



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO PARA RELAVES EN EMPRESAS MINERAS DE CAJAMARCA, 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Nishi Ayay Tingal

Gilmer Noe Chavez Chilon

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios ya que nada es posible sin él, y a la vez dedicamos a nuestros padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años y ser nuestra fuente de inspiración para emprender y enfrentar retos de superación en nuestra vida.

También dedicamos a nuestros familiares, amigos y a todas aquellas personas que con sus frases de aliento hicieron que se avive el deseo de continuar siempre en busca de la culminación de este trabajo.

Nishi; Gilmer

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestra gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre nuestra vida y a toda nuestra familia por estar siempre presentes.

Nuestro agradecimiento a la Universidad Privada del Norte del Perú, a toda la Facultad de Ingeniería, a nuestros profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesionales, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Nishi; Gilmer

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS	21
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios y clasificación de bombas centrífugas.....	15
Tabla 2. Materiales usados según clasificación por agresividad de las bombas de pulpa.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bomba de pulpa.....	15
Figura 2: Grafico para determina la velocidad critica.....	23
Figura 3: Alturas Estáticas del Sistema.....	24

RESUMEN

En presente tesis titulada. Evaluación y selección de un sistema de bombeo para relaves en empresas mineras de Cajamarca 2021. La presente tesis tiene como objetivo general el realizar la evaluación y selección de un sistema de bombeo para relaves en empresas mineras de Cajamarca, 2021.

Como resultado se logró realizar los cálculos para determinar las dimensiones de tuberías el análisis de velocidad crítica del relave el cual también depende de las propiedades físicas de acuerdo a ese cálculo se concluye que la tubería óptima estándar para el sistema bombeo es HDPE 6", con una Velocidad Crítica = 2.2477m/s, de igual forma se determinó la presión que es de 19620 N/ m², asimismo del análisis para la selección del equipo de bombeo se determinó que H bomba= 217.15 m, para un caudal de 160.99m³ /h; 708.19GPM; 4272l/s lo cual procedemos a realizar el análisis respectivo para la selección de la bomba la cual es WARMAN – WEIR cuya la potencia requerida para operación de bomba de 89 HP; se considera una eficiencia en la transmisión por la faja trapecial de 96% un 5% por pérdidas en el rendimiento de la bomba a medio plazo debido a desgaste de las partes hidráulicas y un factor de utilización de 1.25, entonces la potencia entregada por el motor será 121.7HP

Palabras clave: Sistema de bombeo, relaves, mineras, potencia, hidráulicas.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El presente trabajo de investigación se realiza debido a que en Perú la contribución del sector minero se ve reflejada, directamente, en la economía del país. El año 2017, la minería aportó el 10% del Producto Bruto Interno (PBI) y representó el 62% del total de las exportaciones. El transporte de mineral es un proceso minero que se puede realizar a través de fajas transportadoras, camiones, transporte hidráulico, entre otras formas. Una de las tecnologías más desarrolladas y con mayor presencia es el transporte hidráulico a través de tuberías y que utiliza bombas centrífugas. Esto debido a que uno de los resultados de los procesos mineros son los relaves o desechos constituidos por rocas molidas, productos químicos y agua, que necesitan ser colocados en las pozas dentro de las minas destinadas para su almacenamiento y donde se procede a recuperar el agua para reutilizarla. Para este proceso de transporte de relaves se utiliza las bombas de pulpa, la cuales son bombas centrífugas que pueden transportar mezclas de agua con gran porcentaje de sólidos. El fin de esta tecnología es que se puedan transportar fluidos con mayor concentración de sólidos.

Según. De la Cruz, J (2013). En su tesis titulada “Diseño de un sistema de bombeo para transporte de relave desde planta concentradora hasta zona de disposición en sociedad minera Austria Duvaz s.a.c”. Donde afirma que el procedimiento fundamental para el cálculo de un sistema de bombeo de pulpa de relaves. Para el diseño del Sistema de Bombeo se realizó el análisis de las condiciones actuales de demanda y además se tuvo en cuenta las futuras proyecciones de incremento de producción de modo que el sistema diseñado tenga la capacidad de operar

eficientemente en parámetros extremos; además se tuvieron en cuenta características metalúrgicas, geográficas y mecánicas de las variables a considerar para el correcto diseño del mismo. El diseño del sistema de bombeo se enfocó principalmente en la selección del equipo de bombeo, motor de accionamiento, así como el dimensionamiento de tuberías de acuerdo a la demanda; además se dan las pautas en lo que respecta a los suministros y trabajos de instalación, así como detalles importantes para los montajes.

