

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**

**ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS.**



**TESIS:**

---

**“EVALUACIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA  
INDUSTRIAL PARA LA ZONA SUPERIOR DE LA MINA  
CARIDAD – UNIDAD MINERA HUANCAPETI - ANCASH”**

---

Presentado por:

**Bachiller ARNOLD FRANKLIN SULLCARANI  
LLANOS**

Para optar el Título Profesional de: **INGENIERO  
DE MINAS**

Asesor:

**Ing. Máximo Mayta Lino**

**Cusco – Perú**

**2021**

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mi madre Gladis Llanos Chino, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, eres la mejor madre del mundo.

A mi pareja Diane, hijo Sebastián, hermanos (as) Deysi, Morelia, Einsten y Gabi por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que brindaron a lo largo de esta etapa.

A todas las personas que me apoyaron y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por bendecirnos la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: por confiar y creer en mi expectativa, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al Ing Maximo Mayta Lino por ser el asesor de este trabajo de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, y a los compañeros de trabajo de la Unidad Minera Huancapeti de la Compañía Minera Lincuna.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el abastecimiento del agua industrial mediante el camión cisterna o bombas centrifugas para satisfacer la demanda 178,200 litros/día en la zona superior de la mina Caridad -Unidad Minera Huancapeti, de la Compañía Minera Lincuna, con la finalidad de abastecer el agua a las operaciones desarrolladas y garantizar el desarrollo de estas.

Para la evaluación de ingeniería del abastecimiento de agua industrial con camión cisterna, se ha realizado los cálculos de tiempos de llenado del camión cisterna, tiempo de traslado del agua a los tanques de almacenamiento, tiempo de descarga a los tanque y tiempo de regreso, el cual fue de 10.76 h/guardia.

Para la evaluación de ingeniería del abastecimiento de agua industrial por sistema de bombeo con bomba centrifuga, se ha realizado el diseño para un caudal de 25 litros/seg con una distancia de 1,000 metros desde las pozas de sedimentación hasta los tanques de almacenamiento; donde se realizó el cálculo de la velocidad del fluido, pérdidas primarias, pérdidas por accesorios, el cálculo de la altura dinámica total y la selección de la bomba, así como la dimensión de la tubería a utilizar; de lo que resulto para el sistema la utilización de una tubería HDPE De 6" y una bomba centrifuga modelo ELECTROBOMBA TMB 40-65/6-HBK-125HP-36 IE2 que opera en la curva 65-315 a 3560 RPM.

Luego del desarrollo la evaluación y análisis económico para un periodo de 12 meses, obteniéndose como resultado el costo \$ 147,000.00 para el uso del camión cisterna y \$ 93,916.92 para la implementación del sistema de abastecimiento con bomba centrifuga, para lo cual se desarrolló la evaluación económica utilizando la metodología costo – eficiencia, obteniéndose como resultados 2.30 \$/m<sup>3</sup> para el camión cisterna y 1.46 \$/m<sup>3</sup> para el sistema de abastecimiento con bomba centrifuga; de lo que se opta por la utilización e implementación del sistema de abastecimiento de agua industrial por bomba centrifuga ya que el costo es menor que usando camiones cisterna.

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
INDICE DE CONTENIDO.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de imágenes.....	viii
Índice de tablas.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
I. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .	11
1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.2.1. Problema general.....	12
1.2.2. Problemas específicos.....	12
1.3. Objetivos de la investigación.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Justificación de la investigación.....	13
1.5. Hipótesis de la investigación.....	13
1.5.1. Hipótesis general.....	13
1.5.2. Hipótesis específicas.....	13
1.6. Variables e indicadores.....	14
1.6.1. Variables.....	14
1.6.2. Matriz de operacionalización.....	14
1.7. Metodología de la investigación.....	15
1.7.1. Tipo de investigación.....	15
1.7.2. Nivel de investigación.....	15

1.7.3. Población y muestra.....	15
1.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	15
1.9. Matriz de consistencia .....	16
II. CAPITULO II: MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
2.1. Antecedentes de la investigación.....	17
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	17
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	18
2.2. Bases teóricas .....	19
2.2.1. Abastecimiento de agua industrial.....	19
2.2.2. Abastecimiento de agua industrial con camión cisterna.....	20
2.2.3. Abastecimiento de agua industrial con bombas centrifugas.....	23
2.2.4. Evaluación económica de abastecimiento de agua industrial.....	33
2.3. Definición de términos básicos.....	35
III. CAPITULO III: ÁMBITO DEL ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
3.1. Aspectos generales del ámbito del estudio .....	36
3.1.1. Ubicación.....	36
3.1.2. Ubicación geográfica .....	37
3.1.3. Acceso .....	37
3.1.4. Hidrología De La Zona de Influencia:.....	37
3.2. Geología de la Unidad Huancapeti.....	38
3.2.1. Geología Regional .....	38
3.2.2. Geología Local .....	41
3.3. Geología Económica de la Unidad Huancapeti.....	44
3.3.1. Mina Hércules .....	44
3.3.2. Mina Coturcán .....	44
3.3.3. Cuerpo Sanson.....	44
3.3.4. Cuerpo Tarugo (Leslie). .....	45

3.3.5. Mineralización .....	45
3.3.6. Reservas mina.....	46
3.4. Minería de la Unidad Huancapeti.....	46
3.4.1. MINA .....	46
IV. CAPITULO IV: EVALUACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS .....	55
4.1. Demanda de agua industrial en la Zona Caridad.....	55
4.1.1. Almacenamiento de agua industrial .....	55
4.1.2. Calculo de demanda de agua industrial .....	57
4.2. Propuesta de abastecimiento de agua industrial .....	58
4.2.1. Distancia de traslado de agua industrial mediante camión cisterna .....	58
4.2.2. Capacidad de almacenamiento del camión cisterna .....	59
4.2.3. Cálculo del tiempo del ciclo de transporte del agua industrial.....	59
4.2.4. Cálculo del abastecimiento de agua industrial mediante bomba centrífuga .....	63
V. CAPITULO V: ANÁLISIS EVALUACIÓN TÉCNICO –ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS.....	79
5.1. Análisis técnico comparativo entre camión cisterna y bombeo .....	79
5.2. Análisis de costos para el abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna.....	79
5.3. Análisis de costos para el abastecimiento de agua industrial mediante bomba centrífuga .....	80
5.4. Evaluación económica de ambas alternativas .....	82
5.4.1. Costo eficiencia de camión cisterna .....	82
5.4.2. Costo eficiencia de sistema de abastecimiento con bomba centrífuga.....	83
5.5. Análisis y selección de la mejor alternativa económica.....	83
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES .....	85
BIBLIOGRAFÍA .....	86

ANEXOS.....	87
-------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Operación de dos bombas en serie .....	23
Figura 2: Operación de dos bombas en paralelo.....	24
Figura 3: Partes de bomba centrífuga.....	25
Figura 4: Partes de bomba centrífuga.....	27
Figura 5: Ubicación de la UEA Huancapeti .....	36
Figura 6: Plano de geología regional del yacimiento. ....	39
Figura 7: Columna Estratigráfica del cuadrángulo de Ancash.....	41
Figura 8: Estructuras Principales UEA Huancapeti. ....	42
Figura 9: Ciclo de minado .....	48
Figura 10: Balance de aire - Caridad.....	53
Figura 11: Poza de sedimentación y almacenamiento de agua industrial .....	55
Figura 12: Perfil de pozas de sedimentación.....	56
Figura 13: Perfil de bomba centrífuga de poza de sedimentación.....	56
Figura 14: Diagrama de abastecimiento de agua al tanque .....	65
Figura 15: Rango de operación a 60Hz .....	72
Figura 16: Curva de operación 65-315 .....	72
Figura 17: Curvas de operación de la bomba .....	74
Figura 18: Dimensiones generales de la bomba .....	77

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1:Cisterna - Tanque de almacenamiento marca Rotoplas .....	20
Imagen 2: Camión cisterna FMX .....	21
Imagen 3: Tanques de almacenamiento de agua industrial .....	57
Imagen 4: Trazo de recorrido de camión cisterna .....	59
Imagen 5: Llenado de agua industrial al cisterna .....	60
Imagen 6: Traslado de agua industrial al tanque .....	61
Imagen 7: Descarga de agua a los tanques .....	62
Imagen 8: Trazo de línea de conducción de tubería a tanque.....	64
Imagen 9: Perfil longitudinal de la línea de conducción .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de operacionalización. ....	14
Tabla 2: Equipos que demanda consumo de agua.....	19
Tabla 3: Tubería lisa HDPE .....	32
Tabla 4: Parámetros de forma de la Microcuenca Hércules.....	37
Tabla 5: Unidades Litaestratigrafica UEA Huancapeti .....	40
Tabla 6: Resumen de reservas mina .....	46
Tabla 7: Balance total de aire .....	53
Tabla 8: Requerimiento de aire para personal - Caridad.....	53
Tabla 9: Requerimiento de aire para equipos petroleros .....	54
Tabla 10: Demanda de agua por equipos.....	57
Tabla 11: Accesorios de la red de tuberías .....	63
Tabla 12: Accesorios de la red de tuberías .....	69
Tabla 13: Calculo de altura dinámica total.....	69
Tabla 14: Calculo de ADT para tubería de 6” y 4” .....	71
Tabla 15: Resumen tiempo de llenado de tanques de agua por alternativa.....	79
Tabla 16: Costo de alquiler de camión cisterna por mes.....	79
Tabla 17: Flujo de costos para camión cisterna.....	80
Tabla 18: Costo de inversión para sistema de abastecimiento por bomba centrífuga....	81
Tabla 19: Costo de mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento con bomba centrífuga .....	81
Tabla 20: Flujo de costos para sistema de abastecimiento por bomba centrífuga.....	82
Tabla 21: Análisis y selección de la mejor alternativa .....	83

## INTRODUCCIÓN

La investigación se ha desarrollado para la evaluación del abastecimiento de agua industrial que actualmente se realiza por camión cisterna y se evalúa la instalación de una bomba centrífuga y que, a través de tuberías para el llenado de los tanques en la zona superior de la Mina Caridad, Ancash.

Se ha considerado para la siguiente investigación la utilización de las aguas subterráneas acumuladas en pozas de sedimentación de la Mina Caridad, que actualmente son utilizadas para las operaciones de la Mina, por lo que el objetivo de la investigación es evaluar el abastecimiento de agua industrial mediante el camión cisterna o bombas centrífugas para satisfacer la demanda en la zona superior de la Mina Caridad -Unidad Minera Huancapeti.

En primer lugar, se ha identificado los problemas, objetivos, las hipótesis, para luego plantear las variables intervinientes en el proceso de la investigación, desarrollando la ingeniería apropiada utilizando los indicadores necesarios.

En segundo lugar, se han definido las bases teóricas con las que se desarrollaron el proceso de investigación, definiendo claramente las variables que intervienen en el estudio.

En tercer lugar, se realizó el diagnóstico del ámbito del estudio, como son los aspectos generales de la Mina, la geología y las operaciones mineras principales de la Mina Caridad.

En cuarto lugar, se realiza la evaluación de ingeniería del abastecimiento del agua industrial en la Mina Caridad; con camión cisterna determinando el tiempo total que realiza para llenar los tanques de almacenamiento y como otra alternativa el abastecimiento de agua industrial por medios mecánicos, empleando la bomba centrífuga y la tubería adecuada, para un caudal de diseño que requiere la mina, para almacenar el agua industrial en un tiempo menor a la primera alternativa.

En quinto lugar, se desarrolló la evaluación y análisis económico de las alternativas planteadas para elegir la mejor opción y de menor costo.

Finalmente, se arribó con las conclusiones y recomendaciones en concordancia con los objetivos planteados en la investigación.

# **I. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Planteamiento del problema**

La Unidad Minera Huancapeti se ubica en el Departamento de Ancash – entre las Provincias de Recuay y Aija – la cual opera desde el año 2006, extrayendo minerales Plomo, la Plata y Zinc.

En la zona superior de Caridad se tiene problemas con el abastecimiento de agua industrial; ya que se tiene una demanda de 178,000 litros por día, debido a que estas labores mineras se encuentran ubicadas en las cotas superiores de la Unidad Minera Huancapeti, teniendo aproximadamente una deficiencia del 40%.

La zona superior de Caridad comprende desde el nivel 6 hasta el nivel 5 (Nv 5 y Nv 5A) la que se está avanzando hacia niveles superiores, cada nivel varía entre 45 a 50 metros y este varia de forma inversa; es decir mientras más alto es el nivel, la numeración desciende – con la Rp 100 +; debemos señalar que en la actualidad el abastecimiento de agua industrial para las labores de la Rp 100 + se realiza mediante un camión cisterna, que transporta el agua industrial con 6 viajes por día; el problema surge cuando el camión cisterna realiza otras actividades o no se encuentra disponible, lo que ocasiona interrupción en el ciclo de minado en las labores aledañas a la Rp 100 +, como la perforación, limpieza y carguío.

El sistema de abastecimiento de agua industrial para las labores de San German que comprende desde el Nv 06 con la rampa 100 (+) en la zona de Caridad, se alimenta mediante tuberías desde los depósitos de almacenamiento de la zona de Zeus superficie donde están ubicados 05 rotoplast de 04 de 10 m<sup>3</sup> y uno de 25 m<sup>3</sup>, mediante tubería de 2” diámetro, baja el agua por la chimenea, Ch 120, desde el nivel 03 al nivel 06 (alimentando a la vez al nivel 05 y 05A) y de ahí alimenta a la Rp (100 +). Cuando el abastecimiento de agua se demora implica que todo el sistema de agua baja debido a la versatilidad de las operaciones mineras; el abastecimiento de agua industrial es mediante el traslado de la cisterna del área de Medio Ambiente, la cual además tiene otras actividades como: regado de la vía desde la zona de planta hacia campamentos, regado

de vías en el despacho de concentrado la cual resta el tiempo para el apoyo del abastecimiento de agua a la zona de Zeus.

Las empresas mineras siempre han buscado optimizar sus operaciones, reducir los costos, incrementar la producción, etc. todos estos con el fin de obtener mejores resultados, motivo por el cual la carencia de agua industrial no debe ser un retraso para la operación.

De ahí la necesidad de realizar un estudio para mejorar el sistema de abastecimiento de agua industrial para asegurar la parte operativa de la mina Caridad en los niveles superiores.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál de los sistemas de abastecimiento de agua industrial, camión cisterna o por bombeo será técnica y económicamente más conveniente para la en la zona superior de la mina Caridad, Unidad Minera Huancapeti?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la demanda de agua industrial en la zona superior de la mina Caridad?
- ¿Cómo será la evaluación técnica del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad?
- ¿Cuál será la evaluación económica para abastecimiento del agua industrial para la zona superior de la mina Caridad?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar técnica y económicamente el abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna o por bombeo para satisfacer la demanda en la zona superior de la mina Caridad -Unidad Minera Huancapeti.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la demanda de agua industrial en la zona superior de la mina Caridad.

- Determinar la evaluación técnica del abastecimiento de agua para zona superior de la mina Caridad.
- Determinar la evaluación económica para la implementación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

Las empresas mineras requieren una amplia planificación de sus operaciones, porque resulta fundamental que cada equipo, material e insumo se encuentre a disposición en el momento indicado.

La importancia del acceso a cada uno de estos factores radica, en que la carencia de uno de estos factores puede prácticamente paralizar todas las actividades, no escapa de esta premisa un elemento tan simple como el agua tipo industrial, se usa en gran parte de las operaciones mineras.

En el presente trabajo de investigación nos enfocamos en este problema que se presenta en la Unidad Minera Huancapeti, dado que constantemente se presentan falta de abastecimiento de agua tipo industrial en las zonas de Caridad y Tarugo, porque se hace más complicado el abastecimiento de este insumo a medida que se avanza hacia los niveles superiores, como es en el caso con la Rp 100 (+).

#### **1.5. Hipótesis de la investigación**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

- Se selecciona la alternativa más adecuada técnica y económica para el abastecimiento de agua industrial en la en la zona superior de la mina Caridad - Unidad Minera Huancapeti.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- La demanda de agua industrial en la zona superior de Caridad es de 89100 litros/guardia.
- Con la evaluación técnica para la implementación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad, se implementa la alternativa por bombeo

- Con la evaluación económica para la implementación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad, se implementa la alternativa por bombeo.

## 1.6. Variables e indicadores

### 1.6.1. Variables

#### 1.6.1.1. 8.1. Variable independiente (X)

- Abastecimiento de Agua Industrial

#### 1.6.1.2. 8.2. Variable dependiente (Y)

- Abastecimiento con Camión Cisterna
- Abastecimiento con Bomba Centrifuga

### 1.6.2. Matriz de operacionalización.

Tabla 1: Matriz de operacionalización.

	Variable	Dimensiones	Indicadores	Medida
INDEPENDIENTE	Abastecimiento de agua industrial (X)	Demanda	Caudal	l/s, l/h m3/s, m3/h
			Presión	bar, mca, Pa
			Almacenamiento	Litros, m3, p3
		Evaluación económica	VAN, TIR	\$, S/., %
			Selección de la mejor alternativa	\$, S/.
DEPENDIENTE	Camión cisterna (Y1)	Operación del proceso de abastecimiento de agua industrial	Diagrama de recorrido	m, km
			Análisis del recorrido	m/s, km/h
		Elementos y especificaciones del camión cisterna	Capacidad de almacenamiento	m3, litros, galones
		Costo del sistema por camión	Costo total	\$, S/.
	Bombas centrifugas (Y2)	Selección de bombas	Potencia de bomba	HP
		Diseño de ingeniería de sistema de abastecimiento de agua industrial	Tubería HDPE	Und, m
			Accesorios	Und
		Costo del sistema por bombeo	Costo total	\$, S/.

## **1.7. Metodología de la investigación**

### **1.7.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es de enfoque cuantitativo no experimental, ya que la investigación se realizará sin manipular deliberadamente las variables. Es decir, se trata de estudios que no hacen variar la forma intencional de las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables (Hernández, 2016).

### **1.7.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación responde al proyecto de investigación basándose en el análisis descriptivo evaluativo, el cual tiene la finalidad de plantear propiedades y características de conceptos, fenómenos, variables o hechos en un contexto determinado. Es útil para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación. (Hernández, 2016).

### **1.7.3. Población y muestra**

#### ***1.7.3.1. Población***

La población objetiva de este proyecto de investigación es la Unidad Minera Huancapeti, que necesita el abastecimiento de agua industrial en sus operaciones el cual debe ser calculado su demanda.

#### ***1.7.3.2. Muestra***

Para la determinación de la muestra tomaremos la Unidad Minera Huancapeti, de la Zona Caridad Alta como demanda, y la Zona Caridad Baja como oferta de agua industrial que se determinara la muestra.

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

La recolección de datos se realizará de acuerdo a la naturaleza del estudio, según las posibilidades de acceso a esta data, teniendo en cuenta el tamaño de la población, los recursos con los que se cuente y la oportunidad para la obtención de los datos. Estos pueden ser recolectados según el análisis de datos y la observación no experimental.

Análisis datos: Esta técnica de la obtención de datos se realiza de la fuente primaria del cual se recolectará las variables de interés para la presente investigación.

Observación no experimental: Sera para profundizar en el conocimiento del comportamiento de la exploración con la técnica documental, con fichas tecnicas.

