



**VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TESIS

**“MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA
REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA
UNIDAD MINERA ALPAMARCA - 2018”**

Presentado por:

Bach. WILLIAM ENRIQUE VELASQUEZ ROJAS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

Pasco – Perú

2019

DEDICATORIA

Mi tesis, lo concedo a mi familia quienes fueron el soporte en todo el transcurso de mi carrera profesional y a la gran mayoría de personas quienes confiaron y optaron por mi gran desempeño.

William Enrique Velásquez Rojas

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios quien es mi guía y amo de mi coexistencia, hacedor de mi vida que me admite fructificar las cualidades proporcionadas para el entorno social que nos rodea.

Agradecer a la Universidad Alas Peruanas, que por intermedio de la fase académica ha hecho útil establecer conocimientos y ejecución en el trayecto de mi carrera.

William Enrique Velásquez Rojas

RESUMEN

A continuación el siguiente estudio que se titula “Modificación del Sistema de Bombeo para la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018”, tiene como unidad de análisis a la Compañía Minera Chungar S.A.C. En el estudio de las variables de investigación tales como: Sistema de bombeo y reutilización de aguas residuales precisamente en la variable dependiente tuvo que modificarse el sistema de bombeo que tenía la unidad de análisis a través del cambio de seis bombas sumergibles con dos bombas centrífugas, puesto que el sistema anterior utilizaba y bombeaba sólo agua de un depósito de relave, lo que se buscó es hacer más efectivo el sistema de bombeo tomando no sólo agua del depósito sino también del depósito de aguas blandas de la bocamina nivel 400 provenientes de las Lagunas Aguascocha y San Miguel, para así con el sistema modificado aprovechar estas y las del depósito de relave para hacerlas recircular a la planta de beneficio. De acuerdo a los métodos del presente estudio es un estudio de tipo tecnológica, de alcance relacional y explicativo debido a que se manipula la variable independiente con la modificación del sistema de bombeo para así ver los efectos inmediatos en la reutilización de aguas residuales.

El propósito de esta investigación es modificar el procedimiento de bombeo hacia la reutilización de aguas residuales en la mina materia de estudio, en la consecución de este propósito se realizaron ensayos en el procedimiento de bombeo a fin de medir la cantidad de litros, el caudal, el tiempo de bombeo y hacer una comparación desde enero de 2017 a diciembre de 2018 entre el sistema antes y después de la modificación mediante el cambio de las bombas sumergibles por bombas centrífugas así como de la tubería instalada HDPE 6” \varnothing por una tubería de HDPE 10” \varnothing . Luego de ello se procedió con el análisis cuantitativo de las variables de investigación para ver los valores promedió, así como la media aritmética y las diferencias antes y después.

En el tema del contraste de la hipótesis fue vital conocer si las variables provenían de una curva normal, para tal fin se procedió con el planteo de la prueba Shapiro Wilk para ver la normalidad de datos obtenidos, posteriormente y a través del test T de Student para muestras relacionadas que devienen de cifras numéricas y la cantidad muestral que se tiene se contrastó las hipótesis de investigación.

Como resultado tras la modificación del sistema de bombeo el caudal se incrementó en 26114.46 m³ /h en comparación al sistema de bombeo antes de la modificación, así como una disminución de 196.69 h/mes en cuanto al tiempo de bombeo tras la modificación del sistema de bombeo, en consecuencia, se obtuvo niveles óptimos para la reutilización de aguas residuales.

Palabras Clave: Sistema de bombeo, Aguas residuales, caudal, tiempo de bombeo, bombas

SUMMARY

Next, the following study entitled “Modification of the Pumping System for the reuse of wastewater in the Alparmarca mining unit - 2018”, has as an analysis unit the Compañía Minera Chungar S.A.C. In the study of the research variables such as: Pumping system and reuse of wastewater precisely in the dependent variable, the pumping system that had the analysis unit had to be modified through the change of six submersible pumps with two centrifugal pumps, Since the previous system used and pumped only water from a tailings reservoir, what was sought is to make the pumping system more effective by taking not only water from the reservoir but also from the soft water reservoir of the 400 level trough coming from the Lagoons Aguascocha and San Miguel, so with the modified system take advantage of these and those of the tailings deposit to make them recirculate to the plant of benefit. According to the methods of the present study, it is a technological study, of relational and explanatory scope because the independent variable is manipulated with the modification of the pumping system in order to see the immediate effects on the reuse of wastewater.

The purpose of this investigation is to modify the pumping procedure towards the reuse of wastewater in the mine studied, in order to achieve this purpose tests were carried out in the pumping procedure in order to measure the amount of liters, the flow rate, the pumping time and make a comparison from January 2017 to December 2018 between the system before and after the modification by changing the submersible pumps with centrifugal pumps as well as the 6 ”ø HDPE pipe installed for an HDPE pipe 10 ”ø. After that we proceeded with the quantitative analysis of the research variables to see the average values, as well as the arithmetic mean and the differences before and after.

In the subject of the hypothesis contrast, it was vital to know if the variables came from a normal curve, for this purpose we proceeded with the Shapiro Wilk test to see

the normality of data obtained, subsequently and through the Student's T test to Related samples that come from numerical figures and the sample quantity that is taken contrasted the research hypotheses.

As a result after the modification of the pumping system the flow rate increased by 26114.46 m³ / h compared to the pumping system before the modification, as well as a decrease of 196.69 h / month in terms of the pumping time after the modification of the pumping system. pumping, consequently, optimum levels were obtained for the reuse of wastewater.

Key Words: Pumping system, Wastewater, flow, pumping time, pumps

ÍNDICE

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE.....	viii
INDICE DE TABLAS	xv
INDICE DE CUADROS	xvii
INDICE DE GRÁFICOS	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.2.1. Espacial.....	6
1.2.2. Temporal.....	6
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.3.1. Problema General	6
1.3.2. Problemas Específicos	6
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	7

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5.1. Hipótesis General.....	7
1.5.2. Hipótesis Específicas	7
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.6.1. Variable independiente.....	7
1.6.2. Variable dependiente	7
1.6.3. Operacionalización de variables.....	8
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.7.1. Tipo de Investigación	9
1.7.2. Nivel de Investigación.....	9
1.7.3. Diseño de Investigación	10
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.8.1. Población	11
1.8.2. Muestra.....	11
1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	12
1.9.1. Técnicas.....	12
1.9.2. Instrumentos	12
1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.10.1. Justificación.....	12
1.10.2. Importancia.....	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2.1.1. Antecedentes internacionales	13
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	16
2.1.3. Antecedentes locales	20
2.2. BASES TEÓRICAS	22
2.2.1. Sistema de bombeo	22
2.2.2. Bombas Hidraulicas	27
2.2.3. Selección de bombas.....	37
2.2.4. Bombas dinámicas	39
2.2.5. Diseño e instalación de una bomba centrífuga.....	45
2.2.6. Tuberías HDPE.....	54
2.2.7. Especificaciones y características de materias primas	54
2.2.8. Actividades mineras con agua subterránea	56
2.2.9. Estaciones de bombeo de aguas residuales.....	57
2.2.10. Tiempo operacional de bombeo	65
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	66

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	69
3.1.1. Confiabilidad.....	69
3.1.2. Validez del instrumento.....	70

3.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES	72
3.2.1. Sistema de Bombeo anterior	72
3.2.2. Sistema de Bombeo modificado	75
3.2.3. Cálculos para el Sistema de Bombeo modificado	76
3.2.4. Curvas de las bombas	82
3.2.5. Tuberías	84
3.2.6. Caudal de la bomba	84
3.2.7. Tiempo de bombeo	86
3.3. PRUEBA DE NORMALIDAD	88

CAPÍTULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis general.....	95
4.2. Prueba de hipótesis específicas.....	98
4.2.1. Prueba de hipótesis específica A	98
4.2.2. Prueba de hipótesis específica B	101

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES.....	108
FUENTES DE INFORMACIÓN	109
ANEXOS	111
Anexo A: Matriz de Consistencia.....	113

Anexo B: Tabla T Student	114
Anexo C: Instrumento de recolección de datos	115
Anexo D: Diagrama de Moody (resultado del factor de fricción f).....	116
Anexo E: Perdidas en Accesorios y Componentes Succión e Impulsión, Bomba BEW 125-4 IMBIL.....	117
Anexo F: Resultados obtenidos	118
Anexo G: Propuesta Técnica y económica de la Bomba sumergible y Bomba Centrífuga	119
Anexo H: Instalación de bombas Centrífugas y el cuarto de bombas	121
Anexo I: Dimensiones de la bomba Bew 125 – 4 IMBIL	122
Anexo J: Imagen de la Bomba Centrífuga.....	123

INDICE DE FIGURAS

Número	Descripción	Pág
Figura 1.	Árbol de problemas	3
Figura 2.	Sistema de bombeo antes de la modificación.....	4
Figura 3.	Sistema de bombeo después de la modificación	5
Figura 4.	Fundamentales Características y componentes hidráulicos	23
Figura 5.	Curvas características	25
Figura 6	Punto de operación Q constante	26
Figura 7	Punto de operación para Q variable	27
Figura 8.	Bomba axial Fuente: Velarde y Fernández (1994). Sistema.....	29
Figura 9.	Curva característica de la bomba centrífuga	31
Figura 10.	Curva característica de una bomba axial.....	32
Figura 11.	Combinación de bomba y sistema.....	33
Figura 12.	Grupo motor – bomba	34
Figura 13.	Bombas en serie.....	36
Figura 14.	Bombas en paralelo	36
Figura 15.	Bomba centrífuga	41
Figura 16.	Bomba sumergible.....	44
Figura 17.	Tendencia expresada en el rendimiento máximo esperado en función de Ω , el caudal y la potencia.....	48
Figura 18.	Componentes de instalación de una bomba centrífuga	50
Figura 19.	Instalación de una bomba por succión	52
Figura 20.	Succión positiva y negativa del sistema de bombeo	53
Figura 21.	Succión positiva y negativa del sistema de bombeo	54
Figura 22.	Defectos y soluciones posibles de la cámara de aspiración	58

Figura 23. Tuberías de aspiración e impulsión	60
Figura 24. Componentes de una estación de bombeo.....	61
Figura 25. Tipos de impulsores.....	62
Figura 26 Bombas sumergibles - fase I	82
Figura 27 Bombas sumergibles - fase II	82
Figura 28. Bombas centrífugas - Fase I	83
Figura 29. Bombas centrífugas- Fase II.....	83

INDICE DE TABLAS

Número	Descripción	Pág
Tabla 1.	Coeficiente de correlación de Pearson(confiabilidad)	70
Tabla 2.	Rango de confiabilidad	70
Tabla 3.	Resumen de procesamiento de casos	71
Tabla 4.	Estadística de validez-Alfa de Cronbach	71
Tabla 5.	Rangos de Validez	72
Tabla 6.	Dimensiones de la poza N°1 (poza intermedia)	72
Tabla 7.	Dimensiones de la poza N°2 (poza de recirculación).....	73
Tabla 8.	Dimensiones de la poza N° 3(poza de sedimentación).....	75
Tabla 9.	Dimensiones de la poza N°4 (poza de acumulación y bombeo)	76
Tabla 10.	Variación del caudal antes y después de la modificación del sistema de bombeo.....	85
Tabla 11.	Variación del tiempo de bombeo antes y después de la modificación del sistema de bombeo.....	86
Tabla 12.	Parámetros operacionales de bombas sumergibles.....	87
Tabla 13.	Parámetros operacionales de bombas Centrifugas Multietapicas.....	87
Tabla 14.	Datos de reutilización de aguas residuales, con tubería de 6" y 10"	88
Tabla 15.	Prueba de normalidad hipótesis general	89
Tabla 16.	Datos de caudal con sistema antiguo y nuevo sistema	90
Tabla 17.	Prueba de normalidad para hipótesis específica A	91
Tabla 18.	Datos de tiempo con antiguo sistema y nuevo sistema.....	91
Tabla 19.	Prueba de normalidad hipotesis especifica B	92
Tabla 20.	Matriz de análisis de datos.....	94
Tabla 21.	Datos para contrastación de hipótesis.....	94

Tabla 22. Análisis cuantitativo para la hipótesis general.....	96
Tabla 23. Valor T Student hipótesis general.....	97
Tabla 24. Análisis cuantitativo hipótesis especifica A	99
Tabla 25. Valor T Student hipótesis especifica A	100
Tabla 26. Análisis cuantitativo de tiempo de bombeo.....	102
Tabla 27. Valor T Student hipótesis especifica B.....	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 . Operacionalización de variables	8
Cuadro 2. Comparación entre las bombas rotodinámicas y volumétricas	30
Cuadro 3. Componentes de una bomba centrífuga	50
Cuadro 4. Componentes de una bomba por succión	53
Cuadro 5. Propiedades físicas del tubo HDPE	55
Cuadro 6. Especificaciones técnicas de las bombas sumergibles	74
Cuadro 7. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga Multietapica	80
Cuadro 8. Especificaciones técnicas del motor de la bomba centrífuga Multietápica ...	81
Cuadro 9. Especificaciones técnicas de la tubería antes y después de la modificación	84
Cuadro 10. Interpretación de normalidad	89

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (Hipótesis General)	97
Gráfico 2. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (Hipótesis Específica	
A.....	100
Gráfico 3. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (Hipótesis Específica	
B.....	103

INTRODUCCIÓN

Este nuevo escenario tan cambiante a nivel empresarial y del rubro minero, en el que las compañías mineras tienen que ser productivas a nivel de mejoramiento de sus procesos, está obligando a la Compañía Minera Chungar Unidad Alparmarca a conseguir alternativas de suministro originales así como de elevado valor como captar aguas claras de lagunas o ríos, y retornar la vista a sus procedimientos en la búsqueda de la efectividad en la utilización de los recursos. También evalúan novedosas alternativas de colocación de sus relaves, tienen el propósito de conseguir valores de sólidos máximos y recobrar la máxima cantidad de agua dirigida hacia los procedimientos metalúrgicos, **de acuerdo a la caracterización de la calidad del agua de los recursos y cuerpos hídricos existentes en el área de la Unidad Alparmarca, laguna Aguascocha, laguna San Miguel y quebrada Aguascocha, así como los efluentes de mina descargados a través de la bocamina del nivel 400.**

La unidad minera Alparmarca se encuentra ubicada en la jurisdicción política territorial del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, provincia de Yauli, departamento de Junín. La presente investigación intitulada “Modificación del Sistema de Bombeo para la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alparmarca – 2018” detalla en forma concisa y coherente, el cambio de las bombas sumergibles hidropump de 150 HP al cambio por bombas centrífugas multietápicas de 250 HP así como las tuberías HDPE de 6" por tuberías de HDPE de 10 " como agentes para la optimización del caudal y del tiempo de bombeo, para ver el promedio ponderado de incremento o disminución y haciendo una comparación antes y después de la modificación del sistema.

El presente trabajo de investigación comprende 5 capítulos los cuales se desarrollan de manera sistemática y procedimental, en el primer capítulo abarca el planteamiento

metodológico donde se describe la realidad problemática, delimitaciones de la investigación, planteamiento de problemas de investigación, objetivos de la investigación.

La formulación de la hipótesis de la investigación, hipótesis general: La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la Unidad minera Alpamarca – 2018, variables de investigación, operacionalización de las variables.

Asimismo, comprende el diseño de investigación, población y muestra de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, también la justificación e importancia de la investigación.

El segundo capítulo comprende el marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, así como la conceptualización de las variables de estudio y la definición de términos.

El tercer capítulo comprende la presentación de resultados, confiabilidad y validación del instrumento, análisis cuantitativo de las variables, comprende la modificación y variación de las tuberías, modificación y variación del caudal, modificación y variación del tiempo de bombeo y la descripción estadística, incluyéndose además la Prueba de normalidad, nivel de significancia y valor crítico, regla de decisión, cálculo del estadístico y conclusión de la prueba de normalidad.

El cuarto capítulo abarca el proceso de contraste de la hipótesis general y específicas, elección del estadístico de prueba, nivel de significancia, valor crítico y valor en tabla, regla de decisión, cálculo del estadístico de prueba y la conclusión de la prueba de hipótesis general.

En el quinto capítulo se presenta la discusión de los resultados de la investigación, comparando los hallazgos de la investigación con los antecedentes citados en el capítulo segundo. Por último, se da a conocer las conclusiones, recomendaciones, así como las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad el escenario económico y empresarial, ha comenzado a tornarse de suma importancia, pues de este dependerá el desarrollo y el crecimiento del país (Rey Navarro, 2013), el sector minero en especial contribuye con el 10% del PBI nacional, debido a que genera mayores divisas e ingresos fiscales, creación de empleos directos e indirectos, y la mejora de la actividad económica (Diario Oficial El Peruano, 2018) debido a ello las compañías que conforman el sector minero se direccionan a la mejora continua, y tienen que involucrar sus procesos a través del uso óptimo de los recursos con los que cuentan, específicamente en la unidad minera Alpamarca de la Compañía Minera Chungar S.A. en el proceso de mejora continua, se encontraba evaluando nuevas formas de disponer sus relaves.

El sistema de recirculación de aguas con las que cuenta, no le permite tener niveles de sólidos mayores y recuperar más aguas para los procesos metalúrgicos de sus operaciones, por lo que decidió modificar su actual sistema de recirculación, partiendo de que en el actual sistema cuenta con seis bombas sumergibles de las cuales dos captan agua del espejo de la relavera y otras dos captan agua de la poza de recirculación, luego se impulsa a la poza intermedia, la que cuenta con dos bombas sumergibles más y se impulsa el agua hasta los tanques de almacenamiento para ser impulsada a la planta de beneficio, a través de una evaluación antes de ejecutar la modificación en el sistema se obtuvo como resultados que la vida útil y la eficiencia de las máquinas disminuye notablemente en adición este sistema requiere de una mayor inversión; puesto que se quiere obtener una eficiencia máxima con los recursos con los que se cuenta, pues se pretende modificar el sistema de bombeo para el uso de aguas residuales, de esta forma captar agua de una poza de sedimentación y otra poza de almacenamiento, ubicada en la bocamina nivel 400, en la que desemboca las aguas de relave conjuntamente con aguas blandas; para ello se tendrá dos bombas centrífugas las cuales impulsaran las aguas blandas y residuales hasta los tanques de almacenamiento de aguas de procesos para el uso en la planta de beneficio, a través de la evaluación luego de la ejecución de la modificación se obtuvo un resultado favorable, en la prolongación de la vida útil y la eficiencia de los equipos y maquinarias; a través de un análisis comparativo tras la modificación del sistema de recirculación existente se podrán visualizar los resultados obtenidos, antes y después de la modificación.

Tal como se aprecia en la Figura 1, el objeto de estudio tiene que ver con el sistema de bombeo, pues la modificación que se le hará constará de un cambio

inmediato de los componentes que la conforman, todo ello se verá reflejado en un análisis comparativo entre el sistema antes de la modificación y el sistema después, en consecuencia se tendrá un mayor beneficio para la empresa con el sistema modificado y el incremento de la eficiencia y la vida útil de la maquinaria y equipos, así como el costo de instalación.

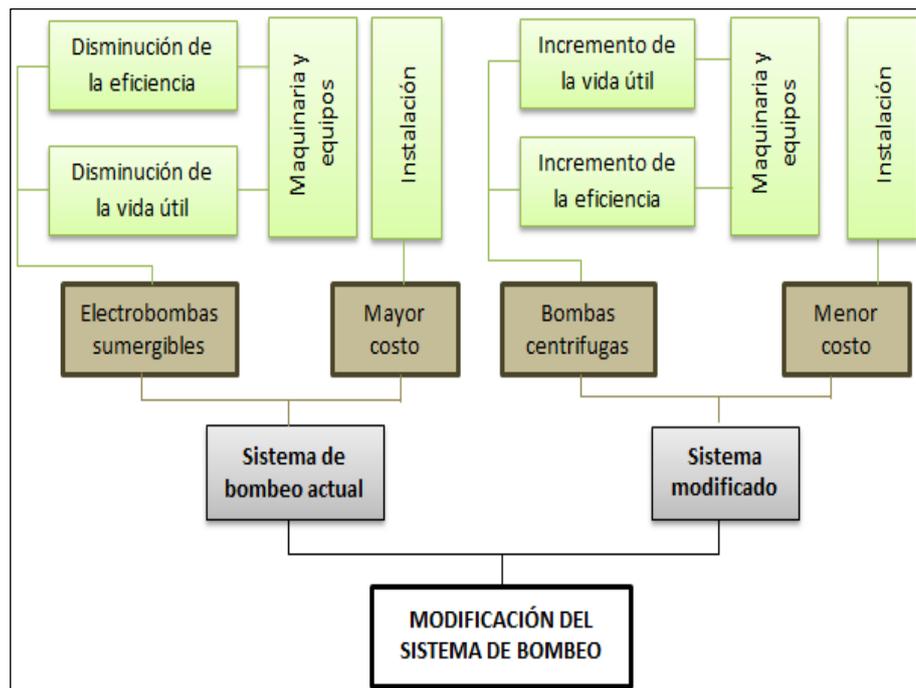


Figura 1. Árbol de problemas

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se aprecia el sistema de bombeo antes cuenta con seis bombas sumergibles de 150 HP, conectadas con tubería HDPE 6 ϕ que impulsan agua únicamente de la relavera, mientras que en la Figura 3, se aprecia el sistema modificado que cuenta con sólo dos bombas centrífugas multietápicas de 250 HP propias de la empresa, conectadas con tubería HDPE 10 ϕ que impulsan aguas de relaves y aguas blandas de la bocamina nivel 400 .

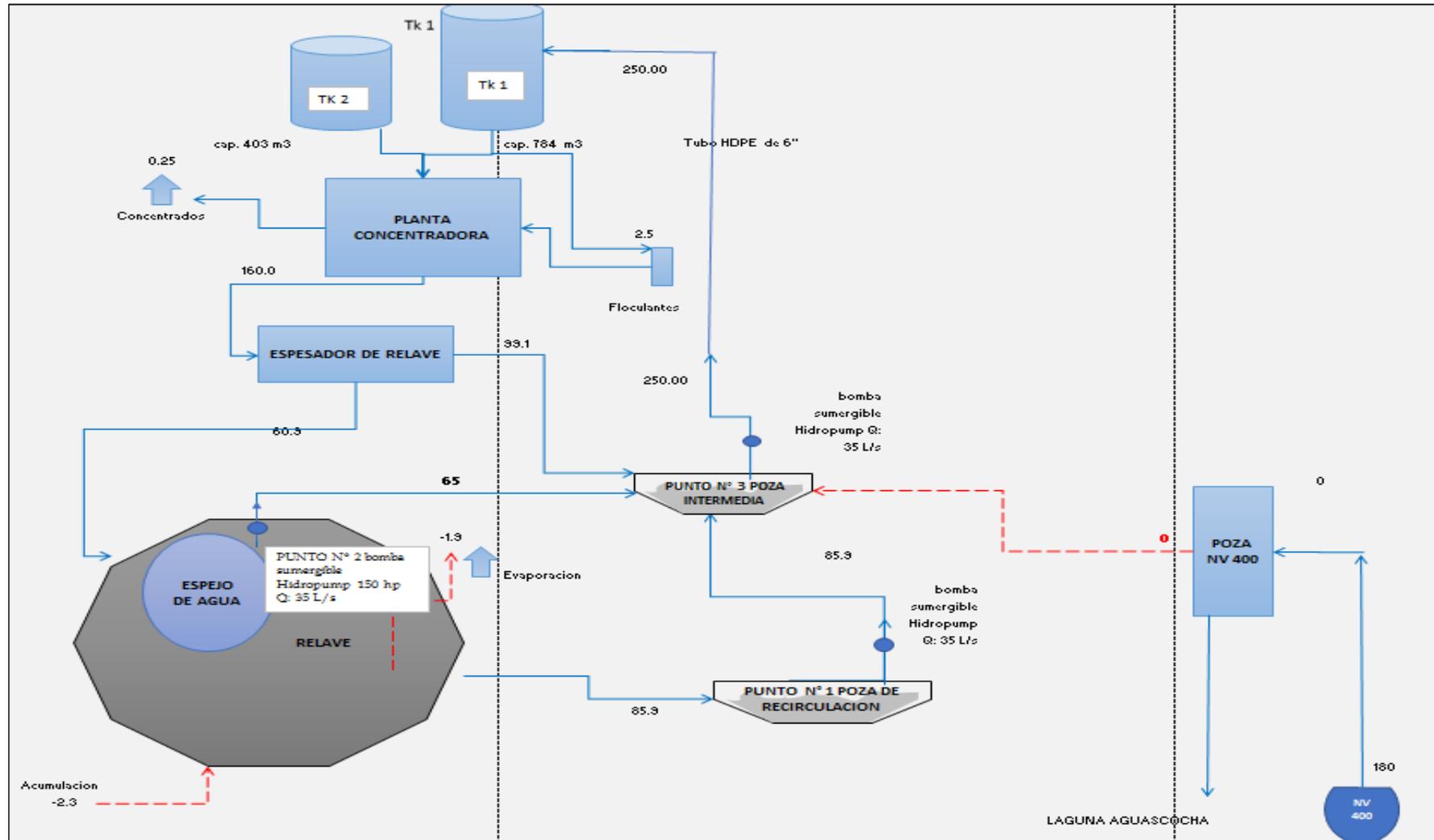


Figura 2. Sistema de bombeo antes de la modificación

Fuente: Elaboracion propia

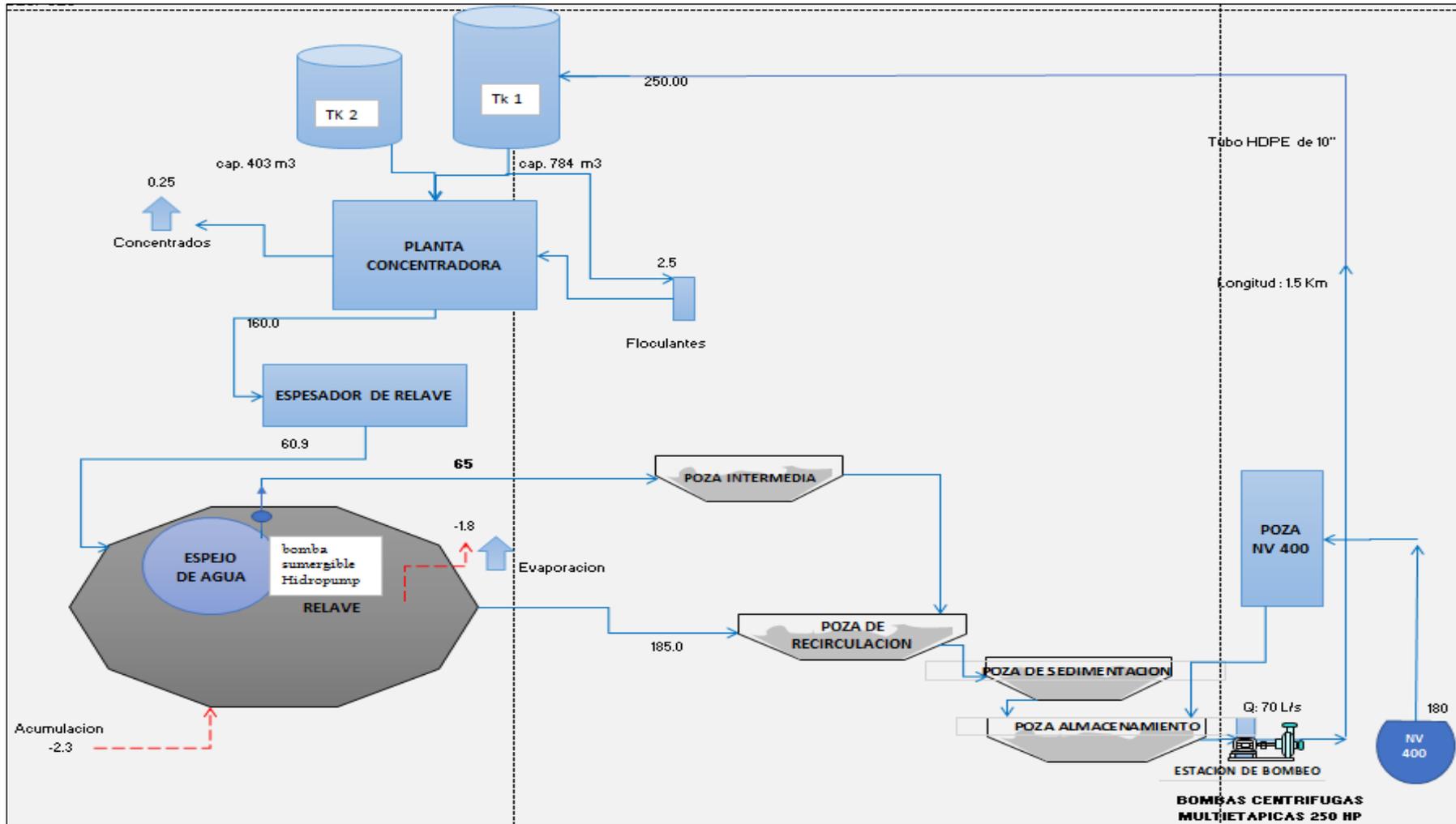


Figura 3. Sistema de bombeo después de la modificación

Fuente: Elaboración propia

1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Espacial

La modificación del sistema de bombeo, se realizó en la unidad minera Alparmarca de la Compañía Minera Chungar S.A.