(Jose,2015) Manifiesta en su tesis titulada: “diseño, instalación, energización y puesta en operación de equipo electromecánico, aplicando equipo submonitor, en pozos profundos”. El autor afirma que en algunos proyectos mineros se aplican algunos métodos para la extracción del agua subterránea donde utilizan bombas sumergibles como, por ejemplo, bomba turbina hidráulica, equipo sumergible que se instala de manera manual, y que está diseñada para utilizarse a altas profundidades comparadas con las otras mencionadas. Propone que, si se implementa un dispositivo inteligente llamado submonitor, elemento que mejora y controla la operación de trabajo del equipo. Por lo anteriormente descrito y con los avances de la tecnología, es posible proponer el diseño, una guía de instalación y puesta en operación de equipo electromecánico, aplicando en pozos profundos y que al aplicar el submonitor pueda lograrse una mejor protección y el mantenimiento eficaz del equipo electromecánico-hidráulico.

Según Barzola, R (2019) en su tesis “Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en minera kolpa s.a”. La metodología consiste en evaluar al sistema anterior de bombeo, las condiciones hidráulicas y de operación. Luego se revisó los reportes mensuales de consumo de energía eléctrica, caudal y mantenimiento, para iniciar con el nuevo sistema de bombeo, con la finalidad de comparar los resultados y establecer las mejoras obtenidas. Como resultado se tiene 2 bombas de turbinas multietápicas verticales que consta de 10 turbinas instaladas en serie, una en funcionamiento y la otra en stand by con una potencia del motor eléctrico de 500 HP cada una.

(Barreto,2017) manifiesta en su tesis titulada: “Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - unidad minera Antapaccay” argumenta que para seguir con la explotación del recurso principal de la operación y profundización del proyecto minero es de suma importancia el drenaje del agua subterránea existente, ya que esta puede convertirse en un problema grande cuando no se toman las medidas adecuadas influenciando directamente en el trabajo de la operación. propone que la optimización del sistema de bombeo para su mejor control, atreves de un procedimiento seguro de montaje de los equipos para mejorar de la construcción y drenaje del sistema de bombeo en la mina antapaccay con nuevos rendimientos de las bombas sumergibles en el fondo de mina y en las pozas de captación provisional de agua.

Franco, J (2015) en su investigación “Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica, en Volcán Compañía Minera S.A.A. Unidad Chungar”. Analizar el funcionamiento del actual sistema de bombeo,

para posteriormente proponer una optimización del sistema de bombeo de agua, con la finalidad de satisfacer sus demandas en la Unidad de Chungar. Los estudios preliminares nos indican que el sistema de bombeo necesita instalaciones de bombas en stand by y se pueda optimizar las demandas del sistema de bombeo en la compañía minera de Volcán. EL tipo de investigación es tecnológico y el nivel es el experimental porque no se pueden controlar todas las variables existentes y el método de investigación es el experimental. Como resultado se tiene una bomba instalada con una potencia del motor eléctrico de 150HP.

(Moura de Moraes, 2011) en su artículo de investigación “La problemática de obtención de agua potable en la región semiárida brasileña utilizando sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua”, muestra que, a nivel internacional, entre 1994 y 2000 fueron instalados en Méjico 206 sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua, como parte del Programa de Energía Renovable de México (MREP), totalizando 101 kwp de potencia. Tal programa contó con la colaboración de agencias norteamericanas y benefició a casi mil personas que viven en una región árida del norte de Méjico. Una evaluación realizada a 46 de estos sistemas, después de diez años de implantación, mostró que más de 50% presentaron fallas. Los principales problemas identificados estuvieron relacionados con las motobombas (54,2%) y controlador/inversor (20,8%).

Velarde, A (2013). Nos dice que la disposición adecuada del relave es el punto más crítico e importante dentro de la operación de una Planta Concentradora, ya que cualquier deficiencia en el procedimiento trae como consecuencias fallas primarias en el sistema de bombeo, en el sistema de disposición de relave lo que acarrea paradas de

Planta y más aún daño ambiental que tiene como sanciones multas millonarias a la empresa por los organismos reguladores del Ministerio de Energía y Minas.

(Apaza Caquira & Puma Chipana, 2015) en su investigación “Diseño y cálculo de un sistema de bombeo de agua, accionado por energía solar”, concluyen que para 1609 habitantes se requiere de 120 paneles fotovoltaicos, así como también que la instalación de los paneles fotovoltaicos es ventajosa cuando la red convencional llega con sistemas monofásicos y en lugares distantes, llegando a un valor referencial de 1'242,364.95 soles.

Según (Rivas, A. 2017), en su trabajo “Sistema de bombeo para el control de inundación en la Mina Socorro Nv. 3850 U.E.A. Uchucchacua”; señala que: se prevé que el diseño de la nueva línea de impulsión y la selección de su respectivo equipo de bombeo, aporten, a reducir las aguas subterráneas en las labores. Con el diseño del sistema de bombeo que tiene una capacidad de 480 l/s con una altura estática de 140m, con el correcto establecimiento del equilibrio hidráulico del sistema: La puesta en operación del sistema de bombeo de 480 l/s del Nv. 3850 al Nv. 3990, nos permitirá reubicar las bombas sumergibles en la mina Socorro incrementando la capacidad de bombeo en los niveles inferiores al Nv. 3850 y así podrá ser más confiable la extracción de mineral todo el año en forma continua.

