

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE MEJORA EN SISTEMA DE BOMBEO PARA EL PROCESO DE
LAVADO DE EQUIPOS DE EXTRACCIÓN Y COMPONENTES MAYORES PARA
MINERA CENTINELA**

Trabajo titulación para optar al título de la

Ingeniería en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

alumno:

Luis Alberto Tapia Cisternas

Profesor guía:

Ing. Eduardo Antonio Vidal Páez

RESUMEN

El mantenimiento adecuado de equipos de extracción y sus componentes es de vital importancia en la industria minera. Garantiza una operación segura y eficiente, reduciendo tiempos de inactividad y mejorando la integridad de los equipos. En este contexto, el lavado de equipos desempeña un papel esencial en el mantenimiento programado, ya que nos asegura una forma más optima de trabajo.

En particular, la losa de lavado se destaca como una pieza clave en este proceso, ya que facilita la gestión de residuos y líquidos resultantes del lavado, permitiendo la reutilización del agua y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Sin embargo, en Minera Centinela, se ha identificado una deficiencia en el sistema de bombeo de la losa de lavado debido a la falta de mantenimiento y repuestos. Esto ha impactado negativamente en la eficiencia del proceso de lavado y, por ende, en la disponibilidad de los equipos.

El objetivo de este trabajo de título es proponer una solución técnica para mejorar el sistema de bombeo. Para lograrlo, se llevará a cabo un estudio técnico detallado que abordará las siguientes etapas:

Investigación exhaustiva del funcionamiento actual del sistema de bombeo en la losa de lavado.

- Evaluación de las necesidades de lavado de equipos de extracción en Minera Centinela.
- Análisis detallado de las deficiencias en el sistema de bombeo existente.
- Utilización de herramientas financieras para evaluar los costos de inversión asociados a la propuesta de mejora.

Este trabajo busca optimizar el proceso de lavado de equipos y componentes, reduciendo los tiempos de lavado y mejorando la disponibilidad física de los equipos. En última instancia, se espera que esta propuesta de mejora tenga un impacto positivo en la eficiencia operativa y la productividad de la mina.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA EN SISTEMA DE BOMBEO LOSA DE LAVADO	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y CONTEXTO OPERACIONAL	4
1.1.1 Empresa	4
1.1.2 Visión	5
1.1.3 Misión	5
1.2 PROCESO PRODUCTIVO	6
1.3 PROCESO DE LAVADO DE EQUIPOS	7
1.3.1 Proceso de recuperación de aguas de lavado.....	8
1.4 PROBLEMÁTICA	9
1.5 EQUIPOS QUE COMPONEN LA LOSA DE LAVADO	11
1.5.1 Sistema de Suministro y almacenamiento de Agua:	11
1.5.2 Sistema de Bombeo:	11
1.5.3 Sistema de Tratamiento de Agua:	12
1.5.4 Sistema de Control y Automatización:.....	13
1.5.5 Desnatador de aceite portable.....	13
1.5.6 Equipos de protección personal	14
1.5.7 Capacitación y Gestión de Personal.....	15
1.6 ¿QUE ES UNA BOMBA CENTRIFUGA?	15
1.7 ELEMENTOS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	16
1.7.1 Motor.....	16
1.7.2 Carcaza.....	17
1.7.3 Rodamientos	17
1.7.4 Entrada y Salida	17
1.7.5 Rodete Impulsor.....	17
1.7.6 Eje Impulsor	18
1.7.7 Panel de Control	19
1.7.8 Sello mecánico.....	19
2. ANTECEDENTES TECNICOS	21
2.1 CONCEPTOS HIDRÁULICOS.....	21
2.1.1 Caudal.....	21
2.1.2 Presión	21
2.1.3 Presión absoluta	22