1.2.2 Temporal

Las pruebas en cuanto a la modificación del sistema de bombeo tuvieron lugar en el periodo de enero de 2017 a diciembre de 2018.

1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problema General

¿Cómo la modificación del sistema de bombeo incide en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alparmarca – 2018?

1.3.2 Problemas Específicos

- A. ¿Cómo la modificación del sistema de bombeo incide en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alparmarca – 2018?
- B. ¿Cómo la modificación del sistema de bombeo incide en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alparmarca – 2018?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Determinar como la reutilización del sistema de bombeo incide en la reutilización de aguas Residuales en la unidad minera Alparmarca - 2018.

1.4.2 Objetivos Específicos

- A. Establecer cómo la modificación del sistema de bombeo incide en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.
- B. Evaluar cómo la modificación del sistema de bombeo incide en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Hipótesis General

La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- A. La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.
- B. La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Variable independiente

X = Sistema de bombeo

1.6.2 Variable dependiente

Y = Reutilización de aguas residuales

1.6.3 Operacionalización de variables

Cuadro 1 . Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES
INDEPENDIENTE				
Sistema de bombeo	El sistema de bombeo, se compone de dos pozas ubicadas al lado del actual canal proveniente de la bocamina nivel 400, para luego pasar a una poza de almacenamiento, luego mediante un sistema de bombeo impulsar las aguas hasta la planta de beneficio.	El sistema de bombeo es el conjunto de elementos que facilitan el traslado mediante tuberías, el almacenamiento de fluidos desde la parte inicial hasta el lugar requerido de modo que se cumpla con la demanda volumétrica.	Potencia de las bombas	hp
			Tubería	ø
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES
DEPENDIENTE				
Reutilización de aguas residuales	La reutilización de aguas residuales es el aprovechamiento en cantidades considerables para el uso requerido en caso de escasez del recurso hídrico	La reutilización de aguas residuales consiste en el traslado de las aguas residuales, mediante el sistema de bombeo hacia la planta de beneficio, para facilitar el procesamiento de minerales polimetálicos de cobre, zinc y plata	Caudal de la bomba	m ³ /h
			Tiempo de bombeo	h

Fuente: Elaboración Propia

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Tipo de Investigación

De acuerdo con Hernández, Fernández, & Baptista (2014) existen dos tipos de investigación de acuerdo a la naturaleza de las variables es cualitativa cuando obedece a factores cuantificables a través de la percepción y cuantitativa cuando obedecen mediciones que se obtienen a través de instrumentos de medición, también se encuentran las investigaciones de tipo mixto pues comparten el enfoque cualitativo y cuantitativo, la presente investigación siguiendo las definiciones detalladas será de tipo cuantitativo debido a que nuestras variables se expresan en datos numéricos, de acuerdo con Bernal Torres (2015) los tipos de investigación son de tipo básico y aplicada, en la primera se generan nuevas teorías y conocimientos, mientras que en la segunda se toman los conocimientos y teorías existente para volcarlos en la realidad problemática que se estudia, la presente investigación será de tipo aplicada porque no se pretende generar conocimientos nuevos, más bien tomar teorías existentes para aplicarlos a la realidad.

1.7.2 Nivel de Investigación

Conforme a lo mencionado por Hernández, Fernández, & Baptista (2014) se tiene cuatro niveles en la investigación los cuales son: exploratorio, descriptivo, relacional y explicativo, en el primero se observan los hechos tal y como se muestran en la realidad, en el segundo se describe la realidad sin la intervención del observador, en el nivel relacional se busca la asociación y correlación entre las variables.

En el nivel explicativo se busca la relación de causa – efecto de la experimentación, la presente investigación se encuentra en el nivel relacional y explicativo, porque se pretende manipular la variable independiente con la modificación del sistema de bombeo actual, así como ver los efectos inmediatos en la incidencia de aguas residuales.

1.7.3 Diseño de Investigación

En la presente investigación se utilizará el diseño experimental de la investigación, de acuerdo con Hernández et al. (2014) el diseño es un plan que se desarrolla para la obtención de la información requerida en una investigación para poder responder al planteamiento, a través del diseño experimental se manipula la variable independiente para ver los efectos inmediatos en la variable dependiente, a fin de descubrir de qué modo o debido a que se produce una situación o acontecimiento en particular. El diseño experimental se divide en tres variantes las cuales son los diseños pre-experimentales, los cuasi experimentos y los experimentos puros, en la presente investigación se efectuará el diseño cuasi experimental, porque se llevará a cabo el estudio de las aguas residuales antes de la modificación del sistema de bombeo y después de que se haya modificado, este diseño sigue el siguiente esquema:

$$G.E. O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

$$G.C. O_3 \rightarrow \zeta \rightarrow O_4$$

Dónde:

G.E. Grupo Experimental, Casos de estudio (pruebas)

G.C. Grupo Control

O_1 y O_3 : Medición de las pruebas en el pre test

O_2 y O_4 : Medición de las pruebas en el post test

X : Tratamiento, estímulo o condición experimental

ζ : Ausencia del estímulo

El diseño cuasi experimental se basa en el pre test o la medición antes de la modificación en el sistema de bombeo y se representa por: O_1 se representa como el caudal antes de la modificación y O_3 se representa como el caudal después de la modificación, de otro lado O_2 se representa como el tiempo de bombeo antes de la modificación, y O_4 el tiempo de bombeo después de la modificación, en tanto X se representa por el cambio de las bombas para así tener mejores potencia, así como el cambio de tuberías.

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Población

La población en la presente investigación se encontró conformada por las pruebas de monitoreo en la unidad minera Alpamarca, esto se llevó a cabo en el área de disposición de relaves.

1.8.2 Muestra

Los casos de estudio son las pruebas de monitoreo, que se tomó mensualmente, una por cada mes (antes y después de la modificación) desde enero de 2017 a diciembre de 2018, es decir 24 pruebas en total, se seleccionó bajo el muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo aleatorio simple, de acuerdo con Triola (2009) refiere que aunque es importante contar con una muestra que sea lo suficientemente grande,

además es importante contar con datos muestrales obtenidos de manera apropiada, tal es el caso de las muestras pequeñas.

1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1 Técnicas

La técnica que se utilizó en la presente investigación es la observación experimental que de acuerdo con Tamayo Ly & Silva Siesquén, elabora datos en condiciones controladas por el investigador, específicamente debido a que éste puede manipularla la o las variables.

1.9.2 Instrumentos

El instrumento a utilizar para la recolección de datos son las fichas de registros de datos, esta deviene de la técnica de la observación experimental, la ficha de registro de datos se encuentra en el Anexo B.

1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1 Justificación

La presente investigación es necesaria para la empresa debido a que se tenía que ingresar a una etapa de mejora continua en la que se generen mejoras con los recursos con los que se dispone, es por ello que a través de la modificación del sistema actual de bombeo se logró la eficiencia de aguas residuales para el incremento de la vida útil de las maquinarias.

1.10.2 Importancia

El estudio de las aguas residuales permitió a la unidad minera tener menos costos en cuanto al mantenimiento de la maquinaria y equipos de la planta de beneficio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Castro (2015) en su tesis titulada “Rehabilitación del Sistema Eléctrico de generación para la planta de bombeo de aguas negras Km 11+600 del Sistema Gran Canal, mediante el cambio y suministro de un transformador de 2500 Kva nominales a 440v/4160v” tuvo como propósito principal la estimación de la rehabilitación del sistema eléctrico de generación para la planta de bombeo de aguas negras, a través del cambio y la dotación de un transformador de 2500 Kva a 440v/4160v; para ello se hizo necesario contar con dos bombas sumergibles de 3 metros cúbicos por segundo.

La problemática que se enfrentaba era el estancamiento e inundaciones constantes en un estado de México, la planta de bombeo es

capaz de evacuar más de 21 metros cúbicos de agua residual y pluvial por segundo, además de liberar el drenaje profundo de las aguas de la ciudad; de acuerdo a la metodología de la investigación que se utilizó corresponde a una investigación de tipo aplicada, de nivel explicativo porque toma a la rehabilitación del sistema eléctrico de generación como variable independiente o causa para optimizar la planta de bombeo de aguas negras, es decir la consecuencia inmediata es tener un óptimo manejo de la planta de bombeo, el proceso de rehabilitación del sistema se basó en la instalación de dos bombas sumergibles y con un transformador de corriente eléctrica, finalmente concluye mencionando que debido al hundimiento en el terreno estudiado, por la extracción de agua del subsuelo, se construirá cuatro plantas de bombeo para la aumentar la capacidad de desalojo de las aguas residuales, con la rehabilitación el canal de desagüe disminuyó su capacidad de 80 metros cúbicos por segundo.

Guerrero (2016) en su tesis titulada “Diseño Hidráulico de un sistema de bombeo y distribución para el abastecimiento de agua potable de la urbanización Venezuela de la parroquia nuevo paraíso de la Provincia de Orellana” tiene como propósito principal ejecutar el diseño hidráulico de un sistema de bombeo y la distribución en el abastecimiento de agua potable de la urbanización materia de su estudio, según la metodología empleada, las variables.

El tipo de investigación es aplicado porque toman conocimientos de la realidad y se miden las variables a través de instrumentos, el nivel de investigación es el explicativo de relación causa – efecto, el

abastecimiento de agua potable dependerá del diseño hidráulico del sistema de bombeo, en ella intervendrán el diseño del pozo, el diseño de la bomba de succión, red de tubería de impulsión, tanque de reserva baja, redes de distribución y el diseño eléctrico de las bombas de captación e impulsión, son las dimensiones que intervendrán en el abastecimiento de agua potable, se tiene que el flujo de agua se desplaza a medidas establecidas por los criterios de diseño a razón de 0.6 m/s – 2 m/s os cuales no ocasionan problemas de sedimentación en las tuberías por partículas que se cuelen en el flujo, las tuberías de PVC brindan una eficiencia hidráulica de 1.25 MPa ofreciendo menores pérdidas por fricción, capaces de soportar presiones originadas por golpe de ariete. Finalmente, este autor concluye mencionando que una buena selección de la bomba es trascendental para completar todo un sistema de distribución de agua, los resultados se observarán en una larga y satisfactoria operación traducida en una economía funcional de largo plazo.

Chuquin y Murminacho (2013) en su tesis titulada “Optimización de la producción de crudos pesados mediante bombeo electrosumergible de cavidad progresiva del campo Fanny 18B” tuvo como propósito general optimizar la producción de crudos pesados en el campo materia de su estudio a través del sistema de bombeo electrosumergible de cavidad progresiva, el marco metodológico de esta investigación se basa en el análisis de pozos con pruebas e historiales de producción, registros eléctricos, pruebas de presión, índice de productividad, selección de pozos para el estudio, esta investigación obedece al enfoque cuantitativo,

de nivel explicativo porque trata de ver los efectos de la variable dependiente en la independiente, es decir una relación de causa efecto inmediato, como resultado el método utilizado en la optimización es eficiente en pozos con producción considerable de fríos alto, crudo pesado de 13.5” su desempeño operacional fue más eficaz que el anterior sistema que manejaba, por último concluye que es un sistema modificado de bajo costo de inversión e igual costo de un sistema de bombeo tradicional en el que se recupera en promedio 90 días.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Rodríguez (2014) en su tesis titulada “Mejoramiento del Sistema de Bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A – Unidad San Cristóbal” tiene como objetivo principal mejorar el funcionamiento de las bombas instaladas en paralelo con 750 HP cada una, de acuerdo a la metodología aplicada en esta investigación corresponde al tipo aplicada o tecnológica debido a que se encuentra utilizando teorías existentes en la aplicación exacta del conocimiento del sistema de bombeo en la generación de soluciones o alternativas, el nivel de esta investigación es el descriptivo en el que se registra, y evalúa las diversas variables del sistema de bombeo para la evacuación del agua de mina, el método que se planteo fue el descriptivo, siguió también el diseño experimental de corte cuasi experimental para el análisis pre test y post test, como resultados obtuvo que el anterior sistema tenía tres bombas de 750 HP instaladas en paralelo con capacidad de 150 l/s cada una para la evacuación de aguas de mina desde el nivel 820 al 1020, fue reemplazado por el nuevo sistema con tres bombas en

serie de 190 Kw (255HP), con las culés se lograran reducir en 14 horas el tiempo de mantenimiento preventivo y en 168 horas el tiempo de mantenimiento correctivo. Finalmente concluye mencionando que el nuevo sistema alcanzo una disponibilidad de 96% en tanto la anterior tenía una disponibilidad de 74%, el consumo de energía en el nuevo sistema fue de 10600.83 Kw/h ahorrando un 18% de consumo de energía eléctrica en comparación con el sistema anterior.

Franco (2015) en su tesis titulada “Optimización del Sistema de Bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica, en Volcan Compañía Minera S.A.A – Unidad Chungar” tuvo como propósito principal optimizar el sistema de bombeo de agua subterránea para satisfacer su demanda volumétrica requerida por la compañía materia de su estudio, lo que se buscó también es poder encontrar una solución para la evacuación de las aguas al interior de la mina, para ello empleo en el análisis de su actual sistema de bombeo, para luego proponer una optimización del sistema de bombeo, en cuanto a la metodología de la investigación este fue de tipo aplicada o tecnológico debido a que se enfoca a determinar las causas en la baja satisfacción de demanda de agua en el sistema de bombeo, el nivel de esta investigación fue el explicativo porque se optimizó el sistema de bombeo como factor utilizado para la satisfacción de demanda, es decir una relación de causa – efecto, el diseño de esta investigación fue el experimental, precisamente el cuasi experimental (pre y post test), para optimizar el sistema de bombeo se tuvo en cuenta, la comparación del índice de disponibilidad, las lecturas de las señales: presión, caudal, temperatura

del agua y parámetros eléctricos, y el caudal de la bomba en litros/segundos, para la recolección de datos se utilizó la lista de cotejo y la ficha de registro, como resultado se obtuvo que la tubería más apropiada para la instalación es la de 8” para la instalación de la bomba GIW – LCC y KSB MEGANORM, la primera trabajará a un régimen de altura y caudal mayores a los requeridos con menor potencia y bajo rendimiento, la segunda trabaja de altura y caudal mayores a los requeridos con mayor potencia y mayor rendimiento. Finalmente concluye mencionando que aplicar 2 líneas en paralelo es viable, el problema es que se pierde caudal, la bomba GIW – LCC y MEGANORM no presentan problemas de cavitación el diámetro de profundidad es de 4.85m con la que cumple con la condición de no cavitación.

Soto (2012) en su tesis titulada “Técnica de Control Autónomo de un sistema de bombeo de agua potable para una mayor eficiencia en su servicio en la unidad Doe Run Perú – Cobriza” tuvo como objetivo principal tecnificar el control autónomo de un sistema de bombeo de agua potable para tener la máxima eficiencia en la unidad materia de su estudio, las bombas funcionan de manera secuencial a través del nivel de agua que se encuentran en el depósito y la cisterna, se determinara las fallas existentes, de acuerdo a la metodología empleada esta investigación fue de tipo aplicada, utilizó el método analítico, y utilizó el diseño experimental, debido a que se propone la implementación de un sistema automático consistente en la conducción de señales lógicas de PLC para controlar el sistema de bombeo. Finalmente concluye

mencionando que la implementación del PLC y los electroniveles al sistema de bombeo, facilitan un control más eficiente sin riesgos de fuga de agua en el llenado de la cisterna y el depósito, también evitan que las bombas operen en vacío, una ventaja del sistema implementado también es que permite una sincronización en el arranque y paro de las bombas por el tiempo o en función al nivel del agua que se ubica en la cisterna y en el depósito.

Campos (2018) en su tesis titulada “Análisis Técnico-Económico para optimización del Sistema de Recuperación de agua por bombeo en una presa de relave” tuvo como propósito general desarrollar un análisis técnico-económico de un sistema de recuperación de agua por bombeo en una presa de relave, también se determinará el material de tubería a usar, el crecimiento de la presa de relave, el tipo de bomba a usar, de acuerdo a la metodología se desarrolló a través del enfoque científico y de naturaleza cuantitativo, por las variables de investigación, el tipo de investigación fue aplicada, se ubica en el nivel explicativo y descriptivo, en donde se describe y analiza las dimensiones de las variables de investigación. Finalmente concluye mencionado que la solución con menores costos totales, la cual tiene un costo de operación de S/. 23 316 019.16 y un costo de inversión de S/. 39 242 747.42; además de que el material de tubería seleccionada en este proyecto será el polietileno HDPE, ya que este material resiste gran variedad de agentes químicos usados en minería también por tener un menor coeficiente de rugosidad de las tuberías y tener grandes curvaturas gracias a su gran flexibilidad, el tiempo de bomba seleccionada en este proyecto son las bombas

centrifugas de 250 HP, debido a que en el análisis de estabilidad las balsas, estas bombas pueden modificar su curva por medio de fases y ser más económicas en función a las bombas verticales sumergibles, con la elección de menor costo se tiene que de acuerdo a la tubería produciría sedimentación en las tuberías ($v < 0.6$ m/s) debido a que el caudal se reducirá a la mitad. (Herrera Herbert & Ortiz de Urbina, 2007)

2.1.3. Antecedentes locales

Dueñas (2017) en su tesis titulada “Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga RPH-250 KSB para incrementar su disponibilidad en la empresa administradora Cerro S.A.C. – 2017” tuvo como propósito general determinar la influencia de la modificación del impulsor y eje de bomba centrífuga RPH-250 KSB en su disponibilidad en la empresa materia de su estudio, desde el enfoque metodológico de la investigación fue de tipo aplicada, pues se plasmaron los conocimientos acerca del sistema de bombeo existente en la solución de la baja disponibilidad de la bomba a través de una modificación al eje y el impulsor, el diseño que se planteó fue el experimental de corte cuasi experimental con el análisis pre y post facto, en el pre test se evaluó la disponibilidad mecánica del sistema de bombeo, como resultado se obtuvo de que la disponibilidad mecánica de la bomba centrífuga se incrementó en 25% ergo se incrementó la vida útil, la modificación de la bomba centrífuga KSB sirvió para la modificación de las demás bombas en la empresa materia de su estudio las cuales presentan fallas en el perno de sujeción del impulsor. Finalmente concluye mencionando que a través de la modificación de la bomba centrífuga KSB se incrementó la

disponibilidad mecánica llegando a un 89% en promedio, con ello se redujo también los costos de operación.

León (2018) en su tesis titulada “Sistema de bombeo de agua en dos etapas para reducir costos en la mina Animon – Unidad operativa Chungar de la Compañía Minera Volcan S.A.A.” la problemática principal fue describir como se podrá reducir costos al ejecutar el sistema de bombeo de agua a través de dos fases o etapas en la mina materia de su estudio, tuvo como propósito principal la reducción de los costos en la ejecución del sistema de bombeo de agua en dos fases, desde el punto de vista metodológico este estudio fue de tipo aplicativo por el propósito y naturaleza del proyecto, de nivel descriptivo, correlacional y explicativo de la investigación, el diseño utilizado fue el correlacional, la población de esta investigación estuvo conformado por los estudios de bombeo en función a la explotación de minerales, y el marco muestral por el sistema de bombeo en la mina materia de su estudio, se utilizó como método deductivo, inductivo, evaluativo, explicativo analítico y sintético. La primera alternativa planteada se desarrolla en una sola etapa con seis bombas de agua sin sedimentar instaladas en paralelo, el caudal proyectado por cada bomba es de 200 lps, también este sistema cuenta con un colector de lodos, para ser transportados en cisternas; la segunda alternativa con seis bombas centrífugas, el caudal proyectado para cada bomba es de 200 lps, los lodos se generan en el sistema de sedimentación y serán trasladados con una bomba sumergible a pozas de lodos. Finalmente concluyo mencionando que la segunda alternativa resulta ser la mejor opción, por ello de definir previamente el nivel donde se deberá

habilitar la cámara de bombeo, mas por tanto será necesario definir con las operaciones mineras el menor manejo de lodos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Sistema de bombeo

En la definición de Blanco, Velarde y Fernández (1994) se basa en el acumulado de elementos, donde facilitan el transporte de aguas mediante conductos y acopio temporal de fluidos, desde interior mina hacia el exterior, de tal manera que se cumplan las especificaciones de caudal, así como de presión que se necesitan en los distintos métodos y procesos.

2.2.1.1. Características de los sistemas de bombeo

Previamente, en la determinación de la dimensión de un sistema de bombeo de agua, se hace preciso conocer los conceptos descritos para las condiciones hidráulicas.

La dimensión del sistema se encuentra relacionado con el producto de la carga dinámica total (CDT), así como el volumen diario necesario. La CDT es igual a la adición entre la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD).

La carga estática se obtiene de mediciones directas, se define como la zona vertical, el agua se moviliza desde el nivel de abatimiento del pozo hacia la altura en que se libera el agua.

Carga estática = abatimiento + nivel estático + altura de descarga

El total de pozos se comprueban con el fenómeno de abatimiento al momento de bombear el agua, este es el espacio que baja el nivel del agua por la constante extracción de agua.

En la Figura 4, se observa los mecanismos hidráulicos que forman la carga estática. La carga dinámica se considera como el incremento en la presión originada por la resistencia al flujo del agua por la rugosidad de las tuberías y sus accesorios como codos y válvulas, la rugosidad tiene una dependencia del material utilizado en la elaboración de las tuberías, en las tuberías de acero se encuentra más fricción que en las de PVC, además el diámetro de los tubos incide en la fricción, ergo por más estrechos se da una mayor resistencia.