## 1.9. Matriz de consistencia

EVALUACIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL PARA LA ZONA SUPERIOR DE LA MINA CARIDAD – UNIDAD MINERA HUANCAPETI - ANCASH				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿Cuál de los sistemas de abastecimiento de agua industrial, camión cisterna o por bombeo será técnica y económicamente más conveniente para la en la zona superior de la mina Caridad, Unidad Minera Huancapeti?	Evaluar técnica y económicamente el abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna o por bombeo para satisfacer la demanda en la zona superior de la mina Caridad -Unidad Minera Huancapeti.	Se selecciona la alternativa más adecuada técnica y económica para el abastecimiento de agua industrial en la en la zona superior de la mina Caridad -Unidad Minera Huancapeti.	<p><b><u>Variable Independiente</u></b></p> <p><b>Abastecimiento de Agua Industrial</b></p> <p>D.1 Demanda de Agua Industrial</p>	<p><b><u>Tipo de Estudio</u></b></p> <p>Es un estudio de alcance descriptivo y evaluativo, ya que el propósito del presente proyecto de investigación es evaluar técnica y económicamente el mejor método de abastecimiento de agua industrial.</p> <p><b><u>Población y Muestra</u></b></p> <p>El universo está representado por la demanda de agua industrial en la unidad minera Huancapeti</p> <p><b>La muestra:</b></p> <p>La muestra representativa de la demanda del agua industrial en la mina Caridad.</p>
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Especificas</b>	<p><b><u>Variable Dependiente</u></b></p> <p><b>Camión Cisterna</b></p> <p>D.1 Abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna</p> <p>D.2 Especificaciones del camión cisterna</p> <p>D.3 Evaluación técnica y económica con camión cisterna</p>	
¿Cuál es la demanda de agua industrial en la zona superior de la mina Caridad?	Determinar la demanda de agua industrial en la zona superior de la mina Caridad.	La demanda de agua industrial en la zona superior de Caridad es de 89100 litros/guardia.	<p><b>Bombas Centrifugas</b></p> <p>D.1 Abastecimiento de agua industrial mediante bombas centrifugas</p> <p>D.2 Especificaciones de las bombas centrifugas</p> <p>D.3 Evaluación técnica y económica con bombas centrifugas.</p>	
¿Cómo será la evaluación técnica del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad?	Determinar la evaluación técnica del abastecimiento de agua para zona superior de la mina Caridad.	Con la evaluación técnica para la implementación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad, se implementa la alternativa por bombeo		
¿Cuál será la evaluación económica para abastecimiento del agua industrial para la zona superior de la mina Caridad?	Determinar la evaluación económica para la implementación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad.	Con la evaluación económica para la implementación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad, se implementa la alternativa por bombeo.		

## II. CAPITULO II: MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

**Autor:** Fuentes Barría, Soledad Fernanda, (2016)

**Lugar:** Mina Punta del Cobre Sector Trinidad – Chile.

**Título:** Mejora en el sistema de abastecimiento de agua industrial y drenaje Mina Punta del Cobre Sector Trinidad.

**Universidad:** Universidad de Atacama - Chile

**Objetivo general:** Se tiene un retorno de actividades de desarrollo en el sector Trinidad, el cual se tiene proyectado a futuro la producción de una cantidad considerable de material que permite a empresa Punta del Cobre alcanzar sus metas de producción, las que con anterioridad se veían cubiertas con la extracción de mineral de un sector denominada UTM el cual a fines de este año se ve completado. Por lo anterior, y por las necesidades de aumentar la producción es que se retorna al sector Trinidad en el cual existe un sistema de agua, no así de drenaje, lo que se traduce en una pérdida significativa del agua al no ser recirculada. Por lo que el objetivo del estudio es “Diseñar un sistema de agua industrial y drenaje independiente para el sector Trinidad en Mina Punta Del Cobre”

**Conclusión:** Lo principal de un sistema de agua industrial es generar un sistema de agua constante que no interrumpa la operación, y a la vez un sistema de drenaje que no afecte los posteriores trabajos en el sector.

El sistema de agua planteado considera un costo menor al ser comparado en la implementación de cero de ambos diseños, el cual además cumple una función extra de acumular agua en los estanques, que permiten en un caso de problemas de entrega de suministro la capacidad de seguir el proceso ininterrumpidamente.

Si bien las mantenciones son equivalentes para cualquiera de los dos sistemas, uno de las mayores problemáticas son las roturas de conductos por sectores de tráfico, los que pueden ser reducidos con una extensión por sectores de poco uso como se plantea en el presente estudio.

En la selección de diámetro se opta por ductos HDPE de 90 mm de diámetro PN 16 que, si bien presenta mayores pérdidas en comparación una de mayor diámetro, se evita en caso de una rápida maniobra de cierre de llaves de corte, la rotura por sobrepresión.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

**Autor:** Rafael Barzola, José Erik (2019)

**Lugar:** Minera Kolpa S.A. distrito de Huachocolpa, provincia y departamento de Huancavelica

**Título:** Implementación de un Sistema de Bombeo Integral para la Evacuación de Aguas Subterráneas en Minera Kolpa S.A. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

**Universidad:** Universidad Nacional del Centro del Perú

**Objetivo general:** En el proceso de minado de la Minera Kolpa S.A. la utilización del agua es importante; para preservar el desempeño de las herramientas de perforación; esta agua es necesario evacuar. Por lo que el objetivo del estudio es “Sistematizar el bombeo de aguas subterráneas mediante la implementación del sistema de bombeo en la Minera Kolpa S.A.”

**Conclusión:** La implementación del sistema de bombeo permite optimizar la evacuación del agua acumulada en el fondo de interior mina, de tal manera que se pueda continuar de manera óptima con la explotación y extracción de los recursos minerales.

Antes de la investigación fue necesario evaluar las condiciones de funcionamiento de las estaciones de bombeo instalado, para luego formular un estudio que permita obtener un nuevo sistema de bombeo con ventajas técnicas y de funcionamiento, cumpliendo el objetivo de evacuar eficientemente el agua de mina que será de 95 l/s por lo que ahora se bombea solo 45 l/s por 16 horas en 24 horas.

**Autor:** Condezo Acosta, Huston Aysen (2019)

**Lugar:** Unidad de Producción Uchucchacua - provincia de Oyón, departamento de Lima.

**Título:** Mejoramiento del Sistema de Bombeo y Drenaje de Aguas Subterráneas Unidad de Producción Uchucchacua - Cia de Minas Buenaventura S.A.A.

**Universidad:** Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Cerro de Pasco – Perú

**Objetivo general:** Las consecuentes inundaciones de las labores por las aguas subterráneas y las filtraciones de las aguas meteórica en las épocas de invierno de la sierra del País, impiden y paralizan las operaciones mineras las cuales se ven afectadas el ritmo de producción de la Mina, por ello se hace necesario realizar el estudio y la adopción de un sistema de bombeo y drenaje, con la finalidad de que estos fenómenos se minimicen

y se eviten inundaciones con consecuencias perjudiciales de las operaciones normales de la Unidad Minera Uchucchacua. Por lo que el objetivo del estudio es “Determinar el funcionamiento óptimo del sistema de bombeo y drenaje de los materiales líquidos de las labores subterráneas en la Unida Minera Uchucchacua.”

**Conclusión:** Ante el incremento de las demandas sobre las fuentes de agua y de energía, la sostenibilidad de las operaciones mineras requerirá de mayores esfuerzos para implementación de procesos de optimización y uso eficiente de los recursos.

La optimización de los sistemas de bombeo representa una importante oportunidad para el ahorro de costos en el sector minero, debido al uso intensivo de energía requerido.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Abastecimiento de agua industrial

#### 2.2.1.1. Demanda de agua industrial

La demanda de agua industrial en minería subterránea es determinada por los consumos diarios de los equipos que se consideran dentro del frente de trabajo y en algunos casos para regar las vías de acceso.

*Tabla 2: Equipos que demanda consumo de agua*

<b>Demanda por equipos</b>	<b>L/seg</b>	<b>Cantidad de equipos</b>
Jumbo N° 09	1.1	1
Robolt N° 20	1.3	1
Simba N° 18	1.5	1
Jack Leg	0.5	3
Diamec	0.7	1
Regado y otros	1.2	6
<b>TOTAL</b>	<b>13.3 L/seg</b>	

Fuente: Unidad Minera Huancapeti.

#### 2.2.1.2. Fuentes de abastecimiento de agua industrial

##### 2.2.1.2.1. Agua drenada de mina

La explotación de las minas se encuentra en cuencas hidrológicas y en muchos casos son desarrolladas por debajo de los niveles freáticos de estas cuencas; por eso dentro de las minas se encuentran puntos donde drena el agua subterránea, los cuales son aprovechados por las minas para almacenar y para su futuro uso en el desarrollo de sus actividades.

Otro de los objetivos del drenaje de las aguas de mina es para minimizar la circulación de esta en las áreas de la operación de la mina, como estabilizar ciertas características negativas de la calidad del agua.

### ***2.2.1.3. Almacenamiento de agua industrial***

El almacenamiento de agua industria para minería debe cumplir la función de dotar de agua necesaria para las operaciones donde son asignadas, la cual deben ser distribuidas por una red que asegure el caudal necesario para los equipos que se encuentran dentro de las operaciones mineras.

El almacenamiento de agua industrial se hace en cisternas - tanques de polietileno de marca Rotoplas, que son 04 de 10000 litros y 01 de 25000 litros, para cubrir la demanda de la zona superior de la mina caridad.

*Imagen 1: Cisterna - Tanque de almacenamiento marca Rotoplas*



Fuente propia

## **2.2.2. Abastecimiento de agua industrial con camión cisterna**

### ***2.2.2.1. Diseño de elementos de sistema de abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna***

#### ***2.2.2.1.1. Camión cisterna de 5000 galones***

Es una variedad de vehículos de transporte para el traslado de todo tipo de líquidos, que en el estudio será el agua industrial.

El camión cisterna está conformado por un tanque que puede variar de varios compartimentos, las dimensiones del camión cisterna puede variar según el tipo de función que tenga.

### Camión cisterna FMX

<b>Dimensiones</b>	
Distancia entre ejes	3.95 m
Altura	3.25 m
Anchura	2.55 m
Longitud	9.00 m

<b>Tonelaje</b>	
Carga útil	23.86 T
Peso en vacío	12.14 T
MMA	36.00 T

<b>Características</b>	
Ejes	6x2
Energía	Diésel

Fuente: Especificaciones técnicas Volvo

*Imagen 2: Camión cisterna FMX*



Fuente propia

### ***2.2.2.2. Diseño de ingeniería de sistema de abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna***

#### ***2.2.2.2.1. Diseño de ruta de trabajo***

El diseño de las rutas de los vehículos es de las funciones operativamente hablando, más crítica en lo que se refiere al transporte (Gutiérrez et al. 2007). El costo, tiempo, riesgo y versatilidad, son las variables para evaluar técnicamente en la utilización de cualquier clase de transporte (Vélez, 2014).

Actualmente se cuenta con muchas herramientas entre una gran diversidad de software que están disponibles para diseñar rutas de distribución. Estas herramientas denominadas como Vehicle Routing Problem (VRP) están diseñadas para optimizar los problemas de ruteo de vehículos y resolverlos en la medida que integran gráficas de información (Kolli et al., 1993)

Para la solución a los problemas en el diseño de rutas, existe la propuesta de un algoritmo para problemas de rutas de Vehicle Routing Problem (VRP) buscando el equilibrio entre los costos del viaje y la satisfacción del cliente (Kovacs et al., 2015)

#### ***2.2.2.2.2. Tiempos de actividad***

El estudio de tiempos es una técnica de medición de trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea determinada y para luego analizar los datos con el fin de establecer el tiempo requerido para ejecutar la tarea que se estudia.

Hodson (2001), El estudio de tiempos es el procedimiento utilizado para medir el tiempo requerido por los equipos que trabajan según el desempeño que realiza la actividad conforme a un método especificado.

Los tiempos para evaluar la actividad son:

- Tiempo de llenado del camión cisterna
- Tiempo de viaje desde el pozo hasta los tanques de almacenamiento
- Tiempo de descarga del camión cisterna
- Tiempo de regreso
- Tiempo neto del ciclo por camión

### 2.2.3. Abastecimiento de agua industrial con bombas centrífugas

Blanco (1994) En minería es el traslado de las aguas subterráneas mediante sistema de bombeo a la superficie desde interior mina, para facilitar el proceso de extracción de mineral. Un sistema de bombeo está compuesto por un tanque de aspiración, tubería de aspiración, una bomba hidráulica, tubería de descarga y tanque de descarga. Según se muestra en la figura N° 1 instalación de la bomba.

#### 2.2.3.1. Diseño de elementos de sistema de abastecimiento de agua industrial mediante bomba centrífuga

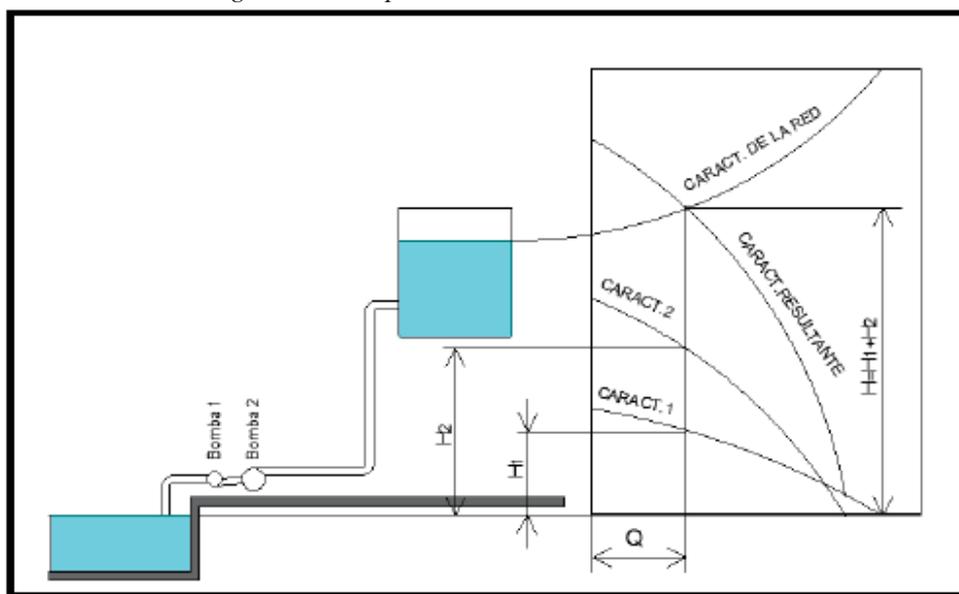
##### 2.2.3.1.1. Bomba

Kenneth (1998) Es una maquina generadora, que absorbe energía mecánica y la restituye en energía hidráulica al fluido que la transita; desplazando el fluido de un punto a otro. Se emplean para bombear toda clase de fluidos, como agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; algunos otros líquidos alimenticios; también se encuentran los sólidos en suspensión como pastas de papel, mezclas, fangos y desperdicios.

##### 2.2.3.1.2. Instalación en serie

Luszczewski (1999) Es cuando las bombas se colocan a lo largo de la misma tubería. En este tipo de instalación el caudal se mantiene constante para todas las bombas y la carga total del sistema de resulta ser la suma de las cargas de cada una de las bombas.

Figura N° 1: Operación de dos bombas en serie



Fuente: Antoni Luszczewski, 1999

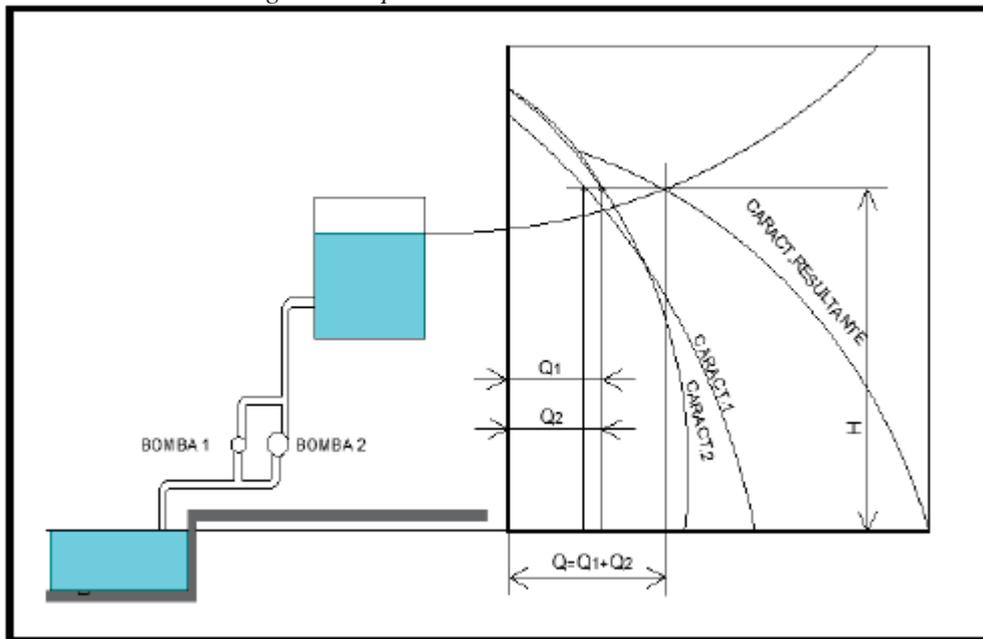
### 2.2.3.1.3. Instalación en paralelo

Luszczewski (1999) Cuando se requiere mayor caudal o por motivos de seguridad se puede emplear dos bombas en paralelo. Para obtener la curva resultante del conjunto de las dos bombas, se suman los caudales de cada bomba para una altura constante.

El punto de operación será en la interceptación entre  $H_{sist.}$  y  $H - Q$  del conjunto de las dos bombas. Para conocer cuánto caudal pasa por cada bomba se traza una línea horizontal por el punto de funcionamiento y los caudales serán aquellos que correspondan a la interceptación de esta línea con la curva  $H - Q$  de cada bomba correspondiente.

Si se desprecian las pequeñas pérdidas que hay entre las salidas de las bombas y el nudo donde se unen, la altura de bombeo es común para ambos.

Figura 2: Operación de dos bombas en serie



Fuente: Antoni Luszczewski, 1999

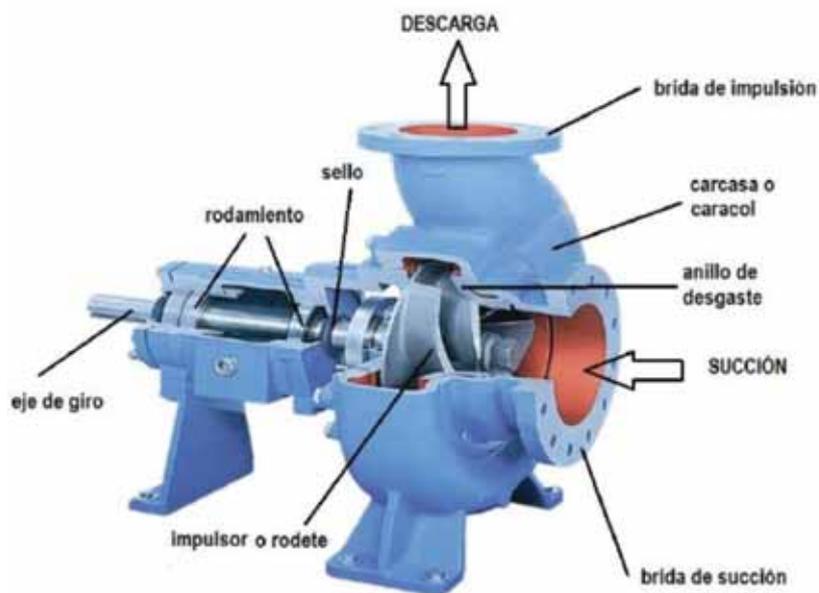
### 2.2.3.1.4. Pozas de bombeo

Son cámaras de forma circular, cuadrada o rectangular (vista de planta) que tienen la función de almacenar el agua, previa a su bombeo. Esta cámara, desde donde parte la tubería que conduce el agua hacia la bomba debe poseer dimensiones mínimas para facilitar el asentamiento de las piezas, evitar grandes velocidades y agitación de las aguas, y permitir el acceso para labores de mantenimiento.

### 2.2.3.1.5. Bomba Centrifuga

Igor, William, Warren y Joseph (1976) Una bomba centrifuga consiste de un juego de alabes rotatorios dentro de un alojamiento, o carcasa, que se utiliza para impartir energía a un fluido por medio de una fuerza centrífuga. En una bomba centrifuga el líquido se fuerza a entrar en un juego de alabes rotatorios, mediante la presión atmosférica o cualquiera otra clase de presión. Estos alabes constituyen un impulsor que descarga el líquido en su periferia a mas alta velocidad. Esta velocidad se convierte en energía de presión por medio de una voluta o mediante un juego de alabes estacionarios de difusión.

