cálculos principales

- **Presión:** Se define la fuerza por unidad de área. En la siguiente imagen se aclaran otros términos:

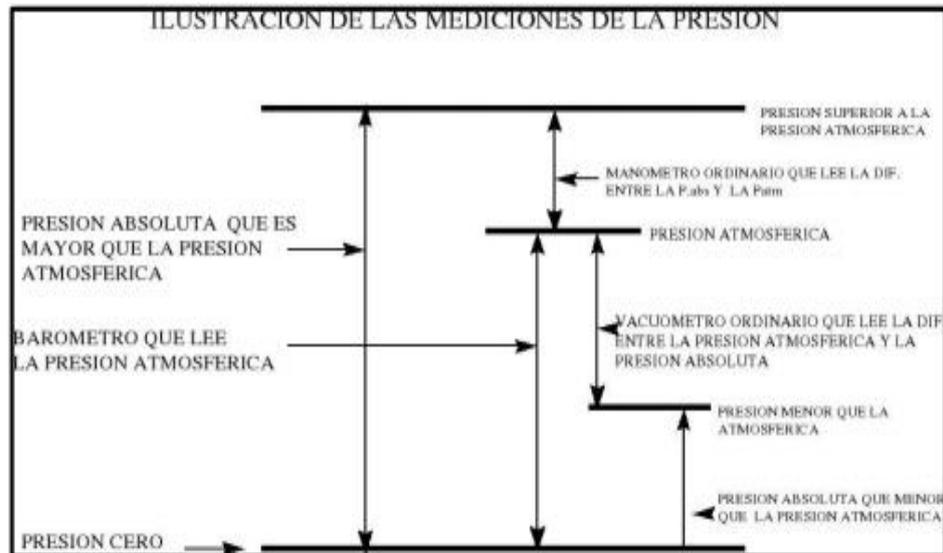


Figura 22 — Ilustración de la medición de presión

Extraído de Sensores de Presión. Ing. Jorge Cosco Grimaney (2015)

- **Tasa de flujo volumétrico:** Mide la cantidad de volumen que pasa a través de un área en un tiempo dado, su ecuación se ve así:

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- V: velocidad del fluido en un punto
- Q: Tasa de flujo volumétrico
- A: Área ( $A = \pi \cdot D^2 / 4$ )

- **Altura de velocidad:** es la energía relacionada con la velocidad expresada en altura por:

$$h = \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- v: velocidad
- h: altura de velocidad
- g: aceleración de la gravedad

- **Altura manométrica:** Ésta es la diferencia entre el extremo de descarga de la brida de descarga y la brida de succión de la bomba. Algunos autores llaman a la cabeza de presión la ecuación de la cabeza efectiva de acuerdo con lo siguiente:

$$H_{manometrica} = \frac{P_{impulsion} - P_{aspiracion}}{\gamma} \dots\dots\dots (3)$$

- **Altura efectiva de la bomba:** Se define como altura efectiva: "H" en la escala, enfatizo:

$$H = \frac{P_{impulsion} - P_{aspiracion}}{\gamma} + \frac{V_{impulsion}^2 - V_{aspiracion}^2}{2g} + Z_{impulsion} - Z_{aspiracion} \dots\dots\dots (4)$$

La altura efectiva o altura total de una bomba es una medida de la potencia entregada al fluido por unidad de peso del fluido. En resumen, los dos últimos términos de la derecha a menudo se omiten, así:

$$H_{manometrica} = \frac{P_{impulsion} - P_{aspiracion}}{\gamma}$$

La última efectiva puede ser calculada de manera indirecta por medio de la altura del sistema que es igual a la altura efectiva:

$$H = H_{sis} \dots\dots\dots (5)$$

$$H = \frac{P_{impulsion} - P_{aspiracion}}{\gamma} + \frac{V_{impulsion}^2 - V_{aspiracion}^2}{2g} + Z_{impulsion} - Z_{aspiracion} + \Sigma H_p \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

$\Sigma H_p$ : incluye todas las pérdidas tanto en la zona de aspiración como impulsión.

- **NPSH disponible (Net Positive Succión Head-Altura Neta Positiva en la Aspiración)**

$$NPSHD = H_{at} - h_m - h_v - \Sigma H_{ps} \dots\dots\dots (7)$$

- **NPSH requerido**

$$NPSHR = \Delta h \dots\dots\dots (8)$$

- **Condición para evitar la cavitación**

$$NPSHD > NPSHR \dots\dots\dots (9)$$

- $NPSH_D$  = Se calcula sobre la base de datos de instalación.
- $NPSH_R$  = Es suministrado por el fabricante según su caudal.
- **Ecuación continuidad:** El volumen de fluido que pasa a través de una sección transversal del tubo en un momento dado debe ser igual al volumen de fluido que pasa a través de otra sección transversal al mismo tiempo:



$$Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots (10)$$

$$V_1A_1 = V_2A_2 \dots\dots\dots (11)$$

• **Número de Reynolds:** Número de Reynolds (Re) Número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para describir el movimiento de fluidos. El número de Reynolds se puede definir como la relación entre la fuerza de inercia (o convección según los autores) y la fuerza viscosa presente en el fluido. Esto se relaciona con la densidad, viscosidad, velocidad y dimensiones típicas del flujo en una expresión adimensional, que está relacionada con muchos problemas de la dinámica de fluidos. En muchos casos, la coherencia o los números adimensionales parecen estar relacionados con el hecho de que el flujo puede considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Para un fluido que circula dentro de un tubo circular recto, el número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho \text{ (Kg/m}^2\text{)} * v \text{ (m/s)} * d \text{ (m)}}{\mu \text{ (m.s)}} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

- $\rho$ : Densidad del fluido
- $v$ : Velocidad característica del fluido
- $d$ : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema
- $\mu$ : viscosidad dinámica del fluido

Dado que cada número adimensional es un cociente, una comparación.

• **Diagrama de moody:** El diagrama de Moody es un gráfico que muestra la relación logarítmica doble del coeficiente de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería, un diagrama dibujado por Louis Ferry Moody.



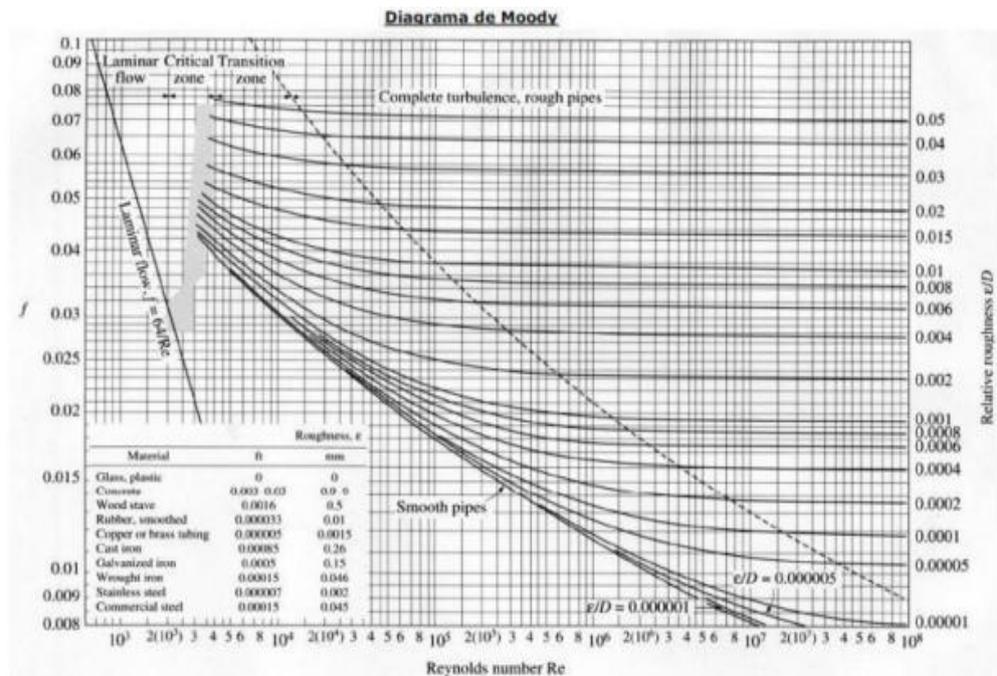


Figura 23 — Diagrama de Moody

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

### 5.1.2 Diseño hidráulico

- **Cálculo de conducciones a presión:** La ecuación básica utilizada en todos los cálculos hidráulicos a presión permanente es la conservación de energía o ecuación de Bernoulli, modificada para acomodar los supuestos básicos de flujo de presión de acuerdo con (Mott, 1996) que son:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + H_p + H_s \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

- $h_1$ : Cota de solera en la sección transversal y respecto a una cota de referencia
- $P_1$ : Presión relativa en la sección i.
- $V_1$ : Velocidad media del flujo en la sección transversal.
- $H_2$ : Pérdida de energía entre las secciones transversales debido al rozamiento a lo largo de la tubería entre ambas secciones. (Pérdidas lineales)
- $H_p$ : Pérdida de energía entre tramos debido a la presencia de fenómenos locales debido a cambios en la alineación de la tubería, debido a cambios en la sección transversal de la tubería, debido a la presencia de entradas y salidas, y debido a la presencia de elementos que pueden obstruir o cambiar las condiciones de flujo, como válvulas o holguras (pérdidas localizadas).



- **Cálculo de las pérdidas lineales o primarias:** Para la valoración de pérdidas lineales por rozamiento se utiliza la expresión de Darcy-Weissbach en el libro se (Mott, 1996) indica:

$$H_p = \frac{f}{D} \frac{v^2}{2g} L \dots\dots\dots (14)$$

Donde, para tuberías lisas o rugosas y en la zona de transición ( $2300 < Re < 4000$ ) o en la zona turbulenta ( $Re > 4000$ ),  $f$  se deduce a partir de la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots (15)$$

Y para tuberías lisas o rugosas y en la zona lamina r ( $Re < 2300$ ),  $f$  se deduce de la fórmula de Poiseville:

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

- $f$  : Coeficiente de fricción
- $\epsilon$  : Rugosidad, en m.
- $D$  : Diámetro interior de la conducción, en m.
- $L$  : Longitud de la tubería, en m.
- $Re$  : Número de Reynolds;  $Re = v \cdot D / \nu$
- $v$  : Velocidad del agua, en m/s.
- $\nu$  : Viscosidad cinemática del agua ( $\nu = \mu / \rho$ ) ; m<sup>2</sup>/s
- $\mu$  : Viscosidad dinámica el agua; en kg/m.s
- $\rho$  : Densidad del agua, en kg/m
- $g$  : Aceleración de la gravedad, en m/s

- **Cálculo de las pérdidas localizadas o secundarias:** La pérdida local se calcula utilizando la expresión extraída del libro (Mott, 1996) de la siguiente ecuación:

$$H_s = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2g} + \sum_j \lambda_j \left| \frac{\Delta v^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (17)$$

Donde, además de las variables ya definidas tenemos:

- $\lambda_k$  Coeficiente de pérdidas correspondiente al fenómeno local  $k$  (codos, derivaciones y elementos obstaculizadores del flujo).



- $\lambda_j$  Coeficiente de pérdidas correspondiente al fenómeno local  $j$  (fundamentalmente los cambios de sección de la tubería).

• **Cálculo de la altura de carga de la bomba:**

$$H_b = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{v^2 - v^1}{2 * g}\right) + H_p + H_s \dots\dots\dots (18)$$

• *Cálculo del peso específico de un líquido:*

$$\gamma = \rho * g \dots\dots\dots (19)$$

• **Cálculo de la potencia bruta:**

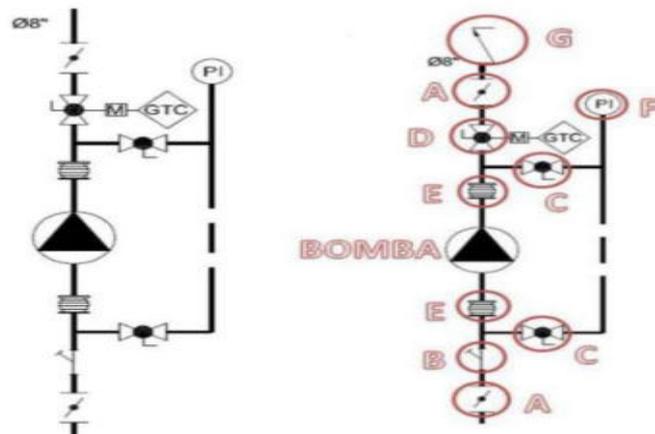
$$Pot_b(w) = H_b * \gamma * Q \dots\dots\dots (20)$$

• **Cálculo de la potencia neta:**

$$Pot_n(Kw) = \frac{Pot_b(w)}{\frac{Rendimiento}{1000}} \dots\dots\dots (21)$$

**5.1.3 Accesorios a instalar en una bomba**

Al diseñar un sistema de bombeo, siempre se deben instalar varios accesorios con una bomba:



**Figura 24 — Accesorios a instalar en una bomba**

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

- Válvula de mariposa: Se utiliza para aislar el circuito de la bomba en caso de reparación o mantenimiento tanto de la bomba como de cualquier otra parte del circuito.
- Filtro: Para evitar que entren cualquier tipo de impurezas y dañen la bomba.
- Válvula de bola: Solo para aislar la bomba incluso si necesita reparación o mantenimiento.
- Válvula de bola motorizada: La primera válvula está cerrada, por lo que es accionada por un motor.

- e) Manguitos anti vibratorios: Evita que las vibraciones afecten a la tubería mientras la bomba está funcionando.
- f) Manómetro: Controla la presión de la bomba, si supera un cierto límite puede hacer que la bomba deje de funcionar.
- g) Válvula de retención: Siempre se ubica en la salida de la bomba y evita la inversión del flujo, que es una condición bastante común en las bombas cuando se exceden ciertos valores de presión.

#### 5.1.4 Diseño antiguo del sistema de bombeo de aguas

Al comienzo de la extracción de cobre en la mina Antapaccay, la capacidad de agua en el fondo de la mina es de 400 l/s; Actualmente, la capacidad total del agua de fondo de la mina alcanza los 460 l/s, lo que requiere el desarrollo y construcción de un nuevo sistema de bombeo.