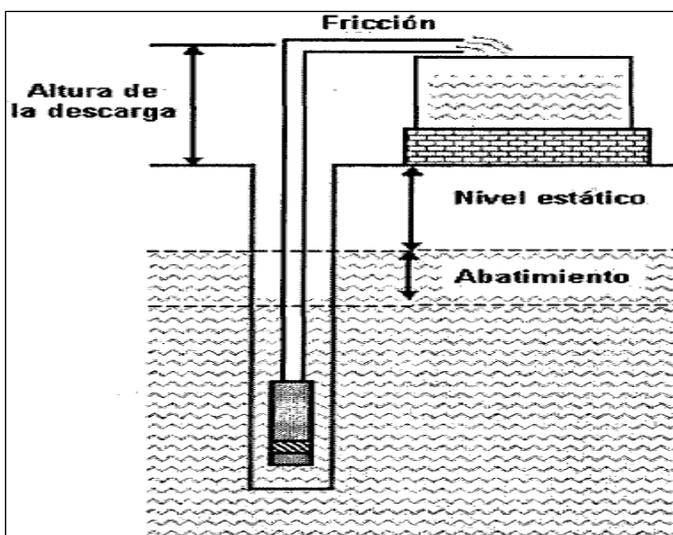


Figura 4. Fundamentales Características y componentes hidráulicos

Fuente: Soto (2012). P.63.

Para el cálculo de la carga dinámica, se necesitará ubicar el espacio que recorre el agua, comenzando en el punto en el que el agua ingresa a la bomba hasta el punto de descarga, adicionando

también las distancias horizontales, y también el material de la línea de conducción y el diámetro.

2.2.1.2. Componentes de un sistema de bombeo

Además de las tuberías que juntan los puntos de origen y destino, es necesario para el transporte las bombas, el lugar de almacenamiento y depósitos además de otros elementos de regulación y las válvulas de medición.

- Bombas
- Caseta de Bombeo (Cuarto de Bombas)
- Cisterna de Bombeo o Tanque enterrado
- Equipo de Bombeo
- Grupo Generador de Energía y Fuerza motriz
- Tubería de Succión
- Tubería de Impulsión
- Válvulas de regulación y control
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.

2.2.1.3. Curva característica de la bomba en el sistema

En la Figura 5 se muestran las curvas primordiales muestran informaciones similares indistintamente del proveedor frecuentemente consideran la curva de carga con relación al caudal (trazada por distintos diámetros del impulsor y a una velocidad constante), la curva NPSH con relación al caudal, la

curva de eficiencia con relación al caudal, también la relación entre la curva de potencia con el caudal.

Si es que no se cuenta con la data técnica del proveedor de la bomba que se busca evaluar, se pueden utilizar curvas de referencia que tengan las mismas características de la bomba, en otras palabras, el diámetro y el tipo de impulsor, la velocidad, el tamaño. etc.

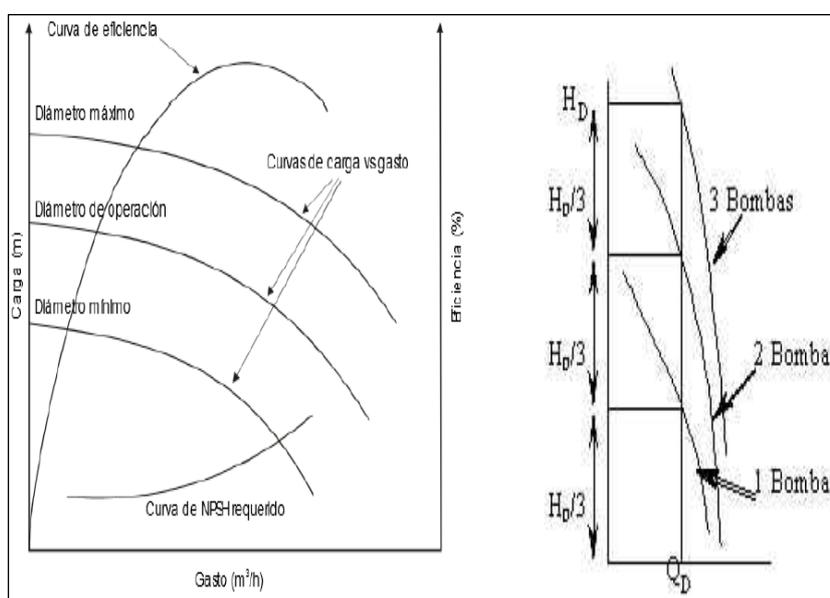


Figura 5. Curvas características

Fuente: Rodríguez (2014). p.27

2.2.1.4. Punto operativo del sistema de bombeo

El caudal constante se tiene en el momento que la carga causada por ella sintoniza con la que especifica el sistema de bombeo. La Figura 6 muestra el punto de operación es el resultado de la intersección de la curva de la carga y caudal de la bomba adecuado al diámetro en la operación, así como la curva

del sistema. En el momento de trazar una línea horizontal y vertical que sea tangente a este punto se tiene como resultados las cantidades de carga, caudal, eficiencia y NPSH.

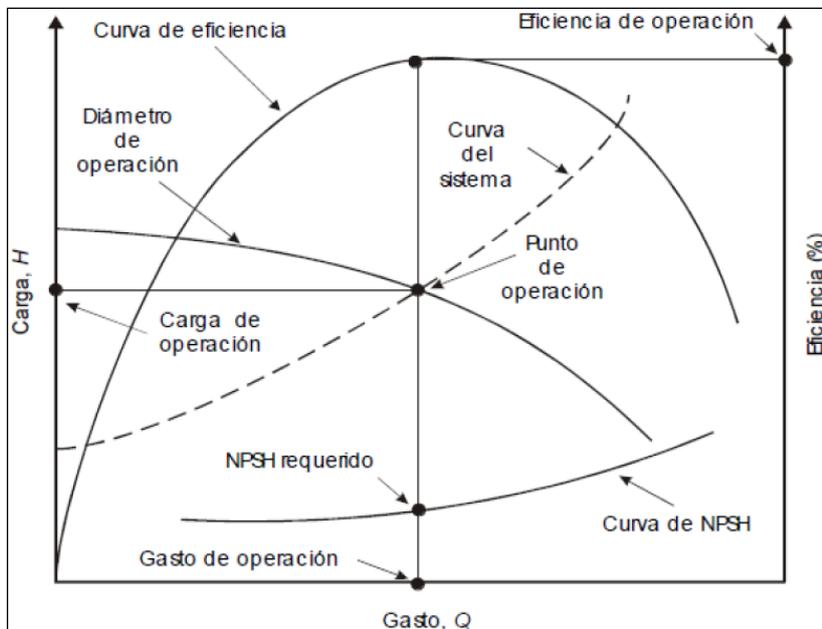


Figura 6 Punto de operación Q constante

Fuente: Rodríguez (2014). P.27

En la Figura 7 podemos notar que el caudal variable también se da en sistemas de bombeo, esto quiere decir que se trabaja con distintos puntos de operación (carga y caudal). Complementariamente, en cada punto de operación es posible la determinación del NPSH solicitado, así como la eficiencia de la bomba.

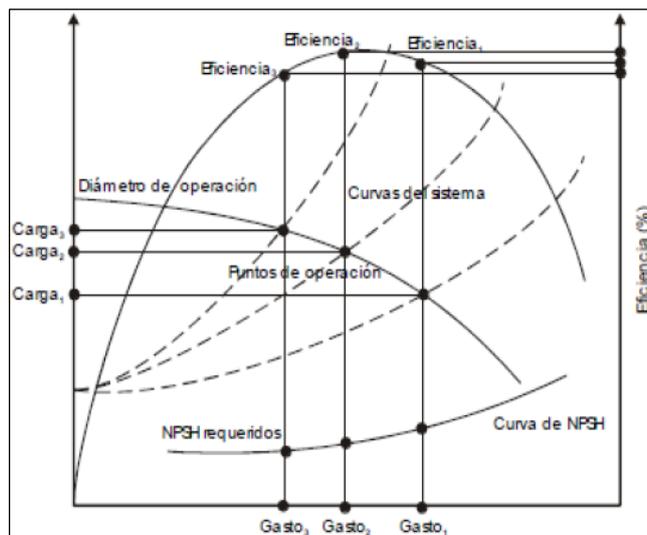


Figura 7 Punto de operación para Q variable

Fuente: Rodríguez (2014). p.27

2.2.2. Bombas Hidráulicas

De acuerdo con De las Heras (2011) las bombas hidráulicas son un sistema mecánico que cambia energía con el fluido que se encuentra contenido en su interior, así como los ventiladores, los compresores, las turbinas hidráulicas, turbinas de vapor y de gas.

Una bomba hidráulica es una maquinaria generadora que funciona con un fluido incompresible en donde se produce un intercambio de energía mecánica en hidráulica. La misión de una bomba es el intercambio de energía que facilite su transporte en una instalación, con esto se tiene el aumento de la presión a la salida de la bomba que se relaciona con el caudal que se desplaza en forma de curva, esta es característica de cada bomba, depende también de su tamaño y principio de funcionamiento,

tamaño velocidad de accionamiento, etc. Así como en algunas propiedades del fluido (viscosidad).

De acuerdo con Franco (2015) una bomba hidráulica es un medio que se necesita para transformar energía mecánica en energía fluida o hidráulica, estas son destinadas a comunicar presión y velocidad hacia los fluidos y en muchas oportunidades se da como resultado de una limitación a la circulación corriente debajo de la salida de la bomba. Si no hay limitación, ego se producira poca presión y se necesitará menor potencia para el impulso de la bomba.

2.2.2.1. Clases de bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas más utilizadas son las rotodinámicas o turbomáquinas que de acuerdo con Blanco Marigorta, Velarde Suárez, & Fernández Francos (1994) incrementan la energía del fluido con base a incrementar la energía cinética a través de la deflexión y efecto centrífugo que ocasionan los álabes del rodete, recuperando esta energía en forma de presión. Las bombas rotodinámicas se separan en bombas axiales, mixtas y radiales, de acuerdo a la dirección de salida del flujo en función al eje. El nombre común de las bombas radiales son Bombas centrífugas

En la Figura 8 tiene la presencia de distintas clases de bombas, por los materiales de construcción, tamaños distintos para el manejo de gastos y presiones sumamente variables como los distintos líquidos a emplear. Se conocerá la relevancia de

estos tipos de maquinarias, los tipos de bombas comunes se refieren a las llamadas centrífugas, rotatorias y reciprocantes, la primera es el tipo de bomba que se utilizará en la modificación del sistema de bombeo actual.

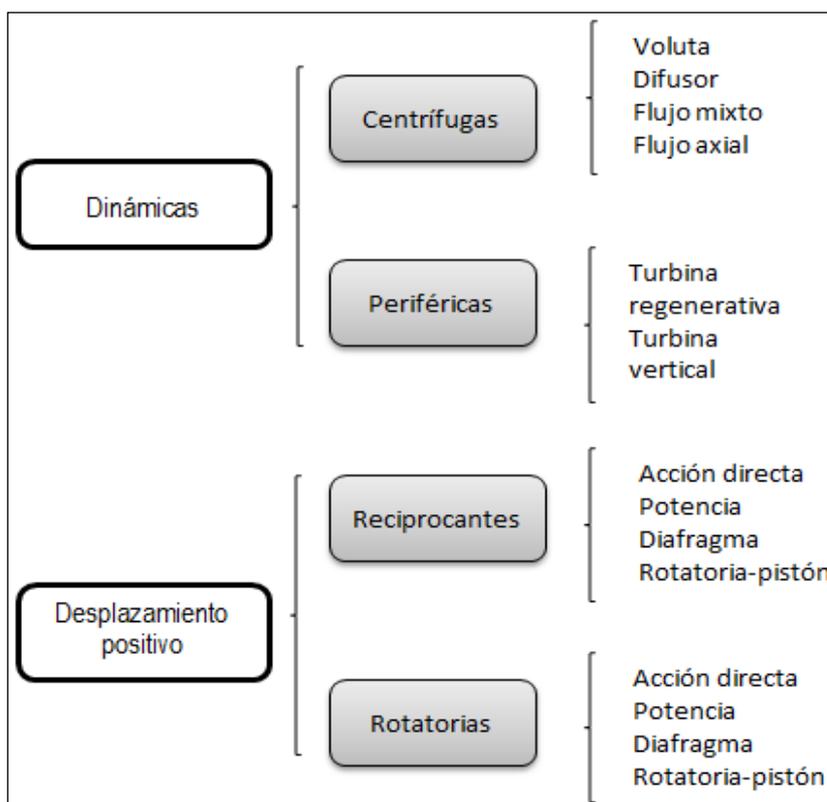


Figura 8. Bomba axial Fuente: Velarde y Fernández (1994). Sistema de Bombeo. p.27

El uso de las bombas axiales se da cuando se requieren grandes caudales en pequeñas alturas de elevación, en tanto las bombas centrífugas cuando se requieren grandes alturas y pequeños caudales, de otro lado las bombas mixtas requieren un caso intermedio.

De las Heras (2011) mencionan que las bombas rotodinámicas son una máquina encargada de comunicar energía

al fluido a su paso por uno o distintos rodets, rotores o impulsores, aumentando el número de movimientos, sin un cambio notable en su densidad. En el Cuadro 2 se muestra la comparación de bombas rotodinámicas y volumétricas.

Cuadro 2. Comparación entre las bombas rotodinámicas y

v

Bombas volumétricas	Bombas rotodinámicas
La transferencia de energía es debida al desplazamiento del fluido a su paso por la máquina, acompañado normalmente de un proceso de compresión dentro o fuera de la misma	La potencia hidráulica transmitida resulta de la variación del momento cinético que experimenta el fluido al atravesar el rodete de la máquina.
En las bombas de desplazamiento positivo, el fluido circula a través de la bomba en forma de paquetes separados unos de otros	Los orificios de entrada y salida están comunicados hidráulicamente por un canal abierto, de forma que el fluido puede recircular en el interior de la bomba y fluir a contracorriente.
No pueden trabajar contra válvula de impulsión cerrada. Necesitan una válvula de seguridad que limite la presión máxima.	Pueden trabajar contra válvula de impulsión cerrada pues la presión máxima está limitada por su principio de funcionamiento.
El caudal que impulsa la bomba es poco dependiente de la presión de trabajo, dentro de los límites de potencia del accionamiento conforme a las especificaciones de seguridad.	El caudal que impulsa la bomba depende de la presión de trabajo. Al cerrar la válvula de impulsión, la presión aumenta, el caudal efectivo se hace nulo y el líquido recircula por el interior de la máquina.
El caudal de impulsión es proporcional a las revoluciones del accionamiento dentro del intervalo de velocidades facilitado por el fabricante.	El caudal impulsado es proporcional a las revoluciones en sistemas hidráulicos de altura estática nula. En otros casos, existe una cierta proporcionalidad, pero no una relación lineal tan evidente como en las volumétricas.
Tienen diversos elementos móviles para transportar el fluido de la entrada a la salida e impedir su retroceso. Estos elementos pueden ser válvulas, ruedas dentadas, paletas, pistones, etc. Según su principio de funcionamiento.	Las bombas rotodinámicas utilizan uno o varios rodets para comunicar la energía al fluido. Por norma general, el rodete o los rodets son los únicos elementos móviles en el interior de la bomba (y el eje motor).
El caudal impulsado es pulsante, lo que genera importantes picos de presión en el sistema. La oscilación de la presión provoca vibraciones y ruidos, efectos que han de ser atenuados en lo posible.	El caudal se impulsa de forma continua. La aparición de pulsos de presión suele ser debida a la frecuencia de paso de los álabes del rodete (y son, en general, de pequeña magnitud) o la generación de fenómenos transitorios en la instalación (oscilaciones de masa o golpes de ariete) durante la puesta en marcha o la detención del grupo impulsor.
Las bombas de desplazamiento positivo son auto aspirantes. No obstante, su capacidad de aspiración definida en términos de la altura de aspiración o de la presión máxima a su entrada, depende del tipo de bomba.	Por norma general, son de capacidad de aspiración limitada, muy inferior a la de las bombas de desplazamiento positivo. Han de ser cebadas para que puedan impulsar caudal. No obstante, existen tipologías de bombas rotodinámicas autocebantes.

Fuente. De las Heras, S. (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas p.122-123.

2.2.2.2. Curva característica

La altura de elevación en una bomba rotodinámica se encuentra en función del caudal circulante, esto quiere decir que se encontrará definida por su acoplamiento con el sistema. En el caso de que la bomba sea considerada de forma aislada, la curva que forma la altura proporcionada por la bomba se encuentra en función del caudal.

En la Figura 9, se puede ver que la pendiente de la curva es negativa, esto quiere decir que mientras mayor sea la altura que el sistema exija, menor será el caudal que la bomba proporcione, aunque algunas bombas tienen curvas $H - Q$ que tienen pendientes positivas en la zona de caudales inferiores.

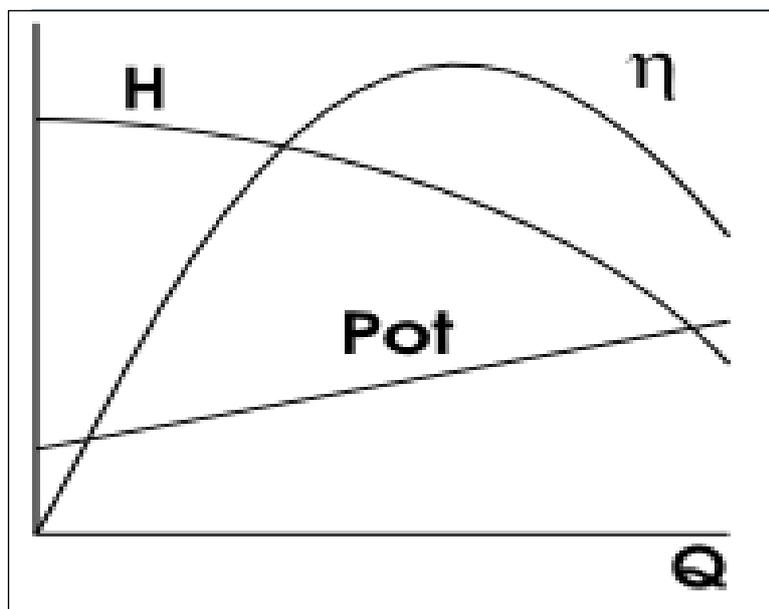


Figura 9. Curva característica de la bomba centrífuga

Fuente: Blanco, Velarde y Fernández (1994). Sistema de Bombeo. p. 68.

En la Figura 10, también se puede ver que la pendiente de la curva es negativa, es necesario retirarse de esas zonas debido a que se puede producir un funcionamiento inestable de la instalación; la potencia de la bomba que se requiere también va a depender del caudal esta tiende a incrementarse con él en las bombas centrífugas y a reducirse en las bombas axiales.

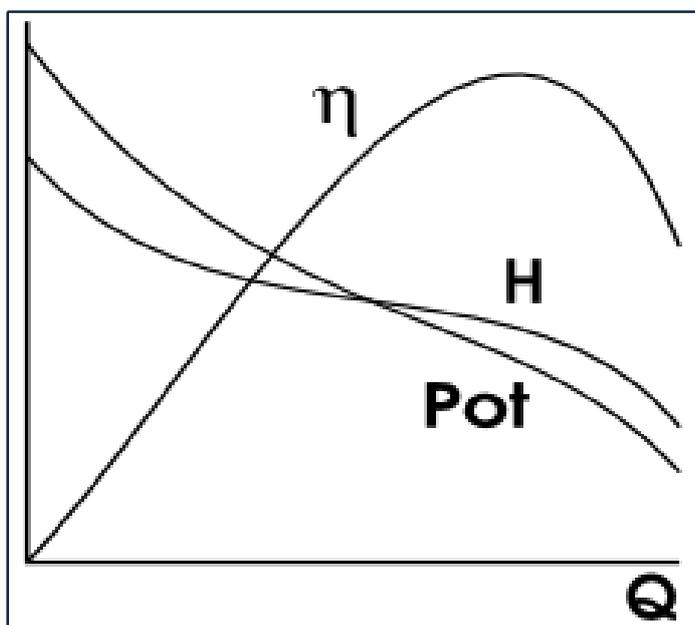


Figura 10. Curva característica de una bomba axial

Fuente: Blanco, Velarde y Fernández (1994). Sistema de Bombeo. p. 68.

Ecuación 1. Potencia hidráulica

$$Pot_H = \rho g Q H$$

Ecuación 2. Rendimiento de la bomba

$$\eta_B = \frac{\rho g Q H}{Pot_B}$$

Donde Pot_B es la potencia que consume la bomba

De la ecuación 1 y 2, el rendimiento es máximo en el punto llamado de diseño de la bomba además decrece así en caudales superiores como los inferiores. Comúnmente, la potencia y el rendimiento son referidos a la bomba, no tomando en cuenta el motor utilizado para accionarla. Los valores de rendimiento máximo se ubican de 85% a 90%.

2.2.2.3. Punto de operación y combinación con el sistema

El caudal circulante por la bomba y la altura de elevación se encuentran acondicionados por el intercambio entre la bomba y sistema. El punto de funcionamiento en el cuadrante (Q_B, H_B) se encontrará representado por el corte de la curva resistente del sistema con la curva característica de la bomba.

De acuerdo a la Figura 11, se observa que se utiliza una bomba para subir fluido del depósito A al superior B. La altura proporcionada por la bomba se emplea en vencer la pérdida de carga, así como en superar la desigualdad de altura entre los depósitos.

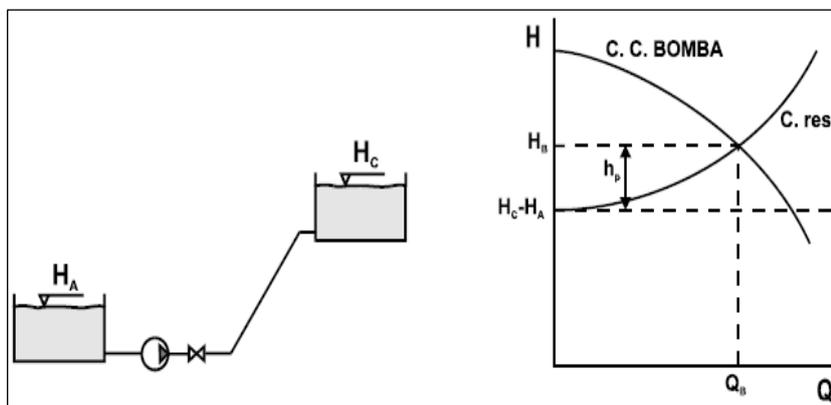


Figura 11. Combinación de bomba y sistema

2.2.2.4. Aceptaciones acerca de la presión y la potencia

La altura generada por la bomba se conoce midiendo la presión a la entrada y a la salida, en la Figura 12 se observa las mediciones de entrada y salida, también se tiene en cuenta además que la altura, incluye la diferencia de presión, de energía cinética, de cota, así como de las pérdidas en los puntos de medida.

$$H_B = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_{p1-2}$$

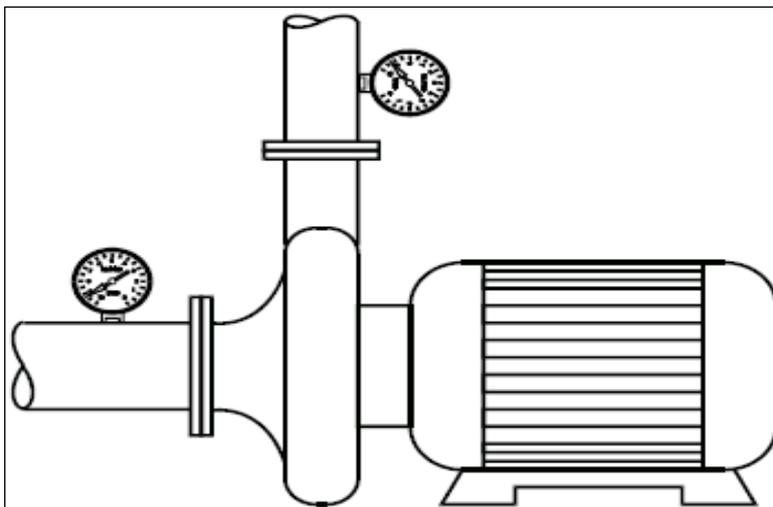


Figura 12. Grupo motor – bomba

Fuente: Blanco, Velarde y Fernández (1994). Sistema de Bombeo. p. 70

Potencia eléctrica

Sea en el caso que la bomba se encuentre accionada por un motor eléctrico, la potencia eléctrica es calculada a través de la potencia hidráulica que se genera, se tiene que tener en cuenta los rendimientos de la bomba, así como en el motor.

$$Pot_{el} = \frac{\rho g Q H}{n_B - n_M}$$

Arranque y potencia máxima

Se debe priorizar el arranque de las bombas en el punto de funcionamiento que tenga un requerimiento de menor potencia, para no tener sobrecargas en el motor, en el caso de las bombas centrífugas se obtiene con el caudal mínimo, mientras tanto en las axiales con el caudal máximo.

2.2.2.5. Bombas en serie y paralelo

De acuerdo con Blanco Marigorta & Ballesteros Tajadura, Análisis de incertidumbre en mecánica de fluidos (1994) se pueden colocar bombas produciendo en serie o paralelo en el mismo circuito, como consecuencia puede ser útil como sistema de regulación, en adición a ello cuando distintas bombas se posicionan en serie, se puede sustituir para el cálculo por otra bomba hipotética que origine una altura suma de las individuales para cada caudal, de igual forma, diversas bombas en paralelo originaran una curva característica en conjunto en la que se adicionan los caudales para cada altura.

En la Figura 13 se aprecia que existen ocasiones en donde se utilizan múltiples bombas que trabajan en serie o paralelo en el mismo circuito. Esto resulta útil como un sistema de regulación, o en el momento cuando se requieran características muy variables. En tanto varias bombas sean colocadas en serie, se

sustituyen para el cálculo por otra bomba hipotética que genera una altura en adición de las individuales para cada caudal.