Figura 3: Partes de bomba centrifuga



Fuente: Antoni Luzszczewski, 1999

### 2.2.3.1.6. Impulsor

Las bombas Tipo K y Q utilizan el impulsor Centrifugo Helicoidal original de Hidrostal, del tipo abierto de un solo álabe. Su diseño hidráulico le provee de un flujo de aceleración uniforme y sin cambios bruscos de dirección, ideal para el bombeo de líquidos limpios y en especial de sólidos en suspensión acuosa.

El impulsor se fija al eje por medio de un perno central tipo allen y en algunos modelos del tipo K sobre una brida especial que está fija sobre el eje por una chaveta tipo woodruff. Los impulsores tipo K y Q se fabrican en fierro fundido nodular, en aleaciones de alta dureza y en acero inoxidable y están balanceados estática y dinámicamente para un funcionamiento libre de vibraciones.

#### 2.2.3.1.7. Caja y tapa de succión

La caja es del tipo espiral. La succión es axial y la descarga radial. Su diseño “Back Pull Out” permite que el cuerpo de la bomba permanezca sobre su base y empernado a las tuberías durante las reparaciones.

Hay tres tipos de construcción según el material, el tamaño de la bomba y el tipo de aplicación particular:

- Tipo standard: Caja y tapa de succión en dos piezas. (Bombas entre los tamaños E5 a M28, según aplicación y ejecución metalúrgica).
- Tipo C: Caja y sobretapa en una sola pieza provista de camiseta de desgaste fija. (Bombas entre los tamaños C3 a E4).
- Tipo R: Sobretapa con camiseta de desgaste regulable. (Bombas entre los tamaños E5 a M28 según aplicación y ejecución metalúrgica)

#### 2.2.3.1.8. Eje

El eje rectificado de acero al carbono o acero inoxidable, está diseñado para transmitir la máxima potencia solicitada por la bomba con un alto factor de seguridad. El eje va montado sobre rodamientos lubricados con grasa.

#### 2.2.3.1.9. Soporte de rodamientos

De construcción robusta y compacta. Provisto de sellos laberintos para impedir el ingreso de contaminantes a los rodamientos. Los rodamientos son lubricados con grasa y seleccionados para una vida útil de 50,000 horas, a un caudal igual al 50% al caudal del punto de mejor eficiencia. Su configuración permite que la bomba sea instalada en posición horizontal o vertical.

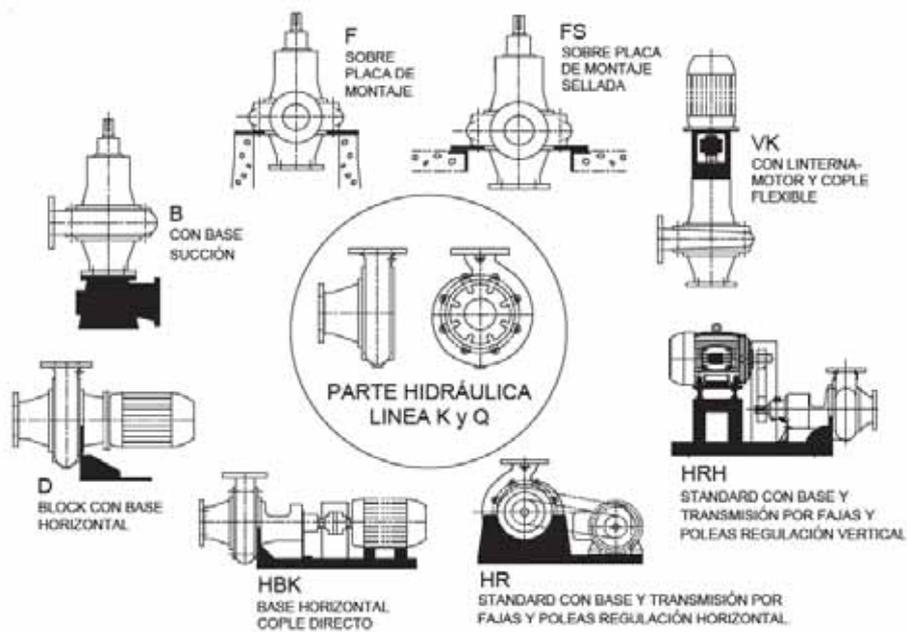
#### 2.2.3.1.10. Sistema de sellado

El sellado en este modelo de bomba se realiza mediante 2 alternativas, (identifique que tipo de sellado posee su bomba):

- Un sistema de prensaestopas, que puede ser lubricado por el mismo fluido de trabajo o por una línea externa de algún líquido limpio.

- Sellos mecánicos instalados en TÁNDEM (uno a continuación del otro), el primero (515) es lubricado por el líquido que se bombea y el posterior (516) se lubrica por el aceite.

Figura 4: Partes de bomba centrífuga



Fuente: Manual de bombas centrífugas Igor J. (1976)

### 2.2.3.2. Diseño de ingeniería de sistema de abastecimiento de agua industrial mediante bomba centrífuga

#### 2.2.3.2.1. Ecuación de la continuidad

El volumen de líquido que pasa a través de una sección transversal de tubería durante un cierto tiempo debe ser igual al volumen que pasa a través de otra sección transversal en el mismo tiempo.

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

Donde:

V= Velocidad (m/s)

A= Área de la tubería (m<sup>2</sup>)

Debe tenerse en cuenta que las velocidades de fluido dentro de la tubería deben estar dentro de un rango recomendado, velocidades muy altas originan problemas de abrasión en la tubería y un consumo excesivo de potencia debido a las altas pérdidas de carga.

#### 2.2.3.2.2. Cálculo de velocidad del fluido

La velocidad media máxima recomendada para sistemas de bombeo según norma ANSI /HI es de 2.7 m/s, pero puede haber algunas variables en las cuales se puede considerar de 3.0 hasta 3.8 m/s como máximo, los criterios de elección del diámetro se basan en un análisis técnico –económico.

Para el cálculo bajo la norma ASTM F-714, se utiliza la siguiente relación:

$$SDR = \frac{DE}{e}$$

Donde:

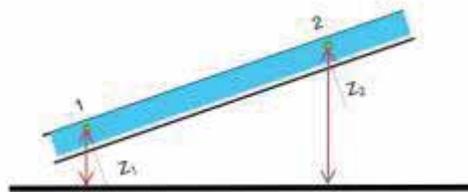
SDR: Relación de dimensión estándar

DE= Diámetro exterior de tubería (m ó mm)

e : Espesor mínimo de la tubería (m ó mm)

#### 2.2.3.2.3. Calculo de conducciones a presión

La ecuación básica utilizada en todos los cálculos hidráulicos a presión en régimen permanente es la ecuación de conservación de energía o ecuación de Bernoulli adaptada a las hipótesis básicas del flujo a presión según (Mott, 1996) es:



$$P_1 + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = P_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

Considerando Q=constante en la entrada y salida

$$V_1 = V_2 \text{ (no hay cambio de sección)}$$

$$P_1 + Z_1 = P_2 + Z_2 + hf$$

Donde:

P1, P2: presión relativa (Pa)

h1, h2: cota en la sección transversal y respecto a una cota de referencia (m)

V1, V2: velocidad media del flujo en la sección transversal. (m)

g: Gravedad (m/s)

f: Coeficiente de fricción (adimensional)

Se puede decir que la carga total de una partícula de agua es igual a la presión en el punto, la energía de posición respecto de un plano de referencia y la componente cinética (dado por la velocidad) más las pérdidas de energía.

#### 2.2.3.2.4. Régimen hidráulico

Movimiento del agua en tuberías el cual está influenciado por el número de Reynolds el cual es un numero adimensional con el cual se puede determinar si es:

Régimen laminar,  $Re < 2000$

Régimen turbulento,  $Re > 4000$

Régimen transitorio,  $2000 < Re < 4000$

La fórmula es la siguiente

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

V: velocidad media del flujo (m/s)

$\nu$ : viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

D: diámetro de tubería (m)

#### 2.2.3.2.5. Cálculo de pérdidas lineales o primarias

Para realizar la valoración de pérdidas lineales por fricción se utiliza la expresión de Darcy Weissbach siendo la más usada en sistemas de bombeo.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

hf: pérdidas lineales por fricción en la tubería

f: coeficiente de fricción (adimensional)

L: longitud de tubería (m)

D: diámetro interno de la tubería (m)

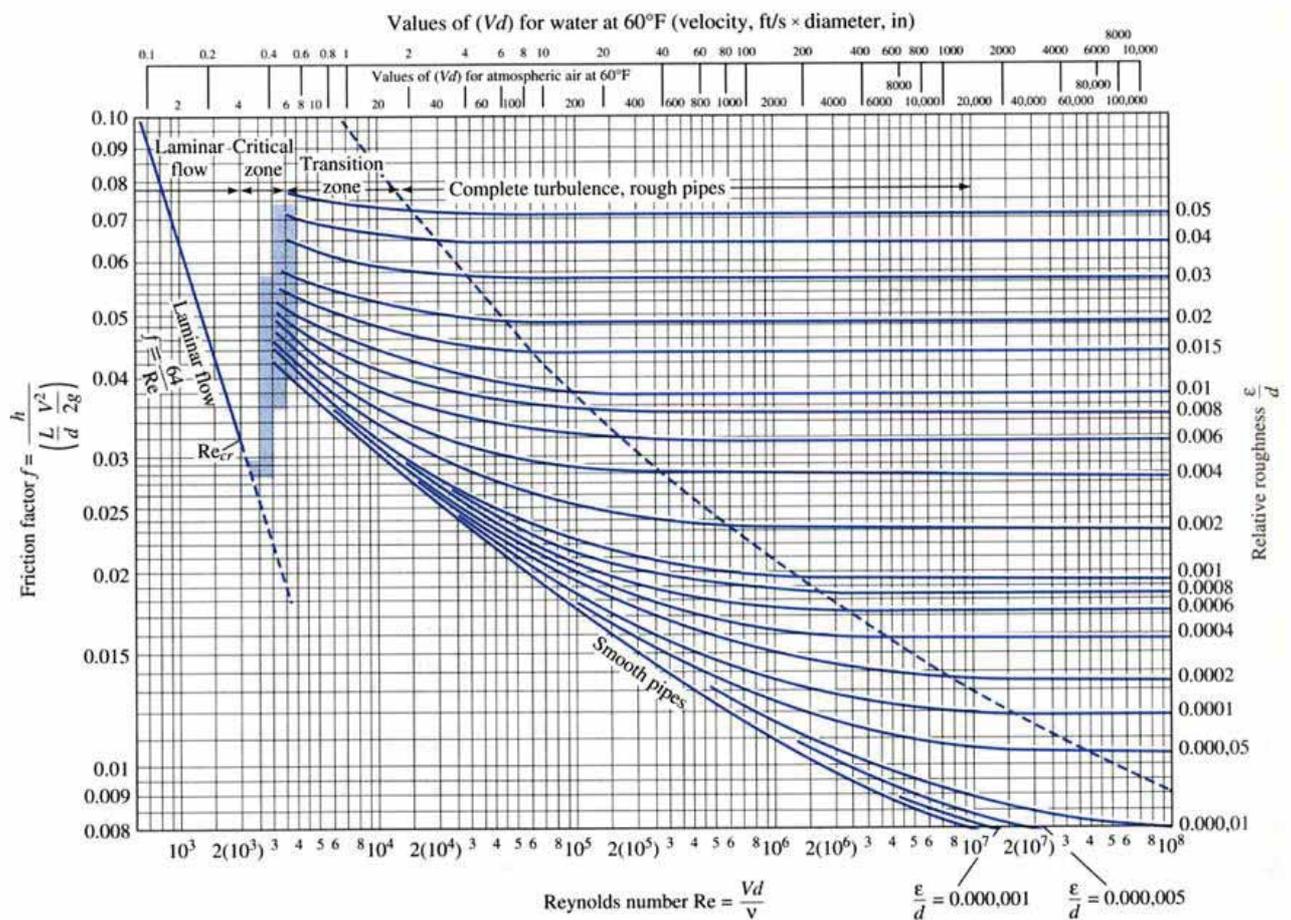
V: velocidad del fluido (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para tuberías lisas o rugosas y en la zona de transición en la zona turbulenta, el coeficiente de fricción se deduce a partir de la fórmula implícita de Colebrook-White:

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

Que proviene del ábaco de Moody:



A manera de simplificar el cálculo de “f” se puede expresar por:

$$f = \frac{0.25}{\left( \log \left[ \frac{k}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right] \right)^2}$$

Donde

f: factor de fricción.

k: rugosidad absoluta

Re: número de Reynolds

Con esta fórmula tiene un error inferior al 1% con respecto a la fórmula de Colebrook para las siguientes condiciones:

$$10^{-6} < \varepsilon < 10^{-2}, \text{ con } 5000 < Re < 10^8$$

#### 2.2.3.2.6. Cálculo de pérdidas locales o secundarias

Son las pérdidas que se generan por los accesorios que comúnmente hay en un sistema de bombeo como Tee, válvulas, codos, etc.

$$h_k = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

K: factor de pérdidas por accesorios

v : velocidad del fluido (m/s)

g : aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

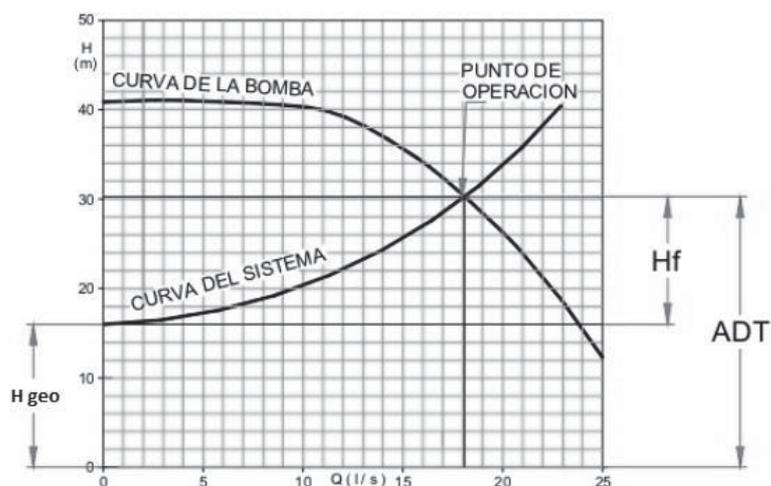
#### 2.2.3.2.7. Altura dinámica total (ADT)

Cuando queremos seleccionar una bomba centrífuga debemos calcular la resistencia al flujo del líquido que ofrece el sistema completo a través de sus componentes,

La bomba debe suministrar la energía necesaria para vencer esta resistencia que está formada por la altura dinámica, más las pérdidas en las tuberías y accesorios. La altura dinámica total es una magnitud generalmente permanece constante para diferentes caudales mientras que la resistencia de las tuberías y accesorios varían con el caudal.

#### 2.2.3.2.8. Curva del sistema – Punto operación

En la mayoría de las instalaciones importantes de equipos de bombeo el flujo de diseño no es continuo; sino que existen variaciones diarias, mensuales y estacionales en dicho flujo. De esta forma no resulta tan fácil hacer una buena selección del sistema de tuberías y del equipo o los equipos de bombeo correspondientes. Es por eso que resulta preferible dibujar curvas del sistema para tuberías cuyo diámetro puede tener varias posibilidades de selección, para luego compararlas con las curvas de las bombas, superponiéndolas a estas, determinando así el punto de operación intersectando tanto la curva de cada bomba con la curva de sistema. De esta manera se elige la combinación sistema- bomba que será capaz de dar mayor caudal con menos potencia y, que se mantenga al mismo tiempo, dentro de las necesidades de variación del flujo previamente especificadas.



### 2.2.3.2.9. Tabla tubería lisa HDPE

Cada tubería HDPE según el SDR que maneja soporta una presión máxima de trabajo, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3: Tubería lisa HDPE

Factor C:1,25		<sup>(a)</sup> Relación estándar de dimensión (SDR)											
		SDR 27.6		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9	
DN (mm)	<sup>(b)</sup> DN equiv. (pulg)	<sup>(c)</sup> Presión Nominal PN											
		6.0 bar		8.0 bar		10,0 bar		12.5 bar		16 bar		20 bar	
		e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)
20	1/2							2.3	15.4	2.3	15.4	2.3	15.4
25	1/4							2.3	20.4	2.3	20.4	2.8	19.4
32	1							2.4	27.2	3.0	26.0	3.6	24.8
40	1 1/4					2.4	35.2	3.0	34.0	3.7	32.6	4.5	31.0
50	1 1/2					3.0	44.0	3.7	42.6	4.6	40.8	5.6	38.8
63	2			3.0	57.0	3.8	55.4	4.7	53.6	5.8	51.4	7.1	48.8
75	2 1/2			3.6	67.8	4.5	66.0	5.6	63.8	6.8	61.4	8.4	58.2
90	3			4.3	81.4	5.4	79.2	6.7	76.6	8.2	73.6	10.1	69.8
110	4	4.0	102.0	5.3	99.4	6.6	96.8	8.1	93.8	10.0	90.0	12.3	85.4
160	6	5.8	148.4	7.7	144.6	9.5	141.0	11.8	136.4	14.6	130.8	17.9	124.2
200	8	7.3	185.4	9.6	180.8	11.9	176.2	14.7	170.6	18.2	163.6	22.4	155.2
250	10	8.2	233.6	11.9	226.2	14.8	220.4	18.4	213.2	22.7	204.6	27.9	194.2
315	12	11.4	292.2	15.0	285.0	18.7	277.6	23.2	268.6	28.6	257.8	35.2	244.6
355	14	12.9	329.2	16.9	321.2	21.1	312.8	26.1	302.8	32.2	290.6	39.7	275.6
400	16	14.5	371.0	19.1	361.8	23.7	352.6	29.4	341.2	36.3	327.4	44.7	310.6
450	18	16.3	417.4	21.5	407.0	26.7	396.6	33.1	383.8	40.9	368.2	50.3	349.4
500	20	18.1	463.8	23.9	452.2	29.7	440.6	36.8	426.4	45.4	409.2		
560	22	20.3	519.4	26.7	506.6	33.2	493.6	41.2	477.6				
630	24	22.8	584.4	30.0	570.0	37.4	555.2	46.3	537.4				
710	28	25.7	658.6	33.9	642.2	42.1	625.8	52.2	605.6				
800	32	29.0	742.0	38.1	723.8	47.4	705.2	58.8	682.4				
900	36	32.6	834.8	42.9	814.2	53.3	793.4						
1000	40	36.2	927.6	47.7	904.6	59.3	881.4						
1200	48	43.4	1113.2	57.2	1085.6								
1400	54	50.6	1298.8										
1600	64	57.9	1484.2										

Fuente: Cidelsa SAC

## 2.2.4. Evaluación económica de abastecimiento de agua industrial

La evaluación de proyectos es el proceso de medición del valor del proyecto a base de la comparación de los beneficios que genera y los costos que se requiere para obtener indicadores de eficiencia en el uso de recursos económicos.

### 2.2.4.1. Flujo de caja

El flujo de caja es un estado de cuenta que resume las entradas y las salidas efectivas de dinero a lo largo de la vida útil del proyecto, el cual permite determinar la rentabilidad de un proyecto.

#### Componentes:

Ingresos del periodo (+)

Inversiones del periodo (-)

Egresos del proyecto (-)

Saldo del periodo (=)

#### Tipos de flujo de caja

Flujo de caja económico: No considera las fuentes de financiamiento.

Flujo de caja financiero: Se considera la inversión que debe realizar el inversionista, además de los intereses pagados.

### 2.2.4.2. Valor Actual neto (VAN)

Se basa en la actualización de los flujos de ingreso y egreso a una tasa de descuento al periodo base con el objeto de medir el uso de recursos.

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{BN}{(1+i)^n} - I_0$$

Donde:

VAN: valor actual neto (\$)

i: tasa de interés (%)

BN: beneficio neto (ingreso – egreso) (\$)

I<sub>0</sub>: inversión inicial (\$)

n: periodo de vida del proyecto (meses o años)

Puede ocurrir:

VAN mayor que cero, el proyecto es viable.

VAN es igual a cero, el proyecto puede o no ser viable.

VAN menor que cero, el proyecto no es viable.