Los detalles del diseño del antiguo sistema de bombeo de la mina Antapaccay son los siguientes:

##### Tuberías:

- Tuberías HDPE de 10”, 14” y 16” de diámetro

##### Pozas:

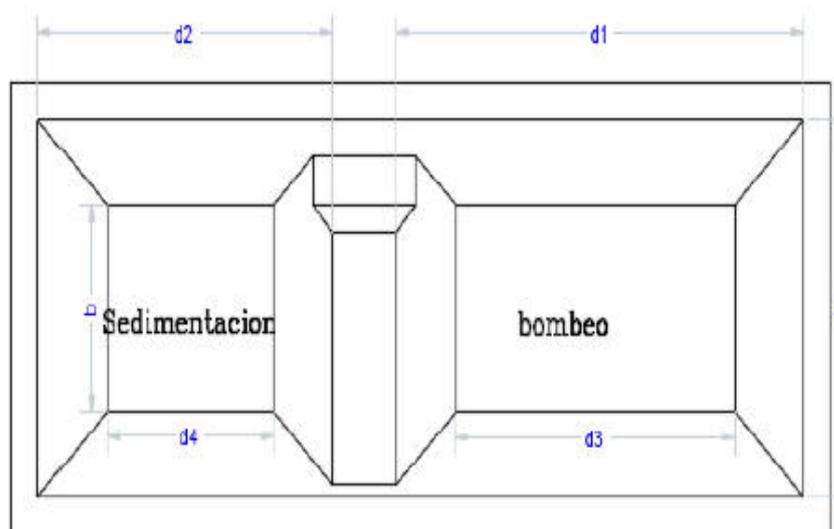
- Nro. Pozas del fondo del tajo (Nv 3665): 1
- Nro. Pozas intermedias de rebombeo : 4
- Nro. Pozas en parte superior : 3
- Dimensiones

**Tabla 4 — Diseño de poso de bombeo de agua**

ITEM	DATOS (m)
A	25
B	15
d1	35
d2	35
d3	25
d4	25
H	6
HI	1.5
sobrealtura	1

Extraído de Unidad Minera Antapaccay





**Figura 25 — Diseño de pozo de bombeo de agua**

Extraído de Unidad Minera Antapaccay

#### 5.1.4.1 Tipos de bombas:

- 02 bombas Flygt MT 140 HP y una Gorman Rupp 95 HP en el fondo del tajo (nivel 3665 msnm)
- 05 bombas Gorman Rupp 275 HP (nivel 3720 msnm)
- 05 bombas Goulds Pumps (nivel 3825 msnm)
- 06 bombas Sulzer (nivel 3945)
- 05 bombas Gorman Rupp 95 HP (nivel 4010)
- 11 bombas GR 95 HP en el nivel 4020, distribuidas en la piscina I (04), piscina II (03) y piscina III (04, de las cuales, dos se encuentran instaladas para la recirculación)

#### 5.1.4.2 Eficiencia de bombas de bombas

En base a la información obtenido insitu, se contempla a continuación el rendimiento de las bombas:

**Tabla 5 — Eficiencia de bombas antiguo**

<b>Tiempo programado de operación de bomba</b>	<b>Tiempo Oper. (h/mes)</b>	<b>Tiempo Inoperat. (h/mes)</b>	<b>% Eficiencia</b>
Succión de material particulado	341.25	175.21	66.07%
Mantenimiento de generadores	30	23.54	56.03%
Mantenimiento de tuberías	33.65	14.81	69.44%
Reparaciones y mantenimiento	60	41.54	59.09%
<b>Total (h/mes)</b>	<b>464.9</b>	<b>255.1</b>	<b>64.57%</b>

### 5.1.5 Diseño de nuevo sistema de bombeo de mina Antapaccay

#### a) Eficiencia de bombas

Las bombas GR 95 HP han estado funcionando desde su puesta en marcha en la mina Antapaccay, de manera continua y en condiciones inadecuadas, por lo que han sufrido un desgaste prematuro y la eficiencia operativa ha alcanzado el 60%, es por eso que ahora investigar la innovación de bombas con mayor eficiencia y así evitar tiempos de inactividad.

#### b) Rendimiento de las bombas

El rendimiento de las bombas se tomará de acuerdo con la capacidad individual de cada bomba, de acuerdo con las curvas teóricas y reales.

Nótese que las bombas mencionadas anteriormente operan en condiciones anormales (agua con mucha suciedad) y según el caudal de agua descrito en el segundo capítulo II del marco teórico, los siguientes resultados:

#### c) Ubicación de las pozas

Las pozas se organizarán de acuerdo con los dos criterios siguientes:

- El área que se ha construido es una parte fija de la mina. Esta norma será consultada con el área de geotecnia de la mina.
- Que el sitio no afecte las operaciones mineras.

Para la elaboración del nuevo diseño se utilizará gran parte de las estructuras establecidas en el anterior diseño, especialmente la ubicación de las pozas, de la cual el pozo del fondo será ahora el pozo intermedio V. Además de las ubicaciones anteriores de los pozos, se tendrá un nuevo diseño para el nuevo sistema, para el cual se agregará un pozo en la parte inferior del tajo, el cual será el nuevo pozo de fondo:

**Tabla 6 — Ubicación de las pozas**

Poza	Nivel
Fondo	3610
Intermedio IV	3720
Intermedio III	3825
Intermedio III	3945
Intermedio I	4010
Piscinas I, II, III	4020

**d) Preparación e instalación de tuberías a utilizar**

Es necesario realizar una soldadura por fusión porque la tubería de HDPE utilizada tiene 12 metros de largo y 10 "o 14" de diámetro.

- Las tuberías se colocarán en grupos de 10 para crear longitudes de 120 m mediante equipo auxiliar (generalmente una excavadora) en el caso de tuberías de 14 ".
- Las tuberías de 10 pulgadas tendrán la misma longitud que el pozo. Porque solo se puede utilizar unos metros fuera del pozo. La longitud se medirá en el campo para su preparación.

**Tabla 7 — Preparación e instalación de tuberías a utilizar**

Nv. Inicial	Nivel final	Caudal por tubería (l/s)	Long. Tubería (m)
3610	3720	125	250
3720	3825	125	480
3825	3945	160	550
3945	4010	100	520
4010	4020	250	720

**e) Características del fluido de mina:**

Para el caso de la mina Antapaccay, se recopiló información tomada por parte de laboratorio después de realizado una toma de muestras y análisis de los fluidos, del cual se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 8 — Características del fluido de mina**

Datos de fluido de mina			
Temperatura (T°C)	17.4	27.4	37.4
Densidad (pKg/m3)	998.3	996.4	992.1
Viscosidad (uKg/m.s)	0.0102	0.008	0.0065

Para los posteriores cálculos se tendrá como referencia estos datos.

La temperatura de los fluidos en mina será de 15.5 °C, para lo cual tenemos:

Densidad : 995.6 (pKg/m<sup>3</sup>)

Viscosidad : 0.0082 (uKg/m.s)

f) Cálculo de potencia de bombas

**De nivel 3610 a nivel 3720**

Cálculo de la velocidad... (1):

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A = 3.14592 \frac{(10 * 0.0254)^2}{4}$$

$$A = 0.051 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \frac{0.125}{0.051} = 2.47 \text{ m/s}$$

Cálculo de número de Reynolds para la turbulencia.....(12):

$$Re = \frac{\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)} * v \text{ (m/s)} * d \text{ (m)}}{\mu \text{ (m.s)}}$$

$$Re = \frac{995.6 * 2.47 * 10 * 0.0254}{0.0082}$$

$$Re = 615211.24 \text{ m/s}$$



Según el Abaco de Moody tenemos:

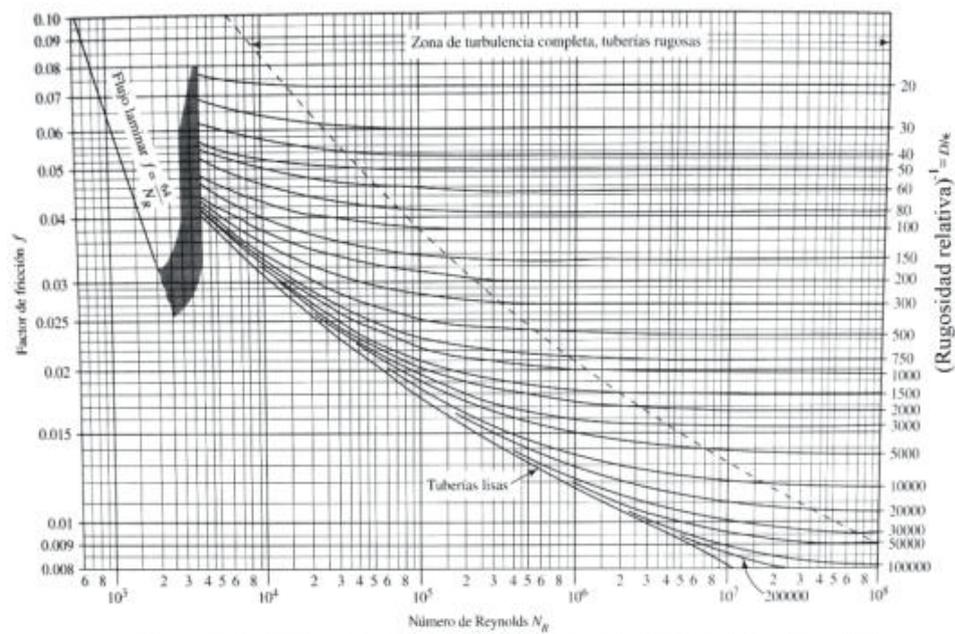


Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, R. H. F. 1961. *Fluid Mechanics*. Nueva York: John Wiley e hijos, p. 284.)

**Figura 26 — Características del fluido de mina**

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

$$f = 0.0127$$

Para encontrar un factor de fricción más real realizamos la siguiente operación.....(15).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para la fricción hallada tenemos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.0127}} = 8.874$$

Luego la rugosidad  $\epsilon$  de la tubería de HDPE es 0 por ser totalmente lisa

$$2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.0127}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.0127}} \right) = 8.883$$

Se encuentra un error de 0.009

Ahora realizamos con un valor que nos dé un menor error  $f=0.01268$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.01268}} = 8.881$$

Por el otro lado tenemos

$$2 \log_{10}\left(\frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) = 2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$$2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) = 2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.01268}}\right)$$

$$2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.01268}}\right) = 8.882$$

Encontramos un error de **0.0013**, por lo cual tomamos la  $f=0.01268$

Seguidamente calculamos las Perdidas Primarias..... (14)

$$H_p = \frac{f * v^2 * L}{D * 2 * g} = \frac{0.01268 * 2.47^2 * 250}{10 * 0.2054 * 2 * 9.81}$$

$$H_p = 0.479m$$

Cálculo de pérdidas secundarias.....(17)

$$H_s = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

$$\sum \lambda_k = \lambda_{pegas} + \lambda_{codos} + \lambda_{valvula\ check} + \lambda_{valvula\ de\ bolas} \\ + \lambda_{reducciones} + \lambda_{ampliaciones}$$

$$\sum \lambda_k = 53 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0 + 1$$

$$\sum \lambda_k = 57$$

Entonces:

$$H_s = 57 * \frac{2.47}{2 * 9.81}$$

$$H_s = 7.167 m$$

Cálculo de la altura de carga de bomba.....(18):

$$H_b = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{v^2 - v^1}{2 * g}\right) + H_p + H_s$$



$$Hb = (3720 - 3610) + \left( \frac{2.47^2 - 0^1}{2 * 9.81} \right) + 0.479 + 7.167$$

$$Hb = 118.259 \text{ m}$$

Cálculo del peso específico del agua.....(19):

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = 995.6 * 9.81$$

$$\gamma = 9766.84 \text{ Kg/m}^2\text{s}^2$$

Cálculo de la Potencia bruta.....(20):

$$Potb(w) = Hb * \gamma * Q$$

$$Potb(w) = 118.259 * 9766.84 * 0.125$$

$$Potb(w) = 144006.787 \text{ w}$$

Cálculo de la potencia neta.....(21):

$$Potn(Kw) = \frac{Potb(w)}{1000}$$

$$Rendimiento = n_{motor} * n_{bomba}$$

$$Rendimiento = 0.8 * 0.85$$

$$Rendimiento = 0.68$$

En la fórmula de potencia neta

$$Potn(Kw) = \frac{144006.787}{\frac{0.68}{1000}}$$

$$Potn(Kw) = 211.775 \text{ Kw}$$

**De nivel 3720 a nivel 3825**

Cálculo de la velocidad.....(1)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$



$$A = 3.14592 \frac{(10 * 0.0254)^2}{4}$$

$$A = 0.051 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \frac{0.125}{0.051} = 2.47 \text{ m/s}$$

Cálculo de número de Reynolds para la turbulencia.....(12)

$$Re = \frac{\rho \text{ (Kg/m}^2\text{)} * v \text{ (m/s)} * d\text{(m)}}{\mu\text{(m. s)}}$$

$$Re = \frac{995.6 * 2.47 * 10 * 0.2054}{0.0082}$$

$$Re = 615211.24 \text{ m/s}$$

Según el Abaco de Moody tenemos:

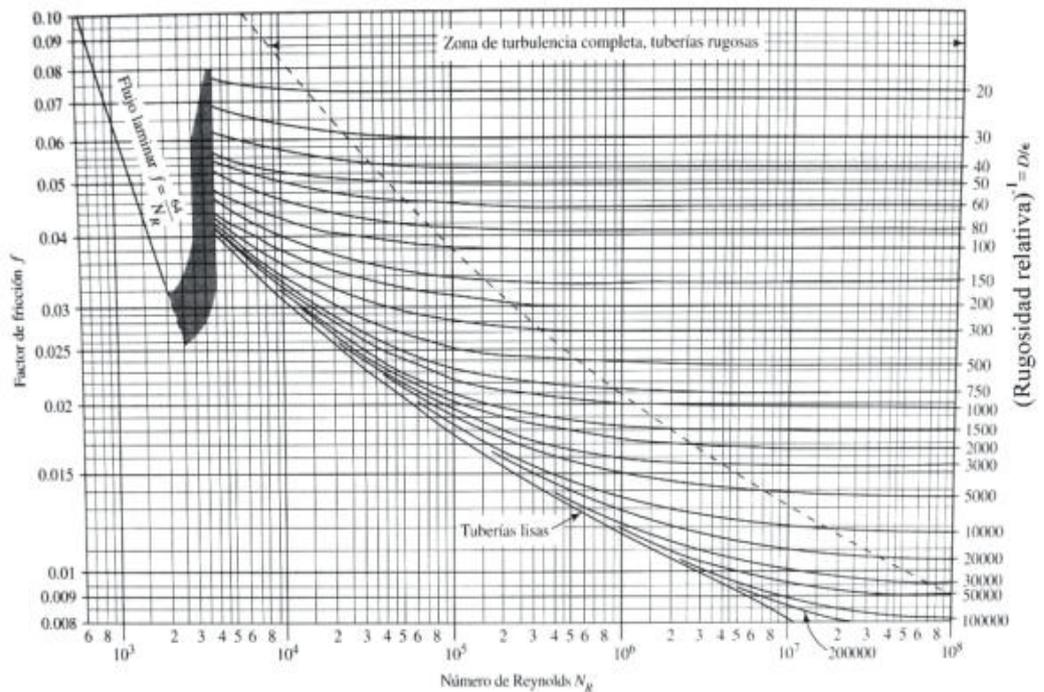


Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, R. H. F. 1961. *Fluid Mechanics*. Nueva York: John Wiley e hijos, p. 284.)