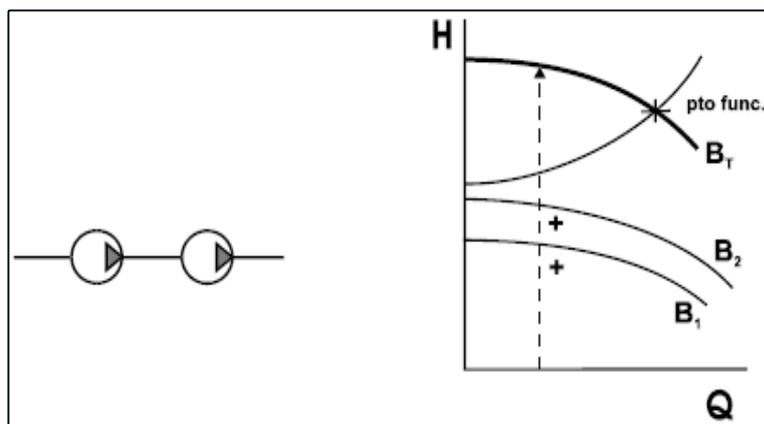


Figura 13. Bombas en serie

Fuente: Blanco, Velarde y Fernández (1994). Sistema de Bombeo. p. 71

En la Figura 14, las bombas en paralelo se mostrarán en una curva característica conjunta en la que se adicionan los caudales para cada altura.

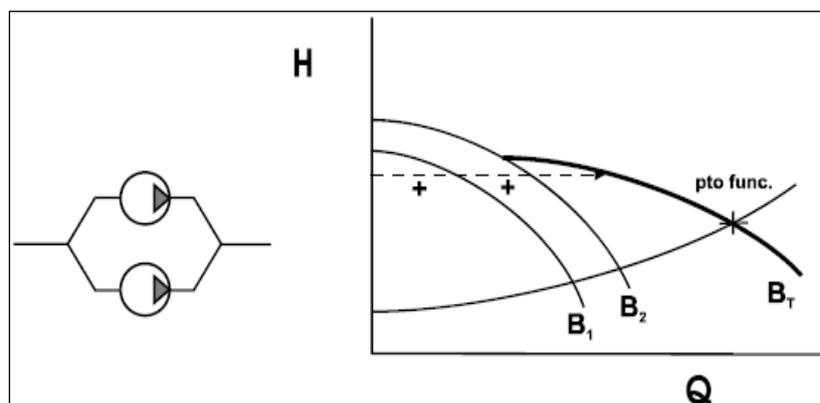


Figura 14. Bombas en paralelo

Fuente: Blanco, Velarde y Fernández (1994). Sistema de Bombeo. p. 72

En la colocación de bombas en serie y en paralelo, es necesario que sean similares con el fin de evitar que se trabaje

en una zona poco adecuada, en el caso de que las bombas con curva inestable (pendiente positiva en algunas zonas), conviene prestar especial cuidado.

2.2.3. Selección de bombas

2.2.3.1. Parámetros adimensionales

La selección de las bombas es un procedimiento parecido al de conceptualización de las dimensiones fundamentales en el diseño. Se comienza desde la altura de elevación, el caudal y el ANPA (Altura neta positiva en aspiración) o NPSH por sus siglas en inglés. A través del caudal y el NPSH se determina el diámetro de ingreso, así como la velocidad de giro, que necesariamente debe encontrarse limitada a valores prácticos o posibles motores que se emplearan. Dependiendo de la velocidad específica se hace la elección de un tipo de máquina axial, mixta o radial, con ello se tiene que tener el diámetro específico con la mejor productividad o rendimiento, con ello se tendrá definido el tamaño.

En este procedimiento incide el número de etapas o, en el caso de bombas radiales, el haber seleccionado una bomba con doble entrada, pues cambiará la velocidad específica.

2.2.3.2. Variables que inciden en la selección

Para la extracción de agua de un pozo se puede hacer el uso de: Una bomba hacia el exterior, que debe contar con un NPSH

óptimo y ser además autocebante, sino sucede eso se tendrá que instalar un sistema de cebado.

Una bomba vertical que tenga el motor exterior, en la primera etapa sumergida, no existen problemas de cavitación, empero la unión de la bomba es más dificultosa.

Una bomba completamente sumergida.

El caudal y la altura, son algunos factores que influyen en la elección de la bomba:

Donde se encuentra la bomba (posición), que afecta el NPSH y al cebado.

El diámetro de las tuberías, estas determinaran las pérdidas de carga por ende el punto de operación.

La disposición de las bombas (serie o paralelo).

Sistema y límites de regulación.

Bombeo de líquidos viscosos, los cuales afectan al punto de operación, así como la potencia.

Bombeo de líquidos con sólidos en suspensión, en donde se necesitarán rodets especiales.

Bombeo de líquidos corrosivos que requieran materiales o recubrimientos especiales.

El intervalo de regulación también es un factor que incide en la pendiente de la curva característica a buscar. En el caso de que las variaciones del caudal sean grandes, se buscara una curva lo más horizontal posible. No obstante, si se requiere que el caudal sea constante, se tendrá una curva vertical. En el caso de que la curva sea horizontal son adecuados las máquinas de menor velocidad específica ya sea las centrífugas de doble aspiración, varias bombas en paralelo, y si se trata de una curva vertical es mejor las de alta velocidad específica: bombas mixtas o axiales, de distintas etapas, y en serie.

2.2.3.3. Productividad óptima

El rendimiento óptimo se tiene que dar lo más cercano al punto de trabajo habitual, no es rentable seleccionar una bomba con muchas dimensiones o sobredimensionadas con probables aumentos futuros del sistema. En las pérdidas, en el caso del manejo continuo, pueden incrementarse al costo de la propia bomba, verbigracia en una bomba de 100 kW, y una productividad máxima de 85%, si se trabaja 7000 horas al año, apartada del punto de diseño, con una productividad un 5% menor y el precio por kW/h es de 12 (moneda local del país aproximadamente), hace suponer una pérdida anual de ¡420.000!

2.2.4. Bombas dinámicas

Estas incrementan la presión del líquido, debido a que en un primer momento se aceleran y, después se hacen más lentas con el propósito de

transformar la energía cinética en la aplicación al fluido, en energía de presión. Las limitaciones hacia el lado de la corriente debajo de la bomba no crean exceso de presión.

Lo más posible es que se disminuya la presión, debido a que la eficiencia de la bomba es mucho menor con bajo volumen. Sin embargo, si se hace marchar la bomba por debajo de su tránsito de diseño a través de la estrangulación con válvulas, se tendrá sobrecalentada la bomba y el líquido y esto se tiene que evitar. Es necesaria la instalación de un termómetro en la bomba y el líquido cuando es posible que se originen estas condiciones en el momento de un funcionamiento normal de la bomba.

2.2.4.1. Productividad óptima

Esta es la más frecuente entre las bombas dinámicas. Es práctica, debido a que sólo posee dos partes fundamentales: el impulsor y la carcasa. El líquido es succionado hacia el centro del impulsor y se arroja en la circunferencia de la carcasa.

Las bombas centrifugas son máquinas que siguen el mismo principio de los ventiladores centrífugos usados en el movimiento de masas de aire y de gases, la velocidad relativa elevada principalmente va incorporadas principalmente a una turbina de vapor, así como a un motor eléctrico, y también se pueden accionar mediante correas trapeciales, y también por motores de explosión.

La fabricación de bombas centrífugas se fabrica mediante una serie de plásticos y metales hacia todas las clases de servicio, estas deben de encontrarse cebadas o cargadas con un líquido para que se comience a bombear. En algunas ocasiones, constan de alimentación mediante gravedad para hacer más simple el arranque, esto porque no se encuentran piezas con ajuste muy precisas, estas pueden manejar líquidos que posean partículas sólidas. Sin embargo, en el caso de que los sólidos sean muy abrasivos sufrirán perjuicios por erosión por las altas velocidades del líquido al interior de las bombas.

No es extraño que se produzca cavitación en las bombas centrífugas, esto por las altas velocidades, así como las bajas presiones situadas que dan paso a la constitución de gases disueltos y las burbujas de vapores que se encuentren en la apertura de la bomba y tengan cierta distancia en el líquido al interior de los tubos de descarga. Ver Figura 15.

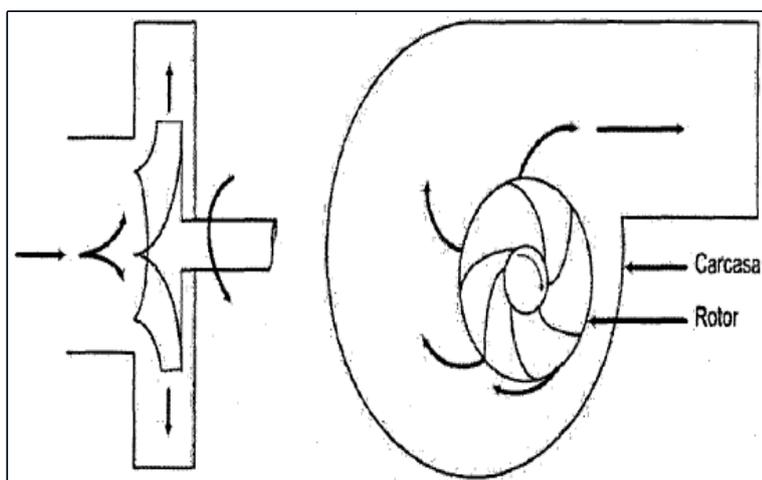


Figura 15. Bomba centrífuga

2.2.4.2. Bombas rotatorias

En sus distintas variedades son consideradas las de desplazamiento positivo, debido a su principio de operación que se encuentra fundamentado en un transporte directo del fluido de un punto a otro. Los componentes rotatorios de la bomba originan un decrecimiento de la presión en el lado de succión, con lo que se permite que una fuerza externa (como la presión atmosférica) eche al fluido a la parte interior de una cavidad. Una vez se encuentre llena, los componentes rotatorios, en su misma rotación, arrastran o llevan el fluido que se queda atrapado en la cavidad, constituido por la parte rotatoria de la bomba y la carcasa (estacionaria), de esta forma es empujada hacia la descarga, obligando a salir.

El fluido es en sí apartado del ingreso hacia la salida en una vibración física de traslación. Las clases de bomba rotatorias más conocidas son llamadas engranes, externos e internos, bombas de lóbulos y de tornillo.

De acuerdo a sus peculiaridades de operación, el espacio de manejo de flujo en una bomba rotatoria, se encuentra relacionada a su tamaño y velocidad de rotación, son utilizados para líquidos en diferentes indicadores de viscosidad, sin embargo, son bombas sensibles a la existencia de abrasivos, debido a la enorme fricción que existe entre los engranes y el fluido. Particularmente su rango de fluidos más apropiado, son

las que tienen una alta viscosidad como grasas, mezclas, pinturas, etc.

Asimismo, por su apropiado control de volúmenes en relación a la velocidad, son oportunas en el uso de bombas dosificadoras de productos que deben de medirse con precisión. En las distintas clases de bombas rotatorias, las más populares y simples son las llamadas de engranes.

2.2.4.3. Bombas sumergibles

Son máquinas que cuentan con la bomba y el motor acoplados en forma compacta, de tal forma ambos trabajan sumergidos en el punto de captación; en la Figura 16, se puede observar son usados primordialmente en pozos profundos, donde poseen preminencia frente al uso de bombas de eje vertical, estas últimas poseen la desventaja de contar con una eficiencia relativamente baja, por ello, aunque el costo es relativamente bajo, el costo de operación es alto debido a su elevada utilización de energía. Un inconveniente se encuentra en que, al estar sumergidos el motor y la bomba, no es posible llegar a ninguno de ellos cuando se encuentran instalados, no es posible entonces dar un mantenimiento sin tener que paralizar el bombeo, además de ello los motores sumergibles se encuentran implantados con velocidades de operación altas y además son máquinas demasiado duras, no es posible ejecutar regulaciones mientras dura la operación para cambiar la velocidad.

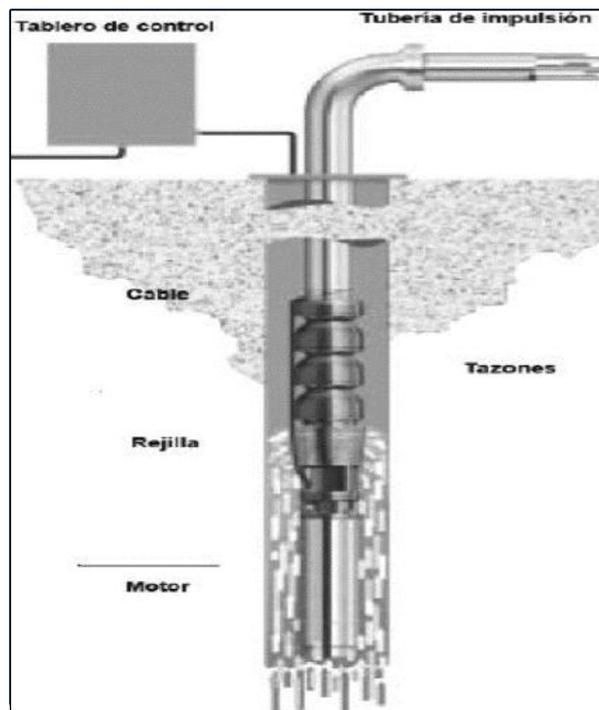


Figura 16. Bomba sumergible

Fuente. De Azevedo y Acosta (1975). Manual de Hidráulica

2.2.4.4. Bombas reciprocantes

El bombeo de fluidos se da a través de la circulación recíproca de uno o diversos pistones, pertenecen al conjunto de las bombas de desplazamiento positivo, se tiene la característica en la producción de un flujo pulsante en relación al movimiento de sus pistones.

La máxima capacidad de succión que se recomienda es equivalente a 0.65 atmósferas o también 6.5m de columna de agua, no obstante, supuestamente consiguen succionar a 1 atmósfera y logran construirse para producir presiones que alcanzan los 1, 000 kg/cm².

De acuerdo a las particularidades, su empleo es grande en donde se necesitan presiones elevadas, o volúmenes controlados de fluido, es necesario el uso de diversos líquidos de alta viscosidad. Al aproximarse el pistón se efectúa una disminución de la presión en la cámara de succión, por lo que se requiere de una fuerza exterior que arroja el fluido a la cámara.

La amplitud o flujo a operarse por la bomba se encuentra en relación de la velocidad, además existe una interrelación de la temperatura y también la viscosidad del fluido.

2.2.5. Diseño e instalación de una bomba centrífuga

En función con lo presentado por de las Heras (2011) el componente principal de toda bomba centrífuga es el rodete, pues es el responsable del aumento de energía mediante la máquina, de acuerdo con la acepción energética, los elementos difusores o recuperadores de energía estática son también importantes, por sus consecuencias en la productividad de la bomba.

2.2.5.1. Límites de rendimiento y funcionales

Una máquina unicelular se diferencia de una multicelular por la cantidad de rodetes, en el caso de rodetes de una configuración multicelular se pueden conectar hidráulicamente entre sí en serie o en paralelo y comúnmente todos son solidarios en el mismo eje.

De acuerdo con Arthur (2006) cuando la velocidad específica asociada a la aplicación se encuentra por debajo de 0,2 no se podrá determinar la coordenada $\{Q, H_B\}$ con un solo rodete radial, el limite funcional se describe en función de la altura de elevación y el caudal, con la siguiente expresión:

$$H_B^{m\acute{a}x} = \frac{1}{g} \left(\frac{\omega}{\Omega^{min}} \right)^{4/3} Q^{2/3} = 0,04306 n^{4/3} Q^{2/3}$$

$$Q^{min} = g^{3/2} \left(\frac{\Omega^{min}}{\omega} \right)^2 H_B^{3/2} = 111,9 \frac{H_B^{3/2}}{n^2}$$

Con $[Q] = m^3/s$, $[H_B] = m$ y $[n] = rpm$. La utilización en una configuración multicelular con rodetes se incrementa el límite en la H_B en una razón k (si los k rodetes son iguales).

De igual forma, se denota que la velocidad específica, Ω_R , para cada rodete aislado para una configuración multicelular en serie se incrementa en un factor $k^{3/4}$. Se encuentra una consecuencia ventajosa teniendo en cuenta la vista energética, debido a que el rodete centrífugo posee una tendencia a incrementarse en función que lo hace Ω , pero sólo hasta un cierto punto que se incrementa es compensado con otros fenómenos, así como los choques de entrada y la formación de corrientes secundarias en el rotor que funcionan a altas velocidades. La productividad total de una bomba corresponde a las supresiones mecánicas, de volumen y energéticas a través de su productividad o rendimiento parcial, basta con notar cómo

evolucionan éstos de acuerdo al incremento del Ω en la obtención de la tendencia general.

Las supresiones o pérdidas mecánicas que tiene una bomba tienen su origen en el rozamiento viscoso del fluido que se encuentran entre el rodete así como en la carcasa en ambos lados, las supresiones se denominan pérdidas en el disco y es simple inferir a través de métodos de mecánica de fluidos del tipo $k\rho D^5\omega^3$, donde k es un coeficiente de fricción empírico, de un valor aproximado de 10^{-6} , calculado por la severidad relativa de la superficie. Como en el término $(D\omega)^3$ se relaciona con la energía del rotor mediante el coeficiente de presión, resultado de estas pérdidas son proporcionales al término $H^{3/2}D^2$ y se incrementa con el cuadrado del diámetro del rodete en una altura establecida. Esta última advierte, que la velocidad específica máxima admisible y el rotor más rápido. Surtiendo precisamente esta última relación con las cifras adimensionales de velocidad, así como de diámetro, se tiene la siguiente expresión en el rendimiento mecánico:

$$\eta_{mec} = \frac{1}{1 + k_{mec}\Omega^{-2/3}}$$

La tendencia de esta fórmula ha sido corroborada y conduce a valores de rendimiento mecánico hasta 0.96 en bombas grandes, lo mismo sucede con la productividad volumétrica, debido a que los huelgos de fuga se asocian con su diámetro por la cadena de tolerancias. Se infiere que su asociación con la velocidad específica se encuentra en el orden de la siguiente expresión:

$$\eta_V = \frac{1}{1 + k_V \Omega^{-2/3}}$$

En donde: k_V es un coeficiente que tiene valores próximos a 0.03 para el agua.

En ambas circunstancias aclaran que se tiene un valor de Ω (exactamente, $\Omega=0.2$), que se encuentre por debajo en el cual el rotor radial resulta muy costoso y excesivamente estrecho. Para Ω aumentantes, la productividad de la máquina radial se incrementa y logra un máximo cuando $\Omega \approx 1$ y disminuye luego del incremento de las pérdidas hidráulicas.

En función a la Figura 17, se nota la influencia observada de la velocidad específica adimensional, el caudal y la potencia en la productividad, en el cual el rendimiento de una bomba centrífuga es limitado para la familia $\Omega \approx 1$ e incrementa con el caudal y la potencia, en otras palabras, con su tamaño

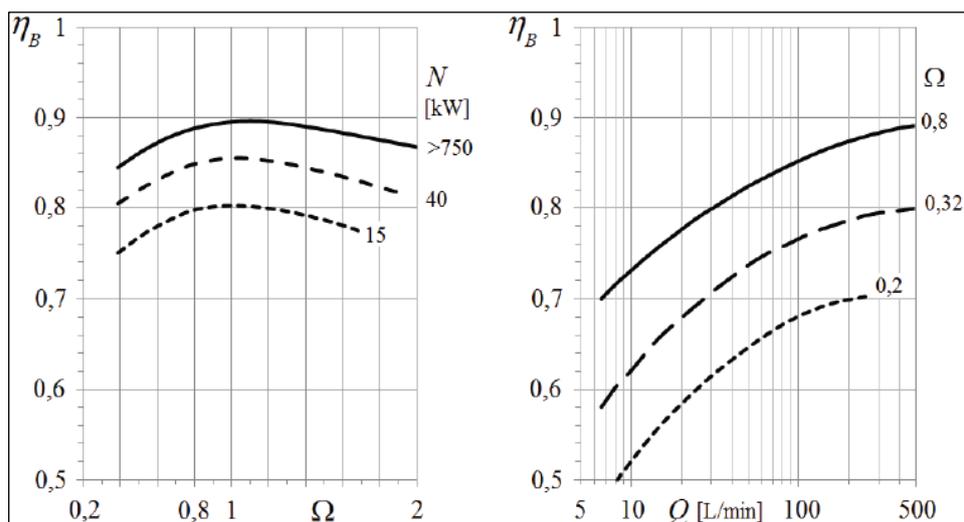


Figura 17. Tendencia expresada en el rendimiento máximo esperado en función de Ω , el caudal y la potencia

Fuente: De las Heras (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. p. 155.

2.2.5.2. Instalación y puesta en marcha

Las premisas importantes en la instalación de cualquier bomba son:

- Ha de ser fácilmente accesible para su inspección durante la operación y disponer de un amplio espacio por encima para poder habilitar una grúa o un polispasto, si es necesario.
- Debe colocarse lo más próximo posible a la aspiración para tener el máximo NPSH disponible a reducir el riesgo de cavitación.
- Ha de mantener una alineación exacta con su acoplamiento, respetando las tolerancias de montaje antes y después de su instalación.
- Ha de tener una bancada sólida que evite desplazamiento que desalineen la bomba o motor.

Se tiene también otras condiciones como el sistema de abastecimiento y drenaje, así como el tipo de alimentación del motor, saneamiento y acondicionamiento del local en donde se encuentra la bomba.

En la Figura 18 pueden verse cada componente con sus numeraciones respectivas.

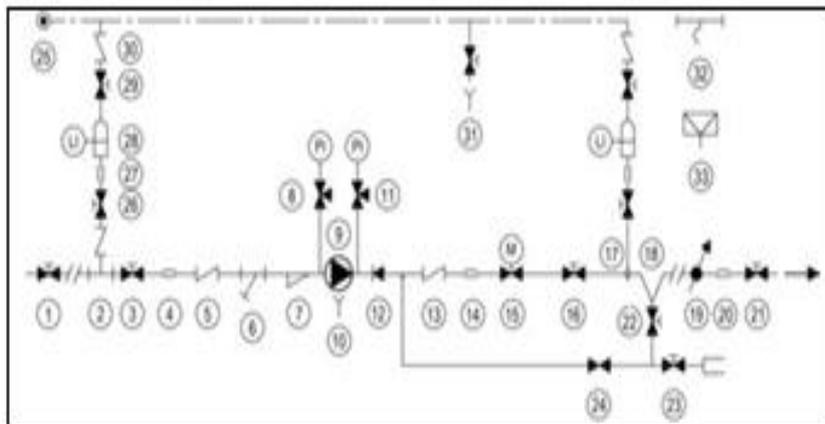


Figura 18. Componentes de instalación de una bomba centrífuga

Fuente. De las Heras (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. p. 167

Los componentes de instalación de una bomba centrífuga a detalle pueden verse en el Cuadro 3, con las respectivas numeraciones a continuación:

Cuadro 3. Componentes de una bomba centrífuga

Número	Descripción
1	Válvula de aislamiento del colector de aspiración
2	Te con reducción para la conexión del calderín de aire en aspiración
3	Válvula de aislamiento de la bomba del lado de aspiración
4	Carrete de desmontaje
5	Válvula de retención del lado de aspiración
6	Filtro o colador
7	Cono de reducción asimétrico en la aspiración de la bomba
8	Manómetro en aspiración equipado con una válvula de tres vías
9	Bomba
10	Desagüe de la bomba
11	Manómetro en impulsión equipado con una válvula de tres vías
12	Cono de reducción simétrico en impulsión de la bomba
13	Válvula de retención del lado de impulsión
14	Carrete de desmontaje
15	Válvula de maniobra motorizada en impulsión
16	Válvula de aislamiento de la bomba del lado de impulsión
17	Te con reducción para la conexión del calderín de aire en impulsión
18	Toma de agua para servicios
19	Caudalímetro o contador
20	Carrete de desmontaje o sustitución del contador
21	Válvula de aislamiento del colector de impulsión
22	Válvula de aislamiento
23	Otros servicios (limpieza, aseos, refrigeración, etc.) toma de manguera
24	Servicio de cebado de la bomba
25	Toma de aire a presión
26	Válvula de aislamiento del calderín
27	Carrete de desmontaje
28	Calderín de aire con indicador de nivel y presostato
29	Válvula de aislamiento
30	Válvula de retención de la alimentación del calderín
31	Purgador
32	Puente grúa
33	Desagüe general de la instalación de bombeo

Fuente. Fuente. De las Heras (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. p. 167.

La mayor cantidad de problemas de bombeo se da por el mal diseño de las tuberías, y las malas condiciones de operación. La instalación en donde se asegura la alimentación adecuada de la bomba incorpora el pozo de toma o depósito, la que no siempre cumple con la función de almacenamiento y donde se respetan los límites de sumergencia, tales como la tubería de aspiración, en las bombas sumergibles por ejemplo la entrada de fluido se realiza directamente desde el pozo. El propósito principal de la tubería de aspiración es llevar el fluido hacia la entrada de la bomba, teniendo por seguro que el reparto de velocidades tiene que ser uniforme y axial posible.

Un punto característico de las bombas y que se tiene que tomar en consideración para la puesta en marcha es el cebado, pues se ha de haber extraído todo el aire, gas o vapor de la tubería de aspiración, así como del cuerpo de la bomba, el proceso de cebado es diferente de acuerdo a la bomba si es que se tiene aspiración positiva o negativa, en el caso de que se encuentre aspiración positiva se debe:

- Aperturar el total de las válvulas de aspiración, entonces así el líquido ingresará en la tubería y la bomba, a la misma vez cerrar todas las válvulas de descarga.
- Desajustar el tapón de purga que se ubica en la brida de impulsión, con ello se dará salida al aire.

- La bomba se encuentra cebada y, se puede poner en marcha en el momento en el que el líquido va fluyendo en forma continua y sin burbujeo en la purga.