La ecuación es:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{FCN_i}{(1+r)^i} - I_0$$

Siendo FCN: flujo de caja neto, sea económico o financiero

r: tasa de descuento K para el VAN económico, y el K' para el financiero.

n: vida del proyecto en años

I<sub>0</sub>: inversión inicial

#### **2.2.4.3. Tasa de interés de retorno (TIR)**

Indica el rendimiento promedio estimado por periodo que tendrá el proyecto. Indica la tasa con que se recupera la inversión.

$$TIR \text{ es el valor de } i, \text{ cuando } \sum_{n=1}^n \frac{FCN_i}{(1+i)^n} - I_0 = 0$$

$TIR > \text{tasa de descuento (\%)}$

$TIR = \text{tasa de descuento (\%)}$

$TIR < \text{tasa de descuento (\%)}$

#### **2.2.4.4. Selección de la mejor propuesta**

El criterio del VAN tiene una aplicación inmediata. Como la mejor opción desde el punto de vista económico es la de mayor VAN, cualquiera que sea la cuantía de la inversión requerida, la regla de decisión es muy simple: Para que una opción sea satisfactoria económicamente, su VAN ha de ser positivo. La mejor es la de mayor VAN.

El criterio de la TRI ha de aplicarse, en cambio, de forma incremental. Se ordenan las diversas opciones A, B, C, ... por orden de inversión I<sub>a</sub>, I<sub>b</sub>, I<sub>c</sub>, ... creciente. Para cada nivel de inversión satisfactorio económicamente se han de verificar dos condiciones:

- La TIR de la inversión total correspondiente ha de ser mayor que la RMA.
- La TIR de la inversión incremental desde el nivel inmediato inferior ha de ser mayor que la RMA.

La mejor opción desde el punto de vista económico es la correspondiente al mayor nivel satisfactorio.

#### ***2.2.4.5. Metodología de evaluación costo eficiencia***

El Análisis Costo-Eficiencia se realiza para proyectos donde es posible identificar, cuantificar y valorar los costos y, sólo identificar y cuantificar los beneficios del proyecto, esto significa que es imposible, complejo o muy costoso valorar los beneficios.

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Aforar:** Es calcular la capacidad de un recipiente o depósito; es medir el caudal de un corriente de agua o la cantidad de líquido o gas que pasa por una tubería

**Caudal:** Gasto, cantidad de fluido líquido o gaseoso suministrado por un aparato por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo

**Perdida de carga:** Disminución de la presión de un fluido a lo largo de la canalización que lo aleja de su depósito. Las pérdidas de carga se deben al roce de las moléculas del fluido contra las paredes de las canalizaciones. Son agravadas por los codos, los empalmes defectuosos, las variaciones bruscas del diámetro de la tubería, etc.

**Altura Neta Positiva de Aspiración (NPHS):** Del inglés Net Positive Suction Head. Es la diferencia entre la presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, referida en metros; hay que distinguir entre NPHS disponible y NPHS requerido.

**Potencia:** Es la rapidez con la que se realiza cierto trabajo por una unidad tiempo.

### III. CAPITULO III: ÁMBITO DEL ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Aspectos generales del ámbito del estudio

##### 3.1.1. Ubicación

La Unidad Económica Administrativa Huancapeti, está ubicada en los Distritos de Ticapampa y Aija, Provincias de Recuay y Aija del Departamento de Ancash.

El campamento de Hércules tiene las siguientes coordenadas:

##### 3.1.1.1. Coordenadas Geográficas

Longitud Oeste : 77° 33'

Latitud Sur : 9° 46'

##### 3.1.1.2. Coordenadas UTM

Este : 219565

Norte : 8919502.

Altitud : 4,160 msnm

Figura 5: Ubicación de la UEA Huancapeti



Fuente: Planeamiento UEA Huancapeti

### 3.1.2. Ubicación geográfica

La Unidad Minera Huancapeti se encuentra ubicado sobre los terrenos de la Cordillera Negra. En la parte sur de la Región Ancash en el ramal occidental de la Cordillera de los Andes se encuentra constituida por dos subramales, los cuales son: la Cordillera Blanca al lado oriental y la Cordillera Negra en la parte occidental, divididas por el valle del río Santa o Callejón de Huaylas. Los subramales oriental y occidental del sector Centro-Norte de la Cordillera Occidental de los Andes corren paralelos en dirección Sudeste – Noroeste.

La Cordillera Negra es llamada así porque las elevaciones que los constituyen no están cubiertas de nieve. La zona de la Cordillera Negra es el lugar donde se encuentran las concesiones mineras que se estudian, tienen una altitud en la contigua a la Mina Hércules de 4,000 msnm y las cúspides a 4,770 msnm, donde se sitúan Minera Lincuna y cercanamente la planta de tratamiento metalúrgico.

### 3.1.3. Acceso

La vía de acceso, por carretera es:

- Lima - Ticapampa: 375 Km 5 horas
- Ticapampa - Hércules: 30 Km 1 hora

Huaraz, capital del departamento, está al noreste de Ticapampa. La carretera, que une Lima con Huaraz, es una pista asfaltada; mientras la que une Ticapampa con Hércules es afirmada.

### 3.1.4. Hidrología De La Zona de Influencia:

Hidrológicamente la Quebrada Hércules desemboca en el río Aija, perteneciente a la Cuenca Huarmey. Administrativamente se encuentra bajo la jurisdicción de la IV Autoridad Administrativa del Agua –Huarmey Chicama.

*Tabla 4: Parámetros de forma de la Microcuenca Hércules.*

Parámetros Geomorfológicos	Unidades	Microcuenca Hércules
Área de la cuenca	km <sup>2</sup>	3.94
Perímetro	km	9.4
Coefficiente Compacidad (Cc)	-	1.3

Longitud de la cuenca (Lc)	km	3.4
Longitud cauce principal (L)	km	2.85
Factor de Forma (FF)	-	0.35
Cota media	m.s.n.m	4429.56
Longitud mayor (L)	km	3.6
Longitud menor (l)	km	1.1

Fuente: Estudio hidrogeológico U.A. Huancapeti

### **3.2. Geología de la Unidad Huancapeti.**

#### **3.2.1. Geología Regional**

La geología regional en este sector está definida por la “Cordillera de los Andes”, que constituye una unidad definida “geográfica, geomorfológica y geológicamente”. En esta unidad se reconocen los Intrusivos Terciarios correspondientes a cuerpos porfiríticos compuestos por dacitas y riodacitas. Además, se presenta el Grupo Calipuy, el cual se encuentra distribuido a lo largo de la “Cordillera Negra” conformando la parte más elevada, emplazado como una franja de rumbo “NW - SE”, con un ancho variable entre los “25 a 40 Kilómetros”. Debido a la profundidad de los valles transversales correspondientes a los principales ríos como el “Pativilca, Fortaleza, Aija y Pira”, su límite oriental en gran parte lo constituye el río Santa; sin embargo, existen afloramientos de éste Grupo en el extremo Sur de la “Cordillera Blanca y en la Cordillera de Huayhuash”, la potencia del Calipuy según escritos (INGEMMET) es aproximadamente 2000 metros y en algunos lugares hasta 3000 metros de estratos volcánicos variados, los cuales principalmente se constituyen de rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica; también es necesario precisar que son abundantes las lavas andesíticas e ignimbritas dacíticas. La secuencia es extremadamente variable, de manera que una sección medida en cualquier localidad tiene poca semejanza a otra medida en cualquier otro lugar.



Tabla 5: Unidades Litaestratigráfica UEA Huancapeti

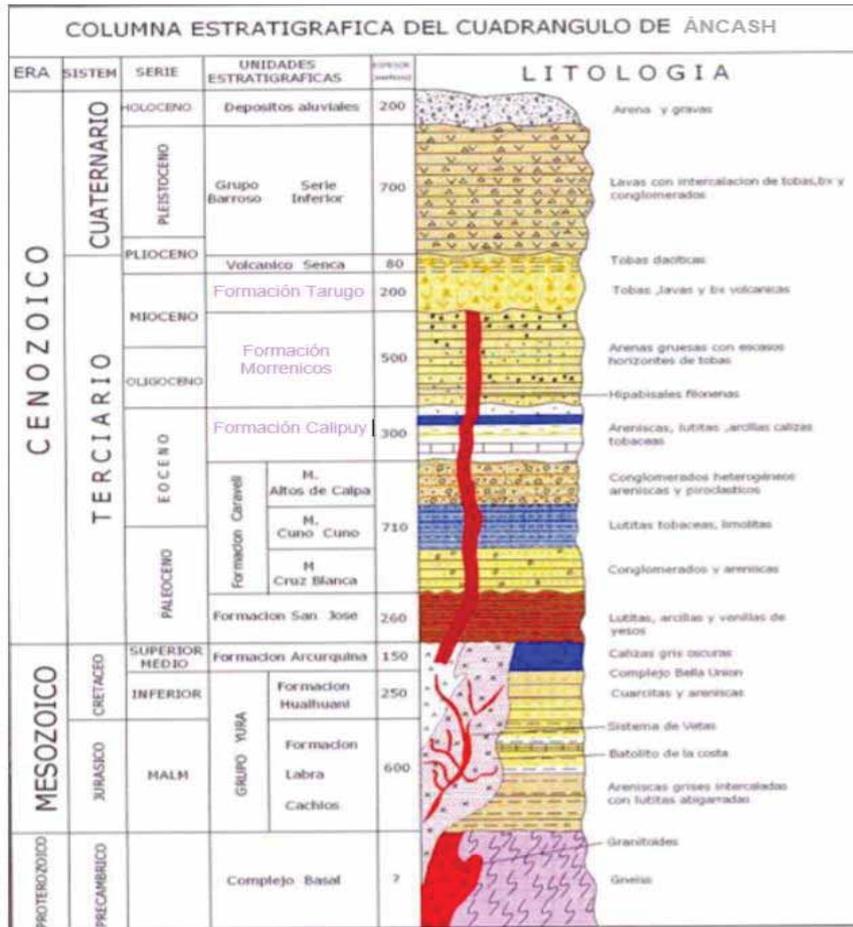
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITAESTRATIGRAFICA	ROCAS INTRUSIRAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Yacimientos fluvioglaciares Yacimientos glaciales Yacimientos Aluviales Yacimientos Coluviales Inconformidad angular	Granodiorita Tonalita Gabro tonalita Granodiorita
		TERCIARIO	Plioceno	
	Mioceno			
	Oligoceno			
	Eoceno			
Paleoceno				
MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Formaciones Pariahuanca, Chulec y Pariatambo Grupo Goyllarisquizga Formaciones Farrat, Carhuazy Santa Formación Chimú	
		Inferior	Formación Oyón	
	Jurásico	Superior	Formación Chicama	

Fuente: Geología

### 3.2.1.1. Estratigrafía en el contexto regional

A nivel regional estratigráficamente el Grupo Calipuy descansa con gran discordancia sobre todas las formaciones mesozoicas. Siendo la unidad más joven la “Formación Casapalca y la Formación Chicama la más antigua”. Se presume que el Grupo Calipuy, fue emplazado después de los periodos de “plegamiento, erosión y levantamiento” que afectaron a las unidades anteriores y que culminaron con una amplia superficie de erosión.

Figura 7: Columna Estratigráfica del cuadrángulo de Ancash.

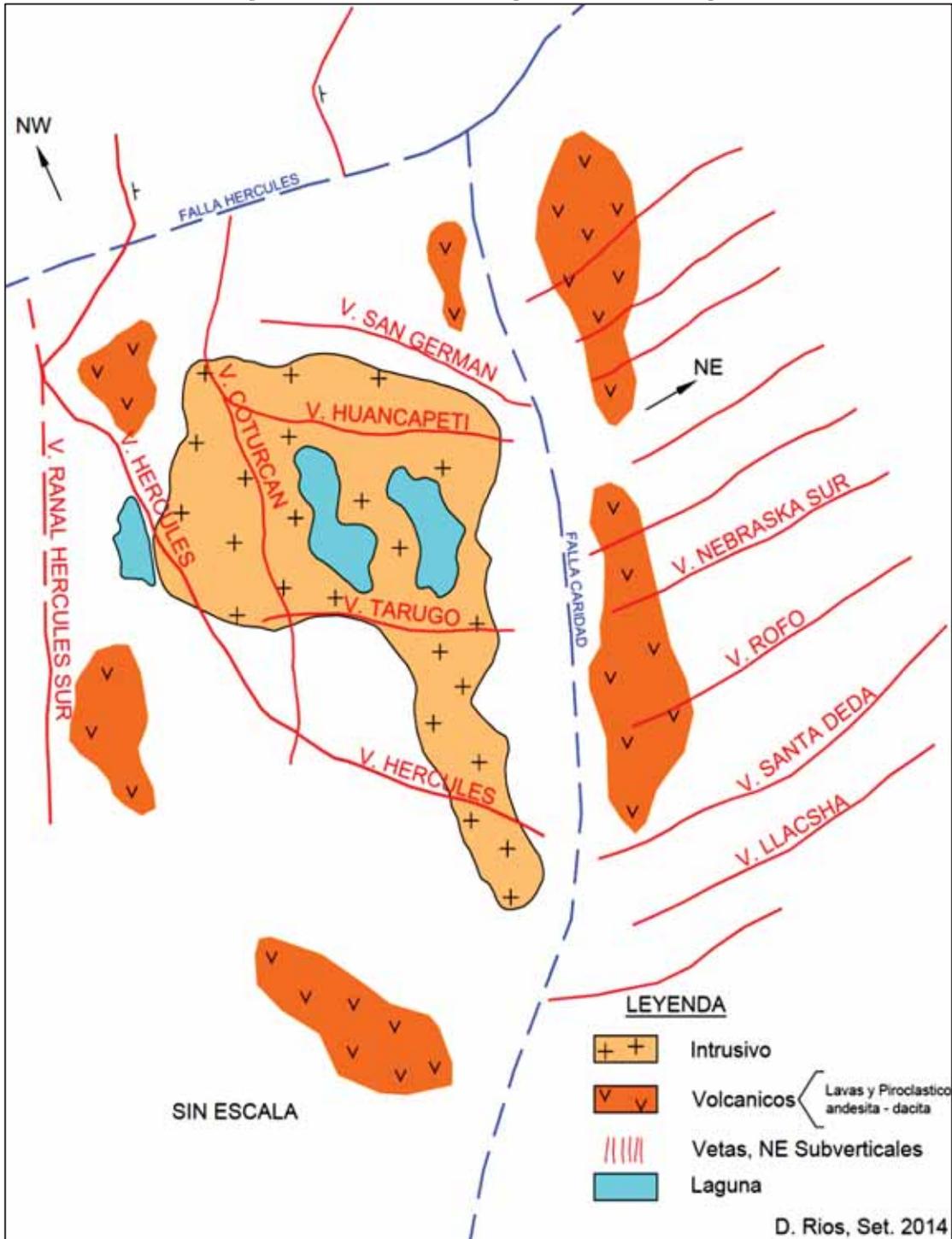


Fuente: Estudio Geomecánico U.A. Huancapeti

### 3.2.2. Geología Local

La presente información está referida al cartografiado “litológico-estructural” correspondiente a los alrededores de la Quebrada Hércules, donde principalmente se emplaza la mineralización de las estructuras “Hércules y Coturcan”, las cuales están asociadas a las fases mineralizantes de los volcánicos del Grupo Calipuy de edad “Oligoceno-Mioceno (Paleógeno)”, típicamente representadas por “flujos lávicos” de composición andesítica y en menor proporción flujos piroclásticos. También es necesario precisar en el área evaluada la ocurrencia de pequeña apófisis de cuerpos porfíricos de composición dacítica: Descripción petrográfica macroscópica). La columna estratigráfica conceptual en el contexto local, está representada por las siguientes unidades litológicas.

Figura 8: Estructuras Principales UEA Huancapeti.



Fuente: Geología de la Cia. Minera Lincuna

### 3.2.2.1. Cenozoico

Andesita Piroclásticas. - Corresponde a un flujo piroclástico de composición andesítica, el que presenta una textura porfírica con abundante presencia de plagioclasas desarrolladas en una matriz microfanerítica de coloración gris violácea a verduzca. Las

morfologías de los cristales de plagioclasas son mayormente sub-hedrales debido al fracturamiento de los mismos, y heterométricos. El afloramiento se observa como una ventana, restringido al área de las lagunas al sur de la quebrada Hércules, enmarcado y delimitado por el volcánico andesítico suprayacente. Su afloramiento es de morfologías prominentes y masivas, debido al alto grado de cementación de la roca. Presenta marcado fracturamiento vertical.

Volcánico Andesítico Inferior. - Corresponde a flujos lávicos de composición andesítica, con texturas mayormente afaníticas a porfiríticas, de coloraciones verdosas a grisáceas. Las rocas están conformadas en su mayoría por cristales de plagioclasas euhedrales. Presenta morfologías agrestes, con sectores escarpados, sin embargo, sus superficies de afloramiento tienden a ser algo redondeadas. Se reconoce en todo el afloramiento la pseudo-estratificación, con ángulos bajos y con direcciones variadas. Aflora en el sector occidental.

Volcánico Andesítico Superior. - Similar que la unidad anterior, corresponde a flujos lávicos andesíticos intercalados en menor proporción con niveles piroclásticos andesíticos y dacíticos bien consolidados. Estas rocas piroclásticas se caracterizan por presentar matriz de coloración violácea a grisácea, en muchos casos leucócrata, con clastos angulosos a subredondeados andesíticos de texturas porfiríticas, además de clastos angulosos de tobas. Sus composiciones van de dacitas a andesitas. A la base de esta unidad se presentan niveles gruesos de brechas piroclásticas de soporte de clastos (foto: 002), heterométricas, y con tamaño máximo de clastos de 25 cm de diámetro. Presentan pseudo-estratificación marcada, con ángulos variados según topografía. Además, el fracturamiento le otorga una morfología abrupta y escarpada, con ciertos sectores más suaves (foto: 003). Se reconoce en el sector oriental del área de estudio con contacto marcado sobre la unidad anterior descrita.

Pórfido Dacítico. - Pequeñas apófisis de cuerpos hipabisales de texturas porfiríticas han sido reconocidas afectando a la unidad volcánica andesítica inferior. Es posible que corresponda a un cuerpo dómico mayor, emplazado a una mayor profundidad. Aflora en el flanco izquierdo aguas abajo de la quebrada Hércules.

### **3.2.2.2. Holoceno.**

Q-Glacial. - Depósitos morrénicos están presentes en toda el área, sobre las laderas y también sobre el mismo valle, dando la morfología de valle glacial en “U”. Estos presentan granulometrías finas.

Q-Aluvial. - Desarrollados sobre las quebradas, las que además están asociadas a drenaje de lagunas en algunos sectores, cubren poca área superficial.

### **3.3. Geología Económica de la Unidad Huancapeti**

reemplazamiento de fracturas en rocas volcánicas e intrusivas. La mineralización es principalmente plata – plomo – zinc – cobre, con galena argentífera, esfalerita, calcopirita, jamesonita, tetraedrita, etc. En ganga de cuarzo, sílice, pirita, arsenopirita, calcita.

Hay dos sistemas principales de afloramientos en vetas:

- Sistema Hércules. - Rumbo N 30° W, buzamiento 45° NE, longitudes de 1 a 4 km; vetas: Hércules, Coturcán, Santa Deda.
- Sistema Tarugo. - Rumbo promedio N 30°- 35° E, buzamiento 80° NW – SW con longitudes de 500 a 20000mts Vetas: Tarugo, Huancapeti, Carpa, Wilson, Tucto, Collaracra, Florida.

#### **3.3.1. Mina Hércules**

Las vetas de esta mina están al piso del contacto de la dacita Hércules con los volcánicos Hércules, la veta principal Hércules A esta en el contacto, mientras que las vetas manto 1, 2, Hércules B están en el volcánico Hércules y forman entre ellas un sistema de vetas ramificadas, que se unen en profundidad. La falla Hércules desplaza a estas vetas, al igual que otras del sistema Tarugo.

#### **3.3.2. Mina Coturcán**

Las vetas de esta mina están al techo de la Dacita Hércules en el contacto con el volcánico Hércules y el pórfido Tarugo. Es afectada también por la falla Hércules. Las vetas Coturcán y Hércules A se unen al sur en Tarugo.