2.1.4 Presión relativa o manométrica	23
2.1.5 Cavitación de una bomba.....	23
2.1.6 Golpe de Ariete	24
2.2 CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA	25
2.2.1 Curva de potencia absorbida caudal	26
2.2.2 Curva NPSH.....	26
2.2.3 Curvas de isorrendimiento	27
2.2.4 Rendimiento total de una bomba.....	28
2.3.1 PÉRDIDAS DE CARGA DE LA TUBERÍA	29
2.3.2 Número de Reynolds	30
2.3.3 Rugosidad Relativa.....	33
2.3.4 Pérdida de carga por accesorios Factor K.....	33
2.3.5 Principio de Bernoulli.....	35
2.3.6 Principio de Torricelli	36
2.4. PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA	37
3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS TÉCNICOS	42
3.1.1 Datos de parámetros correspondientes a bombas	43
3.1.2 Número de Reynolds	44
3.1.3 Rugosidad Relativa.....	45
3.1.4 Factor de fricción	46
3.1.5 Pérdidas de carga.....	48
3.1.6 Bernoulli con perdidas.....	50
3.1.7 Elección bomba centrífuga horizontal.....	51
3.1.8 Cálculo del NPHS disponible	53
3.2 EVALUACIÓN DEL PROYECTO SITUACIÓN ACTUAL	54
3.2.1 Costo de mano de obra directa.....	54
3.2.2 Costo de mano de obra indirectos	55
3.2.3 Costo operacionales y de fabricación situación actual	55
3.3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO OPERACIONAL PROPUESTA	56
3.3.1 Costo de mano de obra directa propuesta.....	56
3.3.2 Costo de mano de obra indirecta propuesta.....	56
3.3.3 Costo operacionales y de fabricación propuesta	57
3.3.4 Ahorro de costos del proyecto.....	57
3.3.5 Inversiones del proyecto	57
3.3.6 Plan de mantenimiento	58
3.3.7 Flujo de caja.....	59
3.3.8 Criterios de evaluación del proyecto	60
3.3.8. Cálculo del V.A.N (Valor Actual Neto)	60
3.3.9 Cálculo del T.I.R. (Tasa Interna de Retorno)	61
3.3.10 Periodo de Recuperación de Inversión (P.R.I).....	61

4. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO.....	63
5 Bibliografía	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2 Mapa de procesos Minera Centinela	6
Figura 1-3 Proceso lavado de equipos Minera Centinela.....	8
Figura 1-4 Estanque de almacenamiento de agua gris en Minera Centinela.....	11
Figura 1-5 Bomba centrífuga vertical Serie N.....	12
Figura 1-6: Manual de operaciones Water Maze	12
Figura 1-7 control Logix CPU module w-2mb memoria	13
Figura 1-8 : Oil skimmer modelo Tote-It®	14
Figura 1-9 : Equipo de protección adecuado para realizar lavado.....	14
Figura 1-10 : Capacitación de operación y funcionamiento.....	15
Figura 1-11 Partes de una bomba centrífuga.	19
.....	22
Figura 2-1: Formula equivalencia entre unidades.....	22
Figura 2-2: Formula equivalencia presión absoluta.....	23
Figura 2-3: Efecto de la cavitación sobre la curva característica de la bomba.....	24
Figura 2-4: Curva característica de una bomba.	25
Figura 2-5: Curvas de Isorrendimiento	27
Figura 2-6: Curvas de isorrendimiento para distintos diámetros de rodete.....	28
.....	29
Figura 2-7: Diagrama de Sankey de una bomba centrífuga	29
Figura 2-8 Comportamiento de la velocidad en diferentes fases.....	31
Figura 2-9 caída de presión de accesorios	34
Figura 2-10: Tabla valor coeficiente K en accesorios	35
Figura 2-11: Fuente de teorema de Torricelli.	36
Figura 2-12: Punto de funcionamiento en un sistema	38
Figura 2-13: Punto de funcionamiento en un sistema	39
Figura 3-1: Vista lateral – Vista frontal.	42
Figura 3-2 Diagrama auxiliar de Moody, rugosidad de diferentes diámetros y materiales....	47
Figura 3-3: Diagrama de Moody, factor de fricción tuberías losa de lavado.	48
Figura 3-4: Curva característica bomba vogt.	51
Figura 3-5: Curva rendimiento bomba vogt.	52
Figura 3-6: Curva característica potencia de entrada bomba vogt.....	52
Figura 3-7: Curva característica NPSH requerida bomba vogt	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Distribución indisponibilidad plan mensual Minera Centinela 12 horas de PM ... 10

Tabla 1-2 Distribución indisponibilidad plan mensual minera centinela 11 horas de PM..... 10

Tabla 2-1 Características del material. 33

Tabla 3-1: Datos técnicos recolectados en terreno..... 42

Tabla 3-2 Tabla A.1 unidades del SI 44

Tabla 3-3 Tabla valores de diseño rugosidad de tubos..... 45

Tabla 3-4 Tabla Resolución de ecunación 47

Tabla 3-5 Tabla valores de factor K accesorios en cañerías 50

Tabla 3-6 Costos mano de obra directa, situación actual. 55

Tabla 3-7 Costos mano de obra indirecta, situación actual. 55

Tabla 3-8 Costos operacionales, situación actual. 55

Tabla 3-9 Costos mano de obra directa, situación propuesta. 56

Tabla 3-10 Costos mano de obra indirecta, situación propuesta..... 56

Tabla 3-11 Costos mano de obra indirecta, situación propuesta..... 57

Tabla 3-12 Ahorro de costos del proyecto 57

Tabla 3-13 Inversiones del proyecto. 58

Tabla 3-14 Plan de mantenimiento..... 58

Tabla 3-15 Flujo de caja. 59

Tabla 3-16 Evaluación del proyecto V.A.N..... 60

Tabla 3-17 Cálculo Tasa de interes de retorno..... 61

Tabla 3-18 Perido de recuperación de inversión. 62

INTRODUCCIÓN

La importancia de un buen lavado de equipo de extracción y de componentes mayores dentro de un proceso de mantenimiento es de gran importancia, ya que permite obtener mejoras tiempos de mantención, eliminar el exceso de lodo y tierra adherido a la estructura de equipos y genera una entrega segura para realizar intervenciones mecánicas bajo el caex¹ sin problemas de desprendimiento de material adherido a la tolva.