En la Figura 19, se observa los accesorios para instalación de la succión de la bomba.

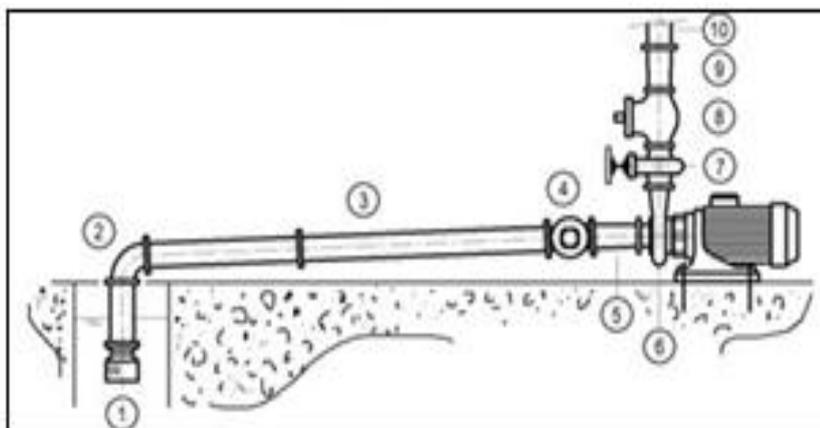


Figura 19. Instalación de una bomba por succión

Fuente. De las Heras (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. p. 166

En el Cuadro 4, se denota los componentes de una bomba por succión, La válvula de la compuerta en el número (7) se encuentra comúnmente cerrada, y es abierta progresivamente una vez que la bomba se encuentra en marcha, en el caso de que la temperatura de la bomba sea elevada, en 100°C es recomendable colocar una junta expandible entre el cono difusor concéntrico (número 9) y la tubería de impulsión (número 10).

Cuadro 4. Componentes de una bomba por succión

Número	Descripción
1	Válvula de pie y colador de área no inferior a tres veces el área del conducto
2	Curva de radio amplio
3	Tubería de aspiración en posición ascendente hacia la bomba (no se muestran los soportes)
4	Válvula con husillo en posición horizontal (no siempre presente)
5	Cono difusor excéntrico con generatriz superior horizontal
6	Bomba centrífuga
7	Válvula compuerta
8	Válvula de retención
9	Cono difusor concéntrico
10	Tubería de impulsión

Fuente. De las Heras (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. p. 166.

En la Figura 20 se observa la aspiración negativa, el cebado es más laborioso, debido a que el aire no sale por sí solo, es notable entonces generar un vacío mayor del que existe en la bomba, es necesario el uso de eyectores montados directamente en el conducto de impulsión con anterioridad que la válvula de descarga, o las bombas de vacío de tipo anillo líquido.

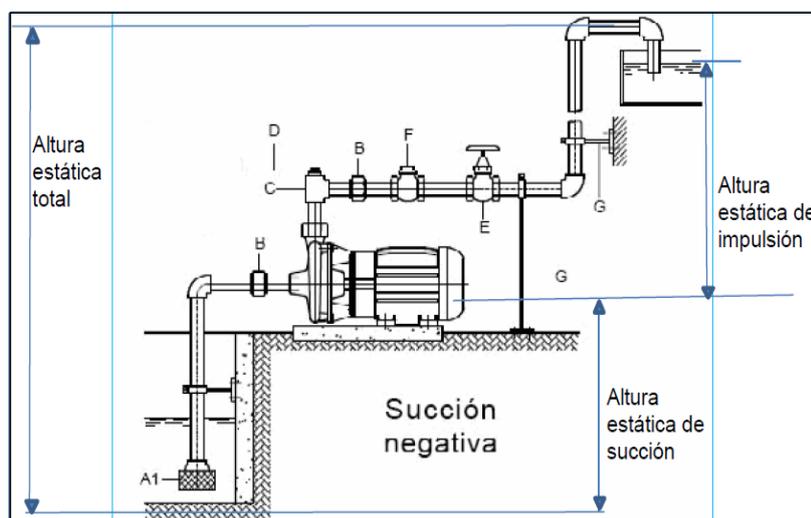


Figura 20. Succión positiva y negativa del sistema de bombeo

Fuente. De Azevedo Netto & Acosta (1975). Manual de Hidráulica.

En la Figura 21 la bomba se encontrará cebada y podrá funcionar en el momento en que la tubería de salida del eyector

arroje el líquido de forma continua, previamente se tiene que asegurar que la bomba alcance un régimen de funcionamiento de tal forma que no se pierda el cebado.

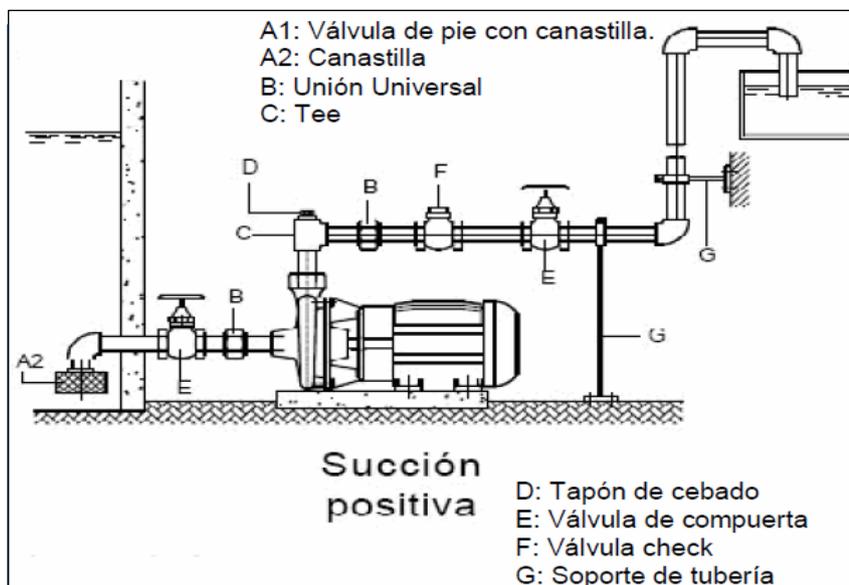


Figura 21. Succión positiva y negativa del sistema de bombeo

Fuente. De Azevedo Netto & Acosta (1975). Manual de Hidráulica.

2.2.6. Tuberías HDPE

Las tuberías de HDPE (fabricadas en base a Polietileno de Alta Densidad), ofrecen los mayores beneficios al usuario final, como ser alta resistencia al impacto, larga vida útil y economía en instalación con mínimos costos de mantenimiento.

2.2.7. Especificaciones y características de materias primas

PLASTIFORTE fabrica tubería HDPE utilizando resinas de excelente calidad, suministradas por proveedores certificados bajo normas de la serie ISO 9000. Las tuberías y fittings se fabrican bajo normas internacionales que garantizan su calidad.

El Polietileno de Alta Densidad de color negro contiene de 2 a 3% de negro de humo dispersado en la masa y antioxidantes que les otorgan una gran resistencia a los rayos ultravioletas. El alto peso molecular y una distribución molecular estrecha le dan propiedades físicas muy estables difíciles de lograr con otros materiales termoplásticos.

En Cuadro 5, se muestran, las principales propiedades físicas del material:

Cuadro 5. Propiedades físicas del tubo HDPE

PROPIEDADES	NORMAS	UNIDADES	VALORES
Densidad	ASTMD D 792-00	g/cm^3	0.955
Negro de humo	ASTMD D 1603-06	%	2.0-2.5
temperatura de flexion en carga a 455 kPa	ASTMD D 648-06	°C	70
Tension a ruptura	ASTMD D 638-03	Mpa	34
Resistencia al impacto IZOD a 23°C	ASTMD D 256-06	j/m	220
Elongacion en el punto de ruptura	ASTMD D 638-03	%	800

Fuente. Fuente: Manual técnico tubería HDPE Minería e Industria

La tenacidad de la tubería derivada de las propiedades físicas del material como del método de extrusión, le permite absorber sobrepresiones, vibraciones y tensiones causadas por los movimientos de terreno e imprevistos, la tubería puede deformarse sin daño permanente y sin causar efectos adversos sobre la vida útil.

La resistencia a la ruptura por tensiones ambientales es muy alta, asegurando que no hay ningún efecto en el servicio a largo plazo si se producen rayas superficiales de una profundidad no mayor a 1/10 del espesor durante la instalación.

2.2.8. Actividades mineras con agua subterránea

En función con lo referido con Herrera Herbert & Ortiz de Urbina (2007), la mayoría de actividades mineras se relacionan íntimamente ligadas al agua como una cuestión a evitar, reducir o reformar; así como una necesidad en el uso del recurso para aprovecharlo en la propia unidad minera y también fuera de ella.

Haciendo un símil con otras actividades económicas, tales como la industria y la agricultura, la explotación de los recursos en las actividades mineras hace uso enorme del agua en sus procesos productivos, en ciertas ocasiones la cuestión se da de forma inversa y se desata grandes flujos de agua no deseables, es entonces que se genera el problema en el drenaje minero como en el de captación, transporte y eliminación hacia el medio ambiente, hacer todo esto sin forma de ocasionar daños.

Es necesario que los resultados se encuentran apoyados en estudios hidrológicos e hidrológicos muy bien explicados desde el génesis del proyecto y con el fin de permitir una gestión racional del uso del agua.

Las aguas que afligen el habitual progreso de un proyecto, así como su protección y conservación requerirán de que sean captadas y tramitadas de diversas procedencias:

- Aguas pluviales que precipitan directamente en la excavacion.
- Aguas de escorrentia superficial no desviadas que entran en el perimetro de excavacion.

- Aguas subterráneas que se filtran o alumbran en forma de manantial al profundizar la excavación.

El agua procedente de las tres fuentes mencionadas anteriormente, pueden ser eliminadas por bombeo en las áreas de menor cota en la explotación, la escorrentía debe interceptarse siempre por motivos de economía y seguridad, a través de canales de protección como guardas y desvíos.

2.2.9. Estaciones de bombeo de aguas residuales

De acuerdo con Ilaya Ayza (2010) una estación de bombeo se constituye por el conglomerado de bombas, así como de equipos auxiliares fundamentales en la impulsión de aguas, ya sean pluviales o residuales.

En función a la norma OS.040 es el conjunto de estructuras, instalaciones y equipos que facilitan elevar el agua de un nivel inferior a otro superior, utilizando equipos de bombeo. Se hace necesario la construcción cuando:

- Se cuenta con terreno plano y extenso, donde los colectores llegan a una profundidad mayor a los cuatro metros.
- En la elevación de aguas residuales con cotas bajas hacia áreas con elevaciones mayores.
- Permiten realizar la descarga por gravedad de las aguas residuales de colectores y emitirlas hacia las plantas de tratamiento.

2.2.9.1. Componentes de la estación de bombeo

Cámaras de aspiración, tiene por propósito almacenar el agua para su posterior bombeo. En la Figura 22 podemos notar algunos de los problemas se dan por la pérdida de rendimiento de las bombas, vibraciones y la acumulación de sedimentos en el fondo de la cámara, debe tenerse en cuenta las siguientes consideraciones en el diseño de la cámara de aspiración:

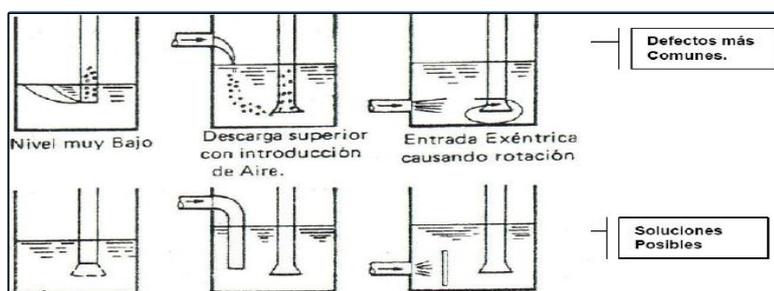


Figura 22. Defectos y soluciones posibles de la cámara de aspiración

Fuente. Ilaya (2010). Ingeniería Sanitaria II.

- La cota de agua existente sobre la entrada a la tubería de aspiración, tiene que ser la suficiente como para el NPSH disponible sea superior al requerido por la bomba, para evitar problemas de cavitación, así como se debe asegurar que no se formen vórtices a consecuencia de la prerrotación del fluido en la cámara.
- No existirá áreas de remanso del fluido, debido a que con ello se facilitará el sedimento de los sólidos en suspensión y su acumulación en el suelo de la cámara.
- La energía cinética del fluido debe ser lo menor posible cuando alcance la boca de aspiración de las bombas, esto se

consigue a través de paredes verticales ubicadas frente a la tubería de entrada a la cámara.

- La cámara tendrá un venteo para los gases disueltos en las aguas residuales.
- Es conveniente el uso de dispositivos de desbaste en la entrada de la cámara de aspiración, debido a que permite separar los sólidos de mayor tamaño disueltos en el agua, estos dispositivos pueden ser rejillas automáticas de limpieza manual y dilaceradoras para cortar y reducir el tamaño de sólidos.
- Cámara seca, donde se alojan los diversos equipos para la impulsión de las aguas residuales tales como: bombas, accionamientos, controles entre otros, normalmente se ubica junto a la cámara de aspiración. Las bombas se pueden colocarse en posición vertical así como de forma horizontal, en la primera posición facilita un aprovechamiento eficiente del espacio disponible con una altura mayor. El motor puede ubicarse sobre la bomba apoyado en un soporte o colocarse en un piso superior de la cámara seca, dispuesto para tal fin. En la Figura 23 podemos identificar las tuberías de aspiración e impulsión, la velocidad en la tubería de aspiración debe tomar valores aproximados de 1.1 y 1.8 m/s por lo que se usará un reductor excéntrico en el acoplamiento de la tubería a la brida de aspiración de la bomba.

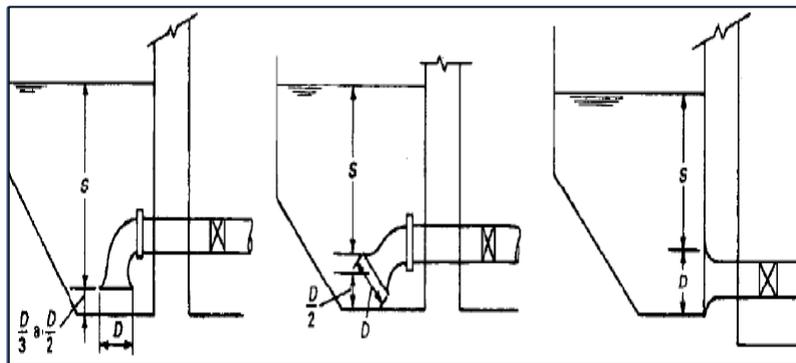


Figura 23. Tuberías de aspiración e impulsión

Fuente: Ilaya (2010). Ingeniería Sanitaria II.

Las velocidades del fluido en la tubería de impulsión se encuentran por encima de la tubería de aspiración y deben oscilar entre 1.8 y 3.5 m/s. el diámetro de la tubería de impulsión debe ser mayor que el de la brida de descarga de la bomba, esto hace que sea necesaria el uso de juntas de ampliación, además debe de tener una válvula de compuerta pues junto con la tubería de aspiración se pueda aislar la bomba en caso de mantenimiento o reparación, debe de existir también una válvula de retención que impida que la tubería se quede vacía cuando las bombas dejen de funcionar, el tramo de la tubería de impulsión conectado a la brida de descarga de la bomba se debe de encontrar colocado horizontalmente para rehuir a la sedimentación de los sólidos en suspensión en el interior de la bomba.

Sistema de bombeo, conformado por las bombas y sus respectivos accionamientos a través de monitores eléctricos

diesel, se incluye también las tuberías de aspiración, descarga y válvulas necesarias.

Instrumentos para el correcto control de los equipos y detección de posibles averías, son los detectores de temperatura, vibración, sentido de rotación inverso entre otros, es necesaria que la señal enviada por todos los sensores se monitoree en una sala de control, pues ahí se tomaran decisiones oportunas para el adecuado funcionamiento de la planta.

Otras instalaciones de alimentación eléctrica

Calefacción o ventilación necesarias para las operaciones de la estación de bombeo; como se observa en la Figura 24.

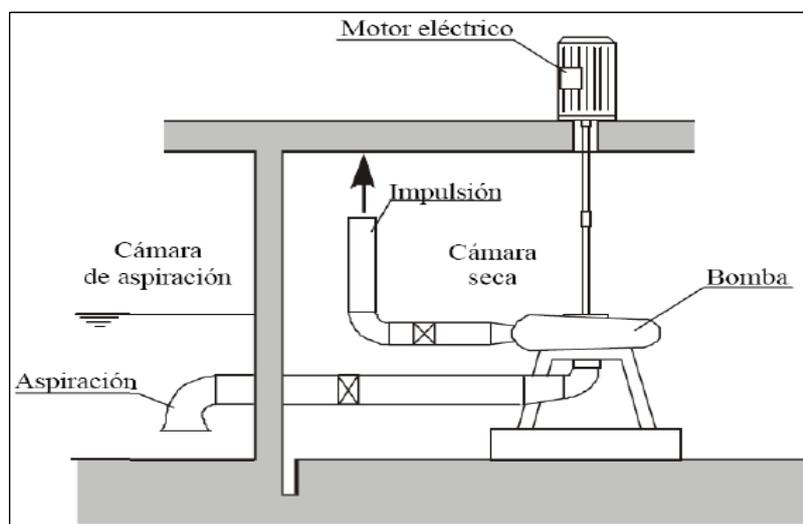


Figura 24. Componentes de una estación de bombeo

Fuente: Ilaya (2010). Ingeniería Sanitaria II.

2.2.9.2. Unidades de bombeo

Las bombas generalmente utilizadas en los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento son las centrífugas que se encuentran conformadas por un impulsor (ver Figura 25), en donde un “n” número de alabes dirigen el movimiento de las partículas de líquido, el impulsor gira en una cámara cerrada denominada caja o carcasa por la energía conferida por un motor esta puede ser eléctrica o de combustión interna, este líquido dentro de los alabes por efecto de la fuerza centrífuga aumenta la energía cinética la cual es transformada parcialmente en energía potencial en la carcasa de la bomba, en la conversión de la velocidad en presión, se utilizan los difusores, las volutas o los tazones, dependiendo del diseño de la bomba, si se emplea un difusor este tiene diversos canales de sección que rodean al impulsor, fabricados en una sola pieza.

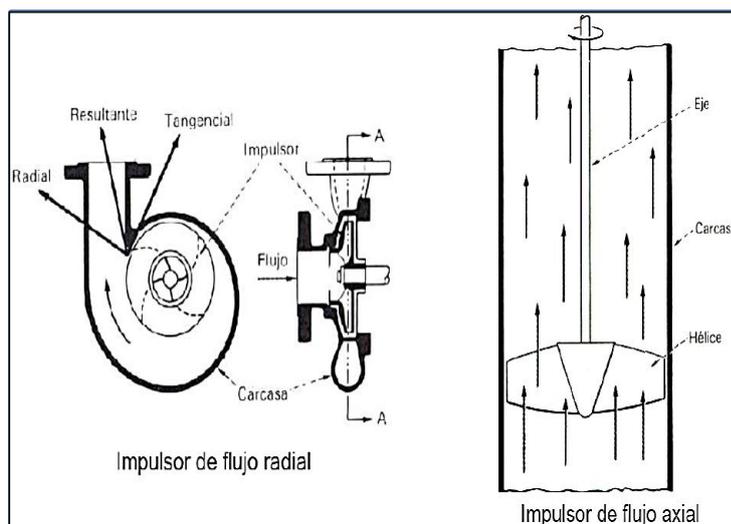


Figura 25. Tipos de impulsores

Fuente: Ilaya (2010). Ingeniería Sanitaria II

2.2.9.3. Disposición de la estación de bombeo

La disposición puede ser horizontal o vertical. La opción vertical tiene la ventaja de ocupar un menor espacio que la disposición horizontal.

2.2.9.4. Cavitación

Es producida cuando la presión absoluta en la entrada del rodete se reduce por debajo de la presión de vapor del fluido que se bombea, en consecuencia, se generan burbujas de vapor en la entrada del impulsor que desaparecen por medio de implosiones, en la forma que el fluido es trasladado a zonas de mayor presión, en su paso por los álabes del rodete. En la determinación de los problemas de cavitación se deben considerar dos parámetros tales como:

- Altura neta positiva de aspiración disponible o NPSHd por sus siglas en inglés
- Altura neta positiva de aspiración requerida o NPSHr por sus siglas en inglés.

2.2.9.5. Caudal

Caudal, tipos. Perfil de velocidades, factores que determinan el régimen de flujo, fluido no newtoniano, distorsiones. Características especiales de Caudalímetro: amplitud de rangos, totalización. Elementos diferenciales

convencionales, de geometría fija y de flujo crítico. Medidores de área variable y de desplazamiento positivo. Caudalímetro a turbina, oscilatorios, electromagnéticos y ultrasónicos. Medición de caudal másico: directos, inferenciales, térmicos y con corrección por densidad. Caudalímetro para canales abiertos. Selección de Caudalímetro: especificación y procedimiento.

2.2.9.6. Caudal Volumétrico

Volumen real de un fluido que pasa a través de una sección por unidad de tiempo.

2.2.9.7. Caudal Másico

Masa de un fluido que pasa a través de una sección por unidad de tiempo.

¿Por qué medir el caudal?

El caudal es la variable más importante para el manejo de inventarios.

Es imprescindible la medición de al menos un flujo para cerrar balances de materia o energía.

Muchos insumos industriales (combustible, agua, etc.) se facturan por el volumen (o la masa) consumido, de modo que la medición del caudal (su totalización) pasa a ser una variable económica.

2.2.9.8. Tipos de medición de caudal

Directa

Los que miden directamente caudal (aplicando la propia definición de caudal).

Indirecta

Las limitaciones anteriores hacen que se deba recurrir a procedimientos que permiten inferir caudal a partir de la medición de otra variable. Este es el caso de los Caudalímetro comercial.

2.2.10. Tiempo operacional de bombeo

La siguiente característica de la instalación a determinar es el tiempo que dura la variación de velocidad, es decir, el que transcurre desde el corte de energía y la anulación del caudal o el tiempo de parada del agua. A partir de estudios teóricos y experimentales, el doctor Enrique Mendiluce propuso una expresión que es la que se usa comúnmente para establecer ese tiempo de parada del agua, principalmente para impulsiones, y que es la siguiente:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Dónde:

L = Longitud de la conducción de la instalación (m)

V = Velocidad de circulación del agua en la instalación (m/s)

g = Gravedad

Hm	=	Altura manométrica de la instalación
C, K	=	Coefficientes de ajuste determinados experimentalmente.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Agua ácida

Es agua con un potencial de hidrogeno (pH) de menos de 7. El pH se refiere a la cantidad de iones de hidrogeno mezclados con el agua, lo cual se mide en una escala de 0 – 14, donde el numero 7 es neutral entonces el agua no es alcalina ni acida y si presenta menor de 7 es mayor la acidez.

Bomba

Máquina para elevar, extraer o comprimir fluidos e impulsarlos en una dirección determinada.

Bocamina

Entrada de una mina o socavón.

Caudal

Es la cantidad de fluido que circula mediante un ducto por unidad de tiempo, es también el flujo volumétrico que atraviesa un área determinada en la unidad de tiempo

Depósito de relaves

Se pueden considerar como una forma de tratamiento de las aguas residuales de las plantas concentradoras, ya que mediante estos depósitos se obtienen efluentes con bajo contenido de sólidos en suspensión y se consigue la reducción del contenido de cianuro a valores menores de los límites.

Efluentes líquidos de relaves

Es el contenido de sólidos muy finos en suspensión, el cual es usualmente medido como sólidos totales en suspensión.

Emplazamiento

Puede emplearse para aludir a la ubicación o el establecimiento geográfico o físico de algo.

Filtrado

Paso del agua a través de un filtro.

Grado de acidez

Es el grado de concordancia entre resultados analíticos.

Tubos HDPE (High Density Polyethylene)

Son tuberías de polietileno de alta densidad

Instalación de tuberías

Es instalar, manipular y colocación de elementos de la tubería (accesorios, piezas especiales y aparatos).

Sistema de bombeo

Es el conjunto de elementos que facilitan el traslado mediante tuberías el almacenamiento de fluidos, desde la parte interna de la mina hacia la parte externa, de modo tal que se cumpla la demanda volumétrica.

Reutilización de aguas residuales

Es el aprovechamiento de los efluentes, infiltración y decantación de la relavera para el proceso de los concentrados de minerales.

Potencia

Es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. Puede asociarse a la velocidad de un cambio de energía dentro de un sistema.

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

3.1.1. Confiabilidad

De acuerdo con Bernal (2015) se refiere al grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes, en otras palabras que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce resultados iguales. Para la presente investigación se hará uso de la confiabilidad a través de las medidas de estabilidad que según Marroquin (2014) se aplica a un mismo instrumento cuando este se aplica dos veces a un mismo grupo de personas u objetos de estudio después de un cierto periodo de tiempo, como en el caso de la investigación en la que se propone ver la variación de la modificación del sistema antes y después y plasmarlos en la frecuencia del uso de aguas residuales. Para ello se efectuara el coeficiente de correlación Pearson (r).

De acuerdo a la Tabla 1, la medida de estabilidad se da a través del coeficiente de correlación de Pearson (r), que para el presente caso es de 0,994.

Tabla 1. Coeficiente de correlación de Pearson (confiabilidad)

Correlaciones			
		Sistema de bombeo	Reutilización de aguas residuales
Sistema de bombeo	Correlación de Pearson	1	,994**
	Sig. (bilateral)		0
	N	24	24
Reutilización de aguas residuales	Correlación de Pearson	,994**	1
	Sig. (bilateral)	0	
	N	24	24

De acuerdo con la Tabla 2 se tiene una medida de estabilidad y excelente confiabilidad, puesto que el valor hallado es de 0.994.