#### **3.3.3. Cuerpo Sanson.**

El cuerpo Sanson, se encuentra limitado por la estructura de veta Hércules y Manto, asociado a la veta en la parte central, además se aprecia disseminaciones en toda el área, además de vetillas, además que pertenecen a otro sistema estructural N35°W. La

mineralización es principalmente plata – plomo – zinc, con galena argentífera, esfalerita, calcopirita, tetraedrita, etc. En ganga de cuarzo, sílice, pirita, arsenopirita, calcita.

#### **3.3.4. Cuerpo Tarugo (Leslie).**

El Sistema Tarugo, es una estructura de Veta-Falla. Con un Rumbo promedio N 30°- 35° E, buzamiento 80° NW – SW con longitudes de 500 a 20000mts de longitud, hacia esta estructura se encuentra asociada la estructura de veta Coturcan, que forma un cuerpo, con estructuras que tienen de rumbo E-W, y con diseminaciones de sulfuros de fierro, galena, esfalerita. Este cuerpo presenta una continuidad de 50.m. en Vertical. La mineralización es principalmente plata – plomo – zinc – cobre, con galena argentífera, esfalerita, calcopirita.

#### **3.3.5. Mineralización**

La mineralización es discontinua y errática; hay dos tipos: a) Mineralización en veta y b) Mineralización en cuerpos.

- Mineralización en Vetas. - Los clavos de mineral están restringidos a vetas individuales, algunas veces en formas de columnas como en Manto 2. En las vetas del sistema Hércules, los clavos de mineral tienen anchos que no sobrepasan los 2.50m, con longitudes entre 40m y 200m, separados por zonas estériles. Hay más de un clavo de mineral, pero también hay uno solo conocido, como en Florida, Jesús, Wilson.
- Cuerpos De Mineral. - Estos se han formado por la proximidad de dos vetas, como aquellos entre las vetas “Hércules A” y “Manto 2” o por la presencia de un ramal de vetas como Manto 2A, por la unión de dos vetas principales como Hércules A y Manto 2 en su extremo sur, por la intersección con una falla como en Huancapeti y Hércules.
- Cuerpo Sansón. - El cuerpo Sanson, se encuentra limitado por la estructura de veta Hércules y Manto, asociado a la veta en la parte central, además se aprecia diseminaciones en toda el área, además de vetillas, además que pertenecen a otro sistema estructural N35°W. La mineralización es principalmente plata – plomo –

zinc, con galena argentífera, esfalerita, calcopirita, tetraedrita, etc. En ganga de cuarzo, sílice, piritita, arsenopirita, calcita.

- Cuerpo Tarugo (Leslie).- El Sistema Tarugo, es una estructura de Veta-Falla. Con un Rumbo promedio N 30°- 35° E, buzamiento 80° NW – SW con longitudes de 500 a 20000mts de longitud. hacia esta estructura se encuentra asociada la estructura de veta Coturcan, que forma un cuerpo, con estructuras que tienen de rumbo E-W, y con diseminaciones de sulfuros de fierro, galena, esfalerita. Este cuerpo presenta una continuidad de 50.m. en Vertical. La mineralización es principalmente plata – plomo – zinc – cobre, con galena argentífera, esfalerita, calcopirita.

### 3.3.6. Reservas mina

*Tabla 6: Resumen de reservas mina*

Zona	Reserva	Reserva TM	Potencia (m)	Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Cu %	As %	VPT \$/tm	Dilución %
Caridad	Probado	493,440.00	2.64	3.92	1.39	1.72	0.02	1.89	85.82	28%
	Probable	394,622.00	2.41	4.15	1.32	1.65	0.02	1.35	87.66	28%
Total Caridad		888,062.00	2.53	4.04	1.36	1.69	0.02	1.62	86.74	28%
Coturcan	Probado	467,683.00	3.22	2.67	1.68	1.68	0.03	1.77	71.06	24%
	Probable	761,512.00	5.85	2.56	1.59	1.70	0.03	1.74	68.76	20%
Total Coturcan		1,229,195.00	4.54	2.62	1.64	1.69	0.03	1.76	69.91	22%
Hercules	Probado	1,196,864.00	8.49	2.03	1.50	2.05	0.05	1.70	63.90	11%
	Probable	997,342.00	4.71	2.21	1.19	1.87	0.04	1.60	61.15	15%
Total Hercules		2,194,206.00	6.60	2.12	1.35	1.96	0.05	1.65	62.53	13%
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>4,311,463.00</b>	<b>4.55</b>	<b>2.92</b>	<b>1.45</b>	<b>1.78</b>	<b>0.03</b>	<b>1.68</b>	<b>73.06</b>	<b>21%</b>

Fuente: Planeamiento UEA Huancapeti

## 3.4. Minería de la Unidad Huancapeti

### 3.4.1. MINA

La Compañía Minera Lincuna S.A. explotará minerales polimetálicos mediante métodos de minado subterráneo, la explotación de los minerales se realizará en las zonas Hércules, Coturcán y Caridad.

### ***3.4.1.1. Método de Explotación***

La explotación del yacimiento de la Veta Huancapeti – Mina Caridad, es mediante el sistema de minado subterráneo, inicialmente esta mina fue explotada mediante la aplicación del método “Shirinkage Convencional” como se puede apreciar en los niveles superiores de la Mina Caridad. Actualmente la empresa minera desarrolla la explotación subterránea mediante la aplicación del método “Corte & Relleno Ascendente con su variante de perforación en Realce, así mismo se continua en algunos blocks la aplicación del método “Corte & Almacenamiento Provisional” (shirinkage mecanizado). Los aspectos generales de los métodos aplicados actualmente se resumen líneas abajo.

#### ***3.4.1.1.1. Método de Explotación “Corte y Relleno Ascendente”***

Este método de explotación, el mineral es extraído por franjas horizontales empezando de la parte inferior y avanzando verticalmente hacia la parte superior de los tajos. Luego de cada corte de mineral y una vez extraído completamente el mineral del tajo, se rellena el volumen correspondiente con relleno hasta tener una altura de perforación adecuada.

La particularidad del método así conceptualizado en esta Mina considera la aplicación del material estéril (desmante) como “RELLENO DETRITICO”. El relleno cumple dos funciones: proporcionar un nuevo piso de trabajo y el de dar sostenimiento a la labor. Este desmante es obtenido en los frentes de avance que se desarrollan en distintos niveles y rampas de profundización, los cuales son estratégicamente acopiados en cámaras cercanas a los “Tajos” desde éstas cámaras el desmante será distribuido a los “Tajos” usando equipos “LHD” según requerimientos de relleno.

#### ***3.4.1.1.2. Método de Explotación “Almacenamiento Provisional – Shirinkage”***

Este método de explotación por almacenamiento provisional conocido también como "shrinkage stoping", es utilizado en vetas de buena ley con buzamientos pronunciados (mayores a 60°) lo suficientemente resistente como para mantener sin soporte tanto las rocas encajonantes como el techo del tajeo.

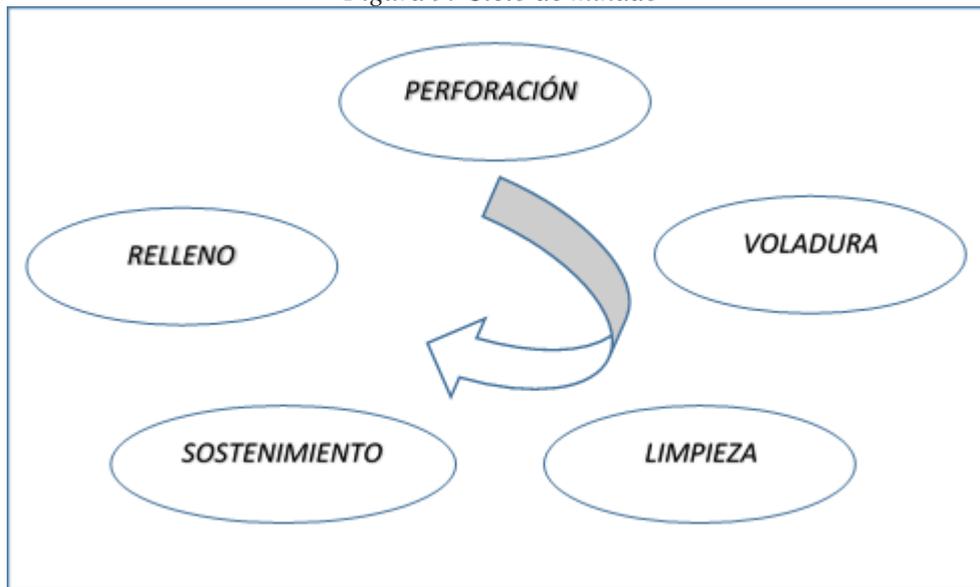
Este método consiste en arrancar el mineral en franjas horizontales, comenzando de la parte baja hacia arriba. El mineral disparado es utilizado como plataforma de trabajo, así como también para soportar las rocas encajonantes del tajeo. El corte del mineral incrementa el volumen en más o menos 30 a 40%; por lo que para conservar la distancia del piso al techo es necesario extraer el exceso de mineral para continuar con el ciclo

siguiente; esto implica que un 60 a 65% de mineral queda en el tajeo hasta que este haya alcanzado toda su altura útil.

### 3.4.1.2. Operaciones Unitarias

Las Operaciones Unitarias en la mina Caridad son perforación, voladura, limpieza, sostenimiento y relleno, se realiza según el diagrama que se muestra.

Figura 9: Ciclo de minado



Fuente: Planeamiento

#### 3.4.1.2.1. Perforación

La perforación es parte principal del ciclo de minado, siendo el inicio de la operación unitaria, se realiza con máquinas Jackleg, con Jumbos DD-210 y Boomer electrohidráulicos (Sandvick y Atlas Copco), con una longitud de perforación 3.30 m y con un diámetro de taladro de 45 mm. Para el sostenimiento se usan las maquinas Jackleg con una longitud de perforación 8 pies, con diámetro de taladro de 38 mm.

La perforación se realiza de acuerdo a las plantillas elaboradas con criterio técnico y así mantener una correcta inclinación, profundidad y paralelismo de los taladros.

Los tipos de perforación en las labores mineras son:

- Tipo Vertical o Realce
- Tipo Horizontal o Breasting.

#### 3.4.1.2.2. Voladura

La voladura es una operación unitaria muy importante y necesaria, de acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de los taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinara este material, lo que calificara a la mejor fragmentación. Así en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminación en las plantas METALÚRGICAS.

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca.

La voladura en la Mina Caridad se realiza con equipos de carguío Jetanol (Cargador de Anfo), con capacidad de porongo de 100 kg.

#### 3.4.1.2.3. Acarreo y Limpieza

Para la Limpieza de labores de mineral y desmonte se emplean equipos diesel (minería trackles) que permiten alcanzar una mayor productividad en el desarrollo de las actividades mineras, en este caso la CMLSA cuenta con maquinarias como son: 02 Scoops Caterpillar R1300G de 4,2 yd<sup>3</sup>, 03 Scoop R1600G de 6,0 yd<sup>3</sup>, 01 Scoop LH-203 de 2,2 yd<sup>3</sup> y 01 Scoop Eléctrico MTI 125E de 1.2 yd<sup>3</sup> teniendo un total de 07 Scoops pertenecientes a la Compañía. También es considerado dentro de la flota los equipos pertenecientes a las contratistas las cuales son: 02 Scoops R1300G 4,2 yd<sup>3</sup> (Contrata Oro de los Andes), 01 Scoop R1600G 6.0 yd<sup>3</sup> y 01 Scoop Yarvis 3.5 yd<sup>3</sup> (Contrata Servitral). Siendo 11 equipos de limpieza, así estos equipos sirven para poder realizar la limpieza

del frente donde se realizó la voladura, para luego realizar la acumulación o el carguío directo hacia los volquetes para la extracción del material desmonte o mineral.

#### *3.4.1.2.4. Transporte*

Para el transporte del mineral y del estéril desde la estación de carguío y su extracción final hasta la superficie, se utilizará el tipo adecuado de maquinaria, seleccionado en base a estudios de tiempos, capacidad de producción y experiencia adquirida.

El transporte por volquetes es una de las maneras más eficientes de mecanizar el sistema de acarreo pues presentan gran flexibilidad para este.

Las características que se deben tener para este tipo de transporte se detallan a continuación:

- Vías en buen estado de mantenimiento, para minimizar el costo por las llantas y optimizar los tiempos de transporte.
- Estaciones de carguío tanto para el mineral como para el desmonte, que tengan una ubicación estratégica.
- Pendientes no mayores a +/- 12%,
- El transporte se realizará con camiones Volvo FM de 8 m<sup>3</sup> de capacidad con una velocidad promedio de 10 Km/h en interior mina.

#### *3.4.1.2.5. Sostenimiento*

En la mina Caridad el sostenimiento es una de las operaciones unitarias de mayor importancia debido a que la empresa invierte una suma considerable para su desarrollo. La actividad de realizar sostenimiento de una labor minera, es la etapa en la que se remedia y/o controla la inestabilidad del macizo rocoso, el sostenimiento es la garantía de una labor segura, cumpliendo de esta manera con las Normas de Seguridad para el laboreo minero.

En la Mina Caridad, es parte de la operación unitaria realizar el sostenimiento, empleando para este fin elementos de sostenimiento como;

- Perno de varilla cementados o con resina.
- Pernos Hidarbolt
- Pernos Split Set
- Mallas Electrosoldadas

- Concreto Lanzado (Shotcrete)
- Cimbras Metálicas.

#### 3.4.1.2.6. Relleno

El tipo de relleno que se utiliza en la mina Caridad es el detrítico. El material para el relleno se obtiene de los avances en desmonte; este desmonte es llevado a puntos estratégicos con volquetes y posteriormente hacia los tajos con scoop.

Un análisis básico y elemental para ver el requerimiento de relleno en los tajos es “metros de avance vs tonelaje de mineral programado”. Según apreciaciones visuales existe mayor desmonte del requerido como relleno en los tajos, esto explica del porqué del crecimiento del Botadero Bocamina Caridad.

#### 3.4.1.3. *Servicios Auxiliares*

- **Sistema de Aire Comprimido**

Para las labores en interior mina uno de los elementos importantes es el aire comprimido; que sirve para las tareas de perforación de los frentes y tajos; el aire comprimido es utilizado en máquinas perforadoras como JACKLEG, para chimeneas, sostenimiento, avances y/o rotura dependiendo del plan de minado.

Por ser para labores de perforación es importante mantener permanentemente los servicios del aire comprimido, que es llevado por tuberías con diámetro de 6”, 4” y 2” respectivamente cuyo material es de polietileno.

- **Sistema de Red de Agua**

El Agua constituye un elemento fundamental para el proceso de Minado, es útil para la perforación, riego en las labores disparadas, etc. El agua se puede captar de distintos puntos, en Minería subterránea existe presencia de filtraciones, esto captado estratégicamente se puede utilizar en la operación, es importante tener un sistema de captación de éstas aguas utilizadas que drenan, esto con fines Medio Ambientales. El sistema de red de agua para la mina está instalado en las rampas

Principales mediante tuberías que ingresan por chimeneas para acortar la distancia, de los cuales se realizan los empalmes para las Labores. El sistema de bombeo para recircular el agua de la Mina Caridad, cuya bomba de capacidad 50 Hp, está instalada en superficie captando el agua de interior mina y bombeando a una altura de 50 metros en vertical, el

ingreso del agua es por tubería de 2", teniendo como ingreso principal la bocamina del Niv. 4450, teniendo de este modo mayor presión para los niveles inferiores. Para las labores superiores es captado estratégicamente de las filtraciones.

Las filtraciones de las aguas subterráneas son captadas por canales de drenaje que son dirigidos hacia 03 pozas de sedimentación, para luego estas aguas una vez sedimentadas sean utilizadas como agua industrial en la zona superior de la mina Caridad, en sus operaciones mina.

- **Sistema de Alimentación de Energía**

El Sistema Principal de Alimentación en Media Tensión, La Compañía Minera Lincuna SA, tiene contrato de suministro de energía eléctrica con dos líneas primarias independientes en tensiones de 13.8kV – Hidrandina y 22.9kV – propiedad de Lincuna, con el fin de asegurar el suministro continuo, evitando pérdidas en el proceso dentro de sus operaciones.

Con las dos líneas de alimentación principal en 13.8kV y 22.9kV, se maneja tres alternativas de alimentación a nuestras subestaciones principales de acuerdo al diagrama unifilar de la Mina caridad.

#### 3.4.1.3.1. Ventilación de Minas

- **Circuito Principal de Ventilación**

El sistema de ventilación en la mina CARIDAD es MECANIZADA, se tiene extractores que fuerzan el ingreso de aire limpio desde la bocamina recorriendo labores principales hasta su salida a superficie.

- **Circuito Auxiliar de Ventilación**

Está conformada por todas las labores de avance en frente ciego, es decir para ventilar labores ciegas se emplean ventiladores eléctricos de 125hp, 75hp, 50hp y 40hp de capacidad 80000 CFM, 50000 CFM, 40000 CFM, 30000 CFM, ubicados en circuitos principales para captar aire fresco y llevarlo hacia el frente de trabajo mediante mangas de ventilación de 28" Ø, 24" Ø y 18" Ø.

- **Balance De Ventilación Actual – Caridad**

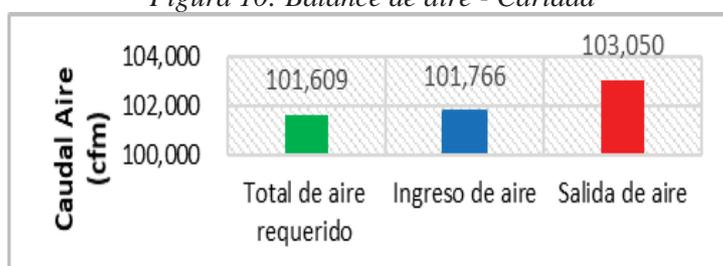
Considerando los requerimientos la cobertura en condiciones actuales del sistema de ventilación está en 100.2%, teniendo un superávit de 157 cfm.

Tabla 7: Balance total de aire

Balance Total de Aire		
Distribución de Aire	m3/min	cfm
Total de aire requerido	2,877	101,609
Ingreso de aire	2,882	101,766
Salida de aire	2,918	103,050
<b>Cobertura (%)</b>		<b>100.2%</b>
<b>Superavit (cfm)</b>	<b>4</b>	<b>157</b>

Fuente: Servicios de la U.M. Caridad

Figura 10: Balance de aire - Caridad



Fuente: Servicios de la U.M. Caridad

- **Requerimiento de aire para personal**

Este requerimiento se ha calculado considerando por separado, el personal de compañía y las diferentes empresas contratistas mineras y conexas que laboran en interior mina, con el criterio de priorizar las guardias de mayor afluencia de trabajadores. Teniendo presente que, para una altitud de 4300 msnm, el caudal requerido por persona es de 6 m3/min se evaluaron:

Tabla 8: Requerimiento de aire para personal - Caridad

Empresa	Area	Total/ gd	Caudal (m3/min)	Caudal (cfm)	Distrib. (%)
COMPAÑÍA	Geología	2	12	424	4%
	Mantenimiento	3	18	636	6%
	Mina	2	12	424	4%
	Seguridad	1	6	212	2%
	Planeamiento	2	12	424	4%
	Ventilación	1	6	212	2%
	Mantenimiento Eléctrico	3	18	636	6%
	Servicios	6	36	1,271	11%
URQU SAC	TOTAL	29	174	6,145	55%
MULTICOSAILOR	Operador de Volquete	2	12	424	4%
	Supervisión	2	12	424	4%
<b>TOTAL</b>		<b>53</b>	<b>318</b>	<b>11229.85</b>	<b>100%</b>

Fuente: Servicios de la U.M. Caridad

- **Requerimiento de aire para equipos petroleros**

Para su cálculo previamente se ha determinado los factores de disponibilidad mecánica, factor de utilización y el factor de corrección por altitud.