**Figura 27 — Abaco de Moody**

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

$$f = 0.0127$$



Para encontrar un factor de fricción más real realizamos la siguiente operación.....(15).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para la fricción hallada tenemos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.0127}} = 8.874$$

Luego la rugosidad  $\varepsilon$  de la tubería de HDPE es 0 por ser totalmente lisa

$$2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.0127}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.0127}} \right) = 8.883$$

Se encuentra un error de 0.009

Ahora realizamos con un valor que nos dé un menor error  $f=0.01268$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.01268}} = 8.881$$

Por el otro lado tenemos

$$2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.01268}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{615211.24\sqrt{0.01268}} \right) = 8.882$$

Encontramos un error de **0.0013**, por lo cual tomamos la  $f=0.01268$

Seguidamente calculamos las Perdidas Primarias.....(14)

$$H_p = \frac{f * v^2 * L}{D * 2 * g} = \frac{0.01268 * 2.47^2 * 480}{10 * 0.2054 * 2 * 9.81}$$

$$H_p = 0.919 \text{ m}$$



Cálculo de pérdidas secundarias.....(17)

$$H_s = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

$$\sum \lambda_k = \lambda_{pegas} + \lambda_{codos} + \lambda_{valvula\ check} + \lambda_{valvula\ de\ bolas} \\ + \lambda_{reducciones} + \lambda_{ampliaciones}$$

$$\sum \lambda_k = 52 + 1 + 0 + 1 + 1 + 0$$

$$\sum \lambda_k = 55$$

Entonces:

$$H_s = 55 * \frac{2.47}{2 * 9.81}$$

$$H_s = 6.915\ m$$

Cálculo de la altura de carga de bomba.....(18)

$$Hb = (Z_2 - Z_1) + \left( \frac{v^2 - v^1}{2 * g} \right) + Hp + Hs$$

$$Hb = (3825 - 3720) + \left( \frac{2.47^2 - 0^1}{2 * 9.81} \right) + 0.919 + 6.915$$

$$Hb = 113.145\ m$$

Cálculo del peso específico del agua.....(19)

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = 995.6 * 9.81$$

$$\gamma = 9766.84\ Kg/m^2s^2$$

Cálculo de la Potencia bruta.....(20)

$$Potb(w) = Hb * \gamma * Q$$

$$Potb(w) = 113.145 * 9766.84 * 0.125$$

$$Potb(w) = 138133.179\ w$$

Cálculo de la potencia neta.....(21)

$$Potn(Kw) = \frac{Potb(w)}{\frac{Rendimiento}{1000}}$$



$$\text{Rendimiento} = n_{\text{motor}} * n_{\text{bomba}}$$

$$\text{Rendimiento} = 0.8 * 0.85$$

$$\text{Rendimiento} = 0.68$$

En la fórmula de potencia neta

$$\text{Potn(Kw)} = \frac{\frac{138133.179}{0.68}}{1000}$$

$$\text{Potn(Kw)} = 203.137 \text{ Kw}$$

### De nivel 3825 a nivel 3945

Cálculo de la velocidad.....(1)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A = 3.14592 \frac{(14 * 0.0254)^2}{4}$$

$$A = 0.10 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \frac{0.16}{0.1} = 1.61 \text{ m/s}$$

Cálculo de número de Reynolds para la turbulencia.....(12)

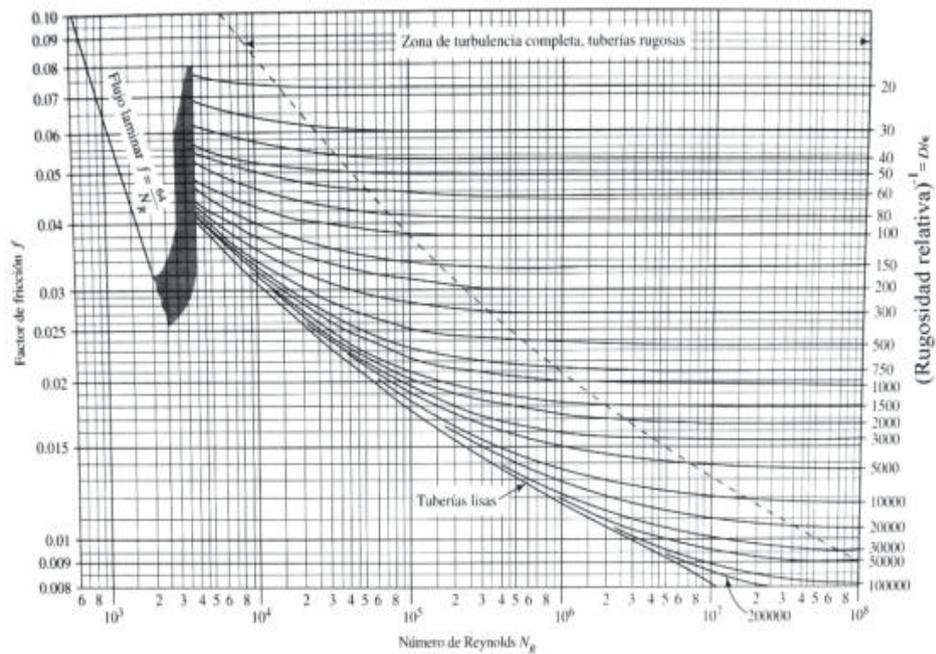
$$\text{Re} = \frac{\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)} * v \text{ (m/s)} * d \text{ (m)}}{\mu \text{ (m. s)}}$$

$$\text{Re} = \frac{995.6 * 1.61 * 14 * 0.02054}{0.0082}$$

$$\text{Re} = 562478.85 \text{ m/s}$$

Según el Abaco de Moody tenemos:





**Figura 28 — Abaco de Moody**

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

$$f = 0.0133$$

Para encontrar un factor de fricción más real realizamos la siguiente operación.....(15)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para la fricción hallada tenemos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.0133}} = 8.671$$

Luego la rugosidad  $\epsilon$  de la tubería de HDPE es 0 por ser totalmente lisa

$$2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{562478.85\sqrt{0.0133}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{562478.85\sqrt{0.0133}} \right) = 8.825$$

Se encuentra un error de 0.065

Ahora realizamos con un valor que nos dé un menor error  $f=0.01288$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.01288}} = 8.811$$

Por el otro lado tenemos

$$2 \log_{10}\left(\frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) = 2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$$2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) = 2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{562478.85\sqrt{0.01288}}\right)$$

$$2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{562478.85\sqrt{0.01288}}\right) = 8.811$$

Encontramos un error de **0.0006**, por lo cual tomamos la  $f=0.01288$

Seguidamente calculamos las Perdidas Primarias.....(14)

$$H_p = \frac{f * v^2 * L}{D * 2 * g} = \frac{0.01288 * 61 * 550}{14 * 0.2054 * 2 * 9.81}$$

$$H_p = 0.326 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas secundarias.....(17)

$$H_s = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

$$\sum \lambda_k = \lambda_{pegas} + \lambda_{codos} + \lambda_{valvula \ check} + \lambda_{valvula \ de \ bolas} + \lambda_{reducciones} + \lambda_{ampliaciones}$$

$$\sum \lambda_k = 52 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 2$$

$$\sum \lambda_k = 60$$

Entonces:

$$H_s = 60 * \frac{1.61}{2 * 9.81}$$

$$H_s = 4.927 \text{ m}$$

Cálculo de la altura de carga de bomba.....(18)

$$H_b = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{v^2 - v^1}{2 * g}\right) + H_p + H_s$$



$$Hb = (3945 - 3825) + \left( \frac{1.61^2 - 0^1}{2 * 9.81} \right) + 0.326 + 4.927$$

$$Hb = 125.385 \text{ m}$$

Cálculo del peso específico del agua.....(19)

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = 995.6 * 9.81$$

$$\gamma = 9766.84 \text{ Kg/m}^2\text{s}^2$$

Cálculo de la Potencia bruta.....(20)

$$Potb(w) = Hb * \gamma * Q$$

$$Potb(w) = 125.385 * 9766.84 * 0.16$$

$$Potb(w) = 195938.206 \text{ w}$$

Cálculo de la potencia neta.....(21)

$$Potn(Kw) = \frac{Potb(w)}{\frac{Rendimiento}{1000}}$$

$$Rendimiento = n_{motor} * n_{bomba}$$

$$Rendimiento = 0.8 * 0.85$$

$$Rendimiento = 0.68$$

En la fórmula de potencia neta

$$Potn(Kw) = \frac{\frac{195938.206}{0.68}}{1000}$$

$$Potn(Kw) = 288.144 \text{ Kw}$$

**De nivel 3945 a nivel 4010**

Cálculo de la velocidad.....(1)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$



$$A = 3.14592 \frac{(14 * 0.0254)^2}{4}$$

$$A = 0.099 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \frac{0.1}{0.099} = 1.01 \text{ m/s}$$

Cálculo de número de Reynolds para la turbulencia.....(12)

$$Re = \frac{\rho \text{ (Kg/m}^2\text{)} * v \text{ (m/s)} * d\text{(m)}}{\mu\text{(m. s)}}$$

$$Re = \frac{995.6 * 1.01 * 14 * 0.2054}{0.0082}$$

$$Re = 351549.28 \text{ m/s}$$

Según el Abaco de Moody tenemos

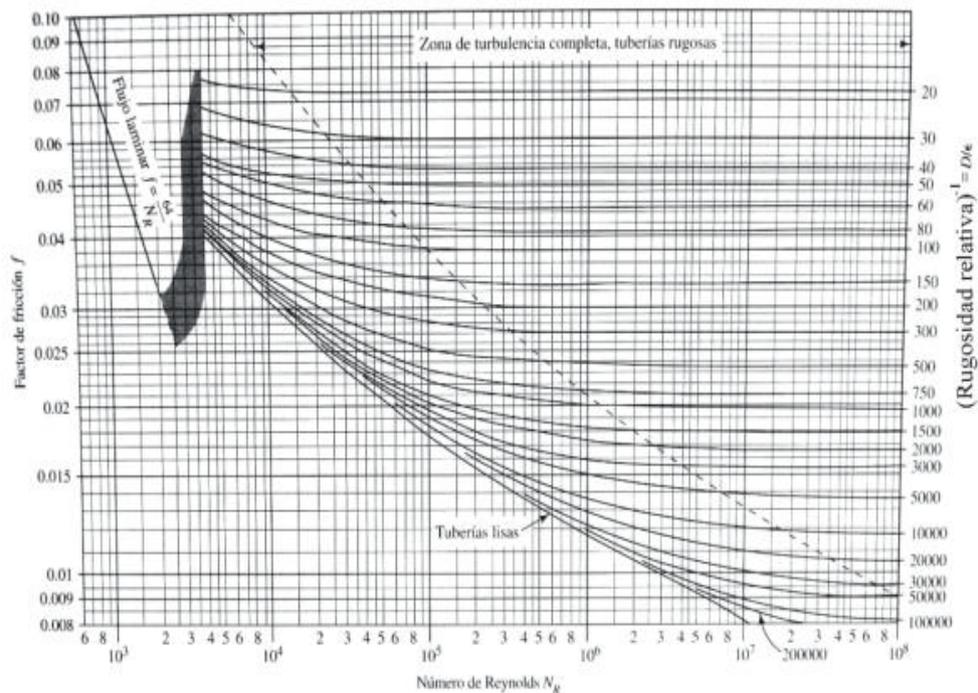


Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, R. H. F. 1961. *Fluid Mechanics*. Nueva York: John Wiley e hijos, p. 284.)

**Figura 29 — Abaco de Moody**

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

$$f = 0.0140$$



Para encontrar un factor de fricción más real realizamos la siguiente operación.....(15)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para la fricción hallada tenemos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.0140}} = 8.452$$

Luego la rugosidad  $\varepsilon$  de la tubería de HDPE es 0 por ser totalmente lisa

$$2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{351549.28\sqrt{0.0140}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{351549.28\sqrt{0.0140}} \right) = 8.439$$

Se encuentra un error de 0.013

Ahora realizamos con un valor que nos dé un menor error  $f=0.01404$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.01404}} = 8.439$$

Por el otro lado tenemos

$$2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{351549.28\sqrt{0.01404}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{351549.28\sqrt{0.01404}} \right) = 8.440$$

Encontramos un error de **0.0005**, por lo cual tomamos la  $f=0.01404$

Seguidamente calculamos las Perdidas Primarias.....(14)

$$H_p = \frac{f * v^2 * L}{D * 2 * g} = \frac{0.01404 * 1.01^2 * 520}{14 * 0.2054 * 2 * 9.81}$$

$$H_p = 0.131 \text{ m}$$



Cálculo de pérdidas secundarias.....(17)

$$H_s = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

$$\sum \lambda_k = \lambda_{pegas} + \lambda_{codos} + \lambda_{valvula\ check} + \lambda_{valvula\ de\ bolas} \\ + \lambda_{reducciones} + \lambda_{ampliaciones}$$

$$\sum \lambda_k = 62 + 1 + 1 + 1 + 0 + 1 + 2$$

$$\sum \lambda_k = 68$$

Entonces:

$$H_s = 68 * \frac{1.01}{2 * 9.81}$$

$$H_s = 3.490\ m$$

Cálculo de la altura de carga de bomba.....(18)

$$H_b = (Z_2 - Z_1) + \left( \frac{v^2 - v^1}{2 * g} \right) + H_p + H_s$$

$$H_b = (4010 - 3945) + \left( \frac{1.21^2 - 0^1}{2 * 9.81} \right) + 0.131 + 3.490$$

$$H_b = 68.673\ m$$

Cálculo del peso específico del agua.....(19)

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = 995.6 * 9.81$$

$$\gamma = 9766.84\ Kg/m^2s^2$$

Cálculo de la Potencia bruta.....(20)

$$Potb(w) = H_b * \gamma * Q$$

$$Potb(w) = 68.673 * 9766.84 * 0.1$$

$$Potb(w) = 67071.439\ w$$

Cálculo de la potencia neta.....(21)

$$Potn(Kw) = \frac{Potb(w)}{\frac{Rendimiento}{1000}}$$

$$Rendimiento = n_{motor} * n_{bomba}$$

$$Rendimiento = 0.8 * 0.85$$



$$\text{Rendimiento} = 0.68$$

En la fórmula de potencia neta

$$\text{Potn}(Kw) = \frac{\frac{67071.439}{0.68}}{1000}$$

$$\text{Potn}(Kw) = 98.634 Kw$$

### De nivel 4010 a nivel 4020

Cálculo de la velocidad.....(1)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A = 3.14592 \frac{(14 * 0.0254)^2}{4}$$

$$A = 0.099 m^2$$

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \frac{0.250}{0.099} = 1.01 m/s$$

Cálculo de número de Reynolds para la turbulencia.....(12)

$$\text{Re} = \frac{\rho (Kg/m^2) * v (m/s) * d(m)}{\mu(m.s)}$$

$$\text{Re} = \frac{995.6 * 1.01 * 14 * 0.2054}{0.0082}$$

$$\text{Re} = 878873.20 m/s$$

Según el Abaco de Moody tenemos:



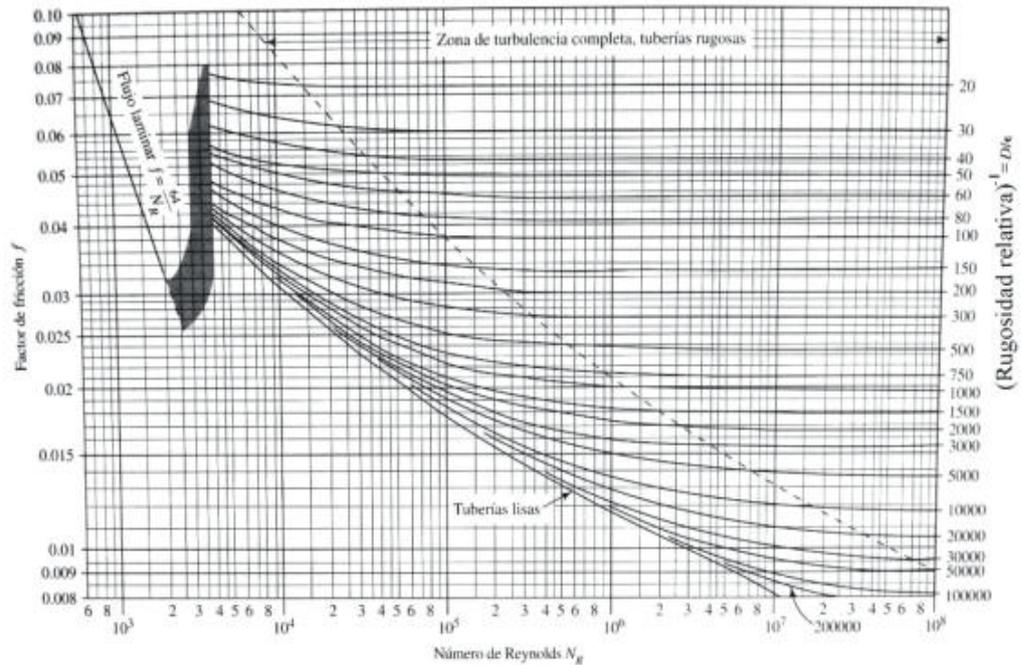


Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, R. H. F. 1961. *Fluid Mechanics*, Nueva York: John Wiley e hijos, p. 284.)