Tabla 2. Rango de confiabilidad

Rango	Descripción
0,53 a menos	Confiabilidad nula
0,54 a 0,59	Confiabilidad baja
0,60 a 0,65	Confiabilidad
0,66 a 0,71	Muy confiable
0,72 a 0,99	Excelente confiabilidad
1	Confiabilidad perfecta

Fuente. Marroquin (2014). Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación.

3.1.2. Validez del instrumento

De acuerdo con (Corral, 2019) la validez se refiere al grado en que un instrumento en verdad mide la variable que se busca medir, y de acuerdo con la presente investigación de enfoque cuantitativo, se hará uso de la

validez de criterio para medir si nuestra ficha de recolección de datos de las pruebas realizadas a las bombas en el sistema modificado miden de acuerdo a las dimensiones planteadas en el caudal y el tiempo de bombeo, se procederá a la realización de la validez de criterio a través del coeficiente Alfa de Cronbach.

Tal como se muestra en la Tabla 3 se muestra el total de las pruebas realizadas, los que ascendieron a 24 pruebas (1 por mes en dos años).

Tabla 3. Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	24	100
	Excluido ^a	0	0
	Total	24	100

Fuente. Marroquin (2014). Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación.

En la Tabla 4 se observa el valor obtenido de 0,858 y el número de elementos igual a dos variables.

Tabla 4. Estadística de validez-Alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	N de elementos
0.858	2

Fuente. Marroquin (2014). Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación.

Con un valor de Alfa de Cronbach de 0.858 y de acuerdo a la Tabla 5, se tiene una excelente validez de criterio.

Tabla 5. Rangos de Validez

Rango	Descripción
0,53 a menos	Validez nula
0,54 a 0,59	Validez baja
0,60 a 0,65	Válida
0,66 a 0,71	Muy válida
0,72 a 0,99	Excelente validez
1	Validez perfecta

Fuente. Marroquin (2014). Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación.

3.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

3.2.1. Sistema de Bombeo anterior

La poza existente de forma trapezoidal revestidas con geomembrana HDPE de 1.5 mm y un geotextil no tejido de 300 gr/m² como base para evitar punzonamiento de la geomembrana, a continuación, en la Tabla 6 se señalan las dimensiones de la poza N° 1.

Tabla 6. Dimensiones de la poza N°1 (poza intermedia)

Descripción	Medidas
Ancho inferior	13 m
Ancho superior	23 m
Largo inferior	25 m
Largo superior	35 m
Profundidad	7.0 m
Volúmen de almacenamiento	3 500 m ³
Taludes internos	1.0 H: 1.0V
Dique separador	3.0 m

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se representan las dimensiones de la poza N°2, donde se descargan por gravedad, aguas de la relavera hacia la poza de recirculación y a continuación se puede ver las dimensiones.

Tabla 7. Dimensiones de la poza N°2 (poza de recirculación)

Descripción	Medidas
Ancho inferior	13 m
Ancho superior	23 m
Largo inferior	25 m
Largo superior	35 m
Profundidad	7.0 m
Volúmen de almacenamiento	3 500 m ³
Taludes internos	1.0 H: 1.0V
Dique separador	3.0 m

Fuente: Elaboración propia

Se demuestran los datos del sistema de bombeo anterior:

Altura Geodesica : (H)

$H_{\text{geodesica}}: 4780 - 4400 = 380 \text{ msnm.}$

Caudal : 2100 Lpm

Tuberia: 6" ϕ

Longitud: (L) = 800 m

En el Cuadro 6 se demuestran especificaciones técnicas de las bombas sumergibles, resaltando la potencia de 150 HP.

Cuadro 6. Especificaciones técnicas de las bombas sumergibles

DESCRIPCION	DATOS
Marca	HIDROPUMP H150-06
Procedencia	PERU (GEOHIDRAULICA)
Modelo	ND:Normal HD:Alta presion
Ítem	6
Cantidad	6
Características	
Velocidad (RPM)	3560
Protección	IP 68
Tensión Volt/fase	440/575
Potencia (HP) Kilowatt	150 (112)
Corriente nominal. A	188/118
Descarga.pulg.	6"
Abertura del colador ϕ , pulg (mm)	0.47(12)
Clase de aislamiento	H (200° C)
Arranque	Estrella-triangulo
Material sello rotativo	Carburo de silicio
Material sello estacionario	Carburo de silicio
Elastómeros	Viton NBR
Rodamientos	Inferior 2 rodamientos de contacto angular Superior 1 rodamiento hilera de bola C3
Lubricación	Externa
Limitaciones	Máxima sumersión 50 m
Temperatura máxima	40° C(104° F)
Carcasa	Hierro fundido/acero inoxidable
Impulsor	Acero al cromo 22%
Eje	Acero inoxidable AIST 431
Colador	Acero inoxidable 316l

Fuente: Manual Bomba sumergible eléctrica Hidropump

3.2.2. Sistema de Bombeo modificado

Consiste en dos bombas estacionarias multietápicas que trasladan el agua desde la estación de bombeo que están conformados por dos pozas, una de sedimentación y la otra poza de almacenamiento que están al costado de la bocamina del nivel 400. Desde ese punto bombea el agua con una longitud de tubería de 1500 metros, hasta los tanques con capacidad volumétrica de 1187 m³, de almacenamiento para suministrar agua a la planta concentradora con un total de 252 m³/h.

La poza existente es revestida con geomembrana HDPE de 1.5 mm y un geotextil no tejido de 300 gr/m² como base para evitar punzonamiento de la geomembrana, se muestran a continuación en la Tabla 8. Presenta las dimensiones de la poza.

Tabla 8. Dimensiones de la poza N° 3(poza de sedimentación)

Descripción	Medidas
Ancho	4.35 m
Largo	9.5 m
Profundidad	2.5 m
Volúmen de almacenamiento	43.825 m ³

Fuente: Elaboración propia

Se muestra el diseño de la poza revestida con geomembrana HDPE de 1.5 mm y un geotextil no tejido de 300 gr/ m como base para evitar punzonamiento de la geomembrana, como se ve en la Tabla 9. Presenta las dimensiones de la poza N° 4.

Tabla 9. Dimensiones de la poza N°4 (poza de acumulación y bombeo)

Descripción	Medidas
Ancho fondo	26.1 m
Ancho agua	23 m
Ancho superficie	30.3 m
Largo fondo	96.1 m
Largo agua	100 m
Largo superficie	100.3 m
Profundidad	4.2 m
Volúmen de almacenamiento	10.577 m ³
Taludes internos	0.5

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Cálculos para el Sistema de Bombeo modificado

3.2.3.1. Cálculo del caudal

Volumen que requiere la planta concentradora: 252 m³/h

$$\text{Si un l/s} = 3.6 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \frac{252 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1 \text{ l/s}}{3.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 70 \text{ l/s}$$

En la Ecuación (1)

$$H_{\text{BOMBA}} = H_{\text{GEODESICA}} + H_{\text{PERDIDAS EN TUBERIAS}}$$

3.2.3.2. Cálculo de la Altura Geodésica de la bomba (H_{GEODESICA})

Las cotas del punto inicial y el punto final se realizaron mediante el levantamiento topográfico de la Unidad Alpamarca

Altura Geodésica (H_{geod}) = Diferencia de cotas (punto inicial de bombeo + punto final de descarga)

$$H_{\text{GEODESICA}} = 4780 - 4660 \text{ msnm} = 120 \text{ msnm.}$$

3.2.3.3. Cálculo de Perdidas Primarias (h)

$$Q = 0.07 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (70 L/s)}$$

$$\mu = \text{viscosidad cinemática del agua } 0.01007 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (20° C°)}$$

$$\varepsilon = \text{rugosidad absoluta para tubo HDPE } 0.007 \text{ mm}$$

$$D = \text{diámetro interior de la tubería } 0.20447 \text{ m (8.05")}$$

$$L = \text{longitud de la tubería en metros lineales } 1500 \text{ m}$$

$$\varepsilon/D = \text{rugosidad relativa } 0.00342$$

En la Ecuación (2)

Hallando la velocidad

$$Q = A \cdot V \Rightarrow v = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad v = \frac{0.07}{\frac{\pi (0.20447)^2}{4}} = 2.1318 \text{ m/s}$$

$$R_e = \frac{D \cdot v}{\mu} \text{ Reemplazando valores.}$$

En la Ecuación (3)

Hallando el Número de Reynold

$$R_e = \frac{0.20447 \cdot 2.1318}{0.01007} = 4.3 \cdot 10^6 \text{ con este valor se puede denotar el}$$

factor de fricción (f) en el **Diagrama de MOODY** en, el

Anexo D.

En la Ecuación (4)

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Hallando (h) pérdidas primarias (Ecuación De Darcy)

$$h = 0.030 \frac{1500}{D0.20447} * \frac{(2.1318)^2}{2(9.81)} = 50.977 \text{ m}$$

En la Ecuación (5)

$$h_f = \sum k \left(\frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$$

3.2.3.4. Cálculo de Pérdidas Secundarias (Ecuación De Darcy)

Las pérdidas en accesorios y componentes de la succión e impulsión se muestran en **Anexo E** y los resultados de las velocidades se muestran en el **Anexo F**, prueba de resultados.

$$h_f = 2.3 \left(\frac{0.965^2}{2 * 9.81} \right) = 0.109 \text{ m (pérdidas de succión)}$$

$$h_f = 8.34 \left(\frac{2.14^2}{2 * 9.81} \right) = 0.89 \text{ m (pérdidas de impulsión)}$$

Resultado total de las pérdidas de succión e impulsión

$$0.109 + 0.89 = 0.999 \text{ m}$$

Sumando los valores de la ecuación (4) y ecuación (5)

$$H_{PERDIDAS EN TUBERIAS} = 50.977 + 0.999 = 51.976 \text{ m}$$

Reemplazando valores en la en la ecuación (1)

$$H_{BOMBA} = H_{GEODESICA} + H_{PERDIDAS EN TUBERIAS}$$

$$H_{BOMBA} = 120 + 51.976 = 171.976 \text{ m}$$

3.2.3.5. Cálculo de la potencia de la bomba

En la Ecuación (6)

$$P = H_B * \rho * g * Q$$

$$P = 171.976 \text{ m} * 1000 \text{ Kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = 117975.536$$

Considerando la equivalencia de 1 HP = 745 W

$$\text{HP} = \frac{117975.536}{745} = 158.356424161$$

Eficiencia de la bomba es 85%

$$HP_{real} = \frac{158.356424161}{0.85} = 186.30$$

En el Cuadro 7, se muestran las siguientes especificaciones técnicas de la bomba centrífuga Multietapica seleccionada:

Cuadro 7. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga Multietapica

DESCRIPCION	DATOS
Marca	IMBIL
Procedencia	BRASIL
Modelo	BEW 125/4
Ítem	1
Cantidad	1
Condiciones de operación	
Tipo de fluido	Agua de Mina
Densidad (Kg/cm ³)	998.29
Viscosidad (m ² /s)	0.01007
PH solución	07 _ 08
Altitud (msnm)	4500
Caudal de operación (m ³ /h)	252 m ³ /h (70 Lt/seg)
Presión de operación (m)	141.68m
Características de la bomba	
N° de etapas	4
Tipo de impulsor	Cerrado
Diámetro del impulsor (mm)	297
Carcasa	Fierro Fundido (A48CL30)
Impulsor	Acero Inoxidable Martensítico (A743 CA6NM)
Difusor	Acero Inoxidable Martensítico (A743 CA6NM)
Casquillo protector	Acero Inoxidable (AISI 420)
Anillo de desgaste	Acero Inoxidable Martensítico (A743 CA6NM)
Eje	Acero Inoxidable (AISI 420)
Tipo de sellado	Empaquetadura
Lubricación rodamientos	Aceite
Tipo de rodamientos	Doble Hilera
Succión/Tipo de conexión	150mm/Brida ANSI 16.1 250 Lb # RF
Descarga/Tipo de conexión	125mm/Brida ANSI 16.1 250 Lb # RF
Eficiencia nominal (%)	73.76

Fuente: Catalogo Line BEW IMBIL pumps

En el Cuadro 8. se muestran las siguientes especificaciones técnicas del motor de la bomba centrífuga Multietapica seleccionada:

Cuadro 8. Especificaciones técnicas del motor de la bomba centrífuga Multietápica

Características del motor	
Potencia (HP)	250 HP – Diseñado para trabajar a 4 500 msnm
Marca/Tipo	GE o Similar/Nema Premium
Velocidad (RPM)/Frecuencia (Hz)/N° Polos	7 500/60/4
Voltaje (V)/N°Fases/Protección	460/Trifásico/IP56
Aislamiento	F
Factor de servicio	1.15
Adicionales	
Incluye:	
<ul style="list-style-type: none"> • Acoplamiento flexible 	
<ul style="list-style-type: none"> • Guarda protectora 	
<ul style="list-style-type: none"> • Placa Base de Acero Estructural 	

Fuente: Catalogo Line BEW IMBIL pumps

3.2.4. Curvas de las bombas

Antes de la modificación (Bombas sumergibles)

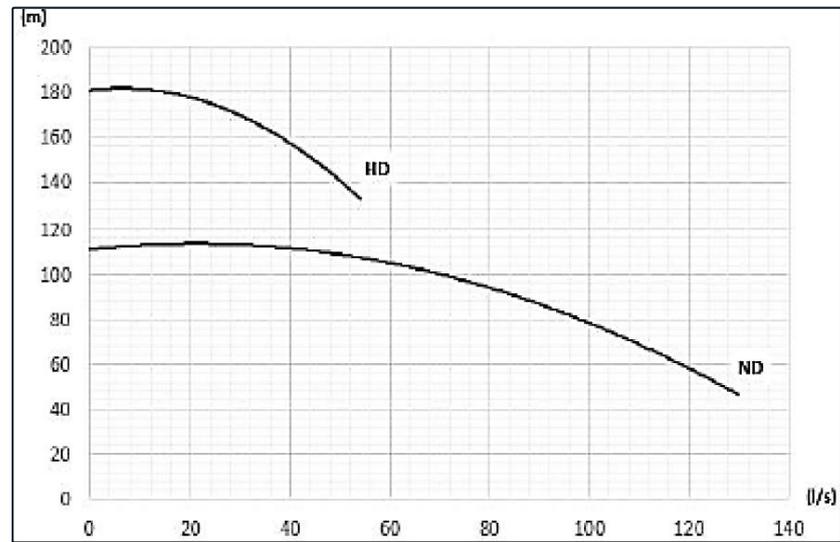


Figura 27 Bombas sumergibles - fase I

Fuente: Catalogo Line BEW IMBIL pumps

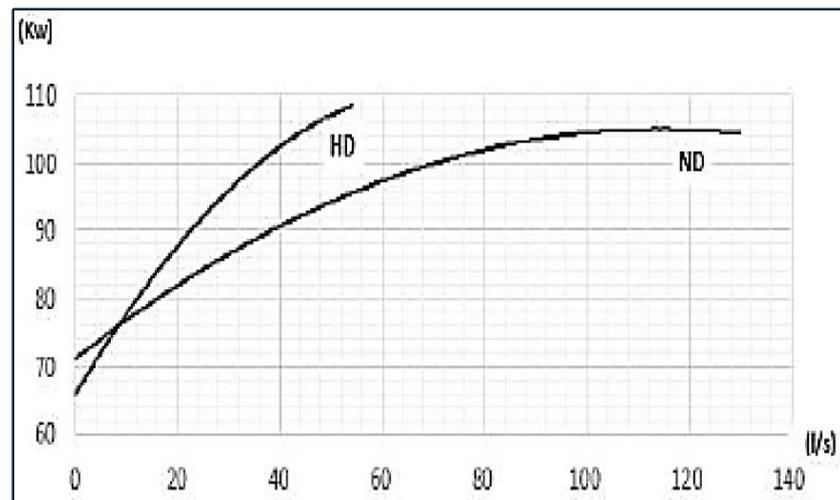


Figura 26 Bombas sumergibles - fase II

Fuente: Catalogo Line BEW IMBIL pumps

Después de la modificación (Bombas centrífugas)

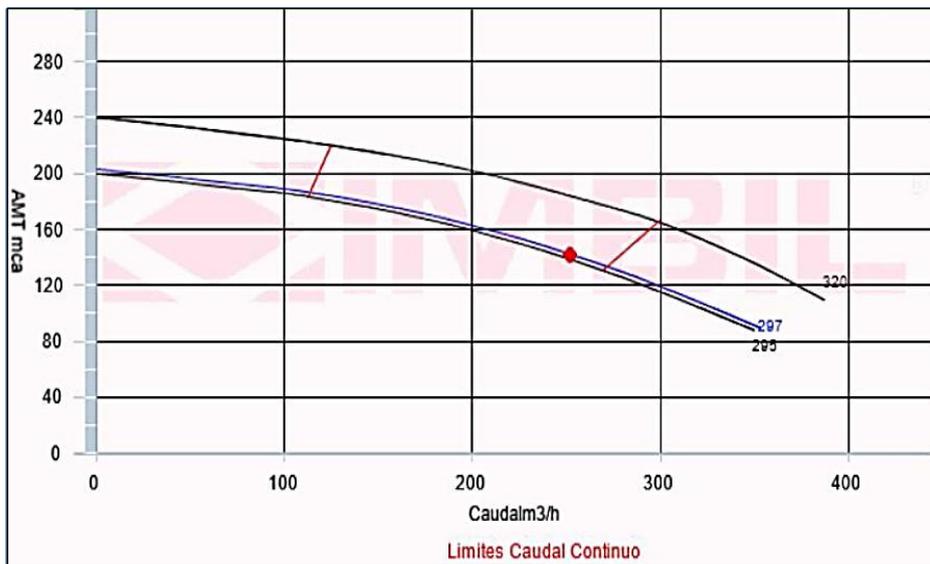


Figura 28. Bombas centrífugas - Fase I

Fuente: Catalogo Line BEW IMBIL pumps

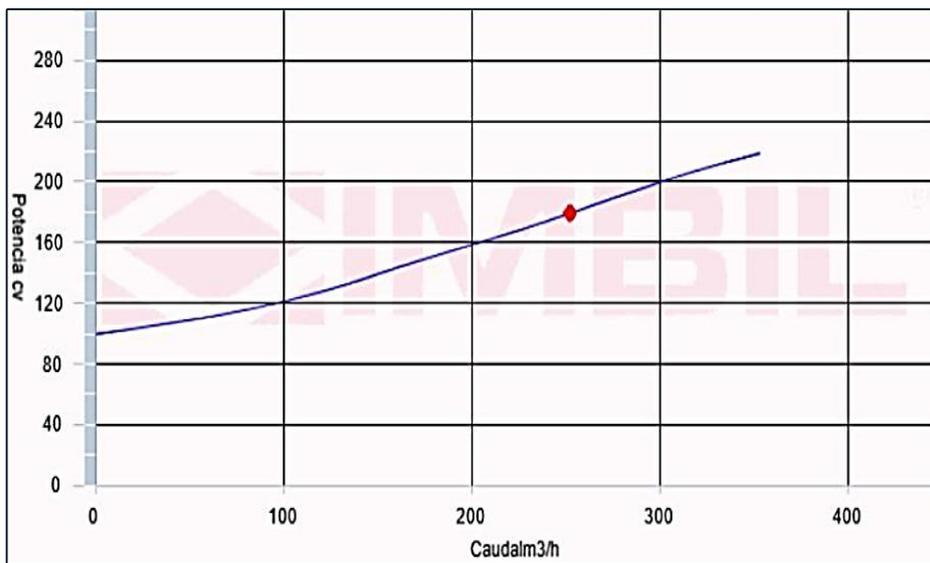


Figura 29. Bombas centrífugas- Fase II

Fuente: Catalogo Line BEW IMBIL pumps

3.2.5. Tuberías

En el Cuadro 9 se puede observar las especificaciones antes de la modificación que era de 6” y después de la modificación de 10” donde:

e = espesor de pared.

SDR = Relación dimensional estándar, corresponde al cociente entre el diámetro externo y el espesor de pared de la tubería, es adimensional.

PN = La presión nominal corresponde a la máxima presión de operación admisible de la tubería a 20°C en bar.

Cuadro 9. Especificaciones técnicas de la tubería antes y después de la modificación

Diámetro Nominal mm DN min.	Diámetro Equiv. en Pulg.	Toleran. mm DN máx	PN 3,2 SDR 41				PN 4 SDR 33				PN 5 SDR 26				PN 6 SDR 21				PN 8 SDR 17							
			e	e	e	Peso	e	e	e	Peso	e	e	e	Peso	e	e	e	Peso	e	e	e	Peso				
			min.	máx	medio	medio	min.	máx	medio	medio	min.	máx	medio	medio	min.	máx	medio	medio	min.	máx	medio	medio	min.	máx	medio	medio
125.0	5	126.2	3.1	3.6	3.4	1.25	3.9	4.5	4.2	1.53	4.80	5.40	5.10	1.81	6.0	6.7	6.4	2.23	7.4	8.3	7.9	2.727				
140.0	5 1/2	141.3	3.5	4.1	3.8	1.58	4.3	4.9	4.6	1.90	5.40	6.10	5.75	2.29	6.7	7.5	7.1	2.80	8.3	9.3	8.8	3.424				
160.0	6	161.5	4.0	4.6	4.3	2.02	4.9	5.6	5.2	2.47	6.20	7.00	6.60	3.00	7.7	8.6	8.2	3.67	9.5	10.6	10.1	4.465				
180.0	7	181.7	4.4	5.0	4.7	2.51	5.5	6.3	5.9	3.12	6.90	7.70	7.30	3.74	8.6	9.6	9.1	4.61	10.7	11.9	11.3	5.653				
200.0	8	201.8	4.9	5.6	5.2	3.11	6.2	7.0	6.6	3.90	7.70	8.60	8.15	4.64	9.6	10.7	10.2	5.71	11.9	13.2	12.6	6.977				
225.0	9	227.1	5.5	6.3	5.9	3.93	6.9	7.8	7.3	4.89	8.60	9.60	9.10	5.83	10.8	12.0	11.4	7.22	13.4	14.9	14.2	8.848				
250.0	10	252.3	6.2	7.0	6.6	4.91	7.7	8.7	8.2	6.05	9.60	10.70	10.15	7.22	11.9	13.2	12.6	8.84	14.8	16.4	15.6	10.84				
280.0	11	282.6	6.9	7.8	7.3	6.12	8.6	9.7	9.1	7.55	10.70	11.90	11.30	9.00	13.4	14.9	14.2	11.16	16.6	18.4	17.5	13.624				
315.0	12	317.9	7.7	8.6	8.2	7.42	9.7	10.8	10.3	9.31	12.10	13.50	12.80	11.47	15.0	16.6	15.8	14.02	18.7	20.7	19.7	17.253				
355.0	13	358.2	8.7	9.7	9.2	9.43	10.9	12.1	11.5	11.72	13.60	15.10	14.35	14.50	16.9	18.7	17.8	17.80	21.1	23.4	22.3	21.957				
400.0	16	403.6	9.8	10.9	10.4	11.96	12.3	13.7	13.0	14.92	15.30	17.00	16.15	16.38	19.1	21.2	20.2	22.70	23.7	26.2	25.0	27.751				
450.0	18	454.1	11.0	12.2	11.6	15.08	13.8	15.3	14.6	18.79	17.20	19.10	18.15	23.25	21.5	23.8	22.7	28.71	26.7	29.5	28.1	35.159				
500.0	20	504.5	12.3	13.7	13.0	18.78	15.3	17.0	16.2	23.17	19.10	21.20	20.15	26.68	23.9	26.4	25.2	35.42	29.7	32.3	31.3	43.442				
560.0	22	565.0	13.7	15.2	14.5	23.38	17.2	19.1	18.2	29.17	21.40	23.70	22.55	35.94	26.7	29.5	28.1	44.33	33.2	36.7	35.0	54.422				
630.0	24	635.7	15.4	17.1	16.3	29.58	19.3	21.4	20.4	36.79	24.10	26.70	25.40	45.54	30.0	33.1	31.6	56.00	37.4	41.3	39.4	68.928				
710.0	28	716.4	17.4	19.3	18.4	37.64	21.8	24.1	23.0	46.76	27.20	30.10	28.65	57.89	33.9	37.4	35.7	71.30	42.1	46.5	44.3	87.459				

Fuente: Manual técnico tubería HDPE – Minería e industria

3.2.6. Caudal de la bomba

En función a lo obtenido en la Tabla 10, se denota el caudal correspondiente al sistema de bombeo antes de la modificación de las bombas sumergibles, así como el caudal con el sistema de bombeo modificado durante el periodo enero de 2017 a diciembre de 2018. Se observa también una variación de los m³/min que sufrió el caudal luego

de la modificación del sistema de bombeo el cual en promedio antes es de 162 475.51 m³/min y después es de 188 388.33 m³/min.