*Tabla 9: Requerimiento de aire para equipos petroleros*

Ítem	Equipo	Cant.	Potencia efectiva (HP)	DM (%)	FU (%)	Sub total HP	Caudal (m3/min )	Caudal (cfm)	Distrib. (%)
1	SCOOP	1	126	90%	80%	91	273	9,641	13%
2	SCOOP	1	128	85%	80%	87	261	9,217	12%
3	SCOOP	1	131	86%	77%	87	261	9,217	12%
4	JUMBO	1	52	91%	63%	30	90	3,178	4%
5	JUMBO	1	68	81%	65%	36	108	3,814	5%
6	JUMBO	1	52	91%	65%	31	93	3,284	4%
7	Volquete	1	352	80%	40%	113	339	11,971	16%
8	Volquete	1	352	80%	40%	113	339	11,971	16%
9	Camioneta	1	116	80%	50%	46	138	4,873	6%
10	Camioneta	1	116	80%	50%	46	138	4,873	6%
11	Camioneta	1	114	80%	52%	48	144	5,085	7%
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>	<b>1608</b>	<b>80%</b>	<b>60%</b>	<b>728</b>	<b>2,184</b>	<b>77,126</b>	<b>100%</b>

Fuente: Servicios de la U.M. Caridad

## IV. CAPITULO IV: EVALUACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

### 4.1. Demanda de agua industrial en la Zona Caridad

El agua es fundamental en el proceso de minado en la Mina Caridad, ya que se utiliza principalmente en la perforación, riego de las labores y en otras actividades.

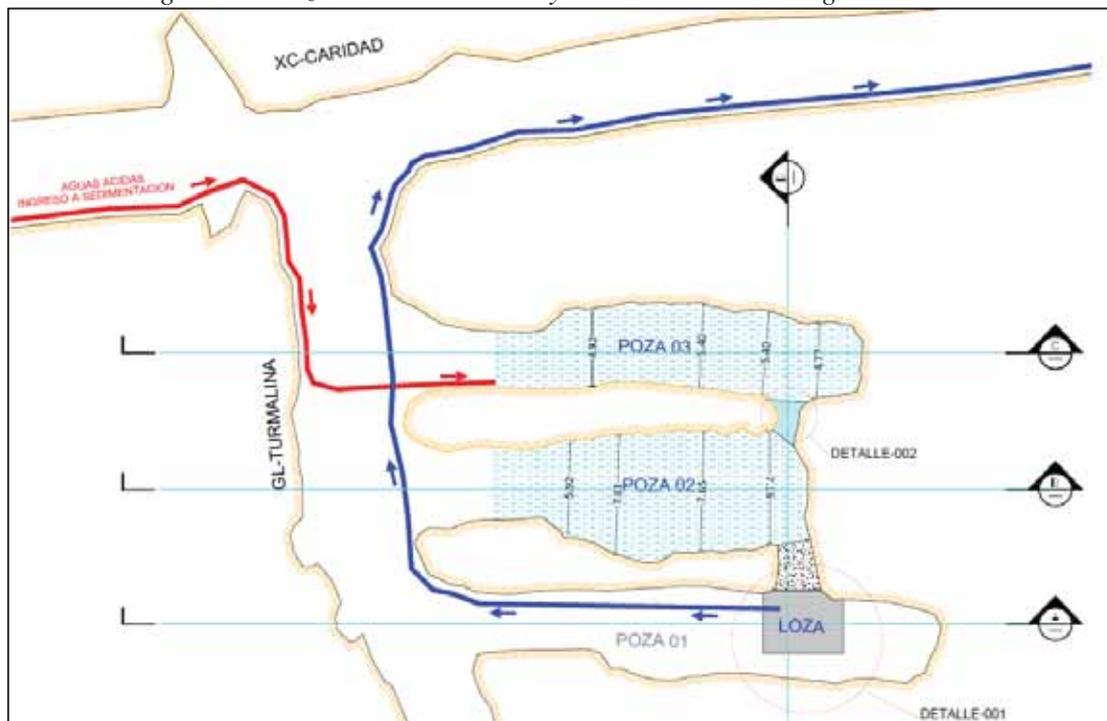
El agua industrial utilizada en la mina es recolectada de las filtraciones de aguas subterráneas, en pozas, para posteriormente ser trasladadas mediante camiones cisterna hasta la parte superior donde se tienen 4 tanque de Rotoplas de 10000 litros y uno de 25000 litros, de los cuales son distribuidos por tuberías ya instaladas desde los tanques hasta interior mina. El cual se ilustra en la imagen 4.

#### 4.1.1. Almacenamiento de agua industrial

##### 4.1.1.1. Poza de sedimentación

En la zona caridad se construyó las pozas de sedimentación, las cuales almacenan aguas industriales subterráneas, el cual está constituida por 3 pozas, dos de ellas almacenan el agua industrial y una es la que distribuye el agua ya sedimentada.

Figura 11: Poza de sedimentación y almacenamiento de agua industrial



Fuente: Planeamiento



- Capacidad de Rotoplast : 65000 litros
- Capacidad de llenado : 90%
- Capacidad real : 58500 litros

*Imagen 3: Tanques de almacenamiento de agua industrial*



Fuente: Propia

#### 4.1.2. Calculo de demanda de agua industrial

La demanda de agua industrial en la mina Caridad, está dada por el requerimiento de los equipos que se describen:

*Tabla 10: Demanda de agua por equipos*

Equipo	Cantidad	Requerimiento	Requerimiento	Total
		por equipo	por guardia	
		l/seg	h/guardia	l/guardia
Jumbo N° 9	1	1.10	4.50	17,820.00
Robolt N° 20	1	1.30	5.00	23,400.00
Simba N° 18	1	1.50	5.00	27,000.00
Jack Leg	1	0.50	4.00	7,200.00
Diamec	1	0.70	5.00	12,600.00
Regado y otros	6	1.20	0.25	1,080.00
<b>Total consumo</b>				<b>89,100.00</b>

Fuente: Mina Caridad

La mina caridad tiene dos guardias por día por lo que se tiene una demanda de agua industrial de 178,200 litros por día.

$$Demanda = 178200 \frac{l}{dia} * \frac{m^3}{1000l}$$

$$Demanda = 178.20 \frac{m^3}{dia}$$

#### 4.1.2.1.1. Demanda anual de agua industrial

La demanda anual se realiza considerando 30 días por mes y 12 meses por año.

$$Demanda_{anual} = 178200 \frac{l}{dia} * 30 \frac{dia}{m} * 12 \frac{m}{año}$$

$$Demanda_{anual} = 64'152,000 l/año$$

Estos representados en metros cúbicos:

$$Demanda_{anual} = 64'152,000 \frac{l}{año} * \frac{1m^3}{1000l}$$

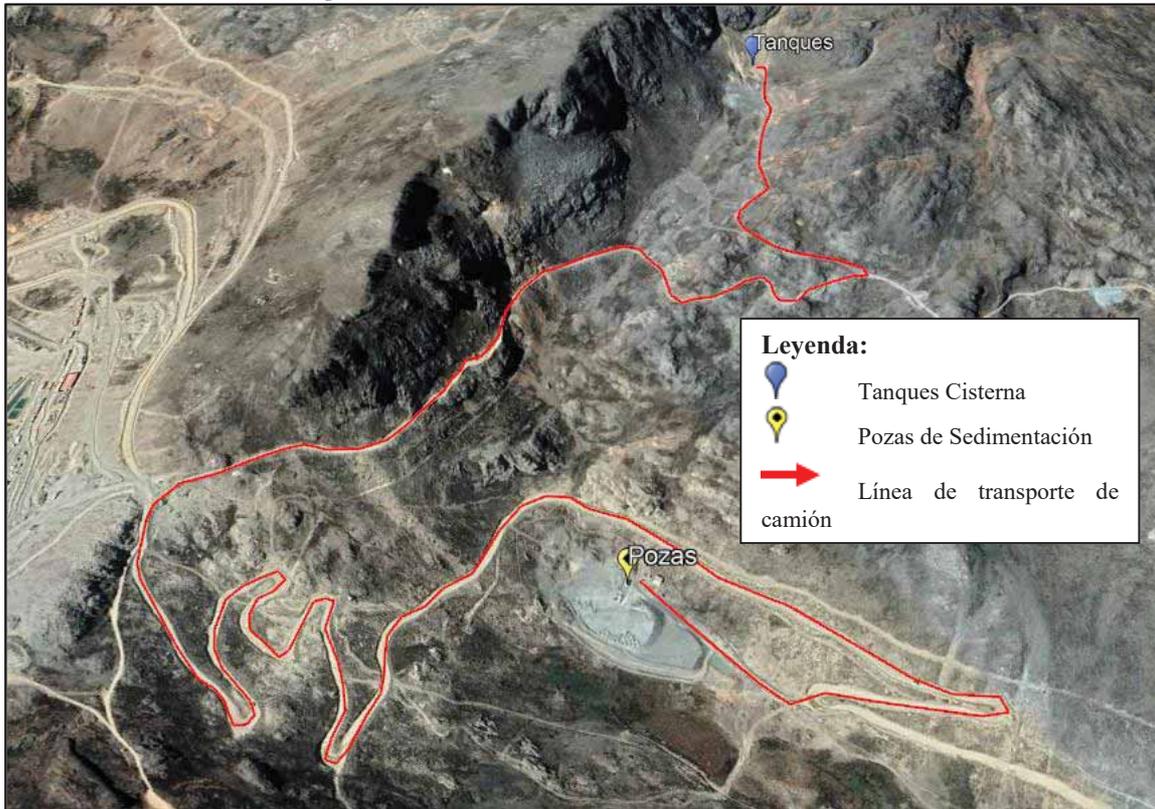
$$Demanda_{anual} = 64,152 \frac{m^3}{año}$$

## 4.2. Propuesta de abastecimiento de agua industrial

### 4.2.1. Distancia de traslado de agua industrial mediante camión cisterna

El traslado del agua industrial de la poza de sedimentación hacia los tanques (figura 11), es de 4.17 km, por una carretera afirmada, donde la cisterna circula a una velocidad mínima de 15 km/hr, por las pendientes que tiene la carretera.

Imagen 4: Trazo de recorrido de camión cisterna



Fuente: Google Earth 2021

#### 4.2.2. Capacidad de almacenamiento del camión cisterna

La capacidad de almacenamiento del camión cisterna es como se describe:

- Capacidad real de la cisterna: 18,927.00 litros/camión
- Porcentaje de uso de cisterna: 90%
- Volumen de descarga a los tanques: 17,034.30 litros/camión

#### 4.2.3. Cálculo del tiempo del ciclo de transporte del agua industrial

##### 4.2.3.1. Tiempo de llenado de la cisterna

Para el llenado de la cisterna que tiene una capacidad real de 18,927 litros, se utiliza una bomba de caudal de 6 l/s.

$$t_{\text{llenado}} = \frac{V}{Q}$$

Donde:

$t_{\text{llenado}}$  : Tiempo de llenado del cisterna (hr)

V : Volumen real del Cisterna (l)

Q : Caudal de llenado del cisterna (l/s)

$$t_{\text{llenado}} = \frac{18,927}{6}$$
$$t_{\text{llenado}} = \mathbf{0.876 \text{ hr/viaje}}$$

*Imagen 5: Llenado de agua industrial al cisterna*



Fuente: Propia

#### ***4.2.3.2. Tiempo de viaje desde el pozo hasta la cisterna de almacenamiento***

El traslado del agua industrial hasta los tanques de Rotoplast recorre una distancia de 4.170 km, este a una velocidad de desplazamiento de 15 km/hr

$$t_{\text{traslado}} = \frac{L}{v}$$

Donde:

$t_{\text{traslado}}$  : Tiempo de traslado del agua industrial (hr)

L : Longitud de traslado (km)

v : Velocidad de traslado del cisterna (km/hr)

$$t_{\text{traslado}} = \frac{4.170}{15}$$
$$t_{\text{traslado}} = \mathbf{0.278 \text{ hr/viaje}}$$

Imagen 6: Traslado de agua industrial al tanque



Fuente: Propia

#### 4.2.3.3. Tiempo de descarga de la cisterna

Para la descarga de la cisterna que tiene una capacidad de descarga de 17,034.30 litros, a un caudal de 6 l/s.

$$t_{descarga} = \frac{V}{Q}$$

Donde:

$t_{descarga}$  : Tiempo de descarga del cisterna (hr)

V : Volumen real del Cisterna (l)

Q : Caudal de descarga del cisterna (l/s)

$$t_{descarga} = \frac{17,034.30}{6}$$

$$t_{descarga} = 0.789 \text{ hr/viaje}$$

*Imagen 7: Descarga de agua a los tanques*



Fuente: Propia

#### ***4.2.3.4. Tiempo de regreso***

El retorno del camión cisterna a las pozas de sedimentación recorre una distancia de 4.170 km a una velocidad de desplazamiento de 20 km/hr

$$t_{regreso} = \frac{L}{v}$$

Donde:

$t_{regreso}$  : Tiempo de regreso del cisterna (hr)

L : Longitud de traslado (km)

v : Velocidad de traslado del cisterna (km/hr)

$$t_{regreso} = \frac{4.170}{20}$$

$$t_{regreso} = \mathbf{0.209 \text{ hr/viaje}}$$

#### ***4.2.3.5. Tiempo neto del ciclo por camión***

$$t_{neto} = t_{llenado} + t_{traslado} + t_{descarga} + t_{regreso}$$

$$t_{neto} = 0.876 + 0.278 + 0.789 + 0.209$$

$$t_{neto} = \mathbf{2.152 \text{ hr/viaje}}$$

#### 4.2.3.6. Tiempo total por guardia

Según el cálculo de número de viajes por guardia de la cisterna para satisfacer la demanda de consumo de agua de la mina caridad este es de 5 viajes por guardia.

- Cálculo de números de viajes:

$$\# \text{ de viajes/guardia} = \frac{89100.00 \text{ l/guardia}}{17034.30 \text{ l/viaje}}$$

$$\# \text{ de viajes/guardia} = 5.23 \text{ viajes/guardia}$$

$$\# \text{ de viajes/guardia} = 5.0 \text{ viajes/guardia}$$

Realizando el cálculo de tiempo total por guardia:

$$t_{guardia} = 2.152 \frac{h}{viaje} * 5.0 \frac{viajes}{guardia}$$

$$t_{guardia} = 10.76 \text{ h}$$

Teniendo en consideración que la Mina Caridad opera en 2 guardias la cisterna trabaja los 2 turnos con diferentes operadores.

#### 4.2.3.7. Resumen de tiempos del camión cisterna

Tabla 11: Accesorios de la red de tuberías

Tiempo Llenado por viaje	Tiempo Traslado por viaje	Tiempo Descarga por viaje	Tiempo Regreso por viaje	Total de ciclo de traslado
0.876 hr	0.278 hr	0.789 hr	0.209 hr	2.152 hr

Fuente: Propia

#### 4.2.4. Cálculo del abastecimiento de agua industrial mediante bomba centrífuga

##### 4.2.4.1. Distancia de impulso del sistema de abastecimiento

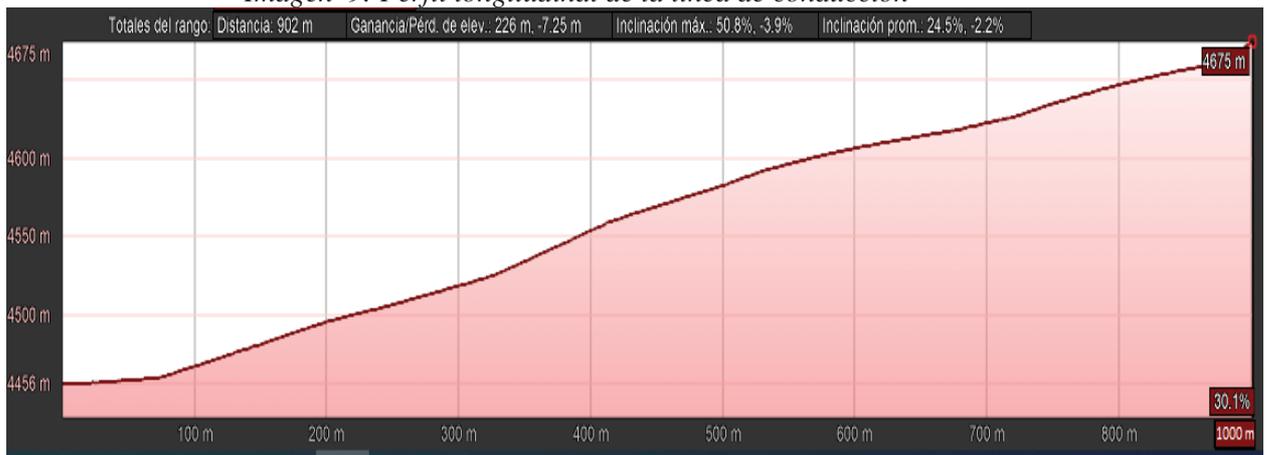
El traslado del agua industrial de la poza de sedimentación hacia los tanques, es de 1.0 km, propuesto por la impulsión de una bomba centrífuga y una red de tubería PHDE, donde el agua circule a un caudal de 25 l/seg; este propuesto por Servicios de U.M. Caridad como caudal crítico.

Imagen 8: Trazo de línea de conducción de tubería a tanque



Fuente: Google Earth 2021

Imagen 9: Perfil longitudinal de la línea de conducción



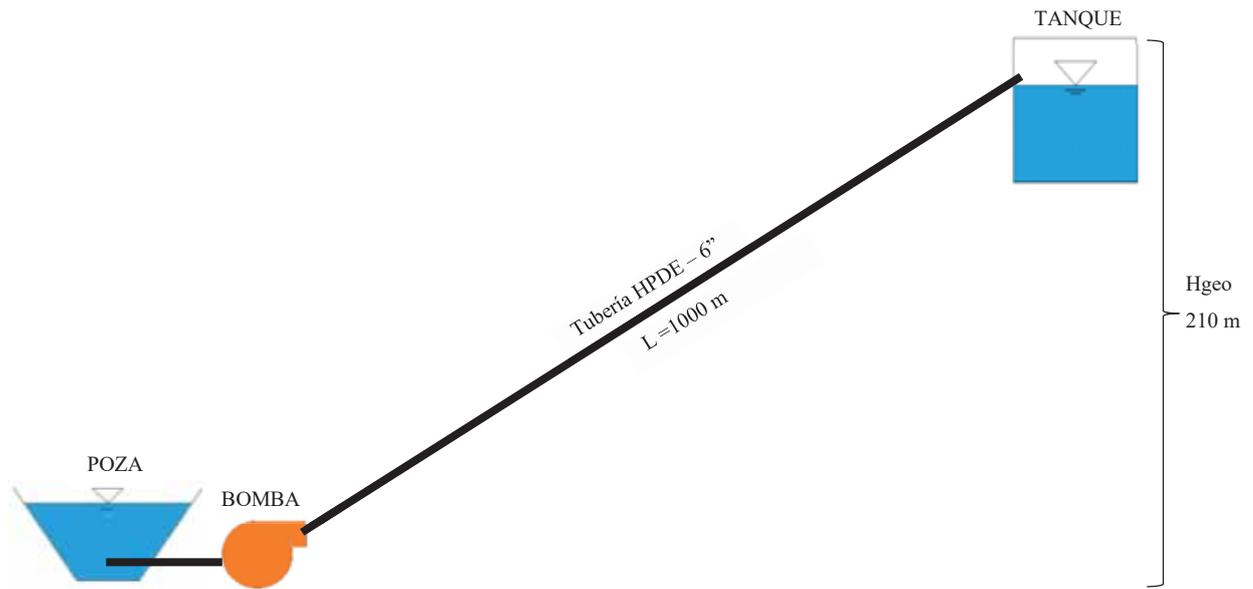
Fuente: Google Earth 2021

#### 4.2.4.2. Ingeniería del sistema de abastecimiento de agua industrial

A continuación, se presenta el cálculo correspondiente para poder abastecer de agua de la zona San German Rampa 100 (+) de la mina Caridad. Se plantearon varias opciones o escenarios indicando la posibilidad o los puntos en contra.

Se ha diseñado el diagrama del sistema de abastecimiento de agua con bomba centrífuga.