La losa de lavado juega un rol importante en el proceso de mantenimiento del equipo y le brinda un control adecuado de residuos y líquidos generados durante el lavado. Esto facilita el reciclaje del agua, contribuyendo en la reducción de recursos hídricos mediante su reutilización. Todo esto se logra gracias a la comodidad y versatilidad operacional frente al lavado de camiones y componentes mayores, lo que permite la recuperación del agua y el tratamiento de hidrocarburos.

El trabajo de título está enfocado en brindar sugerencias para mejorar el sistema de bombeo de la losa de lavado, ya que la condición actual de este no es el adecuado, debido a que actualmente existe solo un conjunto motor bomba operativo, de las dos que fueron diseñado en un principio, el desperfecto de esta bomba de impulsión está asociado netamente a la falta de mantenimiento y repuestos.

En base a las perspectivas de lo anteriormente descrito, considerando el desperfecto actual del sistema de bombeo instalado en taller central de minera Centinela conducente al funcionamiento de la losa de lavado, que recae la idea de plantear una oportunidad de mejora respecto al servicio actual en base a las condiciones de operación, para esto será necesario realizar un estudio técnico considerando el funcionamiento deficiente del sistema de bombeo para poder plantear una mejora considerando la optimización del proceso de lavado de equipos y componentes mayores. Se llevará a cabo un estudio técnico exhaustivo del funcionamiento deficiente del sistema actual para poder proponer una mejora que cumpla con las condiciones de operación, con el fin de lograr una reducción de los tiempos de lavado y verlo reflejado en el KPI de disponibilidad física del equipo.

Para lograr los objetivos propuestos en base a la problemática actual se propone mediante la investigación el desarrollo de un trabajo de título basado en la optimización del proceso de lavado en la compañía minera Centinela.

¹ Caex: Camiones de extracción

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar propuesta de mejoras en sistema de bombeo para el proceso de lavado de equipos de extracción y componentes mayores para minera centinela.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar los requerimientos actuales de lavado de equipos de extracción en Minera Centinela mediante un estudio técnico, y de disponibilidad física de los mismos.

Realizar un estudio para la implementación de nuevas tecnologías o mejoras en equipamiento correspondiente a las bombas centrifugas basadas en datos técnicos.

Evaluar el costo de inversión mediante herramientas financieras para cuantificar la propuesta de mejora en base a la viabilidad de las implementaciones.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA EN SISTEMA DE BOMBEO LOSA DE LAVADO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y CONTEXTO OPERACIONAL

1.1.1 Empresa

Antofagasta Minerals S. (AMSA) es uno de los grupos mineros privados más grandes de Chile y el séptimo productor de cobre del país y el decimoquinto del mundo. Filial de Antofagasta PLC, sus acciones cotizan en la Bolsa de Valores de Londres. La mina es a cielo abierto y está diseñada para producir concentrado de cobre y/o cátodos y sus subproductos molibdeno y oro. El programa se implementa en todo el país a través de cuatro empresas: Minera Los Pelambres, Minera Centinela, Minera Antucoya y Minera Zaldívar. Esta propuesta de mejora ha sido implementada concretamente en la Dirección de Transporte y Regulación del Transporte en Minera Centinela, especialmente en el Taller Central de Camiones. (Gaete, 2019)

En 2014, se estableció Minera Centinela, también ubicada en la región de Antofagasta, para integrar las operaciones existentes de Minera El Tesoro (2001) y Minera Esperanza (2011), y crear sinergias entre ambos yacimientos para enfocarlo en un solo proyecto. Se trata de aprovechar mejor las condiciones geográficas, técnicas y logísticas que permitan una planificación y operaciones integradas (Wikipedia, 2023)

Minera Centinela fue creada en 2014 mediante la fusión de las mineras Esperanza y El Tesoro. Se encuentra ubicado en la región de Antofagasta de Chile, a más de 21 kilómetros de la localidad de Sierra Gorda para ser exactos.

Al ser Centinela una mina con reservas de sulfuros y óxidos, existen dos procesos de producción. Una es que el concentrado de cobre que contiene oro y plata se produce mediante flotación. Por otro lado, los cátodos de cobre se producen mediante extracción con disolventes y electrólisis.