**Figura 30 — Abaco de Moody**

Extraído de Mecánica de fluidos, (Euler)

$$f = 0.0119$$

Para encontrar un factor de fricción más real realizamos la siguiente operación.....(15)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para la fricción hallada tenemos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.0119}} = 9.167$$

Luego la rugosidad  $\epsilon$  de la tubería de HDPE es 0 por ser totalmente lisa

$$2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) = 2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{878873.20\sqrt{0.0119}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{878873.20\sqrt{0.0119}} \right) = 9.164$$

Se encuentra un error de 0.003

Ahora realizamos con un valor que nos dé un menor error  $f=0.01191$



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{0.01191}} = 9.163$$

Por el otro lado tenemos

$$2 \log_{10}\left(\frac{\varepsilon/D}{3.54} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) = 2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$$2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) = 2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{878873.20\sqrt{0.01191}}\right)$$

$$2 \log_{10}\left(\frac{2.51}{878873.20\sqrt{0.01191}}\right) = 9.164$$

Encontramos un error de **0.0013**, por lo cual tomamos la  $f=0.0216$

Seguidamente calculamos las Perdidas Primarias.....(14)

$$H_p = \frac{f * v^2 * L}{D * 2 * g} = \frac{0.01191 * 2.52^2 * 720}{14 * 0.2054 * 2 * 9.81}$$

$$H_p = 0.963m$$

Cálculo de pérdidas secundarias.....(17)

$$H_s = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

$$\sum \lambda_k = \lambda_{pegas} + \lambda_{codos} + \lambda_{valvula\ check} + \lambda_{valvula\ de\ bolas} \\ + \lambda_{reducciones} + \lambda_{ampliaciones}$$

$$\sum \lambda_k = 26 + 1 + 1 + 0 + 0 + 1 + 1$$

$$\sum \lambda_k = 30$$

Entonces:

$$H_s = 30 * \frac{2.52}{2 * 9.81}$$

$$H_s = 3.849 m$$

Cálculo de la altura de carga de bomba.....(18)



$$Hb = (Z_2 - Z_1) + \left( \frac{v^2 - v^1}{2 * g} \right) + Hp + Hs$$

$$Hb = (4020 - 4010) + \left( \frac{2.52^2 - 0^1}{2 * 9.81} \right) + 0.963 + 3.849$$

$$Hb = 15.135 \text{ m}$$

Cálculo del peso específico del agua.....(19)

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = 995.6 * 9.81$$

$$\gamma = 9766.84 \text{ Kg}/\text{m}^2\text{s}^2$$

Cálculo de la Potencia bruta..... (20)

$$Potb(w) = Hb * \gamma * Q$$

$$Potb(w) = 15.135 * 9766.84 * 0.25$$

$$Potb(w) = 36955.439 \text{ w}$$

Cálculo de la potencia neta.....(21)

$$Potn(Kw) = \frac{Potb(w)}{\frac{Rendimiento}{1000}}$$

$$Rendimiento = n_{motor} * n_{bomba}$$

$$Rendimiento = 0.8 * 0.85$$

$$Rendimiento = 0.68$$

En la fórmula de potencia neta

$$Potn(Kw) = \frac{36955.439}{\frac{0.68}{1000}}$$

$$Potn(Kw) = 54.346 \text{ Kw}$$

### 5.1.6 Resumen

Según los resultados obtenidos de los cálculos mostrados anteriormente, podemos ver los requerimientos en cada nivel en los que respecta a la potencia de las bombas a requerir:



**Tabla 9 — Requerimientos por nivel respecto a la potencia de las bombas**

Nivel	Longitud(m)	Caudal(l/s)	Long. Tubería(m)	Potencia teórica requerida (Kw)
3610-3720	250	125	250	211.775
3720-3825	480	125	480	203.137
3825-3945	550	160	550	288.144
3945-4010	520	100	520	98.634
4010-4020	720	250	720	54.346

En el nivel 3610-3720 m.s.n.m se requiere una bomba de potencia 211.775 KW, sucesivamente como lo muestra la tabla par los demás niveles.

## 5.2 Resultados

### 5.2.1 Selección de bombas para cada nivel

De acuerdo a los resultados obtenidos en los cálculos anteriormente mostrados, se determina que bomba y cantidad de bombas a usar en cada nivel, tal como se muestra a continuación:

#### 5.2.1.1 Nivel 3610 al 3720

Para el bombeo del agua del 3610 al nivel 3720, se requiere de bombas con potencia de mínimo 211.775 Kw, que en caballos de fuerza es 283.994 HP. Por ello la bomba seleccionada para el bombeo en este nivel es la bomba Sulzer:

Características de bomba Sulzer AF2500:

- Tipo : Sumergible
- Marca : Sulzer
- Modelo : AF2500 4<sup>a</sup>/4CB 201
- Diámetro succión (in) : 8
- Diámetro descarga (in) : 6
- Peso : 460
- Vn (V) : 440
- An(A) : 259
- RPM : 1780
- Pot.(Kw) : 250
- Pot.(Hp) : 335
- L. bomba (m) : 1.8

La bomba Sulzer tiene una potencia de 335 Hp, que en Kw es un total de 250 Kw, por lo que esta bomba es óptima para el bombeo del agua del nivel 3610 al nivel 3720.

El caudal total a bombear es de 480 l/s, en este nivel se bombeará un máximo de 125 l/s con cada bomba, por lo que requeriremos un total de 4 bombas Sulzer en este punto, con lo cual abasteceremos a la mina.

#### 5.2.1.2 Nivel 3720 al 3825

Para el bombeo del agua del 3720 al nivel 3825, se requiere de bombas con potencia de mínimo 203.137 Kw, que en caballos de fuerza es 272.411 Hp. Por ello la bomba seleccionada para el bombeo en este nivel es la bomba Sulzer:

Características de bomba Sulzer AF2500:

- Tipo : Sumergible
- Marca : Sulzer
- Modelo : AF2500 4ª/4CB 201
- Diámetro succión (in) : 8
- Diámetro descarga (in) : 6
- Peso : 460
- Vn (V) : 440
- An(A) : 259
- RPM : 1780
- Pot.(Kw) : 250
- Pot.(Hp) : 335
- L. bomba (m) : 1.8

La bomba Sulzer tiene una potencia de 335 Hp, que en Kw es un total de 250 Kw, por lo que esta bomba es óptima para el bombeo del agua del nivel 3720 al nivel 3825.

El caudal total a bombear es de 480 l/s, en este nivel se bombeará un máximo de 125 l/s con cada bomba, por lo que requeriremos un total de 4 bombas Sulzer en este punto, con lo cual abasteceremos a la mina.

#### 5.2.1.3 Nivel 3825 al 3945

Para el bombeo del agua del 3825 al nivel 3945, se requiere de bombas con potencia de mínimo 288.144 Kw, que en caballos de fuerza es

386.408 Hp. Por ello la bomba seleccionada para el bombeo en este nivel es la bomba Gould Pumps:

Características de bomba Gould Pumps:

- Tipo : Estacionaria
- Marca : Gould Pumps
- Modelo : 3410
- Diámetro succión (in) : 8
- Diámetro descarga (in) : 6
- Peso : 460
- Vn (V) : 460
- An(A) : 149
- RPM : 1785
- Pot.(Kw) : 298
- Pot.(Hp) : 460
- L. bomba (m) : 1.5

La bomba Sulzer tiene una potencia de 460 Hp, que en Kw es un total de 298 Kw, por lo que esta bomba es óptima para el bombeo del agua del nivel 3825 al nivel 3945.

El caudal total a bombear es de 480 l/s, en este nivel se bombeará un máximo de 160 l/s con cada bomba, por lo que requeriremos un total de 3 bombas Gould Pumps en este punto, con lo cual abasteceremos a la mina.

#### 5.2.1.4 Nivel 3945 al 4010

Para el bombeo del agua del nivel 3945 al nivel 4010, se requiere de bombas con potencia de mínimo 98.634 Kw, que en caballos de fuerza es 132.271 Hp. Por ello la bomba seleccionada para el bombeo en este nivel es la bomba Flygt MT:

Características de bomba Flygt MT:

- Tipo : Sumergible
- Marca : Flygt
- Modelo : 2400.402.591
- Diámetro succión (in) : 8
- Diámetro descarga (in) : 8
- Peso : 985

- $V_n$  (V) : 460
- $A_n$ (A) : 149
- RPM : 3560
- Pot.(Kw) : 104
- Pot.(Hp) : 140
- L. bomba (m) : 1.25

La bomba Flygt MT tiene una potencia de 140 Hp, que en Kw es un total de 104 Kw, por lo que esta bomba es óptima para el bombeo del agua del nivel 3945 al nivel 4010.

El caudal total a bombear es de 480 l/s, en este nivel se bombeará un máximo de 100 l/s con cada bomba, por lo que requeriremos un total de 5 bombas Flygt MT en este punto, con lo cual abasteceremos a la mina.

#### 5.2.1.5 Nivel 4010 al 4020

Para el bombeo del agua del nivel 4010 al nivel 4020, se requiere de bombas con potencia de mínimo 54.346 Kw, que en caballos de fuerza es 72.879 Hp. Por ello la bomba seleccionada para el bombeo en este nivel es la bomba Gorman Rupp:

Características de bomba Gorman Rupp:

- Tipo : Sumergible
- Marca : Gorman Rupp
- Modelo : S8D1-E275 460/3
- Diámetro succión (in) : 8
- Diámetro descarga (in) : 8
- Peso : 1909.6
- $V_n$  (V) : 460
- $A_n$ (A) : 309
- RPM : 1750
- Pot.(Kw) : 205
- Pot.(Hp) : 275
- L. bomba (m) : 1.442
- Presión máxima de op. (PSI): 390

La bomba Flygt MT tiene una potencia de 275 Hp, que en Kw es un total de 205 Kw, por lo que esta bomba es óptima para el bombeo del agua del nivel 4010 al nivel 4020.



El caudal total a bombear es de 480 l/s, en este nivel se bombeará un máximo de 250 l/s con cada bomba, por lo que requeriremos un total de 2 bombas Gorman Rupp en este punto, con lo cual abasteceremos a la mina.

#### 5.2.1.6 Cantidad total de bombas a requerir en mina

Según lo expuesto anteriormente, tenemos como resultado la cantidad de bombas a usar en total en el tajo:

**Tabla 10 — Cantidad total de bombas a requerir en mina**

Bomba	Cantidad	Potencia (HP)	Potencia (Kw)
Flygt MT	5	140	104.40
Gorman Rupp	2	95	70.84
Goulds Pumps	3	460	343.02
Sulzer	8	335	249.81

## 5.2.2 Comparación de eficiencia de bombas anterior y actual

### 5.2.2.1 Eficiencia de bombas anterior

Tal como se mostró anteriormente, la eficiencia de las bombas antes de la optimización es la siguiente:

**Tabla 11 — Eficiencia de bombas anterior**

Tiempo programado de operación de bomba	Tiempo Oper. (h/mes)	Tiempo Inoperat. (h/mes)	% Eficiencia
Succión de material particulado	341.25	175.21	66.07%
Mantenimiento de generadores	30	23.54	56.03%
Mantenimiento de tuberías	33.65	14.81	69.44%
Reparaciones y mantenimiento	60	41.54	59.09%
Total (h/mes)	464.9	255.1	64.57%

Se ha obtenido la eficiencia para cada tiempo programado de la siguiente manera  $\% \text{ eficiencia} = (\text{tiempo oper.} \times 100) / (\text{tiempo oper.} + \text{Tiempo inoper.})$

### 5.2.2.2 Eficiencia de bombas actual

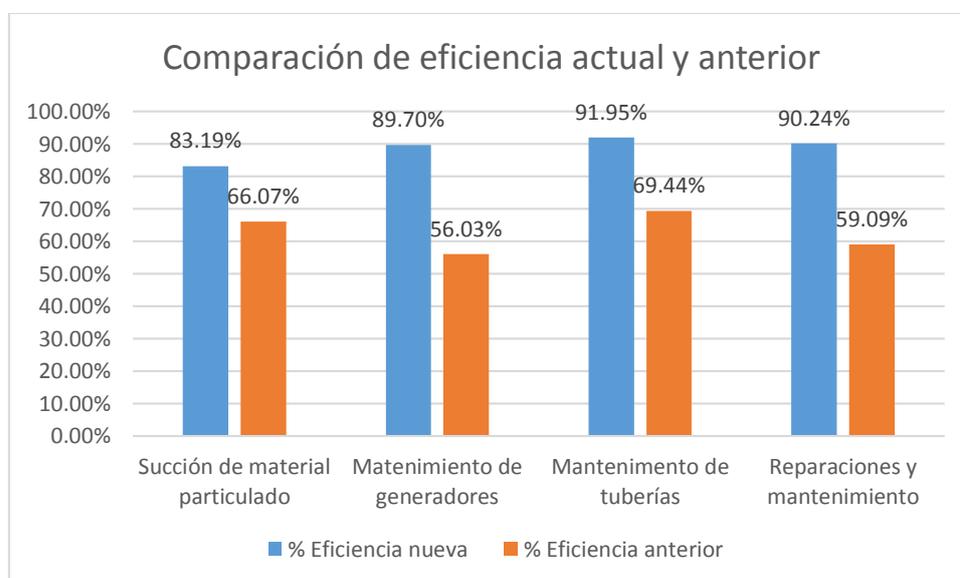
Se realizó un estudio de tiempo después de realizar la optimización de bombas en el tajo, lo cual dio como resultado lo siguiente:

**Tabla 12 — Eficiencia de bombas actual**

Tiempo programado de operación de bomba	Tiempo Oper. (h/mes)	Tiempo Inoperat. (h/mes)	% Eficiencia
Succión de material particulado	497.47	100.52	83.19%
Mantenimiento de generadores	27.34	3.14	89.70%
Mantenimiento de tuberías	32.45	2.84	91.95%
Reparaciones y mantenimiento	50.75	5.49	90.24%
<b>Total (h/mes)</b>	<b>608.01</b>	<b>111.99</b>	<b>84.45%</b>

$\% \text{ eficiencia} = (\text{tiempo oper.} \times 100) / (\text{tiempo oper.} + \text{Tiempo inoper.})$

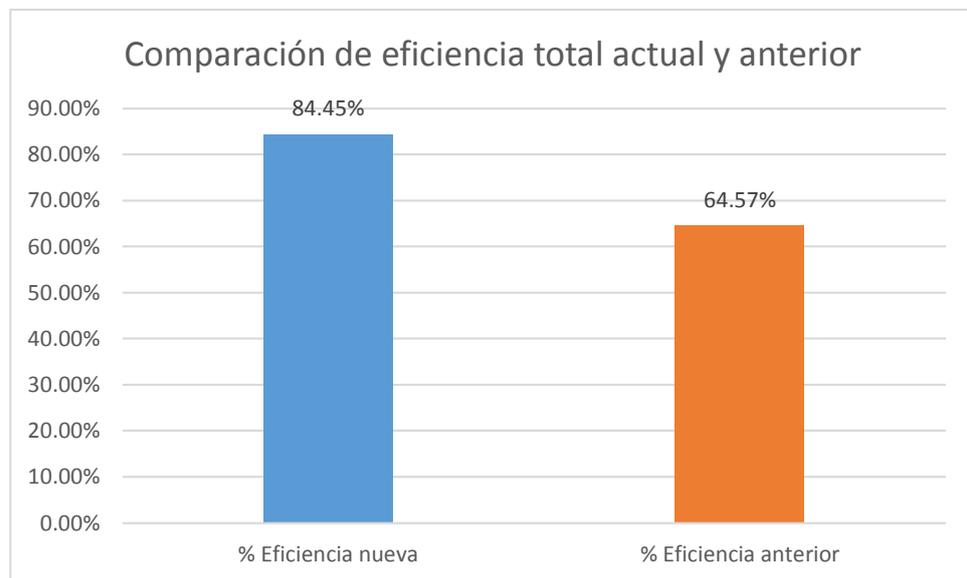
Con estos datos, podemos realizar un cuadro comparando los diferentes tiempos y eficiencia en cada uno:



**Figura 31 — Comparación de eficiencia actual y anterior**

En resumen, sumando todos los tiempos podemos hacer una comparación total entre la eficiencia actual y anterior:





**Figura 32 — Comparación de eficiencia total actual y anterior**

### 5.2.3 Rendimiento de bombas

La eficiencia de las bombas se tomará de acuerdo con la capacidad individual de cada bomba, de acuerdo con las curvas teóricas y reales.

#### 5.2.3.1 Rendimiento de bombas antiguo

A partir de los datos obtenidos por parte del área correspondiente de realizar los controles de las bombas, obtenemos el rendimiento de las bombas mostradas en el siguiente cuadro:

**Tabla 13 — Rendimiento de bombas antiguo**

Bomba	Cota	Caudal teórico	Caudal práctico	Rendimiento
Flygt MT	3665	120	76.5	63.75%
Gorman Rupp	3720	100	67.3	67.30%
Gould Pumps	3825	140	95.4	68.14%
Sulzer	3945	120	83.5	69.58%
Gorman Rupp	4010	100	62.25	62.25%

El rendimiento se obtiene de la siguiente manera

$$\% \text{ rendimiento} = (\text{caudal practico} \times 100) / \text{caudal teórico}$$

#### 5.2.3.2 Rendimiento de bombas actual

Cabe destacar que con las mejoras, las bombas funcionan en mejores condiciones que las anteriores. Según los caudales de agua descritos en el segundo capítulo del marco teórico, obtenemos los siguientes resultados:



**Tabla 14 — Rendimiento de bombas**

<b>Bomba</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Caudal teórico (l/s)</b>	<b>Caudal práctico (l/s)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Bomba Sulzer	3665	125	110.7	88.56%
Bomba Sulzer	3720	125	112.4	89.92%
Bomba Gould	3825	160	120.5	75.31%
Bomba Flygt MT	3945	100	89.5	89.50%
Bomba Gorman Rupp	4010	250	230.4	92.16%

El rendimiento se obtiene de la siguiente manera  $\% \text{ rendimiento} = (\text{caudal practico} \times 100) / \text{caudal teórico}$

### 5.3 Discusión de resultados.

En base a los datos recabados, el sistema de bombeo para el drenaje del tajo fue optimizado teniendo los resultados mencionados en los ítems anteriores, donde se puede ver que hay una mejora en el rendimiento y la eficiencia de las bombas.

Los cambios realizados responden a los objetivos encontrados:

- Determinar el sistema de bombeo óptimo de agua en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019
- Optimizar los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019

Al realizar los cambios se deben tener 2 aspectos importantes:

- Mejorar la eficiencia, esto comprende mantener la continuidad de las actividades además de mejorarlas, así como reducir falencias anteriores.
- Mantener y mejorar los trabajos de bombeo de las actividades. Este aspecto está muy ligado al segundo aspecto, mejorar la eficiencia de los procesos.

Realizando el análisis y los resultados mostrados anteriormente, la mejora realizada responde a los 2 aspectos importantes para la actividad. Se mejora el procesamiento y manejo de los caudales que afectan las operaciones tanto en la estación húmeda como en la seca, y que causan retrasos operacionales, al tiempo que aumentan las eficiencias a menores costos. Además, se ha mejorado la capacidad de drenar el agua de las escotillas temporales hacia la corriente principal. Inicialmente se utilizará para

almacenar agua en la temporada de lluvias, mantener otras carreteras en buen estado de funcionamiento y abastecer todo el sistema en la temporada seca.

Aguirre 2014, como en su objetivo de asegurar el descenso de la capa freática en el Tajo Oeste de Minera Colorado, determino la necesidad de incrementar el Flujo Total de bombeo en el Tajo Oeste de 560 litros/segundo a 700 litros/segundo, para el caso de este trabajo de tesis el flujo de incremento es de 320 litros/segundo a 480 litros/segundo, con el nuevo sistema de bombeo que se emplean en cada nivel del banco donde las bombas a emplear son:

**Tabla 15 — Rendimiento actual de bombas**

Bomba	Cota (msnm)	Caudal teórico (l/s)	Caudal práctico (l/s)	Rendimiento (%)
Bomba Sulzer	3610	125	110.7	88.56%
Bomba Sulzer	3720	125	112.4	89.92%
Bomba Gould	3825	160	120.5	75.31%
Bomba Flygt MT	3945	100	89.5	89.50%
Bomba Gorman Rupp	4010	250	230.4	92.16%

Franco 2015, en la Unidad de Chungar. Estudios preliminares indican que el sistema de bombeo requiere instalaciones de bombeo en stnad by y que se pueden mejorar los requisitos del sistema de bombeo del minero Volcán. Como resultado, instalamos una bomba con un motor eléctrico con una capacidad de 150 hp, en nuestro caso de estudio, de acuerdo a los diferentes niveles de bomba, la capacidad de la bomba que se utilizará es:

**Tabla 16 — Rendimiento actual de bombas**

Bomba	Cantidad	Potencia (HP)	Potencia (Kw)
Flygt MT	5	140	104.40
Gorman Rupp	2	95	70.84
Goulds Pumps	3	460	343.02
Sulzer	8	335	249.81

Donde con estos equipos de bombeo en el tajo norte se optimizan los trabajos de bombeo, donde en lo siguiente se tiene las eficiencias del antiguo sistema de bombeo y el actual.

**Tabla 17 — Eficiencia de bombas anterior**

<b>Tiempo programado de operación de bomba</b>	<b>Tiempo Oper. (h/mes)</b>	<b>Tiempo Inoperat. (h/mes)</b>	<b>% Eficiencia</b>
Succión de material particulado	341.25	175.21	66.07%
Mantenimiento de generadores	30	23.54	56.03%
Mantenimiento de tuberías	33.65	14.81	69.44%
Reparaciones y mantenimiento	60	41.54	59.09%
Total (h/mes)	464.9	255.1	64.57%

**Tabla 18 — Eficiencia de bombas actual**

<b>Tiempo programado de operación de bomba</b>	<b>Tiempo Oper. (h/mes)</b>	<b>Tiempo Inoperat. (h/mes)</b>	<b>% Eficiencia</b>
Succión de material particulado	497.47	100.52	83.19%
Mantenimiento de generadores	27.34	3.14	89.70%
Mantenimiento de tuberías	32.45	2.84	91.95%
Reparaciones y mantenimiento	50.75	5.49	90.24%
Total (h/mes)	608.01	111.99	84.45%

Cansaya 2016, en su tesis en el sistema de drenaje para mejorar el sistema de acarreo de mineral en la Mina Antapaccay concluye que al tener una capacidad de bombeo de 400 l/s, concluye que no es suficiente para el caudal subterráneo que tiene un estimado de 500 l/s, este valor es superior al inicial por la aparición de mayores afluentes, por lo que se tendrá que habilitar una línea de bombeo adicional a los que ya se tiene, esto incluirá el rediseño de cuencas cada vez más grandes; Como alternativa, se está implementando un proyecto de bomba estacionaria de mayor capacidad de flujo. En el caso de este presente trabajo de investigación con los resultados mencionados anteriormente se determinó la optimización del sistema de bombeo para el drenaje tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, donde a continuación se muestran los siguientes resultados.

Tabla 19 — Rendimiento de bombas antiguo

Bomba	Cota	Caudal teórico	Caudal práctico	Rendimiento
Flygt MT	3665	120	76.5	63.75%
Gorman Rupp	3720	100	67.3	67.30%
Gould Pumps	3825	140	95.4	68.14%
Sulzer	3945	120	83.5	69.58%
Gorman Rupp	4010	100	62.25	62.25%

Tabla 20 — Rendimiento de bombas actual

Bomba	Cota (msnm)	Caudal teórico (l/s)	Caudal práctico (l/s)	Rendimiento (%)
Bomba Sulzer	3665	125	110.7	88.56%
Bomba Sulzer	3720	125	112.4	89.92%
Bomba Gould	3825	160	120.5	75.31%
Bomba Flygt MT	3945	100	89.5	89.50%
Bomba Gorman Rupp	4010	250	230.4	92.16%

## CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6.1 Conclusiones

Como conclusión principal se optimizó el sistema de bombeo en el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, donde el rendimiento del antiguo y nuevo sistema de bombeo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21 — Rendimiento del antiguo y nuevo sistema de bombeo

Sistema de bombeo antiguo			Sistema de bombeo actual		
Bomba	Cota	Rendimiento (%)	Bomba	Caudal práctico (l/s)	Rendimiento (%)
Flygt MT	3665	63.75%	Bomba Sulzer	110.7	88.56%
Gorman Rupp	3720	67.30%	Bomba Sulzer	112.4	89.92%
Gould Pumps	3825	68.14%	Bomba Gould	120.5	75.31%
Sulzer	3945	69.58%	Bomba Flygt MT	89.5	89.50%
Gorman Rupp	4010	62.25%	Bomba Gorman Rupp	230.4	92.16%

También se concluye que se determinó el sistema de bombeo de agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay donde en la actualidad ya no existen problemas de inundaciones, el nuevo sistema de bombeo es el siguiente:

Tabla 22 — Nuevo sistema de bombeo

Bomba	Cota (msnm)	Caudal teórico (l/s)	Caudal práctico (l/s)	Rendimiento (%)
Bomba Sulzer	3610	125	110.7	88.56%
Bomba Sulzer	3720	125	112.4	89.92%
Bomba Gould	3825	160	120.5	75.31%
Bomba Flygt MT	3945	100	89.5	89.50%
Bomba Gorman Rupp	4010	250	230.4	92.16%

Se concluye que se llegó a optimizar los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay, donde actualmente los equipos de bombeo con las eficiencias del antiguo sistema de bombeo y el actual se tienen en la siguiente tabla.

Tabla 23 — Eficiencia de equipos de bombeo sistema antiguo y el actual

Eficiencia de bombas anterior				Eficiencia de bombas actual			
Tiempo programado de operación de bomba	Tiempo Oper. (h/mes)	Tiempo Inoperat. (h/mes)	% Eficiencia	Tiempo programado de operación de bomba	Tiempo Oper. (h/mes)	Tiempo Inoperat. (h/mes)	% Eficiencia
Succión de material particulado	341.25	175.21	66.07%	Succión de material particulado	497.47	100.52	83.19%
Mantenimiento de generadores	30	23.54	56.03%	Mantenimiento de generadores	27.34	3.14	89.70%
Mantenimiento de tuberías	33.65	14.81	69.44%	Mantenimiento de tuberías	32.45	2.84	91.95%
Reparaciones y mantenimiento	60	41.54	59.09%	Reparaciones y mantenimiento	50.75	5.49	90.24%
<b>Total (h/mes)</b>	<b>464.9</b>	<b>255.1</b>	<b>64.57%</b>	<b>Total (h/mes)</b>	<b>608.01</b>	<b>111.99</b>	<b>84.45%</b>

## 6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar mantenimientos preventivos para mantener el sistema de bombeo y mantener los rendimientos del nuevo sistema de bombeo.

Así mismo para mantener el sistema de bombeo de agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay se recomienda hacer capacitaciones al personal técnico sobre el mantenimiento del nuevo sistema de bombeo.

Se recomienda estar siempre en la búsqueda de nuevas tecnologías de bombeo que sean más eficientes, mostrando operaciones a menores costos.