Figura 14: Diagrama de abastecimiento de agua al tanque



Fuente: Elaboración propia

##### 4.2.4.2.1. Cálculo de velocidad del fluido

La velocidad media máxima recomendada para sistemas de bombeo según norma ANSI /HI es de 2.7 m/s, pero puede haber algunas variables en las cuales se puede considerar de 3.0 hasta 3.8 m/s como máximo, los criterios de elección del diámetro se basan en un análisis técnico –económico.

Partiremos con el caso más crítico de 25 l/s, siendo el caudal solicitado por mina y con el cual se hizo los cálculos, para el cual aplicando la ecuación de la continuidad se determina si la velocidad está dentro de los parámetros admisibles.

Para el cálculo bajo la norma ASTM F-714, se utiliza la siguiente relación:

$$SDR = \frac{\text{Diámetro exterior}}{\text{Espesor}}$$

**Calculo de velocidad:**

$$Q = V * A$$

Donde:

Q : Caudal (m3/s)

A : Sección de la tubería (m)

V : Velocidad (m/s)

D : Diámetro interno de tubería (m)

Calculo del diámetro interno de la tubería, según tabla 03, según SDR 11 para 16 bar y tubería de diámetro nominal de 110mm:

Factor C:1,25		<sup>(3)</sup> Relación estándar de dimensión (SDR)											
		SDR 27.6		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9	
DN (mm)	<sup>(2)</sup> DN equiv. (pulg)	<sup>(1)</sup> Presión Nominal PN											
		6.0 bar		8.0 bar		10,0 bar		12.5 bar		16 bar		20 bar	
		e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)	e min. (mm)	Dm interior (mm)
90	3			4.3	81.4	5.4	79.2	6.7	76.6	8.2	73.6	10.1	69.8
110	4	4.0	102.0	5.3	99.4	6.6	96.8	8.1	93.8	10.0	90.0	12.3	85.4
160	6	5.8	148.4	7.7	144.6	9.5	141.0	11.8	136.4	14.6	130.8	17.9	124.2

Para: Q= 0.025 m3/s y D= 0.09 m

$$0.025 \text{ m}^3/\text{s} = V * (0.25 * \pi * D^2)$$

$$0.025 \text{ m}^3/\text{s} = V * (0.25 * 3.1416 * 0.09^2)$$

Despejando la constante velocidad obtenemos:

$$V = 3.93 \text{ m/s}$$

Para lo cual ya es un valor alto de la velocidad de fluido dentro de la tubería.

4.2.4.2.2. Cálculo de pérdidas primarias

Calculemos las pérdidas con la fórmula de Darcy – Weisbach

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_f$ .: Perdida por fricción (m)

f : Factor de fricción

L : Longitud total de tubería (m)

D : Diámetro interno de tubería (m)

V : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m2/s)

### a) CÁLCULO NÚMERO REYNOLDS

Determinando el número de Reynolds (Re) – Ø4” – HDPE

$$Re = \frac{v * D}{\mu}$$

Donde:

Re : Numero de Reynolds

v : Velocidad del fluido (m/s)

D : Diámetro interno de tubería (m)

$\mu$  : Viscosidad cinemática (m2/s); siendo para el agua industrial  $0.979 * 10^{-6}$

$$Re = \frac{3.93 * 0.09}{0.979 * 10^{-6}}$$
$$Re = 361264$$

### b) CÁLCULO FACTOR FRICCION

Determinando el factor de fricción – HDPE Ø4” (f4”):

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left[ \frac{1}{3.7 * \frac{D}{E}} \right] + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2}$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción

Re : Numero de Reynolds

D : Diámetro interno de tubería (cm)

E : Rugosidad (0.04)

Para tubería de 4":

$$f_{4''} = \frac{0.25}{\left(\log \left[ \frac{0.04}{3.7 * 90} + \frac{5.74}{361264^{0.9}} \right]\right)^2}$$

$$f_{4''} = 0.0176$$

### c) CÁLCULO PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Reemplazando valores en la fórmula de Darcy, para el cálculo de pérdidas por fricción ( $h_{f4''}$ ), L= 1000 m

Reemplazando los resultados:

$$h_{f4''} = 0.0176 * \frac{1000}{0.09} * \frac{3.93^2}{2 * 9.81}$$

$$h_{f4''} = 154.3 \text{ m}$$

#### 4.2.4.2.3. Pérdidas por accesorios

Cálculos de pérdida de carga por accesorios con respecto a los calculados por mina

Según formula:

$$Le = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Le : Longitud equivalente (m)

K : Coeficiente de accesorio

V : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Tabla 12: Accesorios de la red de tuberías

<b>Cantidad</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K por Accesorio</b>	<b>Longitud equivalente m</b>
1	Tee	0.3	0.24
1	Codo de 90°	0.9	0.71
1	“Y” a 45°	5.5	4.33
3	Válvula globo	5	11.81
1	Válvula compuerta	0.12	0.09
1	Válvula check	6	4.72
50	Unión	0.3	5.05
2	Tub. Succión entrada y salida	1.0	1.68
	<b>Total</b>		<b>28.63 m</b>

Fuente: Sotelo (1997)

#### 4.2.4.3. Cálculo del ADT

Se sabe que para el cálculo de la altura dinámica total es la suma de la altura geométrica más todas las pérdidas en conjunto.

$$ADT = H_{geo} + \sum H_f$$

Tabla 13: Calculo de altura dinámica total

<b>Hgeo m</b>	<b>Hf SDR 4 (SDR 11) m</b>	<b>Hk m</b>	<b>ADT m</b>
210	154.3	28.63	392.93

Fuente: Propia

Donde:

ADT: Altura dinámica total (m)

Hgeo: Altura geométrica (m)

Hf: Perdidas longitudinales equivalentes de tuberías y accesorios (m)

Hk: Presion en la salida (m)

Obteniéndose el punto de operación a la que va a trabajar la bomba.

$$ADT = 392.93 \text{ mca} = 558 \text{ psi} = 38.5 \text{ bar}$$

Para el caudal crítico  $Q=25 \text{ l/s}$

Para este caso se puede observar esta presión está por encima de la presión que puede soportar in SDR-11, lo que originaría que su tubería reviente. Según tabla Max. PN= 16 bar

#### 4.2.4.4. *Calculo de potencia del motor*

$$P_{motor} = \gamma * Q * ADT * g$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

ADT = Altura dinámica total (m)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Pmotor= Potencia del motor de bomba (HP)

$$P_{motor} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0.025 \text{ m}^3/\text{s} * 392.93\text{m} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{motor} = 96366.08 \text{ kg m}^2/\text{s}^3 = 96366.08 \text{ w}$$

Si 1HP = 746 w, entonces:

$$P_{motor} = 96366.08 \text{ w} * 1 \text{ HP}/746\text{w}$$

$$P_{motor} = 129 \text{ HP} \longrightarrow P_{motor} = 120 \text{ HP}$$

Si el proveedor de bombas centrífugas indica que la eficiencia de la bomba es de 50%, entonces:

$$P_{motor \text{ real}} = \frac{120}{0.50} \text{ HP}$$

$$P_{motor \text{ real}} = 240 \text{ HP}$$

#### 4.2.4.5. *Calculo de ADT para tuberías de 6", 4"*

De la misma manera se hace los cálculos para diferentes caudales de 15 y 25 l/s y propuestas de tuberías de 6", 4" para una longitud de 1000 m y tubería de 6" de 400 m en

un primer tramo y tubería de 4” de 600 m en un segundo tramo, tal como se muestra a continuación.

*Tabla 14: Calculo de ADT para tubería de 6” y 4”*

Ítem	Q (l/s)	DN “	SDR	V (m/s)	He (m)	Hf (m)	Hk (m)	ADT (m)	ADT (psi/bar)	Potencia de motor (HP)
1	25	4	11	3.93	210	154.3	28.63	392.93	559/38.5	240
2	25	6	7.4	2.33	210	41.3	7.8	259.0	368.3/25.4	200
3	15	4	5/7.4	4.38/2.98	210	56/82.4	27.4	375.6	534/36.9	150
4	15	6/4	6/7.4	1.68/2.98	210	14.8/63	4	287.8	409/28.2	125

Fuente: Propia

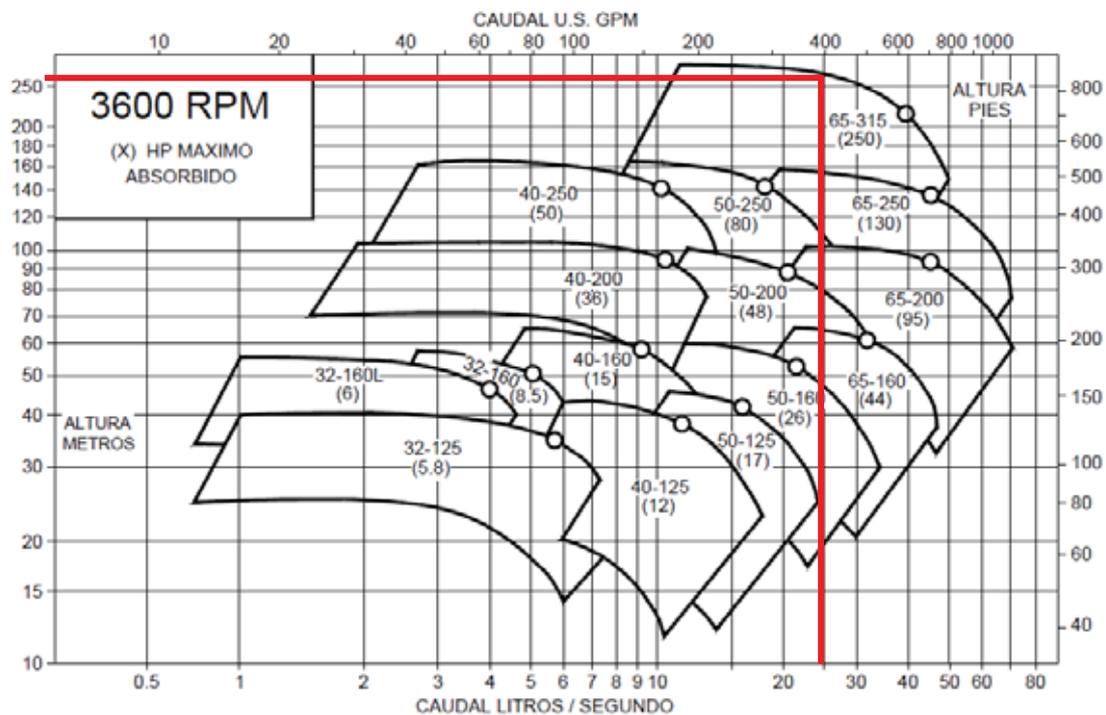
Los valores marcados de rojo indican alerta debido a ciertas condiciones que pueden originar problemas en el sistema de bombeo.

Los valores en el recuadro rojos son tomados como la mejor alternativa ya que este requiere una menor potencia de la bomba.

#### **4.2.4.6. Selección de Bomba**

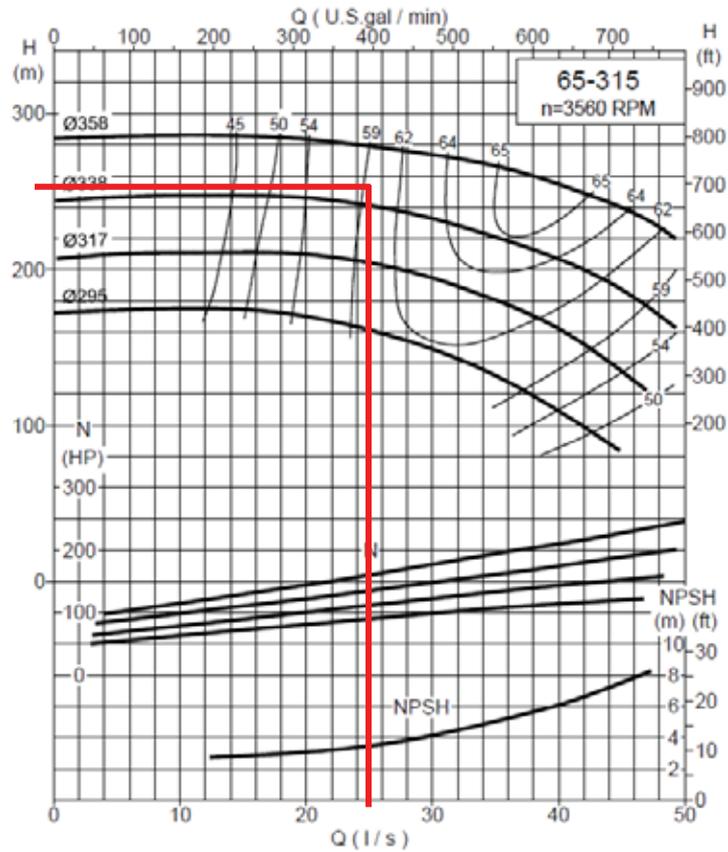
Teniendo un caudal de diseño de 25 l/s y un ADT de 259 m, se intersecta en el abaco de selección de bomba.

Figura 15: Rango de operación a 60Hz



Fuente: Catalogo de bomba centrifuga ISO 2858 - Hidrosal

Figura 16: Curva de operación 65-315



Fuente: Catalogo de bomba centrifuga ISO 2858 - Hidrosal

#### 4.2.4.7. Características de los equipos y accesorios propuestos

##### 4.2.4.7.1. Características de la bomba

Se ha realizado la cotización de la bomba para el caudal de 25 l/s y un ADT de 259 m, del cual se tiene la bomba centrifuga modelo ELECTROBOMBA TMB 40-65/6-HBK-125HP-36 IE2.

EMPRESA :	<b>CIA. MINERA LINCUNA S.A.</b>		Lima, 27 de agosto del 2019
DIRECCION :			
CONTACTO :	Sr. Cesar Medina	CARGO :	Logística
C.C. :			
REFERENCIA :	Electrobomba Centrífuga Horizontal Multietapa SAER para 18.7lps (67.5m3h) v.s. 283mca		
E-MAIL :			
		<b>OFERTA No. SVV-0283-19</b> <b>ITEM No. 1</b>	
<b>BOMBA IMPORTADA</b> <b>TABLA TECNICA</b>			
<b>MARCA</b>	<b>SAER</b>	<b>TIPO / BOMBA</b>	<b>CENTRÍFUGA MULTIETAPICA HORIZONTAL</b>
<b>MODELO DE EQUIPO</b>	<b>ELECTROBOMBA TMB 40-65/6-HBK-125HP-36 IE2</b>		
<b>CÓDIGO</b>	-		
<b>DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE</b>		<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA BOMBA</b>	
Líquido a bombear:	<b>Agua de proceso</b>	Caudal:	<b>18.7 lps (67.5 m3h)</b>
Viscosidad:	1 Cp	A.D.T.:	<b>283 mca</b>
Temperatura fluido (°C):	11	Eficiencia (%):	65.7
Gravedad específica:	1	Potencia absorbida (hp):	108.40
Porcentaje de sólidos (%):	0	Potencia Abs. Máx. (hp):	<b>114.00</b>
Nivel de pH:	<b>6 a 11</b>	Velocidad de Oper. (rpm):	3550
Temperatura ambiente (°C):	35	NPSH requerido (m):	<b>5.0</b>
Altitud (msnm):	4,500	Consumo de aire (scfm):	-
Caudal:	16 lps (57.6 m3h)	Presión de aire (psi):	-
A.D.T.:	-	Stroke por minuto (spm):	-
NPSH disponible (m):	-		
<b>DATOS BOMBA</b>		<b>MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>	
Procedencia:	Italia	Carcasa:	<b>Fundición Gris EN-GJL-250</b>
Montaje:	Horizontal	Impulsor:	<b>Fundición Gris EN-GJL-250</b>
Configuración de la bomba:	Monoblock	Eje de bomba:	<b>Acero inoxidable 431 (1.4057)</b>
Diámetro de succión:	<b>DN 40</b>	Bocina:	-
Diámetro de descarga:	<b>DN 40</b>	Estator:	-
Tipo de conexión:	Brida	Rotor:	-
Velocidad (rpm):	3550	Cámara de bombeo:	-
		Diafragma(s):	-
		Cabezal:	-
<b>SELLO DE LA BOMBA</b>		Engranajes:	-
Tipo de sello:	Prensa estopa	Rodillos:	-
Marca:	Jhon Crane o similar	Mangueras:	-
Configuración:	Sencillo	Asientos:	-
Materiales:	PTFE	Válvulas:	-
<b>ACCIONAMIENTO</b>		<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>	
Tipo:	<b>Motor eléctrico - IEC - Alta eficiencia (IE2)</b>	Tipo:	Acople directo
Marca:	WEG	Marca:	Guardian Industries o similar
Modelo:	TEFC	Modelo:	TG 1080
Potencia nominal (hp):	<b>125Hp @ 4500msnm</b>		
Velocidad nominal (rpm):	3,550	<b>BASE ESTRUCTURAL</b>	
Tipo de montaje:	Horizontal	Modelo:	HBK
Aislamiento:	F	Material:	Acero estructural
Frame:	315S/M	Guardacople:	-
Voltaje:	<b>220/380/440</b>		
Fases:	<b>3 (trifásico)</b>		
Frecuencia (Hz):	60		

Figura 17: Curvas de operación de la bomba





## Curvas de rendimiento TMB40-65/6(3600RPM)

Revision n.  
SWV-0283-19

Página:  
2

<b>Destinatario</b>	CIA. MINERA LINCUNA S.A.	<b>Remitente</b>	HIDROSTAL S.A.
<b>Sociedad</b>			
<b>Jefe de departamento</b>			
<b>Encargado</b>			
<b>Tel. n.</b>			
<b>Fax n.</b>			
<b>E-mail</b>			

<b>Campo de trabajo</b>	Caudal	Preponderancia	Tipo de impulsor
<b>Datos operativos especificado</b>	67.5 m <sup>3</sup> /h	283 m	Construccion impulsor
			Sentido de rotacion
			Clock wise from the drive end
<b>Pump data</b>	67.5 m <sup>3</sup> /h	283 m	Dimensiones Salida
			DN 40
	Potencia sobre eje P2		Velocidad
			1/min 3600
			Frecuencia
			Hz

Rendimiento sobre: Agua limpia [100%] ; 20°C; 0.998 g/cm<sup>3</sup> ISO 9906:2012 - Grade 3B