Generalmente los flujos de agua se tienden a encauzar hacia los puntos de bombeo mediante la canalización (cunetas); en este proceso el agua puede tomar contacto con formaciones minerales que pueden incrementar su acidez. En este caso se hace necesario evaluar la inversión entre conducir el agua por un sistema de tuberías o

realizar un tratamiento del agua antes de su bombeo, pero es necesario considerar que la acidez es también producida por el contacto del agua (y aire) con los minerales (sulfuros) que previamente estuvieron encapsulados y han sido expuestos en el proceso de perforación. Esta acidez del agua incrementa los costos de mantenimiento de las bombas, relacionados principalmente con la corrosión de los elementos de las bombas expuestos al contacto con dicha agua ácida. El tipo de bomba a utilizar está relacionado principalmente con las características de funcionamiento de las bombas y las posibilidades presentes en el interior de la mina. Las bombas centrífugas varían su eficiencia en función del caudal y la altura de bombeo alcanzando su máxima eficiencia (BEP) cercano al 60%, mientras que una bomba volumétrica (reciprocantes) puede alcanzar una eficiencia de hasta 96% pero requieren mayor espacio e inversión. Las bombas centrífugas generalmente requieren una altura de presión inicial por encima de los 4 metros (NPSH), la cual depende también de la relación entre el diámetro exterior del impulsor y el diámetro de succión de éste. En función de lo anteriormente expuesto las bombas verticales de turbina de varias etapas alcanzan una eficiencia del 83%. Ramírez, C (2018).

Para (Rodríguez, M. 2014) en su trabajo “Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcán Compañía Minera S.A. A- Unidad San Cristóbal”; señala que: con este nuevo sistema alcanzo una disponibilidad de 96% mientras el anterior una disponibilidad de 74%. entonces se tiene una mejora del 22%. El consumo de energía en el nuevo sistema en 24 horas es de 10600.83 kW-h mientras en el anterior sistema es de 12940,87 kW-h. Entonces se tiene un ahorro de 18% de consumo de energía eléctrica.

La actividad minera acude generalmente al agua superficial (lagunas y ríos) como fuente principal de abastecimiento, sin embargo, solo en contados casos, y mayormente en forma casual se utiliza el agua subterránea. Contrariamente, debido al exceso de agua subterránea, en algunas minas se acude al drenaje para facilitar el minado; comúnmente, esta es extraída por bombeo, aunque excepcionalmente es evacuada por gravedad mediante túneles. Terrones, C (2016)

Bombas

Según Polo M. (2013), Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Según Mataix C. (2012), Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye energía hidráulica al fluido en forma de presión a fin de trasladar un volumen de fluido de un nivel inferior a un nivel superior. Las bombas se clasifican generalmente según indica el "Instituto de Hidráulica" en: Bombas Rotodinámicas: Centrifugas, Periféricas y Axiales; Bombas Volumétricas: reciprocantes y rotoestáticas; Bombas de ariete.

Bombas Volumétricas: Reciprocantes y Rotoestáticas

Selección de bomba

Dos datos son los que permiten seleccionar la bomba adecuada: el primero es el caudal, obtenido como cociente entre la potencia total instalada en Kcal/h y el salto térmico elegido. El otro dato es la altura manométrica de la bomba, que habrá de ser igual a la pérdida de carga del circuito más desfavorable. Para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema en que trabajará. (López, 2015)

Tabla 1.

Crterios y clasificación de bombas centrífugas

Criterios de clasificación	Clasificación de bombas centrífugas		
	Radiales	Diagonales	Axiales
Dirección de flujo en el rodete	Radiales	Diagonales	Axiales
Número de flujos	Simple	Doble	-
Posición del eje	Eje horizontal	Eje vertical	-
Tipo de accionamiento	Accionada por motor eléctrico	Accionada por motor de combustión interna	Accionado por turbina
Tipo de voluta	Simple	Doble	-
Tipo de rodamientos	Voladizo	Entre rodamientos	-
Número de escalonamientos	Simple	Compuesta	-
Tipo de difusor	Con corona fija sin álabes y cámara espiral	Con cámara solamente	-
Presión suministrada	Baja presión	Media presión	Alta presión
Industria de aplicación	De riego	De minería	De drenaje
Ubicación de las conexiones	De succión lateral y descarga superior	De succión y descarga superior	De succión y descarga lateral
Conexión del eje al accionamiento	Acople integral	Acople directo	-

Fuente: Estándar ANSI/HI -12.1-12.6-2015

Bombas de pulpa: Las bombas de pulpa son de tipo centrífugas y de mayor robustez a las utilizadas en el bombeo de líquidos sin presencia de sólidos. La relación entre el número de bombas de pulpa y aquellas para líquidos, presentes en la industria de procesos, es de 5:95. Sin embargo, las relaciones de los costos de operación son de 4:1 (Metso, 2013)



Figura 1: Bomba de pulpa

Tabla 2.