Tabla 10. Variación del caudal antes y después de la modificación del sistema de bombeo

Fechas de prueba	Antes CAUDAL (Aniguo sistema/relave ra) m3/h	Después CAUDAL(Nuevo sistema/Relav era+Bocamina) m3/h
30/01/2017	162023.76	188384.09
31/02/2017	162475.51	188380.17
28/03/2017	162475.51	188379.27
30/04/2017	162023.76	188387.12
30/05/2017	162023.76	188383.15
30/06/2017	162475.51	188376.18
31/07/2017	162475.51	188384.33
30/08/2017	162023.76	188385.22
30/09/2017	162023.76	188382.34
29/10/2017	162475.51	188389.14
30/11/2017	162023.76	188387.26
29/12/2017	162475.51	188383.32
30/01/2018	162475.51	188380.19
27/02/2018	162023.76	188382.44
30/03/2018	162475.51	188381.09
30/04/2018	162023.76	188380.31
29/05/2018	162475.51	188380.21
29/06/2018	162475.51	188381.43
30/07/2018	162023.76	188384.07
29/08/2018	162023.76	188388.33
29/09/2018	162023.76	188379.44
29/10/2018	162475.51	188381.53
30/11/2018	162475.51	188385.21
27/12/2018	162475.51	188384.23

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Tiempo de bombeo

En función de la Tabla 11, se observa el tiempo de bombeo antes de la modificación del sistema de bombeo así como después, por lo que se ha determinado que el tiempo de bombeo calculado en el parametro de bombeo antes es 12.34 horas, equivalente a 370.20 horas por mes y en el parametro de bombeo después, es 6.345 horas, equivalente a 190.36 horas por mes

Tabla 11. Variación del tiempo de bombeo antes y después de la modificación del sistema de bombeo

Fechas de prueba	Antes TIEMPO (Antiguo sistema/relave ra) h/mes	Después TIEMPO (Nuevo sistema/Relave+ Bocamina) h/mes
30/01/2017	387.43	198.28
31/02/2017	378.27	180.36
28/03/2017	370.21	198.26
30/04/2017	371.46	160.28
30/05/2017	375.23	169.54
30/06/2017	384.34	180.42
31/07/2017	386.35	202.41
30/08/2017	384.81	202.52
30/09/2017	370.62	190.6
29/10/2017	378.55	179.52
30/11/2017	386.27	179.66
29/12/2017	389.51	179.62
30/01/2018	391.83	207.82
27/02/2018	398.75	207.86
30/03/2018	400.84	207.54
30/04/2018	403.23	207.52
29/05/2018	404.26	198.33
29/06/2018	404.16	190.36
30/07/2018	398.71	186.77
29/08/2018	405.73	186.92
29/09/2018	380.22	179.12
29/10/2018	384.55	197.69
30/11/2018	385.47	199.48
27/12/2018	385.78	195.12

Fuente: Elaboración propia

Parámetro de bombeo antes y después de la modificación

En la Tabla 12, se presenta las horas de operación de las bombas sumergibles, del sistema de bombeo anterior, observándose que el caudal promedio era de 35 l/s y en cuanto a las horas de bombeo se tenía un promedio de 12.62 h.

Tabla 12. Parámetros operacionales de bombas sumergibles

Bomba N°	Marca	Motor	Caudal Promedio de Bombeo l/min	Horas Promedio Operación Día	Observaciones
1	Hidropump	M3 [~]	35	12.3403	operativo
2	Hidropump	M3 [~]	35	12.3821	operativo
3	Hidropump	M3 [~]	35	12.5076	operativo
4	Hidropump	M3 [~]	35	12.8113	operativo
5	Hidropump	M3 [~]	35	12.8783	operativo
6	Hidropump	M3 [~]	35	12.8103	operativo

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13, se presenta las horas de operación de las bombas centrífugas multietápicas correspondientes al sistema de bombeo modificado, observándose que el caudal promedio es de 70 l/s y en cuanto a las horas de bombeo el promedio es de 6.19 h.

Tabla 13. Parámetros operacionales de bombas Centrifugas Multietapicas

Bomba N°	Marca	Motor	Caudal Promedio de Bombeo l/min	Horas Promedio Operación Día	Observaciones
1	IMBI8L	M3 [~]	70	6.34533	operativo
2	IMBI8L	M3 [~]	70	6.22566	operativo
3	IMBI8L	M3 [~]	70	6.23066	stand by
4	IMBI8L	M3 [~]	70	5.97066	stand by

Fuente: Elaboración propia

3.3. PRUEBA DE NORMALIDAD

Las pruebas de normalidad, se hizo con la ayuda del software SPSS versión 23 y así evaluar, las 24 muestras tomadas durante la investigación, por lo cual aplicamos la prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

Hipótesis General

Previamente, en la Tabla 14, mostramos los 24 datos obtenidos en la reutilización de las aguas residuales con tubo de 6" de diámetro y con tubo de 10" de diámetro, los cuales fueron ingresadas para los cálculos estadísticos con el SPSS Statistics 23.

Tabla 14. Datos de reutilización de aguas residuales, con tubería de 6" y 10"

Muestras	Reutilizacion con tubería de ø 6" (Lt)	Reutilizacion con tubería de ø 10" (Lt)
1	5000	8058
2	6000	8056
3	6000	8078
4	5000	8090
5	5000	8055
6	6000	8061
7	6000	8082
8	5000	8049
9	5000	8036
10	6000	8069
11	5000	8082
12	6000	8091
13	6000	8056
14	5000	8088
15	6000	8056
16	5000	8065
17	6000	8071
18	6000	8052
19	5000	8064
20	5000	8071
21	5000	8090
22	6000	8049
23	6000	8063
24	6000	8076

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la Tabla 15 la prueba de normalidad en base a Shapiro Wilk, hallada con el SPSS Statistics 23; donde se obtuvo los valores de 0.493 para la reutilización con tubería de diámetro 6" y de 0.558 para la reutilización con tubería de diámetro 10"

Tabla 15. Prueba de normalidad hipótesis general

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Reutilización con tubería de ϕ 10"/Lt.	.145	23	.200 [*]	.938	23	.493
Reutilización con tubería de ϕ 10"/Lt.	.170	23	.200 [*]	.947	23	.558

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

En el Cuadro 10, mostramos la comparación de los valores obtenidos, donde observamos que los valores de 0.493 y 0.558 son mayores al valor de significancia, por lo que se admite que los datos a la reutilización de aguas residuales, provienen de una distribución normal.

Cuadro 10. Interpretación de normalidad

NORMALIDAD		
0.493	>	0.05
0.558	>	0.05

Fuente. software estadístico SPSS Versión 23

Prueba de normalidad Hipótesis Específica A

Primeramente, en la Tabla 16, se detallan los 24 datos correspondientes al caudal antes de la modificación y al caudal después de la modificación, los mismos que fueron analizadas a deducciones estadísticas con el SPSS Statistics 23.

Tabla 16. Datos de caudal con sistema antiguo y nuevo sistema

Muestras	Caudal con Aniguo sistema (m3/h)	Caudal con nuevo sistema (m3/h)
1	162023.76	188384.09
2	162475.51	188380.17
3	162475.51	188379.27
4	162023.76	188387.12
5	162023.76	188383.15
6	162475.51	188376.18
7	162475.51	188384.33
8	162023.76	188385.22
9	162023.76	188382.34
10	162475.51	188389.14
11	162023.76	188387.26
12	162475.51	188383.32
13	162475.51	188380.19
14	162023.76	188382.44
15	162475.51	188381.09
16	162023.76	188380.31
17	162475.51	188380.21
18	162475.51	188381.43
19	162023.76	188384.07
20	162023.76	188388.33
21	162023.76	188379.44
22	162475.51	188381.53
23	162475.51	188385.21
24	162475.51	188384.23

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la Tabla 17, la prueba de normalidad en base a Shapiro Wilk, hallada con el SPSS Statistics 23, donde se obtuvo los valores de 0.805 para el caudal de la bomba antes de la modificación y de 0.706 para el caudal de la bomba después de la modificación.

Tabla 17. Prueba de normalidad para hipótesis específica A

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Caudal antes de la modificación (m ³ h)	0.138	23	.200 [†]	0.963	23	.805
Caudal después de la modificación (m ³ h)	0.176	23	.200 [†]	0.957	23	.706

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

Prueba de Normalidad Hipótesis Específica B

Primeramente, en la Tabla 18, detallamos los 24 datos referentes al tiempo de bombeo antes de la modificación y al tiempo de bombeo después de la modificación, los cuales fueron analizadas con el SPSS Statistics 23.

Tabla 18. Datos de tiempo con antiguo sistema y nuevo sistema

Muestras	Tiempo con Antiguo sistema (h/mes)	Tiempo con nuevo sistema (h/mes)
1	387.43	198.28
2	378.27	180.36
3	370.21	198.26
4	371.46	160.28
5	375.23	169.54
6	384.34	180.42
7	386.35	202.41
8	384.81	202.52
9	370.62	190.6
10	378.55	179.52
11	386.27	179.66
12	389.51	179.62
13	391.83	207.82
14	398.75	207.86
15	400.84	207.54
16	403.23	207.52
17	404.26	198.33
18	404.16	190.36
19	398.71	186.77
20	405.73	186.92
21	380.22	179.12
22	384.55	197.69
23	385.47	199.48
24	385.78	195.12

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la Tabla 19, la prueba de normalidad en base a Shapiro Wilk hallada con el SPSS Statistics 23; cuyos valores obtenidos son de 0.128 para el caudal de la bomba antes de la modificación y de 0.112 para el caudal de la bomba después de la modificación.

Tabla 19. Prueba de normalidad hipótesis específica B

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo de bombeo antes de la modificación (h/mes)	.137	23	.200 [*]	.935	23	.128
Tiempo de bombeo después de la modificación (h/mes)	.153	23	.150	.933	24	.112

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

CAPÍTULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Según la Tabla 20, Matriz de análisis de datos, se ha procedido a desarrollar la contrastación de las hipótesis correspondientes; con los promedios de la modificación del sistema de bombeo desde enero del 2017 a diciembre del 2018. Dicha matriz de datos, ha sido procesada con el software SPSS Statistics (versión 23) y el software Microsoft Excel a cada interrogante formulada, cuyos resultados se describen a continuación.

Tabla 20. Matriz de análisis de datos

Muestras	Fechas de prueba	Potenciaa de las bombas/antes (hp)	Potenciaa de las bombas/despues (hp)	Reutilizacion con Tuberia de ϕ 6" (L/mes)	Reutilización con Tuberia de ϕ 10" (L/mes)	Caudal de la bomba Antes de la modificación m ³ /h	Caudal de la bomba Después de la modificación m ³ /h	Tiempo de bombeo Antes de la modificación h/mes	Tiempo de bombeo Después de la modificación h/mes
1	30/01/2017	150	250	5000	8058	162023.76	188384.09	387.43	198.28
2	31/02/2017	150	250	6000	8056	162475.51	188380.17	378.27	180.36
3	28/03/2017	150	250	6000	8078	162475.51	188379.27	370.21	198.26
4	30/04/2017	150	250	5000	8090	162023.76	188387.12	371.46	160.28
5	30/05/2017	150	250	5000	8055	162023.76	188383.15	375.23	169.54
6	30/06/2017	150	250	6000	8061	162475.51	188376.18	384.34	180.42
7	31/07/2017	150	250	6000	8082	162475.51	188384.33	386.35	202.41
8	30/08/2017	150	250	5000	8049	162023.76	188385.22	384.81	202.52
9	30/09/2017	150	250	5000	8036	162023.76	188382.34	370.62	190.6
10	29/10/2017	150	250	6000	8069	162475.51	188389.14	378.55	179.52
11	30/11/2017	150	250	5000	8082	162023.76	188387.26	386.27	179.66
12	29/12/2017	150	250	6000	8091	162475.51	188383.32	389.51	179.62
1	30/01/2018	150	250	6000	8056	162475.51	188380.19	391.83	207.82
2	27/02/2018	150	250	5000	8088	162023.76	188382.44	398.75	207.86
3	30/03/2018	150	250	6000	8056	162475.51	188381.09	400.84	207.54
4	30/04/2018	150	250	5000	8065	162023.76	188380.31	403.23	207.52
5	29/05/2018	150	250	6000	8071	162475.51	188380.21	404.26	198.33
6	29/06/2018	150	250	6000	8052	162475.51	188381.43	404.16	190.36
7	30/07/2018	150	250	5000	8064	162023.76	188384.07	398.71	186.77
8	29/08/2018	150	250	5000	8071	162023.76	188388.33	405.73	186.92
9	29/09/2018	150	250	5000	8090	162023.76	188379.44	380.22	179.12
10	29/10/2018	150	250	6000	8049	162475.51	188381.53	384.55	197.69
11	30/11/2018	150	250	6000	8063	162475.51	188385.21	385.47	199.48
12	27/12/2018	150	250	6000	8076	162475.51	188384.23	385.78	195.12

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21, se detalla los parámetros que se consideró para el contraste de las hipótesis, donde se indica una la confiabilidad del 95%, con un margen de error de 0.05. En el Anexo B, se adjunta la Tabla t Student, mediante el cual se determinó el valor crítico de +/- 1.7139, el cual es relacionado por nuestro grado de libertad y nuestro margen de error.

Tabla 21. Datos para contrastación de hipótesis

Margen de Error	Confiabilidad	Valor Critico	Grados de Libertad
0.05	95%	(+/-)1.7139	23

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

4.1. Hipótesis general

Hipótesis alterna

La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

Hipótesis nula

La modificación del sistema de bombeo no incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

Para una mejor comprobación de lo señalado, se procede a elaborar el análisis descriptivo del sistema de bombeo, cuyos valores se detallan en la Tabla 22, donde la media del volumen de reutilización antes de la modificación era de 5,541.66 l. y con el sistema de bombeo modificado se obtuvo una media de 8,067.00 l.

Tabla 22. Análisis cuantitativo para la hipótesis general

			Estadístico	Error estándar
Reutilización con tubería ø 6"(Antiguo sistema/relav era)	Media		5541.667	103.8946
	95% de	Límite inferior	5326.744	
	intervalo de			
	confianza	Límite superior	5756.589	
	para la			
	Media recortada al 5%		5546.296	
	Mediana		6000.000	
	Varianza		259057.971	
	Desviación estándar		508.9774	
	Mínimo		5000.0	
	Máximo		6000.0	
	Rango		1000.0	
	Rango intercuartil		1000.0	
	Asimetría		-.179	.472
	Curtosis		-2.156	.918
Reutilización con tubería ø 10" (Nuevo sistema/Relavera+Bocamina)	Media		8067.000	3.0840
	95% de	Límite inferior	8060.620	
	intervalo de			
	confianza	Límite superior	8073.380	
	para la			
	Media recortada al 5%		8067.278	
	Mediana		8064.500	
	Varianza		228.261	
	Desviación estándar		15.1083	
	Mínimo		8036.0	
	Máximo		8091.0	
	Rango		55.0	
	Rango intercuartil		25.0	
	Asimetría		.066	.472
	Curtosis		-.763	.918

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

Aceptando que los datos provienen de una distribución normal, se procede a realizar el test estadístico: T Student, cuyos resultados se aprecian en la Tabla 23, siendo sometidos a prueba los datos del volumen de reutilización de aguas residuales; obteniéndose el valor T Student de - 24.251.

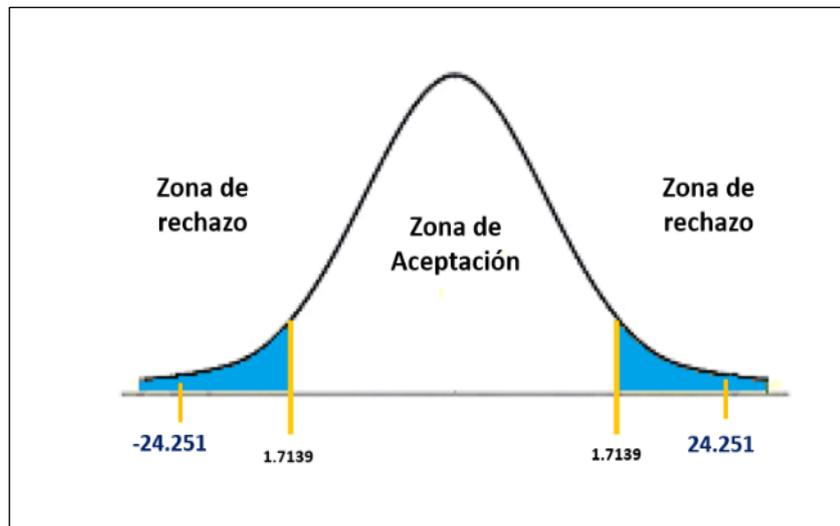
Tabla 23. Valor T Student hipótesis general

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	significancia
				Inferior	Superior			
Antes o 6" (Antiguo sistema/relavera) - Después o 10" (Nuevo sistema/Relavera+Bocamina)	-2525.33	510.13	104.131	-2740.74	-2309.92	-24.2512	23	0.00

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

Campana de Gauss:

Mediante el software Excel 2013 obtenemos la campana de Gauss, estableciendo que para el grado de libertad de 23 y el margen de error de 0.05, se tiene un valor crítico de ± 1.7139 , como se muestra en el Gráfico 1, en tanto que el valor obtenido de los datos analizados es de -24.251 , valor que recae en la zona de rechazo y por ello se acepta la hipótesis alterna.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (Hipotesis General)

Conclusión de la prueba de Hipótesis General

Con un nivel de significancia de 95%, y un valor T calculado (-24.251) mayor al valor T tabulado (1.7139) existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna, que señala que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

4.2. Prueba de hipótesis específicas

4.2.1. Prueba de hipótesis específica A

Hipótesis alterna

La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

Hipótesis Nula

La modificación del sistema de bombeo no incide significativamente en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

Para una mejor comprobación de lo indicado, se procede a elaborar el análisis descriptivo del caudal, cuyos valores se detallan en la Tabla 24, donde la media del caudal con el sistema antiguo, es de 162 268.45 m³/h y la media del caudal con el sistema nuevo de 188 382.91 m³/h.

Tabla 24. Análisis cuantitativo hipótesis específica A

Descripción			Estadístico	Error estándar
Antes CAUDAL (Aniguo sistema/relavera)	Media		162268.4579	46.93437
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	162171.3668	
		Límite superior	162365.5491	
	Media recortada al 5%		162270.5494	
	Mediana		162475.5100	
	Varianza		52868.049	
	Desviación estándar		229.93053	
	Mínimo		162023.76	
	Máximo		162475.51	
	Rango		451.75	
	Rango intercuartil		451.75	
	Asimetría		-.179	.472
	Curtosis		-2.156	.918
	Después CAUDAL(Nuevo sistema/Relavera+Bocamina)	Media		188382.9196
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	188381.5852	
		Límite superior	188384.2540	
Media recortada al 5%			188382.9273	
Mediana			188382.7950	
Varianza			9.986	
Desviación estándar			3.16004	
Mínimo			188376.18	
Máximo			188389.14	
Rango			12.96	
Rango intercuartil			4.76	
Asimetría			.149	.472
Curtosis			-.204	.918

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

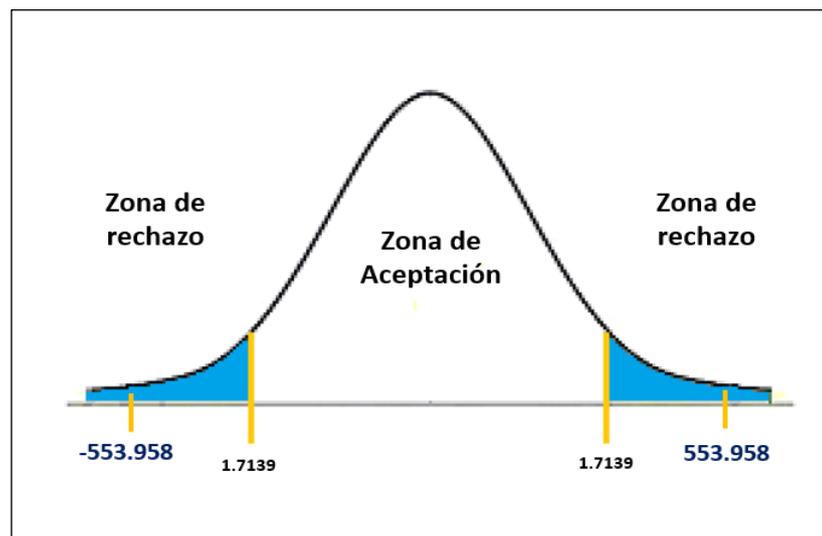
Aceptando que los datos provienen de una distribución normal se procede a realizar el test estadístico: T Student, cuyos resultados se aprecian en la Tabla 25, siendo sometidos a prueba los datos del caudal en la reutilización de aguas residuales, obteniéndose el valor T Student de -553.958.

Tabla 25. Valor T Student hipótesis específica A

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	significancia
				Inferior	Superior			
Antes CAUDAL (Aniguo sistema/relavera) - Después CAUDAL (Nuevo sistema/Relavera+Bocamina)	-26114.46	230.945	47.141	-26211.981	-26016.941	-553.958	23	0.00

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

Mediante el software Excel 2013 obtenemos la campana de Gauss, considerando un grado de libertad de 23 y el margen de error de 0.05, se tiene un valor crítico de ± 1.7139 como se muestra en el Gráfico 2, mientras que el valor obtenido de los datos analizados, es de -553.958 , el cual cae en la zona de rechazo y por ello se acepta la hipótesis alterna.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (Hipótesis Específica A)

Conclusión de la Hipótesis Específica A

Con un valor crítico de 95%, y un valor T calculado (553.958) mayor al valor T tabulado (1.7139); existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna, la cual menciona que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

4.2.2. Prueba de hipótesis específica B

Hipótesis alterna

La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

Hipótesis Nula

La modificación del sistema de bombeo no incide significativamente en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

Para una mejor comprobación de lo concluido, se procede a elaborar el análisis descriptivo tiempo de bombeo, cuyos valores se detallan en la Tabla 26, donde el tiempo de bombeo con el sistema antiguo tiene un valor de la media de 387.77 h/mes y el tiempo de bombeo con el sistema nuevo con un valor estadístico es 191.08 h/mes.

Tabla 26. Análisis cuantitativo de tiempo de bombeo

Descripción		Estadístico	Error estándar	
Antes TIEMPO (Antiguo sistema/relavera)	Media	387.7742	2.26634	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	383.0859	
		Límite superior	392.4624	
	Media recortada al 5%	387.7622		
	Mediana	386.0250		
	Varianza	123.271		
	Desviación estándar	11.10275		
	Mínimo	370.21		
	Máximo	405.73		
	Rango	35.52		
	Rango intercuartil	19.77		
	Asimetría	.149	.472	
	Curtosis	-.977	.918	
Después TIEMPO (Nuevo sistema/Relavera+Bocamina)	Media	191.0833	2.64609	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	185.6095	
		Límite superior	196.5572	
	Media recortada al 5%	191.7772		
	Mediana	192.8600		
	Varianza	168.043		
	Desviación estándar	12.96314		
	Mínimo	160.28		
	Máximo	207.86		
	Rango	47.58		
	Rango intercuartil	21.84		
	Asimetría	-.539	.472	
	Curtosis	-.300	.918	

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

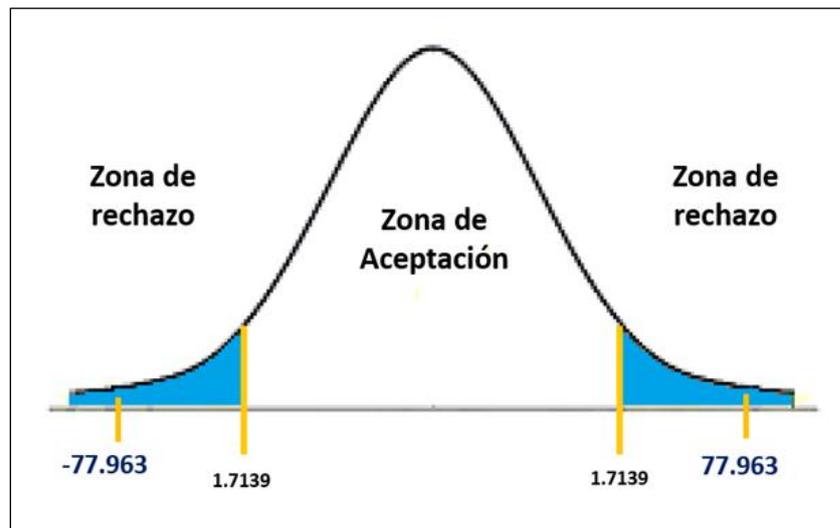
Aceptando que los datos provienen de una distribución normal se procede a realizar el test estadístico: T Student, cuyos resultados se aprecian en la Tabla 27, siendo sometidos a prueba los datos de tiempo de bombeo de las aguas residuales antes y después; obteniéndose el valor T Student de + 77.963.

Tabla 27. Valor T Student hipótesis específica B

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	significancia
				Inferior	Superior			
Antes TIEMPO (Antiguo sistema/relavera) - Después TIEMPO (Nuevo sistema/Relavera+Bocamina)	196.69	12.35	2.522	191.471	201.9	77.963	23	0.00

Fuente: software estadístico SPSS Versión 23

Mediante el software Excel 2013 obtenemos la campana de Gauss, estableciendo que para el grado de libertad de 23 y el margen de error de 0.05, se tiene un valor crítico de ± 1.7139 , como se muestra en el Gráfico 3, mientras que el valor obtenido de los datos analizados, es de $+77.963$, el cual cae en la zona de rechazo y por ello se acepta la hipótesis alterna.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (Hipótesis Específica B)

Conclusión de la Hipótesis Específica B

Con un valor crítico de 95%, y un valor T calculado (+77.963) mayor al valor T tabulado (1.7139) existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis específica nula y aceptar la hipótesis específica B alterna, la cual menciona que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- * Con los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis general, que señala que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018, puesto que se ha logrado reutilizar un mayor volumen de aguas residuales con el sistema de bombeo modificado, afirmación que coincide y se asocia a los resultados hallados por Franco Sullca (2015), quien logró optimizar el sistema de bombeo de agua subterránea, enfocándose en la demanda volumétrica de la compañía minera materia de su estudio, con el cambio del tipo de tubería instalada por una de 8” y la instalación de la bomba GIW y KSB MEGANOM, trabajando en una altura caudal de mayor potencia y rendimiento, corroborando que en ambos casos al hacer una modificación del sistema de bombeo se logra incrementar el volumen reutilizado en menor tiempo.