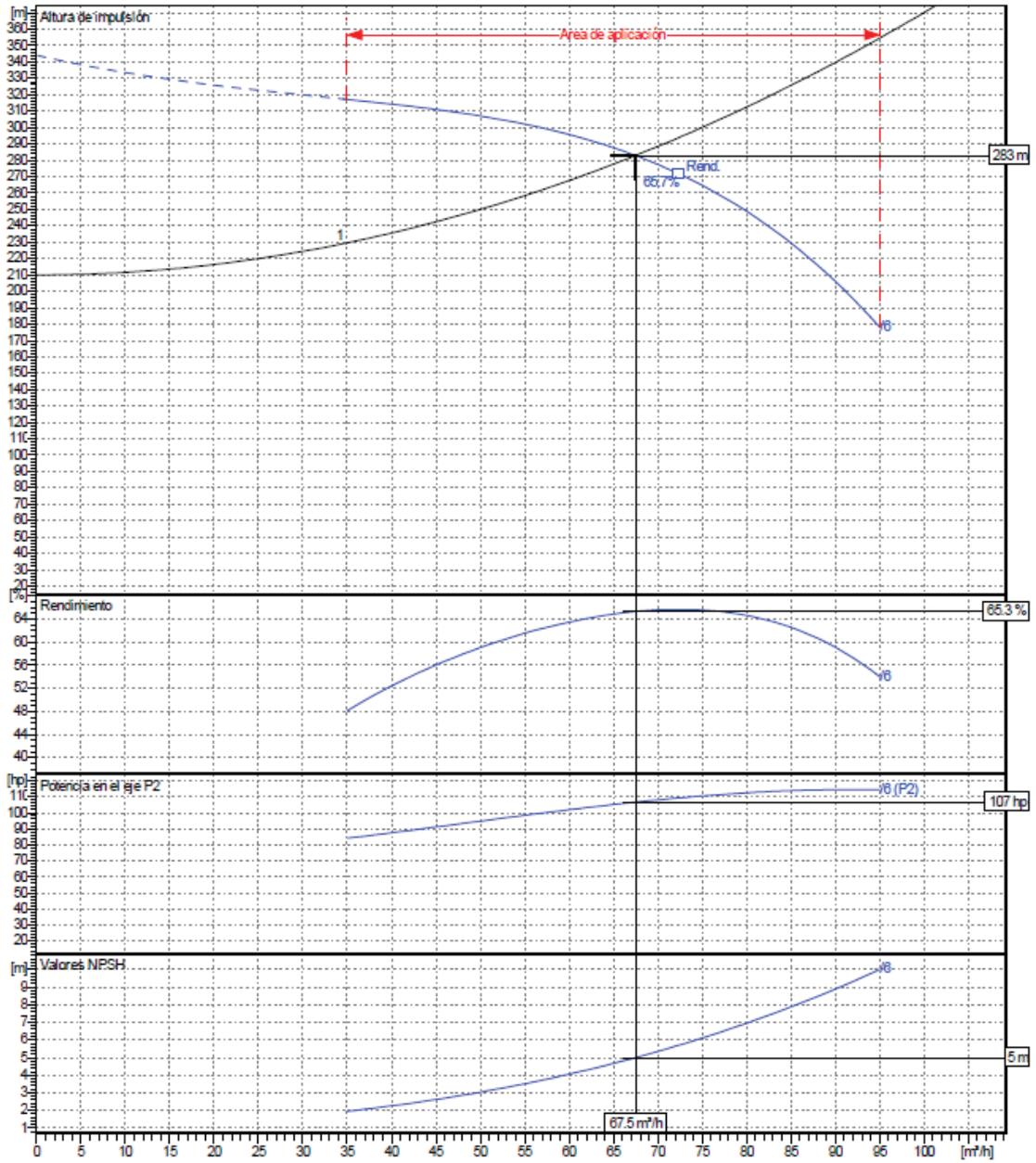
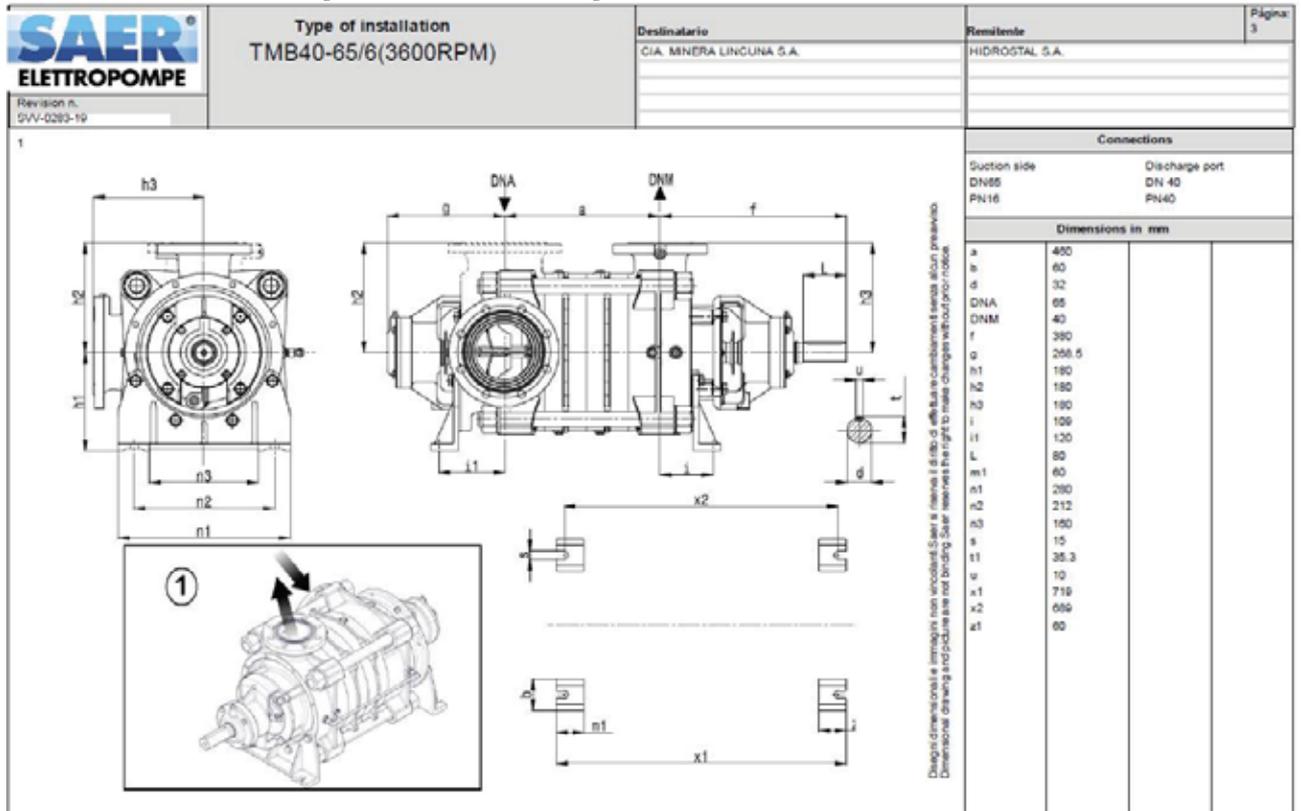


Figura 18: Dimensiones generales de la bomba



4.2.4.7.2. Características de los accesorios

- a) Tubería HPE de 6”
- b) Tee de 6”
- c) Codo de 90° de 6”
- d) “Y” a 45° de 6”
- e) Válvula globo de 6”
- f) Válvula compuerta de 6 “
- g) Válvula check de 6”
- h) Uniones de 6”

4.2.4.7.3. Calculo de tiempo de llenado de tanque

Para el cálculo del tiempo de llenado se calculó con relación al caudal de diseño y el volumen de los tanques.

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

Donde:

t : Tiempo de llenado (seg)

V : Volumen del tanque (l)

Q : Caudal de diseño (l/s)

$$t = \frac{58,500 \text{ l}}{25 \text{ l/s}}$$

$$t = 2340 \text{ segundos}$$

$$t = \mathbf{0.65 \text{ h}}$$

Volumen requerido por guardia: 89,100 litros

$$t = \frac{89,100 \text{ l}}{25 \text{ l/s}}$$

$$t = 3564 \text{ segundos}$$

$$t = \mathbf{0.99 \text{ h}}$$

## V. CAPITULO V: ANÁLISIS EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

### 5.1. Análisis técnico comparativo entre camión cisterna y bombeo

Una vez realizado la evaluación técnica de las alternativas, tanto del camión cisterna y bombeo, se puede realizar el análisis comparativo de estas alternativas, donde se puede concluir, que el sistema de abastecimiento de agua por bombeo para la zona superior de la mina Caridad es la más adecuado, por el corto tiempo de llenado de los tanques de almacenamiento.

*Tabla 15: Resumen tiempo de llenado de tanques de agua por alternativa*

Con Camión Cisterna	Con Bomba Centrífuga
10.76 hr	0.99 hr

Fuente: Propia

### 5.2. Análisis de costos para el abastecimiento de agua industrial mediante camión cisterna

Actualmente la Mina Caridad alquila un camión cisterna para realizar el traslado de agua industrial desde las pozas de sedimentación, para ser utilizadas en las operaciones mineras durante el proceso de producción del mineral. Para lo que se presenta el detalle del costo de operación y mantenimiento de este:

*Tabla 16: Costo de alquiler de camión cisterna por mes*

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Operación				
Alquiler de camión	mes	1	10,420.00	10,420.00
Operador	mes	2	790.00	1,580.00
Mantenimiento				
Mantenimiento camión y bombas	glb	1	250.00	250.00
<b>Total</b>				<b>12,250.00</b>

Fuente: Propia

Para realizar el análisis de la eficacia del abastecimiento del agua industrial, se proyecta una evaluación económica a 12 meses.

*Tabla 17: Flujo de costos para camión cisterna*

<b>Periodos (mes)</b>	<b>Costos (\$)</b>	<b>Inversión (\$)</b>	<b>Flujo de Costo (\$)</b>
0		0.00	0.00
1	12,250.00		12,250.00
2	12,250.00		12,250.00
3	12,250.00		12,250.00
4	12,250.00		12,250.00
5	12,250.00		12,250.00
6	12,250.00		12,250.00
7	12,250.00		12,250.00
8	12,250.00		12,250.00
9	12,250.00		12,250.00
10	12,250.00		12,250.00
11	12,250.00		12,250.00
12	12,250.00		12,250.00
<b>Costo total (\$)</b>			<b>147,000.00</b>

Fuente: Propia

El costo total de alquiler del camión cisterna en 12 meses es de \$ 147,000.00, que representa \$ 12,250.00 por mes

### **5.3. Análisis de costos para el abastecimiento de agua industrial mediante bomba centrífuga**

Se consideró la investigación del abastecimiento de agua por bomba centrífuga y una línea de conducción de tubería HPDE, impulsada desde las pozas de sedimentación hasta los tanques para la distribución en la Zona superior de la Mina caridad, para lo que se detalla los costos:

Tabla 18: Costo de inversión para sistema de abastecimiento por bomba centrífuga

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
<b>Materiales</b>				
Bomba centrífuga	und	1	66,500.00	66,500.00
Tubería HDPE 6"	m	1000	11.00	11,000.00
Tee de 6"	und	1	15.00	15.00
Codo de 90° de 6"	und	1	25.00	25.00
“Y” a 45° de 6"	und	1	25.00	25.00
Válvula globo de 6"	und	3	95.00	285.00
Válvula compuerta de 6 “	und	1	100.00	100.00
Válvula check de 6"	und	1	120.00	120.00
<b>Mano de obra</b>				
Instalación	glb	1	5,000.00	5,000.00
<b>Total</b>				<b>83,070.00</b>

Fuente: Propia

Tabla 19: Costo de mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento con bomba centrífuga

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
<b>Operación</b>				
Energía eléctrica	Kw/mes	59.4	0.15	8.91
Operador	mes	0.5	790.00	395.00
<b>Mantenimiento</b>				
Mantenimiento del sistema	glb	1	500.00	500.00
<b>Total</b>				<b>903.91</b>

Fuente: Propia

Para realizar el análisis de la eficacia del abastecimiento del agua industrial, se ha proyectado una evaluación económica a 12 meses.

Tabla 20: Flujo de costos para sistema de abastecimiento por bomba centrífuga

Periodos (mes)	Costos (\$)	Inversión (\$)	Flujo de costos (\$)
0		83,070.00	83,070.00
1	903.91		903.91
2	903.91		903.91
3	903.91		903.91
4	903.91		903.91
5	903.91		903.91
6	903.91		903.91
7	903.91		903.91
8	903.91		903.91
9	903.91		903.91
10	903.91		903.91
11	903.91		903.91
12	903.91		903.91
<b>Total (\$)</b>			<b>93,916.92</b>

Fuente: Propia

El costo total de la inversión, mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento por bomba centrífuga en 12 meses es de \$ 93,916.92.

#### 5.4. Evaluación económica de ambas alternativas

Para la evaluación económica de la investigación se realizó por el método costo – eficiencia, el cual está relacionado a la cantidad anual de agua requerida por la Mina Caridad.

##### 5.4.1. Costo eficiencia de camión cisterna

Para hallar el costo eficiencia de camión cisterna, se utiliza el total flujo de costos entre la demanda anual de agua.

$$Costo_{Eficiencia} = \frac{147000 \text{ \$/año}}{64152m^3/año}$$

$$Costo_{Eficiencia} = 2.30 \text{ \$/m}^3$$

#### 5.4.2. Costo eficiencia de sistema de abastecimiento con bomba centrífuga

Para hallar el costo eficiencia del sistema de abastecimiento con bomba centrífuga, se utiliza el total flujo de costos entre la demanda anual de agua.

$$Costo_{Eficiencia} = \frac{93916.92 \text{ \$/año}}{64152m^3/año}$$

$$Costo_{Eficiencia} = 1.46 \text{ \$/m}^3$$

#### 5.5. Análisis y selección de la mejor alternativa económica

De acuerdo a la metodología de costo eficiencia se elige la alternativa de menos costo que genera, para la investigación es la del sistema de abastecimiento de agua industrial con bomba centrífuga y tubería HDPE, que genera un gasto de 1.46 \$/m3.

*Tabla 21: Análisis y selección de la mejor alternativa*

<b>Propuesta</b>	<b>Camión Cisterna</b>	<b>Bomba centrífuga</b>	<b>Diferencia</b>
Horas de llenado	10.76	<b>0.99</b>	9.77
\$/m3	2.30	<b>1.46</b>	0.84

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se concluye que la evaluación del abastecimiento de agua industrial mediante camión es de 2.30 \$/m<sup>3</sup> y con bomba centrífuga es de 1.46 \$/m<sup>3</sup> para la demanda de la zona superior de la mina Caridad, teniendo como periodo de evaluación de 12 meses.
- Se concluye que la demanda de agua industrial para ejecutar las operaciones de la mina Caridad es de 178,200 litros/día, los cuales representan 64,152 m<sup>3</sup>/año.
- Se concluye que la evaluación técnica del abastecimiento de agua industrial actual es mediante camión cisterna que dura 10.76 h/guardia, y se evaluó el abastecimiento de agua industrial por bomba centrífuga ELECTROBOMBA TMB 40-65/6-HBK-125HP-36 IE2 que dura 0.99 h/guardia para un caudal de 25 litros/seg, por una tubería HPDE de 6”.
- Se concluyó que la evaluación económica para el abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad para un periodo de 12 meses, con camión cisterna es de \$ 147,000.00 y con bomba centrífuga es de \$ 93,916.92.

## RECOMENDACIONES

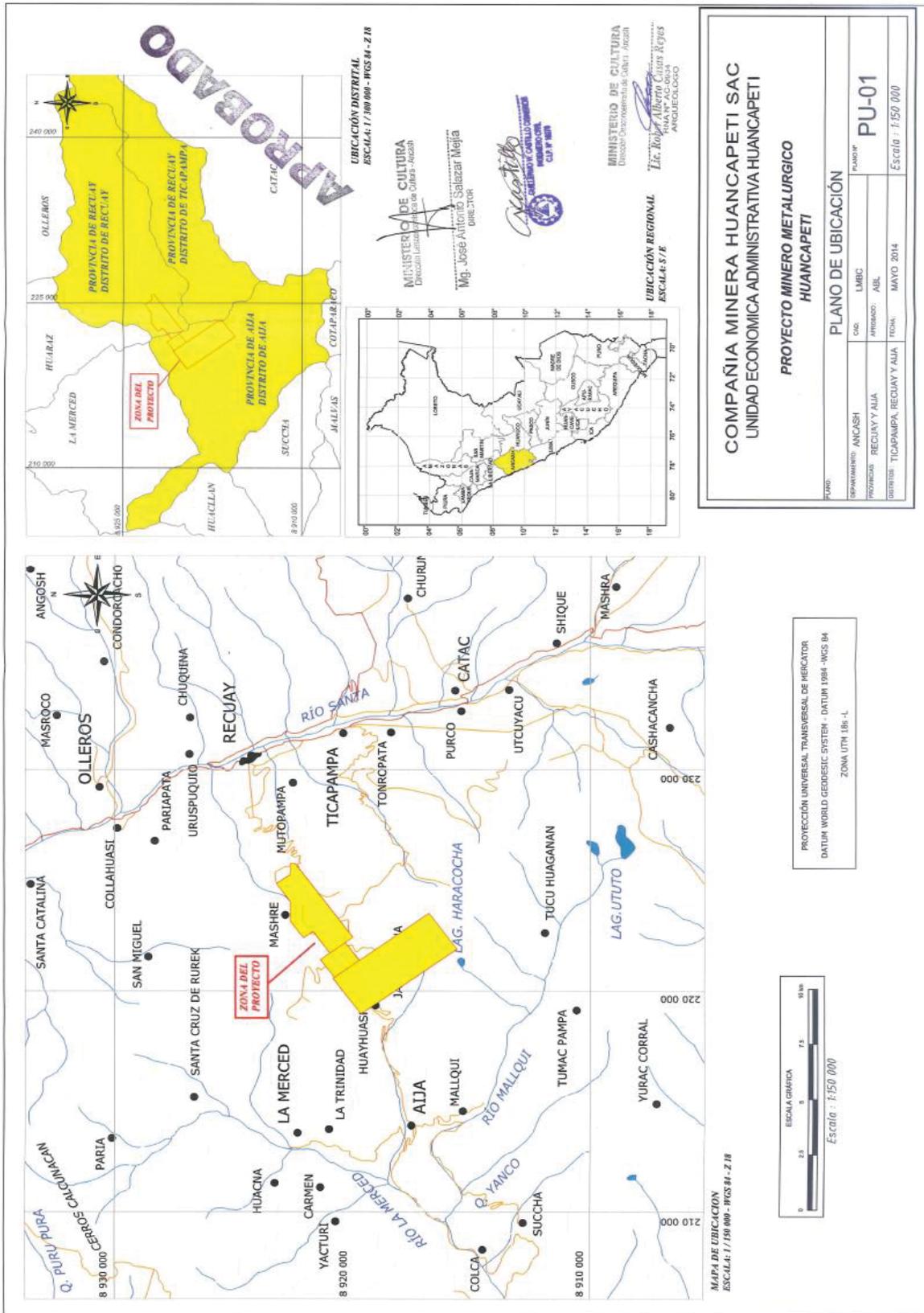
- Se recomienda que para el abastecimiento de agua industrial para la demanda de la zona superior de la mina Caridad se elija el sistema de abastecimiento de agua industrial con bomba centrífuga ya que este tiene el menor costo de 1.46 \$/m<sup>3</sup>.
- Se recomienda para el abastecimiento de agua industrial se instale la bomba centrífuga ELECTROBOMBA TMB 40-65/6-HBK-125HP-36 IE2 con tubería HPDE de 6" para un caudal de 25 litros/seg ya que este implica menor tiempo de llenado de los tanques de almacenamiento.
- Se recomienda la instalación del sistema de abastecimiento de agua industrial por bomba centrífuga ya que este tiene el menor flujo de costos que es de \$ 93,916.92, en un periodo de 12 meses.

## BIBLIOGRAFÍA

- Blanco, E., & Velarde, S. (1994). *Sistemas de bombeo. Área de Mecánica de Fluidos*. Universidad de Oviedo -España.
- Condezo Acosta, H. A. (2019). *Mejoramiento del Sistema de Bombeo y Drenaje de Aguas Subterráneas Unidad de Producción Uchucchacua - Cia de Minas Buenaventura S.A.A. . Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
- Fuentes Barría, S. F. (2016). *Mejora en el sistema de abastecimiento de agua industrial y drenaje Mina Punta del Cobre sector Trinidad*. Atacama: Universidad de Atacama - Chile.
- Gutierrez V., P. (2007). *Reseña del Software disponible en Colombia para el diseño de rutas de distribución y servicios*. Revista Universidad Eafit.
- Hernandez sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2016). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Gra Hill Education.
- Hodson, W. K. (2001). *Manual del Ingeniero Industrial*. McGraw-Hill.
- Igor J., K., William, C., & Warren H., J. (1976). *Manual de Bombas*. Callao: MgDRAW-HILL.
- Kenneth, J., & Mc Naughton. (1998). *Bombas, selección, uso y mantenimiento*. México: Ed Mc Graw Hill.
- Kolli S., D. (1993). *Geographic information system based decision support systems for facility location, routing, and scheduling*. Computers and Industrial Engineering.
- Kovacs , A. (2015). *The Generalized Consistent Vehicle Routing Problem*. Transportation Science.
- Luszczewski, S. (1999). *Mecánica de fluidos. (9na edición)*. México: Mc Graw Hill.
- Rafael Barzola, J. E. (2019). *Implementación de un Sistema de Bombeo Integral para la Evacuación de Aguas Subterráneas en Minera Kolpa S.A. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Sotelo Avila, G. (1997). *Hidráulica General - Fundamentos*. México: LIMUSA - Niriga Editores.
- Velez, T. (2014). *Logística empresarial, Gestión eficiente del flujo de suministros*. Ediciones de la U.

## ANEXOS

# Anexo 1: Plano de ubicación aprobado





### Anexo 3: Plano de Arreglo General de Planta