Esta compañía actúa de acuerdo con los principios y políticas del Grupo Antofagasta Minerals, aspirando a ser una operación que genera valor para los accionistas, como también un vínculo cercano y duradero con sus grupos de interés, con el objetivo de ser un yacimiento sustentable a través del tiempo, generar cambios y contribuir al liderazgo del Grupo en el desarrollo de la minería del futuro. De este modo, Centinela comparte la misma Carta de Valores y Código de Ética que las otras operaciones de Antofagasta Minerals, centrando su razón de ser en la preocupación por la vida y salud de las personas, la excelencia operacional, la innovación constante, la preservación del medio ambiente y el respeto por las comunidades con las que se relaciona, fomentando y preservando sus culturas y formas de vida (Gaete, 2019).

La estructura corporativa es propiedad en un 70% de Antofagasta Minerals y en un 30% de Marubeni Corporation. Minera Centinela representa actualmente el 40% de la producción del Grupo Minero Antofagasta, con aproximadamente 270.000 toneladas de cobre y 200.000 onzas de oro. Actualmente la mina Centinela se encuentra en operación y se está convirtiendo en una importante zona minera con las minas Encuentro, Esperanza y Esperanza Sur. El desarrollo permitirá a la empresa extender la vida útil de su operación minera en 25 años, permitiéndole producir aproximadamente 400.000 toneladas de cobre puro por año. (Gaete, 2019)

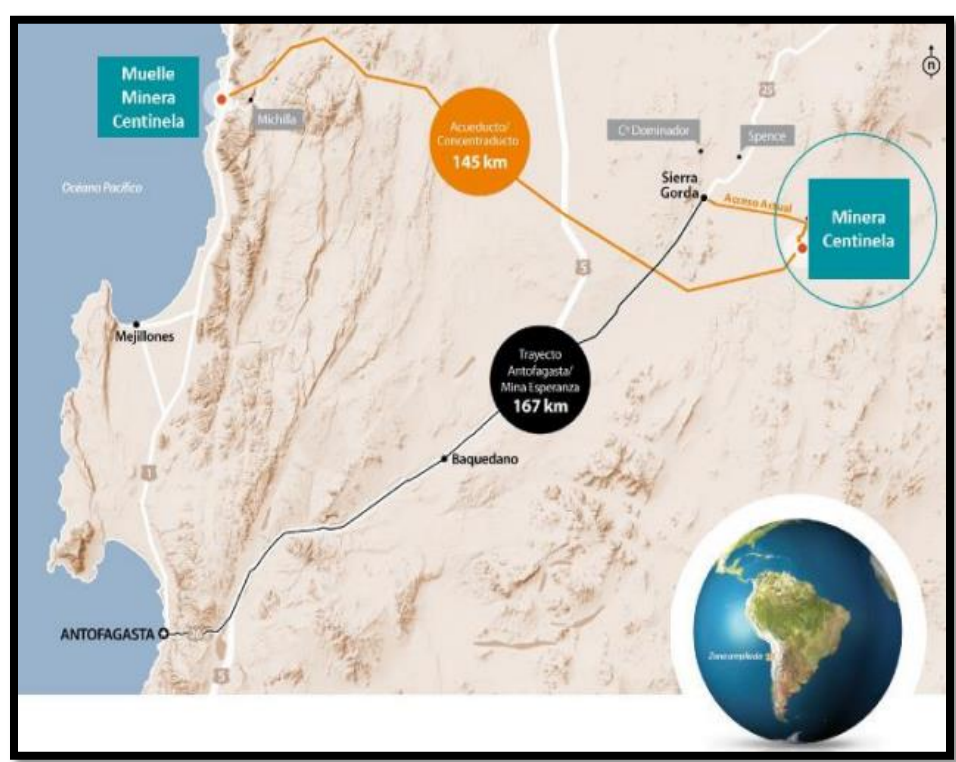


Figura 0-1 Ubicación Centinela

Fuente: Inducción Centinela 2019

1.1.2 Visión

“Ser reconocidos como una compañía minera internacional con base en Chile, centrada en el cobre y sus subproductos, además de destacar por su eficiencia operacional, creación de valor, alta rentabilidad y como un socio preferido en la industria minera global” (Antucoya - Antoragata Minerls, 2023)

1.1.3 Misión

“Desarrollar y fomentar soluciones innovadoras para realizar una minería más eficiente, moderna, sustentable e inclusiva. Innovamos en la forma en que nos relacionamos con las comunidades que están en la zona de influencia de nuestra operación y proyectos. Nuestro éxito depende de que contemos con las mejores personas en el núcleo de todo lo que hacemos” (Antucoya - Antoragata Minerls, 2023)