Se recomienda seguir las instrucciones de todo el sistema de bombeo mostrado en los PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELPUMPS. 2018.** *Bombas*. Lima : Abel, 2018.
- AGUAMARKET. 2018.** *Napa Freática*. Lima : Ed. aguamarket, 2018.
- AGUIRRE, Huaman Iliam Isario. 2014.** cybertesis. *cybertesis*. [En línea] uni, 22 de Agosto de 2014. [Citado el: 01 de 06 de 2019.] [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10289/1/aguirre\\_hi.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10289/1/aguirre_hi.pdf).
- . **2014.** cybertesis.uni.edu.pe. *cybertesis.uni.edu.pe*. [En línea] Universidad Nacional De Ingeniería, 2014. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10289/1/aguirre\\_hi.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10289/1/aguirre_hi.pdf).
- ANDRITZ. 2017.** *Tecnología De Bombeo De Primera Para La Industria Minera*. Lima : NDRITZ, 2017.
- BARRETO, Inca Celestino. 2017.** “OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE BOMBEO – CONSTRUCCION Y. Arequipa : Ed. UNSA, 2017.
- BEDREGAL, Delgado Valdivia Julio. 2012.** *Optimización Del Sistema De Bombeo En La Mina De Cobre Xstrata Tintaya - Cusco*. Cusco : Ed. UNSA, 2012.
- CABANILLAS, Maury Danny. 2009.** scielo.conicyt.cl. *scielo.conicyt.cl*. [En línea] conicyt.cl, 29 de 04 de 2009. [Citado el: 08 de 05 de 2019.] <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v18n3/art07.pdf>.
- CANSAYA, Vara Fleming Euler. 2016.** repositorio.unap. *repositorio.unap*. [En línea] Universidad Nacional del Altiplano, 2016. [Citado el: 24 de Agosto de 2016.] UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.
- CHEBNIKSANTEHNIKA. 2018.** uchebniksantehnika.ru. *uchebniksantehnika.ru*. [En línea] uchebniksantehnika, 22 de Agosto de 2018. [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] <https://es.uchebniksantehnika.ru/suministro-de-agua/caudal-nivel-de-agua-estatico-y-dinamico-en-el-pozo.html>.
- ENVIROSOIL. 2018.** envirosoil.es. *envirosoil.es*. [En línea] envirosoil, 03 de Mayo de 2018. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] <https://www.envirosoil.es/que-es-un-sistema-de-drenaje-en-aguas-subterranas/>.
- FRANCO, Sullca Jorge Luis. 2015.** repositorio.uncp. *repositorio.uncp*. [En línea] Universidad Nacional del Centro del Peru, 2015. [Citado el: 23 de Agosto de 2019.] <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3626>.
- . **2015.** repositorio.uncp.edu. *repositorio.uncp.edu*. [En línea] Universidad Nacional del Centro del Peru., 2015. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3626/Franco%20Sullca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- GESTIOPOLIS. 2018.** gestiopolis.com. *gestiopolis.com*. [En línea] gestiopolis, 2018. [Citado el: 23 de Agosto de 2019.] <https://www.gestiopolis.com/concepto-de-optimizacion-de-recursos/>.
- GRUNDFOS. 2018.** aguasresiduales.info. *aguasresiduales.info*. [En línea] Tecfluid, 2018. [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-de-bombeo-de-aguas-residuales-i>.



**IIMDP, Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. 2012.** *Optimización de Sistemas de Bombeo para el Transporte de Fluidos en Minería.* Arequipa : Perumin, 2012.

**LEÓN, CELI. 2017.** geama.org. *geama.org.* [En línea] Universidad Politécnica de Valencia, 2017. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] <http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/rb2.pdf>.

**MUÑOZ, Ospino Antony. 2016.** *OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO Y MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN MINERA EN LA MINA DE CARBÓN SAN FERNANDO, OPERADA POR CARBONES SAN FERNANDO SAS, VEREDA PASO NIVEL, AMAGANTIOQUIA.* Tunja : Ed. UPTC, 2016.

—. **2016.** repositorio.uptc. *repositorio.uptc.* [En línea] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2016. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1613/1/TGT-348.pdf>.

**ORTÍZ, Ramírez Gerardo Emilio. 2014.** Repositorio.uptc. *repositorio.uptc.* [En línea] uptc, 15 de Septiembre de 2014. [Citado el: 2019 de 06 de 17.] <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1517/1/TGT-258.pdf>.

**RODRIGUEZ, Ayala Yover Michel. 2014.** repositorio.uncp. *repositorio.uncp.* [En línea] UNCP, 14 de Diciembre de 2014. [Citado el: 12 de 05 de 2019.] <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3215/Rodriguez%20Ayala.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**SÁNCHEZ, Galán Javier. 2019.** economipedia.com. *economipedia.com.* [En línea] economipedia, 2019. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] <https://economipedia.com/definiciones/coste-costo.html>.

**SÁNCHEZ, Romer Carlos. 2018.** [convencionminera.com/perumin32](http://convencionminera.com/perumin32). *convencionminera.com/perumin32.* [En línea] Instituto de Ingenieros de Minas del Peru, 21 de Septiembre de 2018. [Citado el: 24 de Agosto de 2019.] <https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/csanchez-tt.pdf>.

**TEJSI, Wiracocha Tito Surco. 2019.** *“ESTUDIO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE INFORMACIÓN EN EL SISTEMA DISPATCH PARA LOS CAMIONES DE LA CIA MINERA ANTAPACCAY - ESPINAR - CUSCO”.* Cusco : Ed. Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, 2019.

**TESAURO. 2013.** boletinagrario.com. *boletinagrario.com.* [En línea] Biblioteca Agrícola Nacional de los Estados Unidos, 2013. [Citado el: 23 de Agosto de 2019.] <https://boletinagrario.com/ap-6,optimizacion,3508.html>.

**WIKIPEDIA. 2019.** wikipedia.org. *wikipedia.org.* [En línea] wikipedia.org, 2019. [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo\\_en\\_tuber%C3%ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_en_tuber%C3%ADa).

**XTRATA. 2015.** es.slideshare.net. *es.slideshare.net.* [En línea] Xtrata antapaccay, 04 de Junio de 2015. [Citado el: 18 de Diciembre de 2019.] <https://es.slideshare.net/d17/xtrata-antapaccay>.



# ANEXOS



**ANEXO I MATRIZ DE CONSISTENCIA.**

<b>“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL DRENAJE DEL TAJO NORTE DE LA UNIDAD MINERA ANTAPACCAY-2019”</b>				
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>
<p align="center"><b>Problema general</b></p> <p>¿Cómo se optimizará el sistema de bombeo para evacuar el agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019?</p>	<p align="center"><b>Objetivo general</b></p> <p>Determinar la optimización del sistema de bombeo para el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay-2019.</p>	<p align="center"><b>Hipótesis general</b></p> <p>Se optimizara del sistema de bombeo en el drenaje del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019..</p>	<p align="center"><b>Variable independiente</b></p> <p>Sistema de bombeo.</p>	<p>480 l/s cantidad de agua evacuada (m3/min)</p> <p align="center">Drenaje</p> <p>12 horas totales por turno (h/gd)</p>
<p align="center"><b>Problema específico</b></p> <p>¿En qué medida el sistema de bombeo mejorara las operaciones mina en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019?</p> <p>¿Cómo se optimizarán los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay-2019?</p>	<p align="center"><b>Objetivos específico</b></p> <p>Determinar el sistema de bombeo óptimo de agua en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay-2019</p> <p>Optimizar los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay- 2019</p>	<p align="center"><b>Hipótesis específico</b></p> <p>Se determinará el sistema de bombeo de agua del tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay-2019</p> <p>Se optimizar los equipos de bombeo en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay-2019</p>	<p align="center"><b>Variable dependiente</b></p> <p>Drenaje del tajo norte.</p>	<p>(23-18) 21.74 %</p> <p>Porcentaje de disminución de bombas</p>

**Figura 33 — Tajo antiguo tintaya repleto de agua**



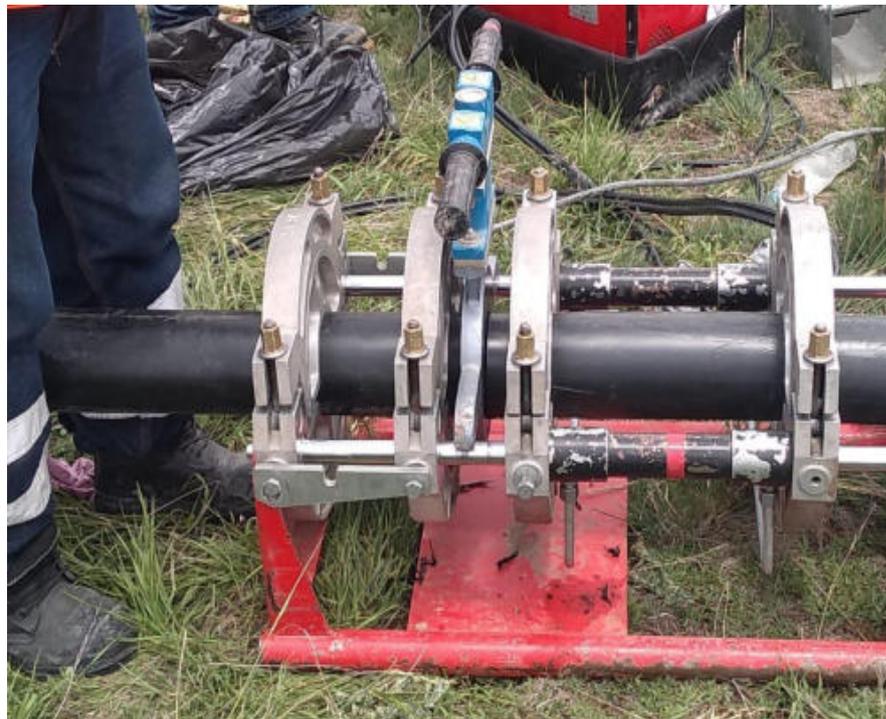
**Figura 34 — Tajo en proceso de bombeo**



**Figura 35 — Tajo paralizado por trabajos de bombeo**



**Figura 36— Unión de tuberías por termofusión**



**Figura 37 — Estación de Agua bombeada**



**Figura 38 — Panel de mandos de bombeo**



**Figura 39 — Sistema de bombeo de agua blending**



### ANEXO III

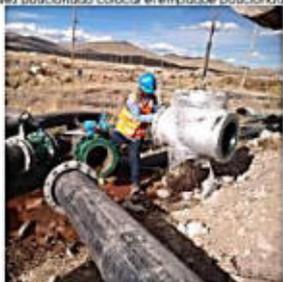
## PET DE INSTALACION Y DESINTALACION DE SISTEMA DE BOMBEO DE DRENAJE DE AGUA

ANEXO III PET INSTALACIÓN Y DESINSTALACIÓN DE LINE DE BOMBEO DE AGUA. PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO - PET						
TÍTULO: INSTALACIÓN, DESINSTALACIÓN DE LÍNEA BOMBEO DE AGUA (ACCESORIOS, TUBERÍA HDPE)						
Código: MSF-PET-SDFM-45	Versión: 01	ÁREA: RECURSOS HIDRICOS	PMC:	4		
Fecha de Elaboración: 16/05/2019	Fecha de Revisión: 10/01/2020.	<i>EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (ESPECÍFICO):</i>				
<b>ACTIVIDAD DE ALTO RIESGO ASOCIADA (HHA):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operación de equipos móviles.</li> <li>- Trabajos en zona con riesgo de falla de terreno/excavaciones.</li> <li>- Aislamiento de energía.</li> <li>- Trabajo en altura.</li> <li>- Izaje y levantamiento de carga.</li> </ul>	<b>PERSONAL RESPONSABLE:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisor de obra.</li> <li>- Supervisor HSE</li> <li>- Personal Metal sur Famin.</li> </ul>	<i>Casco ANSI Z89.1-2009, barbiqueja ANSI Z89.4, lentes claras y oscuras ANSI Z87.1, zapatos de seguridad dieléctricos, tapones de oído ANSI S3.19-1974, chaleco reflectiva ANSI/ISEA 107-2004, ropa de trabajo, respirador 8214, 8311 ANSI Z 88.2, Tivek, Arnés de seguridad, Guantes de Nitrilo, Bloqueador solar, Arnés de cuerpo entero con línea de vida doble acerada, kit anti trauma, barbiqueja.</i>				
<b>CONSIDERACIONES GENERALES/RESTRICCIONES:</b>  <b>Esta Prohibido:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingresar a trabajar a un equipo sin realizar el bloqueo respectivo.</li> <li>- Está prohibido laborar bajo efectos de alcohol o drogas</li> </ul> <b>Es Obligatorio:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es obligatoria el uso del EPP adecuado para la tarea</li> <li>- Es obligatorio el uso de equipo de protección contra caídas para realizar trabajos en altura</li> <li>- Es obligatorio cumplir con el procedimiento de aislamiento y bloqueo</li> <li>- Está prohibido ubicarse bajo cargas suspendidas</li> </ul> <i>Es obligatoria, antes de iniciar una tarea, identificar los peligros, controlar los riesgos y contar con los permisos requeridos firmados</i>	<b>REFERENCIA LEGAL/OTROS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DS 023-2017-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería</li> <li>- DS 024-2010-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería</li> <li>- Permiso escrito de trabajo de alto riesgo - IPERC (Arts. 88º al 92º)</li> <li>- Ergonomía (Arts. 106º y 107º)</li> <li>- Aislamiento y Bloqueo (Arts. 342º al 347º)</li> <li>- Estándar de Aislamiento y Bloqueo TAN-EAR-SEG-001</li> <li>- Estándar de Incendios y Explosiones TAN-EAR-SEG-009</li> <li>- Estándar para actividad de alto riesgo- Trabajo en Altura TAN-EAR-SEG-002</li> <li>- Estándar para actividad de alto riesgo - Operaciones de Izaje y Levantamiento de Cargas TAN-EAR-SEG-008</li> </ul>	<b>EQUIPOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>		
		Equipo auxiliar (Retroexcavadora)	Tubería HDPE	Estrabo		
		(Excavadora)	Accesorios	Grilletes		
		Camión grúa articulado	Válvulas	Barreta		
		Radio portátil	Empaques	Llaves mixtas		
			Aceite penetrante (Aflojador)	Escobilla de acero		
	Trapo industrial.	Espátula				
<b>ETAPAS DE LA TAREA</b>	<b>RIESGO/ASPECTO</b>	<b>PROCEDIMIENTO SEGURO</b>				