Materiales usados según la clasificación por agresividad de las bombas de pulpa

Material	Características abrasivas del bombeo	Clase de servicio de desgaste aplicable	Características corrosivas del bombeo
Fundición gris	Leve, finas partículas	1	No corrosivo
Hierro dúctil	Moderado	2	No corrosivo
Fundición blanca	Severo	4	Levemente corrosivo
Acero inoxidable martensítico	Moderado	3	Levemente corrosivo
Acero inoxidable austenítico	Leve	1	Altamente corrosivo
Acero inoxidable Dúplex	Moderado	2	Corrosivo
Elastómeros	Severo, finas partículas	3	Levemente corrosivo

Fuente: Estándar ANSI/HI -12.1-12.6-2015

Tipos de Flujo

Una pulpa es esencialmente una mezcla de un fluido transportante y de partículas sólidas en suspensión (Gaitán Barreda, 2011). El fluido más usado comúnmente es el agua, pero con el transcurso de los años, varios intentos exitosos han sido desarrollados usando aceites con carbón molido y aun aire como en el transporte neumático. El flujo de pulpa en una tubería es muy diferente que un flujo líquido de una sola simple fase. Teóricamente, un líquido de una sola fase con baja viscosidad absoluta (o dinámica) puede fluir a bajas velocidades desde un flujo laminar a un flujo turbulento.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influyen la evaluación y selección de un sistema de bombeo de relaves en empresas mineras de Cajamarca, 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar la evaluación y selección de un sistema de bombeo para relaves en empresas mineras de Cajamarca, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el diámetro de la tubería HDPE
- ✓ Realizar el análisis de presiones en el sistema.
- ✓ Realizar el análisis para la selección del equipo de bombeo
- ✓ Elaborar el cálculo de potencias
- ✓ Realizar el análisis para la selección del motor

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Mediante la evaluación y selección de un sistema de bombeo se logrará la deposición final de los relaves de los procesos mineros en mineras de Cajamarca 2021.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1 Según el propósito.

Aplicada

Porque vamos a dar solución a un problema específico y determinado encontrado en operaciones mina en el área de bombeo de aguas subterráneas. (Hernández, 2016)

Utilizamos la investigación de tipo aplicada ya que daremos solución a los problemas encontrados debido a la evaluación y selección de un sistema para el relaves generados por la actividad minera.

2.1.2. Según el diseño de investigación.

No Experimental

Porque para darle solución a los problemas nos basamos en los fenómenos que se presentan de manera natural, (Hernández, 2016).

Se busca dar solución de manera directa observando y detectando los problemas que se presentan en un sistema de bombeo para relaves.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población.

La población para la presente investigación está conformada por los relaves que genere la empresa minera

2.2.2. Muestra.

La muestra para la presente investigación está dada por el sistema de bombeo.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

2.3.1.1 Observación Directa: Para nuestra investigación emplearemos una observación detallada para poder realizar la evaluación y selección de un sistema de bombeo para relaves por tal motivo se tuvo que observar todo el trabajo realizado para poder definir los parámetros para el diseño del sistema de bombeo.

2.3.1.2 Análisis documental: Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a problemas de sistema de bombeo para relaves.

2.3.1.3 Análisis de datos. La recolección de la información adquirida y solicitada de la realidad problemática para posteriormente analizar los parámetros necesarios para la selección de un sistema de bombeo para relaves.

2.3.1.3 Instrumentos de recolección de datos

Formatos de instalación

Son documentos que para poder proceder con cualquier trabajo de montaje y desmontaje de un sistema de bombeo tiene que estar autorizado por el área de mina.

Check list.

Son documentos que tienen por función principal verificar que los equipos estén operativos.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Gabinete

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades.

2.4.2. Campo

Se realiza la toma de datos en campo para poder realizar la evaluación y selección de los componentes de igual forma se determinaron de los parámetros para el sistema de bombeo, actividades previas que se tienen que realizar antes de un sistema del diseño de un sistema de bombeo para relaves mineros.

2.4.3. Post campo

Luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron para poder identificar el tipo de componentes a utilizar.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Determinar el diámetro de la tubería HDPE

Partimos de los datos para cálculo de velocidad crítica y velocidad real de transporte.

ρ pulpa = 1390 Kg/m³ densidad de la pulpa

ρ agua = 1000 Kg/m³ densidad del agua

G_e Relave solido = 2.986 (Gravedad Especifica).

Entonces

ρ relave solido = 2986 Kg/m³

Granulometría medio d_{50} = 132.6. μm = 0.1328mm

Caudal proyectado: 160.99 m³/h: 42.72 l/s

Calculamos el porcentaje de sólidos en volumen y porcentaje de sólidos en peso.