1.2 **PROCESO PRODUCTIVO**

La empresa tiene dos ciclos de producción. El primer ciclo es el procesamiento del mineral de sulfuro, que se alimenta a una máquina concentradora que produce concentrado de cobre. El segundo proceso de fabricación implica procesar el mineral oxidado y procesarlo mediante lixiviación en pilas, extracción con solventes y electrólisis para formar un cátodo de cobre. (Centinela, 2023)

El mineral extraído de la mina es transportado a una planta de trituración y es reducido a su tamaño mediante un ciclo de trituración de tres etapas de trituración (primaria, secundaria y terciaria). Luego se flocula y se filtra en dos etapas sobre una pila dinámica. El filtrado rico se procesa en la planta SX-EW con un disolvente y dos circuitos electroquímicos, de los que se obtiene un cátodo de cobre. El cobre es un elemento químico de símbolo Cu y número atómico 29. El cobre es un material blando, flexible y dúctil con alta conductividad térmica y eléctrica. Además, se considera un biocida por su efecto sobre los microorganismos. El cobre puro es de color rojo anaranjado



Figura 0-2 Mapa de procesos Minera Centinela

Fuente: Web Minera Centinela

1.3 PROCESO DE LAVADO DE EQUIPOS

El lavado de equipos corresponde a la acción de realizar la limpieza en losa de los equipos de extracción y componentes mayores mediante la aplicación de chorros de agua a alta presión accionados mediante un sistema de bombeo de alta presión para posteriormente el equipo pasar a mantención y/o entrega de componentes mayores.

La limpieza de camiones mineros suele ser una tarea difícil debido a la cantidad y tipo de suciedad depositada en la estructura del equipo, por lo que es importante asegurar que la infraestructura esté en óptimas condiciones para reducir el tiempo de limpieza y mejorar la operatividad, asegurando que estos retrasos se reflejen en los KPI's de disponibilidad física del dispositivo.

El primer paso para realizar el lavado del equipo es el ingreso del camión de extracción a la losa de lavado, el equipo al momento de estar detenido se debe aplicar la aislación de energías, en donde se bloquea el control máster y se colocan cuñas en la posición N°1, todo esto para asegurar que las energías neumática, eléctrica, hidráulica y cinética queden aisladas y nos den la seguridad para que el personal mecánico continúe con el proceso de lavado.

El segundo paso, es verificar que el nivel del estanque de almacenamiento de agua se encuentre óptimo para el funcionamiento de la bomba centrífuga, ya que esta debe ser superior al 20% de su capacidad para evitar que la bomba centrífuga entre en funcionamiento sin agua, lo que conllevaría a un calentamiento de la bomba o ruptura de sus sellos mecánicos.

Como tercer paso se debe realizar la energización mediante botonera en terreno ON/OFF de bomba centrífuga, para posteriormente realizar las aperturas de las válvulas de paso hacia el pipping que lleva el agua hacia la losa de lavado.

En la losa donde se posiciona el equipo el cual será lavado, se encuentran dos estaciones de lavados, las cuales cuentan con cinco monitores cada una, tres monitores de lavado en su parte superior y dos en la parte inferior, los cuales son manipulados por los mantenedores para realizar el lavado.

Como quinto paso y final los mantenedores deben tomar la precaución de detener la bomba centrífuga y realizar el cierre de las válvulas de paso.



Figura 0-3 Proceso lavado de equipos Minera Centinela

Fuente: (Achierdi RSS, 2016)

1.3.1 Proceso de recuperación de aguas de lavado

En el proceso de recuperación de aguas, la cual se somete a una serie de etapas. En primer lugar, después de realizar un lavado del equipo minero o componente mayor, el líquido se deposita en una piscina principal designada para recibir tanto el agua como los lodos generados durante todo el proceso de lavado.

Posteriormente, el agua se decanta desde una piscina principal hacia la primera piscina decantadora de sólidos a través de un grating. En esta etapa, se lleva a cabo la eliminación del exceso de hidrocarburos que flota en la superficie del agua, utilizando una máquina conocida como "oil skimmer", cuya función es capturar los hidrocarburos carburantes.

Una vez que el agua llega a la primera piscina de decantación de sólidos, se dirige hacia la segunda piscina decantadora a través de una tubería de 4 pulgadas de diámetro, ahora con menos sedimentos y lodos en suspensión.

La misma secuencia se repite para la tercera piscina de decantación, donde se encuentran dos bombas de agua sumergibles. Estas bombas impulsan el agua hacia dos plantas de tratamiento denominadas "water maze". El objetivo principal de estas plantas es purificar el agua mediante dos sistemas de filtración: uno que utiliza carbón activado y antracita, y otro llamado "multimedia", que emplea gravilla de distintas graduaciones. Posteriormente, el líquido filtrado pasa por una etapa de ozonización para eliminar las bacterias que puedan causar malos olores en el agua gris del proceso.