<p>1. LIMPIEZA DE ACCESORIOS LINEA DE BOMBEO (VALVULAS, "T", "Y", TUBERÍA HDPE, REDUCCIONES, NIPLES, OTROS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contacto Directo o Indirecto con, Atrapado por, Golpeado por</li> <li>- Exposición a Carga Suspendida, Volcadura, Contacto con Línea Aérea Eléctrica, Colisión, Atrapellos, Atrapado por, Golpeado por</li> <li>- Colapso de, Caída o deslizamiento de Rocas, Material Inestables</li> <li>- Caída a espejos de agua, Naufragio Medio de Transporte</li> <li>- Atrapellos</li> <li>- Atrapamiento por, Contacto con, Golpeado por</li> <li>- Posturas Inadecuadas,</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Inhalación o exposición a polvo</li> <li>- Exposición a ruido (Oficina, Industrial / Continuo / Impacto)</li> <li>- Generación de residuos sólidos NO PELIGROSOS (metales, HDPE, empaques)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para accesorios que se reutilizan se realizará una limpieza del sarro, óxidos acumulados dentro y en la cara de bridas en los accesorios.</li> <li>- Con una espátula se retirará parte del empaque que quedó adherido en cara de bridas, para retirar los óxidos o sarro acumulado en la cara de las bridas de accesorios metálicos (válvulas, reducciones, nipples, "T", "Y", tubería HDPE, otros) se utilizará una escobilla de acero y espátula de acero.</li> <li>- Para el retiro de óxidos dentro de accesorios, (válvulas, reducciones, nipples, "T", "Y", tubería HDPE, otros) se utilizará un cincel o una barretilla de acero para golpear las capas de óxido, sarro acumulados para después retirarlo con la espátula ya retirado las capas de óxido se limpiará lo restante con escobilla de acero y repasando con la espátula, para esta tarea personal deberá contar con los EPP básicos y específico (traje flex, guantes de cuero, respirador para polvo, protector auditivo) para control de riesgo de exposición.</li> <li>- Para accesorios que encuentren con el sarro u óxidos secos se humedecerá para con agua para minimizar la polución de óxidos</li> <li>- Estos trabajos de limpieza se realizan a nivel piso para accesorios pesados (accesorios &gt; de 10") para su posicionamiento de accesorios se realizará con apoyo de equipo de izaje, estando prohibido exponer parte del cuerpo por debajo de la carga suspendida durante el posicionamiento.</li> <li>- Para accesorios con diámetro &lt; a 6" se podrán realizar sobre mesa de trabajo si la instalación de accesorios es en taller de hidrogeología</li> <li>- Finalizado la limpieza de colocará el grasa en lugares requeridos para de válvulas (en flmón, tapa de check, otros) esto para mejorar la funcionalidad del accesorios.</li> <li>- En caso de formentas eléctricas se contará con radio en el punto de trabajo, estando atento en frecuencia 2, de estar en alerta naranja paralizar trabajo, evacuar a zona de refugio, estando prohibido transitar a la intemperie en alerta roja.</li> <li>- Los residuos generados almacenar en un área señalizada para después disponerlos en los tachos correspondientes según código de colores, para los residuos de óxidos se colocará en el tacho de residuos metálicos.</li> </ul> 
<p>2. ESTROBADO DE TUBERIAS DE HDPE Y ACCESORIOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contacto Directo o Indirecto con, Atrapado por, Golpeado por</li> <li>- Exposición a Carga Suspendida, Volcadura, Contacto con Línea Aérea Eléctrica, Colisión, Atrapellos, Atrapado por, Golpeado por</li> <li>- Colapso de, Caída o deslizamiento de Rocas, Material Inestables</li> <li>- Caída a espejos de agua, Naufragio Medio de Transporte</li> <li>- Atrapamiento por, Contacto con, Golpeado por</li> <li>- Posturas Inadecuadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todo equipo y aparato de izaje debe ser inspeccionado antes de realizar la tarea: Verificar el nombre del fabricante y/o capacidad de carga, desechar accesorios retorcidos, doblados, fisurados, etc. Desechar toda eslinga que tenga más del 10% de sus hilos rotos en dos metros, de encontrar elementos en mal estado reparar de forma inmediata a supervisor de turno, paralizando los trabajos.</li> <li>- Para el colocado del estrobo en el extremo de la tubería HDPE personal se comunicará con operador de equipo auxiliar, dando la señal u orden de movimiento de cucharón y brazo no colocando las manos entre el estrobo y la tubería, entre el grilete y el gancho del cucharón.</li> <li>- Uso de tacos para evitar que la carga ruede y pueda ocasionar daños</li> <li>- La comunicación debe mantenerse fluida por el supervisor y quien dirige el trabajo cumpliendo la línea de mando</li> <li>- Uso de respirador 8511, tapones auditivos, y uso de bloqueador constante delimitar el</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a Radiación UV</li> <li>- Inhalación o exposición a polvo</li> <li>- Exposición a ruido (Oleína, Industrial / Continuo / Impacto)</li> <li>- Generación de residuos (Sólidos NO PELIGROSOS (metales, HDPE, empaques))</li> </ul>	<p>are con conos y cilindros. Personal hará uso de ropa con mangas largas, cortavientos, aplicar crema de protección rayos UV en partes expuestas a radiación y llevar su envase de formato para abastecerse de agua y rehidratarse.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para trabajo de instalación de línea de bombeo en espejo de agua (presa de relaves) se requiere que personal debe tener la capacitación de nombre al agua, contar con el permiso PETA# para trabajo en espejo de agua, verificando la seguridad para el ingreso como EPP específico (chaleco salvavidas estándar) comunicación mediante radio, mantener sujeta herramienta a usar, realizar el procedimiento de aislamiento y bloqueo para desinstalación de líneas con funcionamiento o conectado a líneas de bombeo en funcionamiento.</li> <li>- Para el colocado del estrobo se verificará que el equipo auxiliar esté estacionado en la movilidad de equipo y cucharón. En trabajos en bancos no transitados se comunicará a geotecnia solicitando el permiso para el ingreso a l banca, siempre verificando posibles caídas de materiales, de encontrar caídas entrarse al área reportar y colocar vigas para el aviso de posibles caídas repentinas de material.</li> <li>- Para trabajos extendidos al turno día (pasado las 18:00 pm) cuando ya no se cuente con luz natural se instalará los luminarios necesarios para contar con una visibilidad óptima para realizar los trabajos con seguridad.</li> </ul> 
<p>3. POSICIONAMIENTO O RETIRO DE TUBERIAS HDPE CON EQUIPO AUXILIAR (EXCAVADORA, RETROEXCAVADORA, CAMIÓN ORÚA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposición a Carga Suspendida, Volcadura, Contacto con Línea Aérea Eléctrica, Caídas, Atrapelos, Atrapado por, Golpeado por</li> <li>- Caídas de, Caída o deslamiento de Rocas, Material Inestables</li> <li>- Caída o espejo de agua, Naufragio Medio de Transporte</li> <li>- Atrapelos</li> <li>- Atrapamiento por, Contacto con, Golpeado por</li> <li>- Posturas inadecuadas</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a Radiación UV</li> <li>- Inhalación o exposición a polvo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El vigia coordinara con el operador todos los movimientos de traslado a realizar con los accesorios.</li> <li>- Una vez estibada la tubería el personal se alejara de la tubería en movimiento a una distancia de 7m aproximadamente</li> <li>- Colocar el estrobo menos de un metro del extremo de la tubería cuando el equipo retroexcavadora este estacionado o cuando el equipo este fuera del lugar de trabajo previo coordinación con el personal de vigía y operador del equipo</li> <li>- Durante los trabajos de traslado se prohíbe el paso por debajo de la carga suspendida, se debe de identificar los puntos de apriete y corte de los materiales a usar.</li> <li>- Se usará protectores para el contacto de las estingas con los filos corantes que pudiera presentar la carga.</li> <li>- Al momento de traslado de tubería se mantendrá una distancia de 7m del radio de movimiento del equipo</li> <li>- Está prohibido manipular la carga con las manos, Únicamente está permitida manipular la carga con las manos cuando esta se encuentre a 30cm de su posición final y solamente por los lados de la carga (nunca por debajo de la carga).</li> <li>- Durante el posicionado el monitor de equipo indicará al operador de equipo (excavadora, retroexcavadora) acercar la tubería HDPE con movimientos suaves hasta juntar ambas caras de tuberías, luego personal de junta con monitor colocarán los pernos necesarios, para direccionar los agujeros en brida y poder colocar los pernos se</li> </ul>

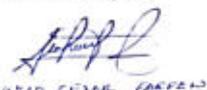
	<p>Industrial / Continuo / Impacto)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contar con monitor permanente, se establecerá una frecuencia de radio establecida para la comunicación sin interrupciones con el operador del equipo auxiliar.</li> <li>- Personal comunicará al operador de equipo auxiliar realizar los movimientos del cucharón hasta que se encuentre cerca y encaje donde se requiera instalar o desinstalar.</li> <li>- Al momento del trazo de accesorios para línea de tubería HDPE personal no deberá colocarse por debajo de la carga suspendida, y no colocarse en el punto ciego al operador, la comunicación será por radio, señales.</li> <li>- Posturas para levantar materiales, Equipos con sin dorsos la espalda, realizando la fuerza en los brazos, evaluar el peso de carga si es &gt; a 25 kg se requiere el apoyo con más un persona o con apoyo de carretas con ruedas.</li> <li>- Monitor comunica al operador acercar el accesorio lentamente hasta tener ambas bridas de unión entre accesorio y tubería HDPE u otro accesorio esto requiere el apoyo con equipo cuando los accesorios son mayores a 10" de diámetro y con peso mayores a lo permitido por persona (25 kg), para accesorios con diámetro menor a 4" se podrá realizar en forma manual siempre y cuando no supere lo permitido para carga por persona.</li> <li>- Para la retiro de accesorios de líneas de bombeo se desajustarán los pernos, previo realización del procedimiento de aislamiento y bloqueo de funcionamiento de drenaje de agua, se retiran los pernos con el desajuste con llaves matas según medida de pernos, Para pernos que queden rotados el hilo y no se pudieron retirar con llaves matas se comunicará a supervisor para poder realizar el corte con picotete, arco de sierra, según sea la dificultad.</li> <li>- Contar con apoyo con equipo de excavadora y retro excavadora y pórtico para levante de accesorios.</li> <li>- Una vez posicionado colocar el empaque posicionado entre las juntas de las bridas</li> </ul> 
--	---	--

		
<p>3. AJUSTE O DESAJUSTE DE PERNOS ENTRE ACCESORIOS, TUBERÍAS HDPE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposición a Carga Suspensiva, Volcadura, Contacto con Línea Aérea Eléctrica, Colisión, Atropello, Atrapado por, Golpeado por</li> <li>- Colapso de, Caída o deslizamiento de Rocas, Material Inestables</li> <li>- Caída o espejos de agua,</li> <li>- Naufragio Medio de Transporte</li> <li>- Atrapamiento por, Contacto con, Golpeado por</li> <li>- Posturas Inadecuadas</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a Radiación UV</li> <li>- Exposición a ruido (Ofticia, Industrial / Continuo / Impacto)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para instalaciones nuevas donde se verifique que no hay conexión a una fuente de ingreso o salida de presión de agua no se requerirá realizar el aislamiento y bloqueo.</li> <li>- El monitor deberá estar portando en todo momento el respirador 8511 y tapones auditivos, debe estar áreas siempre visible a operador de equipo auxiliar o monitorear evitando colocarse en puntos ciegos del equipo.</li> <li>- Para instalaciones y/o desinstalaciones en líneas con flujo de agua se requiere identificar puntos de bloqueo (válvulas, tableros eléctricos de bombas, otros) para realizar el aislamiento y bloqueo de energía hidráulica.</li> <li>- Para la instalación y/o desinstalación de los accesorios de la línea de tubería HDPE se requiere el apoyo de equipo auxiliar.</li> <li>- En trabajos en bancos no transitados se comunicará a geotecnia solicitando el permiso para el ingreso a l banco, siempre verificando posibles caídas de material, de encontrar caídas retirarse al área reportar y colocar vigas para el aviso de posibles caídas repentinas de materia</li> <li>- Contar con monitor permanente, se establecerá una frecuencia de radio establecida para la comunicación sin interrupciones con el operador del equipo auxiliar.</li> <li>- Personal comunicará a operador de equipo auxiliar realizar los movimientos del cucharón hasta que se encuentre cerca y encase donde se requiere instalar o desinstalar.</li> <li>- Al momento del baje de accesorios para línea de tubería HDPE personal no deberá colocarse por debajo de la carga suspendida, y no colocarse en el punto ciego al operador, la comunicación será por radio, señales.</li> <li>- Posturas para levantar materiales, equipos con sin doblar la espalda, realizando la fuerza en las piernas, evaluar el peso de carga si es &gt; a 23 kg se requiere el apoyo con más persona o con apoyo de carretas con ruedas.</li> <li>- Para el ajuste se realiza con llaves mixtas asegurando con dos llaves una llave asegurando el perno y el otro girar en sentido de las manecillas del reloj hasta ajustar completamente.</li> <li>- Para el desajuste pernos en líneas de bombeo antes se tendrá que realizar el procedimiento de aislamiento y bloqueo de funcionamiento de drenaje de agua, se retiran los pernos con el desajuste con llaves mixtas según medida de pernos, para pernos que presenten óxidos se usará aceite penetrante (sotajopodo) para suavizar los filos de los pernos. Para pernos que queden robados el hilo y no se pudiesen retirar con llaves mixtas se comunicará a supervisor para poder realizar el corte con oxicorte, arco de sierra, según sea la dificultad.</li> </ul>