Calculo de c_v y c_w .

$$\gamma_{pulpa} = \gamma_{liquido} + \frac{c_v}{100} (\gamma_{solido} - \gamma_{liquido})$$

Con gravedad $g = 9.81\text{m/seg}^2$: se obtiene que el $Y = \rho x g$

γ pulpa = 13635.9 N/m³

γ liquido = γ agua = 9810 N/m³

γ solido = γ relave = 29292.66 N/m³

Remplazamos datos en la formula anterior.

c_v = Porcentaje de Sólidos en volumen = 19.64%.

entonces:

porcentaje de sólidos en volumen= $100 - 19.64 = 80.36\%$.

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

$$Cv = \frac{100 \cdot \gamma_{liquido}}{\frac{100 \cdot \gamma_{liquido}}{Cw} (\gamma_{solido} - \gamma_{solido})}$$

Al remplazar datos hallamos.

$Cw = \text{Porcentaje de Sólidos en peso} = 42.19\%$

3.1.1. Calculo de velocidad critica, diámetro de la tubería y velocidad de transporte

De la fórmula de velocidad critica limite

$$Vi = Fi \cdot \sqrt{2} \cdot g \cdot D \frac{\rho_{Solido} - \rho_{liquido}}{\rho_{liquido}}$$

Calculamos la velocidad critica limite.

Datos:

$cv = 19.54$

$d50 = 0.1328 \text{ mm}$

Se obtiene $Fi = 0.975$.

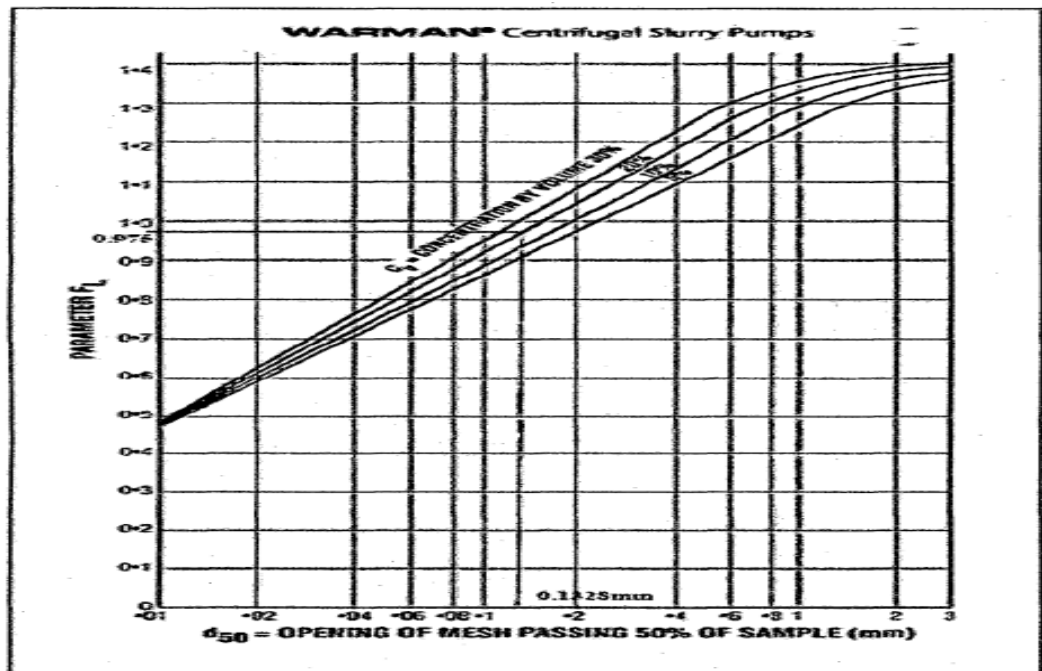


Figura 2: Grafico para determina la velocidad critica Fi

De igual forma determinamos velocidad

$$V = \frac{Q}{Area} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

Con D = diámetro interior de tubería.

Diámetro nominal: 6" con un Diámetro interno de: 136.4 mm.

Tomamos como referencia estos diámetros pues actualmente la línea de relave es de 6".

Vl = Velocidad Crítica = 2.24 77m/s

Hallamos la velocidad de transporte

D=136.4mm o 0.1364m; Q 160,99 m³/h

Por lo cual la velocidad de Transporte = 3.06 m/s

3.2. Realizar el análisis de presiones en el sistema.

Para realizar los análisis de presiones del sistema se partió desde el siguiente gráfico.