- * En segundo lugar, con los resultados obtenidos en el caudal, es decir haberse logrado un incremento promedio de 26114.46 m³/h. de caudal hacia la planta

concentradora, aceptamos la hipótesis específica A alterna que señala que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca, apreciación que es compatible con la conclusión del estudio de León Espinoza (2018), quien planteó el cambio de bombas del antiguo sistema por bombas centrífugas instaladas en paralelo; logrando un caudal óptimo de 200 l/s.

Mediante ambas investigaciones, se determina que, al aplicar una modificación en el sistema de bombeo, se logra el incremento del caudal, contribuyendo de esa manera en la mejora de los procesos metalúrgicos.

- * Finalmente, habiéndose reducido el tiempo de bombeo con la modificación del sistema de bombeo en 196.69 h/m; se admite la hipótesis específica B que indica que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca, logro que es similar a lo hallado en el trabajo de investigación de Rodríguez Ayala (2014); quien mejoro el funcionamiento de las bombas instaladas en paralelo a través de un reemplazo del sistema antiguo que estaba conformado por tres bombas de 750 HP con capacidad de 150 l/s cada una para la evacuación del agua de mina nivel 820 a 1020 con una disponibilidad de 74%, por tres bombas dispuestas en serie de 255 HP, con lo cual consiguió una disponibilidad de 96%, que redundó igualmente en la reducción del tiempo de evacuación.

Según ambas investigaciones, con la modificación del sistema de bombeo, logramos minimizar el tiempo de bombeo de manera eficaz, de acuerdo a los trabajos operacionales de la planta concentradora.

CONCLUSIONES

1. Se concluye en que la modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca, ya que se obtuvo un incremento del volumen reutilizado en 2,525.3 l/mes, mejorando el abastecimiento de agua en la planta concentradora en un 45.57% en promedio.
2. La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018, porque el caudal registrado después de la modificación del sistema de bombeo es equivalente en promedio a 26 114.46 m³/h, es decir se tuvo un aumento de caudal en un 16.09% en promedio.
3. Igualmente, se concluye que la modificación del sistema de bombeo incide en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018, en razón a que el tiempo registrado después de la modificación equivalen en promedio a 196.69 h/mes, es decir se tuvo una disminución al tiempo de bombeo, en un 50.85% en promedio.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la unidad minera utilizar eficientemente el sistema modificado de bombeo, debido a que se ha logrado la reutilización de las aguas residuales en la que se mezcla el agua de la bocamina nivel 400 y las aguas residuales, lo cual generará beneficios económicos y la prolongación de la vida útil de las maquinarias en la planta de beneficio.
2. Hacer un mantenimiento y estudio de otras opciones que sean también rentables para la unidad minera, a fin de tener menores costos de operación y se pueda prolongar la vida útil de las bombas centrifugas instaladas, pudiendo ser a través de un programa de capacitación del personal de planta, acerca del manejo de la estación de bombeo.
3. Se recomienda a la unidad minera a evaluar las pérdidas de carga en una instalación de tuberías, debido a que este es un ratio que permite saber si el consumo de energía es más de lo necesario, además permitirá saber el costo de operación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Arthur, A. (2006). *HVAC Equations Data and Rules of Thumb*. McGraw Hill.
- Bernal, C. (2015). *Metodología de la Investigación. Administración, Economía y Ciencias Sociales*. Colombia: Pearson.
- Blanco, E., & Ballesteros, R. (1994). *Análisis de incertidumbre en mecánica de fluidos*. Madrid: Gijón.
- Blanco, E., Velarde, S., & Fernández, J. (1994). *Sistema de Bombeo*. México: Gijón.
- Campos, B. (2018). *Análisis Técnico-Económico para optimización del Sistema de Recuperación de Agua por bombeo en una presa de relave*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Castro, A. (2015). *Rehabilitación del Sistema Eléctrico de generación para la planta de bombeo de aguas negras KM 11+600 del Sistema Gran Canal mediante el cambio y suministro de un transformador de 2500 KVA nominales a 440V/4160V*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, Bosques de Aragón.
- Chuquin, S. & Murminacho, E. (2013). *Optimización de la producción de crudos pesados mediante bombeo electrosumergible de cavidad progresiva del campo Fanny 18B*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Corral, Y. (2019, 03 24). *Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación*. Retrieved from <http://www.une.edu.pe/Titulacion/2013/exposicion/SESSION-6-Confiabilidad%20y%20Validez%20de%20Instrumentos%20de%20investigacion.pdf>
- De Azevedo, J. & Acosta, A. (1975). *Manual de Hidráulica*. Sao Paulo: Harla.
- De las Heras, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona: La Factoría de Recursos Docentes.
- Diario Oficial El Peruano. (2018, 04 19). *El Peruano*. Retrieved from Aporte de la minería al PBI: <https://elperuano.pe/noticia-aporte-de-mineria-al-pbi-65726.aspx>
- Dueñas, V. (2017). *Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga RPH-250 KSB para incrementar su disponibilidad en la empresa administradora Cerro S.A.C. - 2017*. Tesis de pregrado, Universidad Alas Peruanas.

- Franco, J. (2015). *Optimización del Sistema de Bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica, en Volcan Compañía Minera S.A.A - Unidad minera Chungar*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Guerrero, O. (2016). *Dieño Hidráulico de un Sistema de bombeo y distribución para el abastecimiento de agua potable de la urbanización Venezuela de la parroquia*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw-Hill.
- Herrera, J. & Ortiz de Urbina, F. (2007). *Elementos de Minería*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Ilaya, A. (2010). *Ingeniería Sanitaria II*. Bolivia: Pearson.
- Leon, J. (2018). *Sistema de bombeo de agua en dos etapas para reducir costos en la mina Animon - unidad operativa Chungar de la*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco.
- Maletta, H. (2009). *Epistemología Aplicada: Metodología y técnica de la producción científica*. ima: Nova Print S.A.C.
- Marroquin, R. (2014). *Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación*. Retrieved from <http://www.une.edu.pe/Titulacion/2013/exposicion/SESSION-6-Confiabilidad%20y%20Validez%20de%20Instrumentos%20de%20investigacion.pdf>
- Rey, W. (2013). *Crecimiento no es desarrollo: Cómo lograr una sociedad con mayor bienestar y menor desigualdad*. Huancayo: Acerva Ediciones.
- Rodriguez, Y. (2014). *Mejoramiento del Sistema de Bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A - Unidad San Cristobal*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Soto, C. (2012). *Técnica de Control Autónomo de un Sistema de Bombeo de agua potable para una mayor eficiencia en su servicio en la unidad Doe Run Perú - Cobriza*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Tamayo, C., y Silva, I. (n.d.). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Chimbote: Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote.
- Triola, M. (2009). *Estadística*. México: Pearson Educación.
- Triola, M. (2009). *Estadística*. México: Pearson Education.

ANEXOS

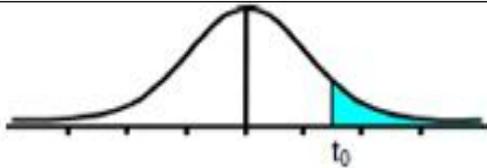
Anexo A: Matriz de Consistencia

“MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIDAD MINERA ALPAMARCA – 2018”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Metodología
General			X: Independiente Sistema de Bombeo	Bombas (hp)	<p>Método Científico, hipotético-deductivo</p> <p>Tipo de investigación Aplicada-Cuantitativo</p> <p>Nivel de investigación Explicativa - Correlacional</p> <p>Diseño de la investigación Experimental – Cuasi experimental</p> <p>G O₁ X O₂ G: Grupo de casos O₁: Pre test O₂: Post test X: Tratamiento o estímulo</p> <p>Población Pruebas de monitoreo en el área de disposición de relaves</p> <p>Muestra 24 pruebas (enero-2017 a diciembre de 2018)</p> <p>Instrumentos de recolección de datos Ficha de observación para toma de datos</p> <p>Análisis de datos T de Student, para ver la variación antes y después de la modificación del sistema de bombeo.</p>
¿Cómo la modificación del sistema de bombeo incide en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018?	Determinar como la modificación del sistema de bombeo incide en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.	La modificación del sistema de bombeo incide significativamente en la reutilización de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.		Tuberías (ø)	
Específica			Y: Dependiente Reutilización de aguas residuales	Caudal de la bomba (m ³ /h)	
¿Cómo la modificación del sistema de bombeo incide en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018?	Establecer como la modificación del sistema de bombeo incide en el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.	La modificación del sistema de bombeo incide significativamente el caudal de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.		Tiempo de bombeo (h)	
¿Cómo la modificación del sistema de bombeo incide en el tiempo de bombeo de aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018?	Evaluar como la modificación del sistema de bombeo incide en el tiempo de bombeo en la unidad minera Alpamarca – 2018.	La modificación del sistema de bombeo incide significativamente el tiempo de bombeo de las aguas residuales en la unidad minera Alpamarca – 2018.			

Anexo B: Tabla T Student

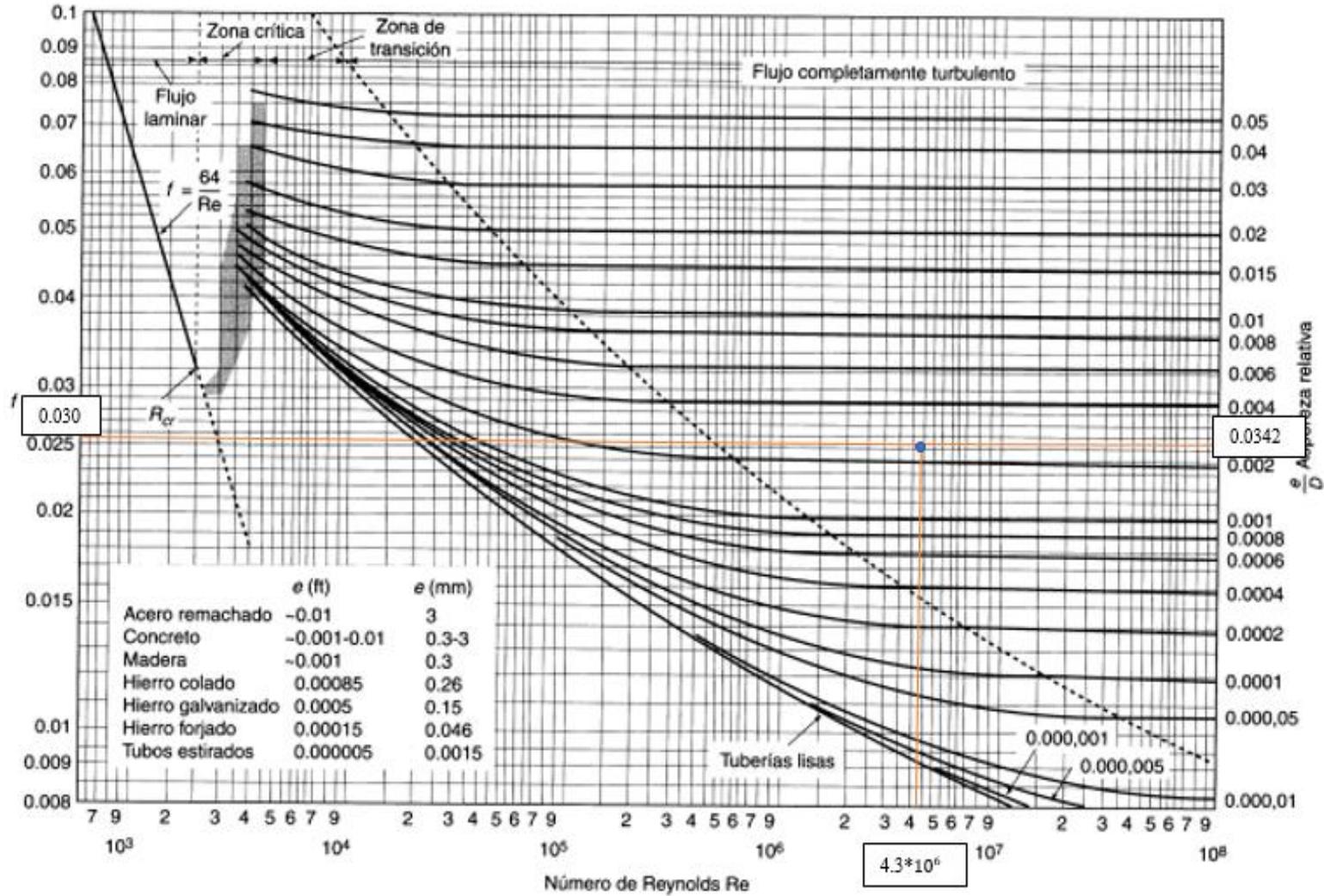
Tabla t-Student



The diagram shows a normal distribution curve with a vertical line at the center and another vertical line to the right labeled t_0 . The area under the curve to the right of t_0 is shaded in light blue.

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333

Anexo D: Diagrama de Moody (resultado del factor de fricción f)



Anexo E: Perdidas en Accesorios y Componentes Succión e Impulsión, Bomba BEW 125-4 IMBIL

Descripcion		Diam, Seccion	Cantidad	K	Total "K"
Succion	Valvula Check	14	0	0,5	0
	Valvula de Compuerta	18	1	0,2	0,2
	Valvula de Globo		0	4,8	0
	Valvula Esferica		0	0,04	0
	Codo Estandar 90°	18	1	0,9	0,9
	Codo RC 90°	0	0	0,28	0
	Codo 45°	10	0	0,22	0
	Strainer	18	1	0,75	0,75
	Junta flexible 14"	10	1	0,3	0,3
	Red. concentrica 14x8"	14x10	1	0,11	0,15
	tee	10x16	0	0,26	0
	Total K (Succion)				
Impulsion	Valvula Check Swing	10	2	2,5	5
	Valvula de Compuerta 10"	10	1	0,2	0,2
	Valvula de Globo		0		0
	Valvula Esferica		0		0
	Codo RL 90°		0	0,42	0
	Codo RC 90°	10	3	0,9	2,7
	Codo 45°	10	0	0,4	0
	Red Concentrica	6x10	2	0,11	0,22
	Junta flexible 10"	10	1	0,11	0,11
	Red Concentrica	8x10	1	0,11	0,11
Total K (Impulsion)					8,34

Anexo F: Resultados obtenidos

Caudal			Linea de Succion								Linea de Descarga					Resultados			
Q (lps)	Q (m3/h)	Q (gpm)	Vel (m/s)	Vel (p/s)	V ² /2g (m)	Hf Acc (m)	Hf Tuberia (m)	Hf Succion (m)	Sum min (m)	NPSHd (m)	Vel (m/s)	V ² /2g (m)	Hf Acc (m)	Hf Tub (m)	Ht Desc (m)	ADT (m)	Pot (hid) HP	Pot (elect) HP	Pot (Instalada) HP
0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,20	6,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,25	0,00	0,00	0,00
5,00	18,00	79,25	0,069	0,226	0,000	0,00	0,00	0,00	0,20	6,40	0,15	0,00	0,01	0,25	0,26	107,51	8,84	9,31	10,24
10,00	36,00	158,50	0,138	0,452	0,001	0,00	0,00	0,00	0,20	6,40	0,31	0,00	0,04	0,88	0,92	108,18	17,79	18,73	20,60
15,00	54,00	237,75	0,207	0,678	0,002	0,01	0,00	0,01	0,20	6,40	0,46	0,01	0,09	1,87	1,96	109,22	26,95	28,36	31,20
20,00	72,00	317,00	0,276	0,904	0,004	0,01	0,00	0,01	0,20	6,40	0,61	0,02	0,16	3,19	3,35	110,61	36,38	38,30	42,13
25,00	90,00	396,25	0,345	1,130	0,006	0,01	0,00	0,01	0,21	6,39	0,76	0,03	0,25	4,82	5,07	112,33	46,19	48,62	53,48
30,00	108,00	475,50	0,413	1,356	0,009	0,02	0,00	0,02	0,21	6,38	0,92	0,04	0,36	6,75	7,11	114,38	56,44	59,41	65,35
35,00	126,00	554,75	0,482	1,582	0,012	0,03	0,00	0,03	0,21	6,38	1,07	0,06	0,48	8,98	9,47	116,75	67,21	70,74	77,82
40,00	144,00	634,00	0,551	1,808	0,015	0,04	0,00	0,04	0,22	6,37	1,22	0,08	0,63	11,50	12,13	119,42	78,57	82,70	90,97
45,00	162,00	713,25	0,620	2,034	0,020	0,05	0,00	0,05	0,22	6,36	1,37	0,10	0,80	14,30	15,10	122,40	90,59	95,36	104,89
50,00	180,00	792,50	0,689	2,260	0,024	0,06	0,00	0,06	0,22	6,35	1,53	0,12	0,99	17,38	18,37	125,67	103,35	108,79	119,67
55,00	198,00	871,75	0,758	2,486	0,029	0,07	0,00	0,07	0,23	6,33	1,68	0,14	1,20	20,73	21,92	129,24	116,92	123,07	135,38
60,00	216,00	951,00	0,827	2,712	0,035	0,08	0,00	0,08	0,23	6,32	1,83	0,17	1,42	24,35	25,77	133,11	131,35	138,27	152,09
65,00	234,00	1030,25	0,896	2,939	0,041	0,09	0,00	0,10	0,24	6,31	1,98	0,20	1,67	28,23	29,91	137,25	146,73	154,46	169,90
70,00	252,00	1109,50	0,965	3,165	0,047	0,11	0,00	0,11	0,25	6,29	2,14	0,23	1,94	32,38	34,32	141,68	163,12	171,71	188,88
75,00	270,00	1188,75	1,034	3,391	0,054	0,13	0,01	0,13	0,25	6,27	2,29	0,27	2,22	36,79	39,02	146,40	180,59	190,09	205,30
80,00	288,00	1268,00	1,103	3,617	0,062	0,14	0,01	0,15	0,26	6,26	2,44	0,30	2,53	41,46	43,99	151,39	199,19	209,68	226,45
85,00	306,00	1347,25	1,172	3,843	0,070	0,16	0,01	0,17	0,27	6,24	2,59	0,34	2,86	46,38	49,24	156,65	219,01	230,53	248,97
90,00	324,00	1426,50	1,240	4,069	0,078	0,18	0,01	0,19	0,28	6,22	2,75	0,38	3,20	51,55	54,75	162,19	240,09	252,72	272,94
95,00	342,00	1505,75	1,309	4,295	0,087	0,20	0,01	0,21	0,29	6,20	2,90	0,43	3,57	56,97	60,54	168,00	262,50	276,32	298,43
100,00	360,00	1585,00	1,378	4,521	0,097	0,22	0,01	0,23	0,30	6,17	3,05	0,47	3,95	62,65	66,60	174,08	286,32	301,39	325,50

Anexo G: Propuesta Técnica y económica de la Bomba sumergible y Bomba Centrífuga

1. Propuesta de Técnica:

PROPUESTA TECNICA

Marca	IMBIL
Procedencia	BRASIL
Modelo	BEW 125/4
Item	01
Cantidad	01
Condiciones de Operación	
Tipo de fluido	Agua de Mina
Densidad (g/cm ³)	No informado
Viscosidad (Cp)	No informado
PH solución	07-08
Altitud (msnm)	4500
Caudal de operación (m ³ /h)	252 m ³ /h (70 Lt/seg)
Presión de operación (m)	141.68m
Características de la Bomba	
N° de Etapas	4
Tipo de impulsor	Cerrado
Diámetro del impulsor (mm)	297
Carcasa	Fierro Fundido (A48CL30)
Impulsor	Acero Inoxidable Martensítico (A743 CA6NM)
Difusor	Acero Inoxidable Martensítico (A743 CA6NM)
Casquillo Protector	Acero Inoxidable (AISI 420)
Anillo de desgaste	Acero Inoxidable Martensítico (A743 CA6NM)
Eje	Acero Inoxidable (AISI 420)
Tipo de sellado	Empaquetadura
Lubricación Rodamientos	Aceite
Tipo de Rodamientos	Doble Hilera
Succión / Tipo de Conexión	150mm/ Brida ANSI 16.1 250 Lb # RF
Descarga / Tipo de Conexión	125mm/ Brida ANSI 16.1 250 Lb # RF
Eficiencia nominal (%)	73.76
Características del motor	
Potencia (HP)	250HP – Diseñado para trabajar a 4500msnm
Marca / Tipo	GE o Similar / Nema Premium
Velocidad (RPM)/Frecuencia (Hz)/N° Polos	17500 / 60 / 4
Voltaje (V) / N° Fases / Protección	480 / Trifásico / IP56
Aislamiento	F
Factor de servicio	1.15
Adicionales	
Incluye:	
<ul style="list-style-type: none"> • Acoplamiento Flexible • Guarda Protectora • Placa Base de Acero Estructural 	

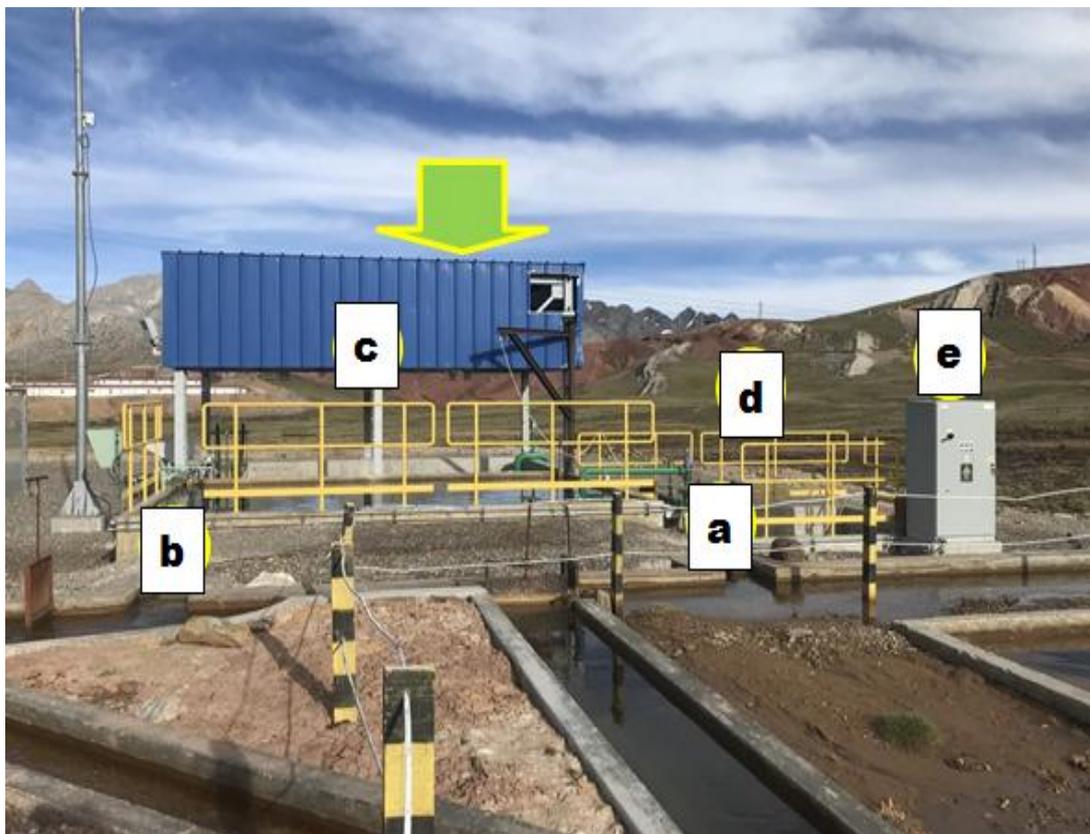
Antes de la modificación (Bombas sumergibles)

Ítem	Cantidad	Descripción	Valor Unitario \$ Mensual	TOTAL
1	2	Electrobomba Sumergible Hidropump_Reventon 150HP o Equivalente Tipo H-60 Hz440V	\$ 3,100,00	\$ 6,200.00

Después de la modificación (Bombas centrifugas)

IT	Referencia	Descripción	P. unit	Cantidad	P.Total
1	Unidad Alpamarca	<p>Suministro de Bomba Estacionaria: Bomba estacionaria sobre placa base y motor de 250 Hp. Marca/Modelo/Tamaño: IMBIL BEW 125-4 Cada Equipo Incluye:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. (01 Unds) Bomba Estacionaria Multietápica 2. (01 Unds) Motor de 250 Hp/1750 rom/60Hz/3F 3. (01 Unds) Tablero eléctrico/Arranque Y-D de 250 Hp 4. (01 Unds) Placa Base en Acero Estructural 5. Acoplamiento y Guarda <p>Condiciones de Operación: Caudal: 70 lps RPM Bomba: 1750 rpm Succión x Descarga: 150/12 mm</p> <p>Materiales Constructivos: Carcaza : A48CL30 Plato de Succión: A48CL30 Anillo de desgaste: A743CA6NM (Acero Inoxidable Martensítico) Difusores: A743CA6NM (Acero Inoxidable Martensítico) Eje: Aero Inoxidable AISI 420 Impulsor: A743CA6NM (Acero Inoxidable Martensítico) Sello de Eje: Empaquetadura Cojinete: A48CL30</p>	\$/ 95 912.00	2.00	\$/ 191 824.00

Anexo H: Instalación de bombas Centrifugas y el cuarto de bombas



Nota. En el cuarto de bombas se encuentran las bombas centrifugas instaladas, la estructura es techada y un cuarto de bomba (d) sin ser techada, un tablero de control (e), donde se puede apreciar también las tuberías de conexión (a) y (b).

Anexo J: Imagen de la Bomba Centrífuga