Finalmente, el agua es purificada en un 90% se transfiere a un estanque de almacenamiento mediante un sistema de bombeo con bombas de diafragma. En este estanque, el agua recuperada se almacena y queda lista para repetir el ciclo de lavado de equipos.

1.4 PROBLEMÁTICA

Las operaciones en el taller central de Minera Centinela juegan un papel clave en un área conocida como 'Losas de Lavado', que se dedica a la limpieza de equipos mineros y piezas de alto valor. Este espacio es fundamental para mantener el equipo en óptimas condiciones de operación y garantizar su vida útil. Sin embargo, hay que hacer frente a importantes desafíos en este ámbito.

La loza de lavado está soportada por un sistema de bombas que suministra agua gris necesarias para realizar el proceso de limpieza y mantenimiento. Sin embargo, una de las bombas centrífugas presenta falla, por lo que el sistema de bombas solo puede funcionar al 50 % de su capacidad. Esta situación se debe a la falta de un plan de mantenimiento preventivo y a la dificultad para conseguir los repuestos necesarios en tiempo y forma. ¿Cómo se resuelve esto? ¿En qué capítulo se abordará este tema?

El daño causado por esta escasez es significativo y se refleja en muchos aspectos de las operaciones mineras. En primer lugar, el tiempo de limpieza será mucho mayor debido a la falta de suministro de agua reciclada. Esto no solo afecta la eficiencia operativa diaria, sino que también afecta negativamente los tiempos de mantenimiento programados, los trabajos dependientes según la planificación y el reemplazo de piezas críticas.

Uno de los objetivos más importantes de esta innovadora iniciativa es reducir significativamente los tiempos de limpieza y así aumentar la disponibilidad de los equipos. Actualmente, el indicador clave de rendimiento (KPI) de no disponibilidad es aproximadamente del 16%, desglosado en varios porcentajes (ver tabla 1.1 y tabla 1.2 en la imagen). Esto significa que todavía hay margen de mejora. Se estima que mejorando el sistema de bombeo se puede reducir este KPI hasta en un 0,13% con solo mejorar el tiempo de limpieza y reducirlo a 1 hora. Toda esta información se obtuvo mediante encuesta al personal, lista de chequeo de unidades, con información obtenida de un total de 64 unidades que se encontraban operando en rajo Esperanza y Esperanza Sur, tal como se muestra en. (tabla resumen)

1.5 EQUIPOS QUE COMPONEN LA LOSA DE LAVADO

Para lograr que el proceso de lavado de equipos mineros sea eficiente, es fundamental contar con la operatividad adecuada de distintos subsistemas, cada uno desempeñando un papel vital en este proceso. Estos subsistemas son:

1.5.1 Sistema de Suministro y almacenamiento de Agua:

Este subsistema es la columna vertebral del proceso de lavado. La disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas es esencial. Asegurarse de contar con una fuente de agua confiable, sistemas de almacenamiento adecuados y sistemas de distribución eficientes es un paso crucial. En Minera Centinela se cuenta con un estanque de almacenamiento denominado TK-017 el cual tiene una capacidad de 90 m³.



Figura 0-4 Estanque de almacenamiento de agua gris en Minera Centinela

Fuente: (Pro-Ambient, 2019)

1.5.2 Sistema de Bombeo:

Como mencionamos anteriormente, el sistema de bombeo es esencial para transportar de forma mecánica por tuberías el agua requerida desde la fuente hasta los puntos de lavado. Mantener los equipos en óptimas condiciones, para asegurar un flujo constante y la presión adecuada son factores críticos para el éxito del proceso de lavado. Este conjunto motor-bomba está compuesto por un motor trifásico WEG W-22 y una bomba marca VOGT N630BMRS.



Figura 0-5 Bomba centrífuga vertical Serie N

Fuente: Web Vogt.cl

1.5.3 Sistema de Tratamiento de Agua:

En algunos casos, puede ser necesario tratar el agua antes de utilizarla en el lavado para eliminar impurezas o ajustar su composición química. Esto es especialmente relevante en regiones con aguas duras o con altos niveles de contaminantes, en minera centinela se encuentra instaladas dos plantas de tratamiento de agua llamadas “WATER MAZE” de fabricación americana. Esta planta está diseñada para generar una recuperación de agua de 10% de la totalidad del Tanque de almacenamiento en 1 horas. Eso quiere decir que como existen dos plantas esta dará una recuperación total del 20% en 1 hora siendo equivalente a 18-000 litros.



Figura 0-6: Manual de operaciones Water Maze

Fuente: Web Vogt.cl

1.5.4 Sistema de Control y Automatización:

La automatización de procesos y el monitoreo en tiempo real son herramientas poderosas para optimizar la eficiencia del proceso de lavado. Un sistema de control adecuado permite ajustar parámetros según sea necesario y detectar problemas de manera temprana. El sistema de control está monitoreado y almacenado en un PLC Logix5561.