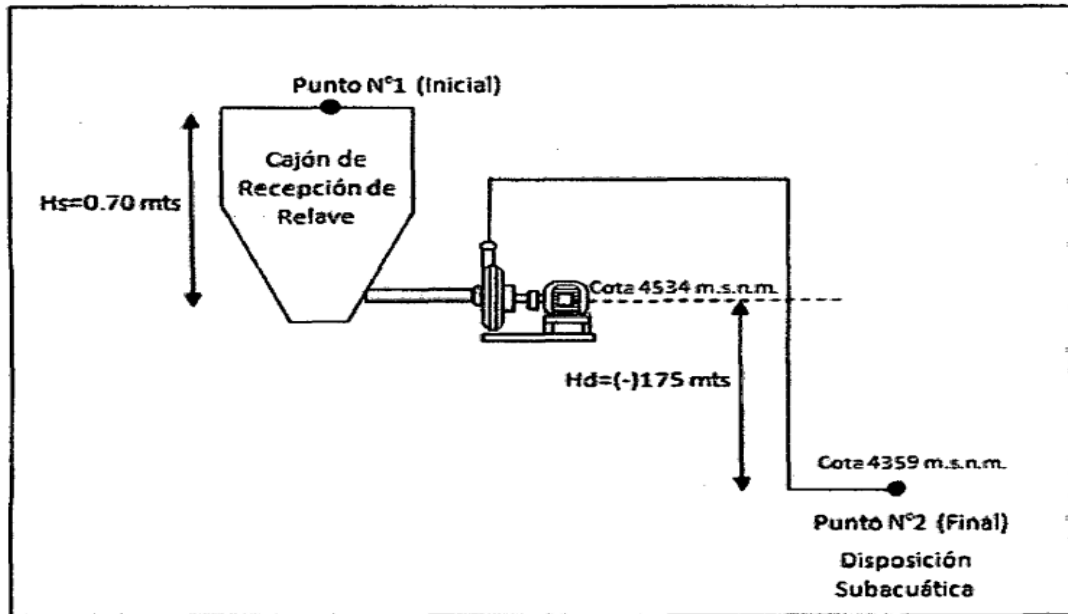


Figura 3: Alturas Estáticas del Sistema

Obtenemos los siguientes datos del gráfico.

Altura. estática de succión = $H_s = Z_1 = 0.70 \text{ m}$.

Altura estática de Descarga= $H_d = Z_2 = -175 \text{ m}$ (Negativo porque está debajo de línea de referencia).

De la información podemos determinar lo siguiente.

En el punto 1 está en cajón de recepción de relavé en cual es un depósito abierto, por lo tanto:

Presión Manométrica en Punto N°1 = $P_1 = 0 \text{ N/ m}^2$

En el punto 2 por el diseño de la disposición Subacuática está sumergido en la laguna a 2 m de profundidad; por lo tanto, la presión estará dada por:

Presión manométrica en el punto 2= $P_2 = \gamma_{\text{agua}} \cdot H_{\text{sumergido}}$

γ del agua = peso específico del agua

$$\gamma \text{ agua} = 9810 \text{ N/ m}^3$$

Entonces

$$P2 = \gamma \text{ agua} \cdot H_{\text{sumergido}} = 9810 \times 2 = 19620 \text{ N/ m}^2$$

3.3. Realizar el análisis para la selección del equipo de bombeo

Después de determinados los cálculos con el resultado final de H bomba= 217.15 m, para un caudal de 160.99m³ /h; 708.19GPM; 4272l/s procedemos a realizar el análisis respectivo para la selección de la bomba teniendo en cuenta los siguientes puntos: La característica principal de fabricación es tal que sea extremadamente resistente a la abrasión y la aplicación fluidos de pulpas heterogéneas con granulometría diversa.

Se observa que la altura dinámica a suministrar por la bomba es considerablemente alta por lo que propuesta es la instalación de un banco de bombas en serie, de modo tal que nos permita llegar a la altura solicitada.

como se ha podido apreciar en el presente trabajo estamos tomando como base fundamental la información obtenida del fabricante WARMAN – WEIR el cual tiene una amplia aplicación de sus equipos en la industria minera del país y además por la versatilidad de los mismo en lo que respecta a intercambio de repuestos y mantenimiento.

Entonces de acuerdo a nuestros cálculos y aplicación el tipo de bomba a seleccionar será:

Bomba Warman- WEIR Modelo "AH"-Servicio pesado

Son bombas diseñadas para transportar pulpas muy agresivas y en condiciones extremas, bien con alta concentración de sólidos o cuando se requieran elevados

parámetros de operación. Es posible la fabricación con todas las opciones de cierres de sellado se construyen con tamaños entre 25 mm y 450 mm (Diámetro de descarga)

Los revestimientos y rodetes, ya sean en elastómeros o en acero, son totalmente intercambiables, pudiéndose también combinar ambos materiales en la construcción.

Entonces como se puede que la altura máxima aproximada para el tipo de bomba "AH" es de 240 pies = 73.2 m entonces lo que nos indica que para cubrir la altura solicitada del sistema se tendría que instalar tres bombas en serie de acuerdo a los siguientes datos:

$$H_{\text{total Bombas}} = 217.15 \text{ m}$$

$$H_{\text{por cada bomba}} = 217.15/3 = 72.4 \text{ m}$$

Con los resultados obtenidos se hallan los datos de operación de las bombas.

Bomba Watman AH

Con eficiencia mecánica del 66.5%; 1675 RPM, NPSH requerido de 2.9m.