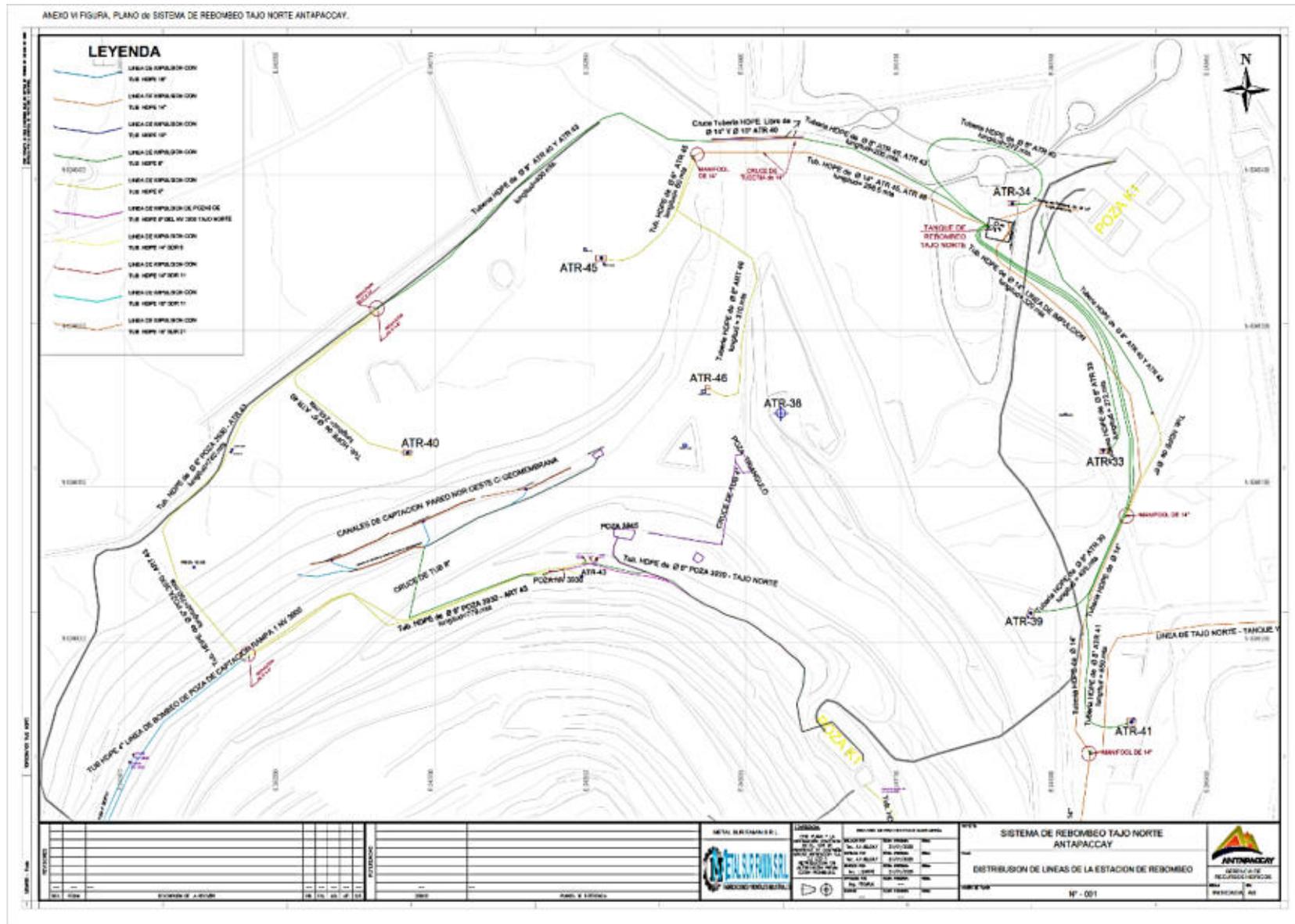
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contar con apoyo con equipo de excavadora y retro excavadora y pórtico para levante de accesorios,</li> <li>- Una vez posicionado colocar el empaque posicionado entre las juntas de las bridas</li> </ul> 
<p>6. DESTROBADO DE TUBERIAS DE HDPE Y ACCESORIOS (REDUCCIONES, VALVULAS, OTROS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caída o espejos de agua,</li> <li>- Naufragio Medio de Transporte</li> <li>- Atropellos</li> <li>- Atrapamiento por, Contacto con, Golpeado por</li> <li>- Posturas Inadecuadas</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a Radiación UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitor de equipo avisa al operador por radio paratizar movimientos del cucharón y equipo para retirar los elementos de sique (grilete, estribo, eslinga) del punto de sique de cucharón del equipo.</li> <li>- No colocar los dedos o manos en puntos de apriete, antes de proceder al destrobado se recibirá la confirmación del operador del equipo auxiliar que entendió las indicaciones, para proceder a manipular el estribo, comunicación efectiva con el operador del equipo y el monitor.</li> <li>- Monitor debe mantenerse fuera del radio de operación del equipo ni utilicase en el punto ciego del equipo</li> </ul>
<p>7. RETORQUEO DE PERNOS EN BRIDAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choque Eléctrico, Arco Eléctrico y Descarga Eléctrica</li> <li>- Atrapamiento por, Contacto con, Golpeado por</li> <li>- Posturas Inadecuadas</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a ruido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para asegurar el torque de los pernos se verificará con torquimetro para asegurar el torque necesario en cada perno.</li> <li>- El retorqueo se podrá realizar con llaves mixtas y retorquero en forma manual o con pistola de torque previa inspección de presión.</li> <li>- No colocar los dedos o manos en puntos de apriete, antes de proceder al destrobado se recibirá la confirmación del operador del equipo auxiliar que entendió las indicaciones, para proceder a manipular el estribo.</li> <li>- Comunicar al supervisor del área, al culminar la tarea, al término de la tarea se retiran los candados de bloqueo si es que se hubiera realizado el procedimiento de bloqueo en línea con carga de drenaje.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contar con apoyo con equipo de excavadora y retro excavadora y pórtico para levantar de accesorios.</li> <li>- Una vez posicionado, colocar el empaque posicionado entre las juntas de las bridas</li> </ul> 
6. DEESTROBADO DE TUBERIAS DE HOPE Y ACCESORIOS (REDUCCIONES, VALVULAS, OTROS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caída o espejos de agua.</li> <li>- Naufragio Medio de Transporte</li> <li>- Atropellos</li> <li>- Atropamiento por Contacto con.</li> <li>- Golpeado por</li> <li>- Posturas inadecuadas</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a Radiación UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitor de equipo o/a al operador por radio para controlar movimientos del cucharón y equipo para retirar los elementos de trape (grilete, estrobo, estinga) del punto de trape de cucharón del equipo.</li> <li>- No colocar los dedos o manos en puntos de apriete, antes de proceder al destrobado se recibirá la confirmación del operador del equipo auxiliar que entendió las indicaciones, para proceder a manipular el estrobo, comunicación efectiva con el operador del equipo y el monitor.</li> <li>- Monitor debe mantenerse fuera del radio de operación del equipo ni utilice en el punto ciego del equipo</li> </ul>
7. RETORQUEO DE PERNOS EN BRIDAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choque Eléctrico, Arco Eléctrico y Descarga Eléctrica</li> <li>- Atropamiento por Contacto con.</li> <li>- Golpeado por</li> <li>- Posturas inadecuadas</li> <li>- Sobre esfuerzos</li> <li>- Exposición a ruido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para asegurar el torque de los pernos se verificará con torquemetra para asegurar el trape necesario en cada perno.</li> <li>- El retorqueo se podrá realizar con llaves mixtas y retorquear en forma manual o con pistola de impacto previa inspección de presión.</li> <li>- No colocar los dedos o manos en puntos de apriete, antes de proceder al destrobado se recibirá la confirmación del operador del equipo auxiliar que entendió las indicaciones, para proceder a manipular el estrobo.</li> <li>- Comunicar al supervisor del área, al culminar la tarea, al término de la tarea se retirarán los candados de bloqueo si es que se hubiera realizado el procedimiento de bloqueo en línea con carga de drenaje.</li> </ul>



<p>Elaborado Por: Equipo de Trabajo/Supervisor</p> 	<p>Revisado: Asesor de Seguridad y Salud</p> 	<p>Aprobado: Gerente de Área/Jefe de Proyecto</p>  <p>JULIO CESAR PARRAS</p>
--	--	---

### ANEXO IV. Planos de sistema de rebomdeo de tajo norte antapaccay



Fuente: Operaciones mina Antapaccay

## PLANO DE CAIDA DE ROCAS

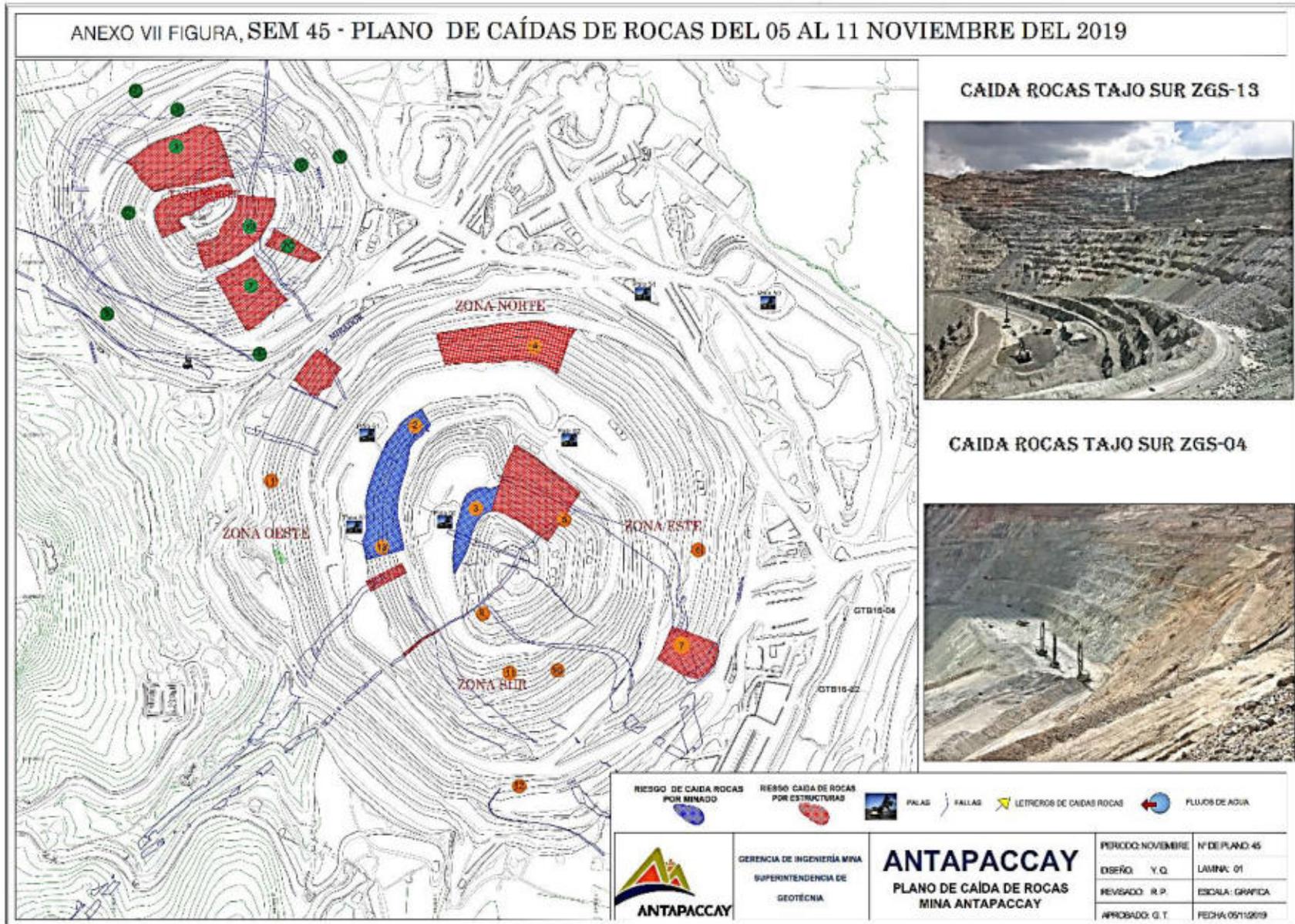
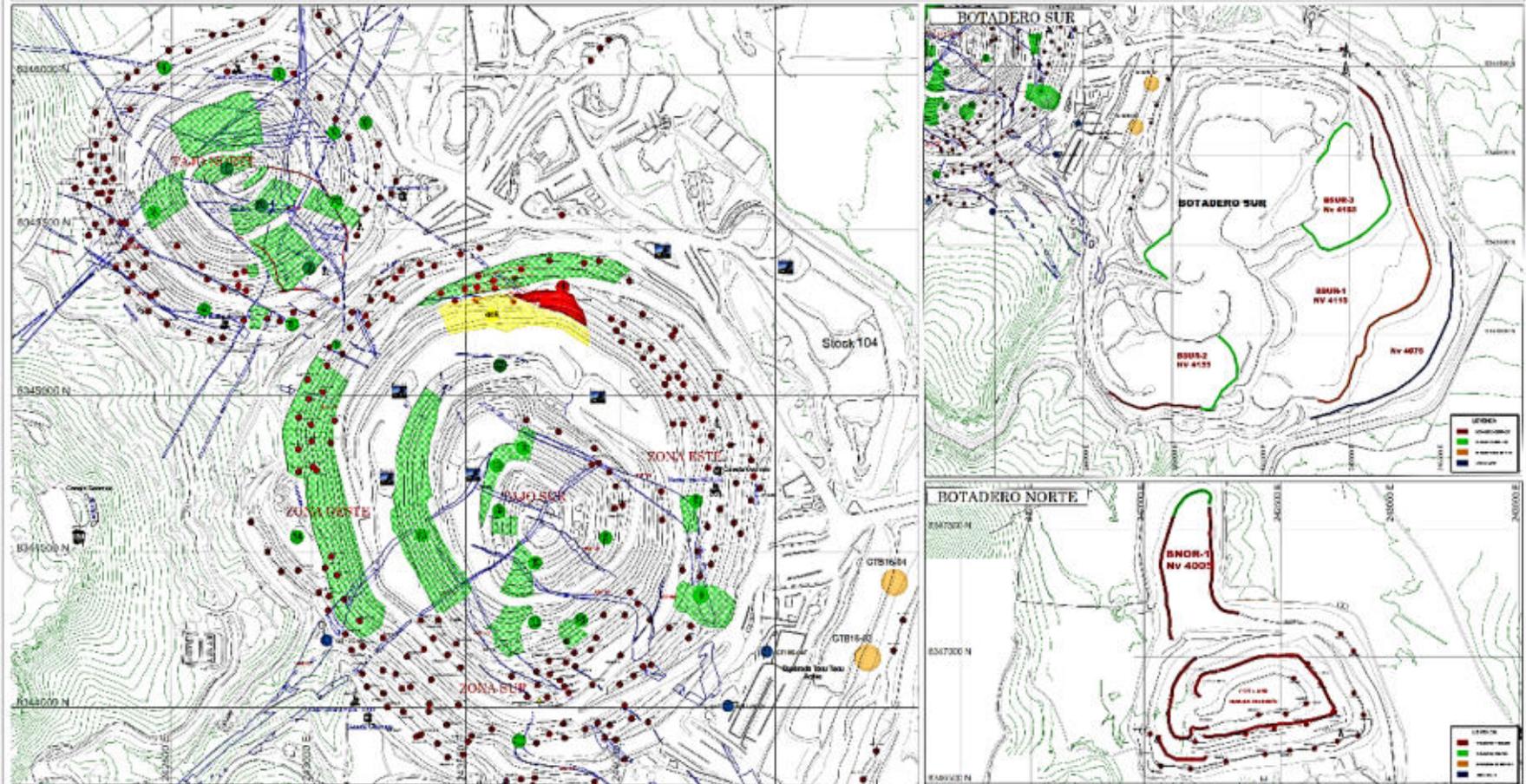


FIGURA PLANO DE RIESGOS

ANEXO VIII FIGURA. SEM 45 - PLANO DE RIESGOS GEOTÉCNICOS DEL 05 AL 11 DE NOVIEMBRE 2019



TAJO SUR ANTAPACCAY				TAJO NORTE ANTAPACCAY			
ITEM	FECHA	INDICADOR	DESCRIPCION	ITEM	FECHA	INDICADOR	DESCRIPCION
1	05/11/2019	Alto	...	1	05/11/2019	Alto	...
2	06/11/2019	Medio	...	2	06/11/2019	Medio	...
3	07/11/2019	Bajo	...	3	07/11/2019	Bajo	...
4	08/11/2019	Muy Bajo	...	4	08/11/2019	Muy Bajo	...
5	09/11/2019	Alto	...	5	09/11/2019	Alto	...
6	10/11/2019	Medio	...	6	10/11/2019	Medio	...
7	11/11/2019	Bajo	...	7	11/11/2019	Bajo	...
8	12/11/2019	Muy Bajo	...	8	12/11/2019	Muy Bajo	...
9	13/11/2019	Alto	...	9	13/11/2019	Alto	...
10	14/11/2019	Medio	...	10	14/11/2019	Medio	...
11	15/11/2019	Bajo	...	11	15/11/2019	Bajo	...
12	16/11/2019	Muy Bajo	...	12	16/11/2019	Muy Bajo	...
13	17/11/2019	Alto	...	13	17/11/2019	Alto	...
14	18/11/2019	Medio	...	14	18/11/2019	Medio	...
15	19/11/2019	Bajo	...	15	19/11/2019	Bajo	...
16	20/11/2019	Muy Bajo	...	16	20/11/2019	Muy Bajo	...
17	21/11/2019	Alto	...	17	21/11/2019	Alto	...
18	22/11/2019	Medio	...	18	22/11/2019	Medio	...
19	23/11/2019	Bajo	...	19	23/11/2019	Bajo	...
20	24/11/2019	Muy Bajo	...	20	24/11/2019	Muy Bajo	...

**ANTAPACCAY**  
 SIMBOLOGIA  
 DIRECCION DE INGENIERIA MINA  
 SUBDIRECCION DE INGENIERIA DE INSTRUMENTACION GEOTECNICA  
 PERIODO: NOVIEMBRE 2019  
 DISEÑO: Y.G.  
 REVISADO: R.P.  
 APROBADO: G.T.  
 IV DEFUNDO: 45  
 LAMINA: 01  
 ESCALA: GRAFICA  
 REG. Nº: 05712016