Figura 0-7 control Logix CPU module w-2mb memoria

Fuente: Web Allen-Bradley

1.5.5 Desnatador de aceite portable

ACS Medio Ambiente es un desnatador de aceite pequeño, portátil y duradero para una amplia gama de aplicaciones. Las características del modelo Tote-It® incluyen: Alta capacidad de eliminación de aceite, doble sistema de limpieza. Barra estabilizadora; la polea motriz tiene una cubierta protectora de acero. Hoy en día, Tote-It® se puede encontrar en baños de repuestos, plantas de ensamblaje, garajes o en cualquier lugar donde se puedan recuperar y conectar equipos. El equipo viene en tiras de 1, 2 y 4 pulgadas para adaptarse a una variedad de aplicaciones (ACS Medio Ambiente, 2024)

Características:

- Banda continua de acero o elastómero resistente a la corrosión de 1, 2 o 4 pulgadas.
- Drena el aceite del N.P.T. 1-1/4 pulgada
- Cable de 8 ft con enchufe a tierra.
- Motor reductor de potencia segmentado con refrigeración por ventilador.

- Elimina hasta 12 galones de aceite por hora.
- Disponible la construcción en acero inoxidable.

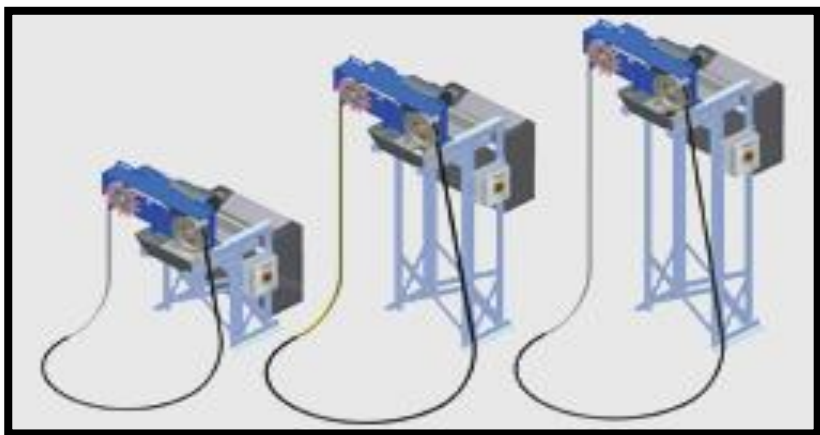


Figura 0-8 : Oil skimmer modelo Tote-It®
Fuente: Web fabricante oil skimmer. Inc

1.5.6 Equipos de protección personal

Los Equipos de Protección Personal (EPP), están diseñados y fabricados para proteger al trabajador de riesgos de accidentes y permiten preservar la salud en la zona de trabajo. La importancia de uso en áreas de trabajo,

La seguridad en el trabajo incluye temas como planificar, dar instrucciones, anticipar procesos, notificar y monitorear actividades, pero trabajar de manera segura requiere el uso de los siguientes elementos: La seguridad es esencial para completar estas acciones y es parte de la jerarquía de gestión de riesgos (Seguridad Minera, 2023)



Figura 0-9 : Equipo de protección adecuado para realizar lavado.
Fuente: (Tiempo Minero, 2020)

1.5.7 Capacitación y Gestión de Personal

Por último, pero no menos importante, se debe contar con un equipo de operadores debidamente capacitados en las operaciones de lavado y el funcionamiento de los sistemas. La gestión eficaz del personal y la asignación de tareas son aspectos clave para garantizar un flujo de trabajo suave y seguro. Para esto se realizó una capacitación en terreno junto a todo el personal mecánico de minera Centinela, basado principalmente en la operación y funcionamiento de la losa de lavado.

En conjunto, estos subsistemas son esenciales para respaldar la eficiencia y calidad del proceso de limpieza de equipos mineros. Mejorar en cualquiera de estos componentes contribuirá en gran medida a optimizar las operaciones mineras y mantener un alto rendimiento.



Figura 0-10 : Capacitación de operación y funcionamiento.

Fuente: (Achierdi RSS, 2016)

1.6 ¿QUE ES UNA BOMBA CENTRIFUGA?

Las bombas centrífugas no sólo se utilizan para transportar líquidos de electrodomésticos como, por ejemplo, lavadoras. También se utiliza en la industria química, especialmente en la elaboración de cosméticos y cremas, y en la industria farmacéutica para la elaboración de jarabes. Además, aplica para sistemas de limpieza en la etapa final de proceso operativo

a) ¿Que se denomina bomba centrífuga?