Además, la bomba seleccionada tiene el diámetro de succión de 152 mm o 6 pulgadas y un diámetro de descarga 102mm (6")

3.4. Elaborar el cálculo de potencias

Con los datos de la operación de la bomba.

Eficiencia mecánica del 66.5%; 1675 RPM y el NPSH requerido de- 2.9 m; además

Con $H_{\text{Bomba}} = 72.4 \text{ m}$; caudal = 160.99 m³/h

$$\gamma_{\text{pulpa}} = 13635.9 \text{ N/m}^3.$$

$$P_{\text{requerida}} = P = \frac{Q \times H_{\text{Bomba}} \times \gamma_{\text{pulpa}}}{\eta \times 1000}$$

Remplazamos datos tenemos que:

$$P_{\text{requerida}} = 66.4 \text{ KW} = 89 \text{ HP}$$

3.5. Realizar el análisis para la selección del motor

Con los datos calculados de Potencia requerida para operación de bomba de 89 HP; se considera una eficiencia en la transmisión por la faja trapecial de 96% un 5% por pérdidas en el rendimiento de la bomba a medio plazo debido a desgaste de las partes hidráulicas y un factor de utilización de 1.25, entonces la potencia entregada por el motor será.

$$P_{\text{motor}} = \frac{89 \times 1.25 \times 1.05}{0.96} = 121.7 \text{HP}$$

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En relación con el estudio realizado por el autor (Barreto,2017) quien manifiesta en su tesis titulada: “Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - unidad minera antapaccay” argumenta que para seguir con la explotación del recurso principal de la operación y profundización del proyecto minero que es de suma importancia el drenaje del agua subterránea existente ya que esta puede convertirse en un problema grande cuando no se toman las medidas adecuadas influenciando directamente a los equipos que están desarrollando su trabajo en la operación, bajando su capacidad de rendimiento y a consecuencia de esto tener pérdidas económicas significativas. Por lo cual en la presente investigación se determinó que la tubería óptima estándar para el sistema de bombeo es HDPE 6", con una Velocidad Crítica = 2.24 77m/s, con una presión en el sistema de bombeo 19620 N/ m²

Asimismo los resultados de nuestra tesis guardan mucha relación con lo que elaboro (Escobar,2017) en su tesis titulada “Metodología de montaje y desmontaje de equipos de bombeo para extracción continua desde acuíferos” dice que con un adecuado montaje y desmontaje de equipos de bombeo para extracción de líquido subterráneo desde acuíferos en profundidades extremas, se puede implementar bajo un procedimientos de trabajo en la industria También los resultados de nuestra tesis guardan mucha relación con lo que elaboro (Escobar,2017) en su tesis titulada “Metodología de montaje y desmontaje de equipos de bombeo para extracción continua desde acuíferos” dice que con un adecuado montaje y desmontaje de

equipos de bombeo para extracción de líquido subterráneo desde acuíferos en profundidades extremas, se puede implementar bajo un procedimientos, en la presente investigación se seleccionó la bomba la bomba WARMAN – WEIR cuya potencia potencia requerida para operación de bomba de 89 HP; se considera una eficiencia en la transmisión por la faja trapecial de 96% un 5% por pérdidas en el rendimiento de la bomba a medio plazo debido a desgaste de las partes hidráulicas y un factor de utilización de 1.25, entonces la potencia entregada por el motor será 121.7HP.

4.2 Conclusiones

Se considera que como parámetro inicial a calcular para determinar las dimensiones de tuberías es el análisis de velocidad crítica del relave el cual también depende de las propiedades físicas del mismo; así como también de acuerdo a ese cálculo se concluye que la tubería óptima estándar para el sistema bombeo es HDPE 6", con una Velocidad Crítica = 2.24 77m/s.

En cuanto al análisis de presiones en el sistema de bombeo se concluye que la presión es de 19620 N/ m²

Del análisis para la selección del equipo de bombeo se concluye que H bomba= 217.15 m, para un caudal de 160.99m³ /h; 708.19GPM; 4272l/s procedemos a realizar el análisis respectivo para la selección de la bomba la cual es WARMAN – WEIR

Al realizar la presente investigación se concluye que la potencia requerida para operación de bomba de 89 HP; se considera una eficiencia en la transmisión por la faja trapecial de 96% un 5% por pérdidas en el rendimiento de la bomba a medio plazo debido a desgaste de las partes hidráulicas y un factor de utilización de 1.25, entonces la potencia entregada por el motor será 121.7HP

REFERENCIAS

- Aguirre, (2015) *Optimización Del Bombeo De Agua Subterránea En Un Tajo Abierto*. Lima, Perú: Universidad Nacional De Ingeniería
- Apaza Coaquira, O. & puma Chipana, (2015). *diseño y cálculo de un sistema de bombeo de agua, diseño y cálculo de un sistema de bombeo de agua*, Juliaca, Puno, Perú.
- Barreto, C. (2017). *Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - Unidad Minera Antapaccay. (Tesis de pregrado)*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Camacho, D. (2016). *Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha*. (tesis de pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad César Vallejo.
- Escobar, (2017) *Metodología De Montaje Y Desmontaje De Equipos De Bombeo Para Extracción Continua Desde Acuíferos, Huancayo*: Universidad Nacional Del Centro Del Perú.
- Hydroflo, (2019) *Bombas Turbinas /Bombas Verticales: USA*. Hydroflo, (2019) *Bombas Turbinas /Bombas Verticales: USA*.
- Jambo, A (2015) *Control de un sistema de bombeo y Cloración de agua* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Trujillo.
- José, (2016) *Diseño, Instalación, Energización Y Puesta En Operación De Equipo Electromecánico, Aplicando Equipo Submonitor, En Pozos Profundos*: Guatemala.

- Pérez, E (2017) *Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera* (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Muñoz Ospino, A. (2016). *Optimización de sistemas de bombeo y manejo de las aguas residuales de la explotación minera en la mina de carbón San Fernando, operada por carbones San Fernando SAC, vereda paso nivel, Amagá- Antioquia*. Colombia.
- Martín G. (2012), *Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.
- Ojeda, (2016). *Diseño De Un Sistema De Automatización Industrial Para El Sistema De Bombeo De Aguas*. Lima, Perú: Universidad Católica Del Perú.
- Soto, (2015). *Técnica De Control De Un Sistema De Bombeo De Agua Potable Para Una Mayor Eficiencia En Su Servicio En La Unidad Doe Run Perú*. Ayacucho: Universidad Nacional Del Centro Del Perú.
- Sullca, J. (2015). *Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica, en Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Chungar*. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú.

Anexos
Anexo 1. Check List de verificación de la bomba

Motor Principal		Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Check:	Fuga de aceite							
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Acople flexible								
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Reductor								
Check:	Fuga de aceite							
Check:	Nivel de aceite							
Sistema de refrigeración								
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Check:	Fuga de aceite							
Acople engranaje								
Ruido extraño, vibraciones, temp								
Fuga de aceite								
Pump Power End:								
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temperatura							
Check:	Flujo, lubricación y presión de aceite							
Check:	Contaminación de filtro							
Check:	Fuga de aceite							
Check:	Nivel de aceite							
Propelling Liquid Unit:								
Check:	Venteo de diafragmas							
Check:	Verificación de estado de cañerías (llenado & drenado)							
Check:	Verificación de agua en líquido propelente							
Check:	Presión de aire entre 5 y 7 bar.							
Check:	Verificación de operación del M3.							
Check:	Contaminación de filtro de aceite							
Check:	Verificación de fugas en válvulas 2/2							
Check:	Verificación de operatividad de válvulas 6							
Check:	Inspección del acumulador del líquido propelente							
Check:	Inspección de la presión del líquido propelente							
Check:	Inspección del fluxómetro							
Check:	Nivel de aceite en tanque líquido Propelente.							
Valve Unit:								

Check:	Verificar fugas en sellos de tapas								
Check:	Verificar estado de cancamos de izaje en tapa de válvula								
Check:	Verificar estado de concetores hidráulicos en tapa & valve housing								
Air Vessel section:									
Check:	Verificar estados de pernos de anclaje								
Check:	Inspección de fugas en bridas								
Slurry section:									
Check:	Verificar sonidos en válvulas								
Check:	Inspección de fugas en cuerpos de diafragmas y válvulas								
Check:	Inspección de fugas en bridas, manifolds succión & descarga								
Check:	Caudal en correcta relación con la velocidad de la bomba								
Dampener Unit									
Check:	A Dampeners pre-charge pressure (3200kPa) or (2400KPa)								
Check:	B Dampeners pre-charge pressure (3200kPa) or (2400KPa)								
Check:	C Dampeners pre-charge pressure (3200kPa) or (2400KPa)								
Check:	Estado de cancamos en tapa de dampeners								
Check:	Estado de tuberías de líneas de nitrógeno								
Check:	Fuga de nitrógeno en líneas de llenado								

Anexo 2. Especificaciones de la Bomba WARMAN



ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA BOMBA DE CONCENTRADO	
TAG	3251-PU-009
Fabricante/ Modelo	WEIR MINERALS / 12 G-AFH
Capacidad (max.)	1525.50 m ³ /h
Presión de trabajo (max.)	2100 kPag
Altura manométrica total	21.27 mca
Velocidad de giro	480 rpm
Eficiencia	76.8 %
ACCIONAMIENTO	
Motor	
Fabricante/ Modelo	TECO / AFJE-VB
Potencia	250 HP (185 kW)
Fases/Frecuencia/Tensión	3/60 Hz/460 V
Velocidad de rotación	1189 rpm
Transmisión	
Tipo	Poleas y correas
Nº/Tamaño de correa	12 / 8V-1700
Diámetro polea motriz	12.5 pulg.

Anexo 3. Galeria fotografica