Una bomba centrífuga, también conocida como bomba rotativa, es una máquina cuya finalidad es convertir energía en velocidad y luego en potencia bajo presión. Es decir, convierte la energía mecánica en energía hidráulica. De esta forma podrás mover la máxima cantidad de líquido posible.

Es uno de los sistemas más utilizados en la actualidad para bombear diversos líquidos. Por tanto, las bombas centrífugas son un tipo de máquina denominada “receptora” o “transmisora” porque se utilizan para hacer circular o mover fluido contra presión (Fluideco, 2019).

b) ¿Para qué sirve una bomba centrífuga?

Las bombas centrífugas suelen complementar otros sistemas hidráulicos, ya sean industriales, comerciales o domésticos, según el tipo de bomba centrífuga seleccionada.

Su finalidad es dar una solución práctica a la falta de presión en los sistemas de abastecimiento de agua en lugares donde no existen pendientes pronunciadas. En este caso se utilizarían otros sistemas. También tiene el efecto de aumentar la presión inicial y se utiliza en el suministro de agua doméstico y en equipos de protección contra incendios. Por lo tanto, este es un sistema útil para proporcionar una fuente de presión continua en este caso particular.

c) ¿Cómo funciona una bomba centrífuga?

Las bombas centrífugas son particularmente fáciles de operar. En primer lugar, el líquido ingresa a través del impulsor o impulsor, donde el líquido es guiado a través de las paletas y la fuerza centrífuga expulsa dicho líquido. Una vez fuera, la caja será la encargada de curar.

1.7 ELEMENTOS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Consta de varios elementos que convierten la energía cinética en energía hidráulica para generar una presión constante y mover la máxima cantidad de fluido. Por tanto, cuenta con elementos como el estrangulador, la parte fija del motor que protege los elementos que componen el motor y la carcasa que protege todos los mecanismos internos.

Los cojinetes son soportes y guías para el eje de la bomba. Y el rotor es la parte giratoria. También incluye refrigeración para evitar que el motor se sobrecaliente, una turbina para bombear el fluido y un difusor, que se encarga de convertir la energía cinética en energía hidráulica. Por otro lado, el eje es la parte de transmisión entre la bomba y el motor, y el sello mecánico es la parte que crea un sello entre la estructura y el eje giratorio de la bomba centrífuga. Una junta es una pieza de sellado y un rodamiento es una pieza que permite la rotación entre dos piezas. (Fluideco, 2019)

Las partes que componen una bomba centrífuga:

1.7.1 Motor

El motor es una parte importante de cualquier bomba de agua. Como músculo de bombeo, es responsable de generar la energía necesaria para mover el agua a través de tuberías y sistemas

de plomería. Los actuadores vienen en muchas formas y tamaños, cada uno diseñado para cumplir con diferentes requisitos de flujo y presión. No es sorprendente que el arranque adecuado del motor sea fundamental para mantener el sistema de plomería en buenas condiciones y funcionando correctamente

1.7.2 Carcaza

La carcasa o marco de la bomba es una parte importante de la bomba de agua. Es un componente que permite mantener todo el sistema en perfecto estado y evitar caídas importantes. La carcasa actúa como soporte de todos los componentes que componen el motor y la bomba de agua, por lo que es una parte esencial para el correcto funcionamiento del sistema.

1.7.3 Rodamientos

Los rodamientos son una parte importante de la mayoría de las bombas de agua. Su trabajo es garantizar que el eje de la bomba gire suavemente. Sin el rodamiento, el funcionamiento de la bomba de agua puede verse afectado negativamente. Por eso, es importante asegurarse de que estén siempre en buen estado. Debe comprobar periódicamente el estado de los rodamientos y sustituirlos si es necesario. Elegir los rodamientos adecuados es igualmente importante para garantizar una larga vida útil de la bomba y un rendimiento óptimo.

1.7.4 Entrada y Salida

Las entradas y salidas de agua son partes importantes del sistema de suministro de agua. Esta parte de la bomba se encarga de drenar el agua de la zona de suministro y distribuirla por las tuberías domésticas o comerciales, asegurando un flujo de agua constante y suficiente por todas partes. Es importante señalar que la entrada y salida de la bomba de agua deben estar correctamente conectadas para garantizar un correcto funcionamiento y evitar problemas futuros.

1.7.5 Rodete Impulsor

El impulsor es una parte importante del funcionamiento de la bomba de agua. Es uno de los componentes de la bomba encargado de impulsar el agua a través de las tuberías hasta su destino. El diseño del impulsor varía según el tipo de bomba y la aplicación. Generalmente, las hélices están hechas de materiales resistentes a la corrosión para mayor durabilidad y eficiencia. Es importante mantener el impulsor limpio y en buenas condiciones para evitar obstrucciones y fallas del sistema.

1.7.6 Eje Impulsor

El eje de transmisión es una parte importante de la bomba de agua que utilizan los fontaneros. Este chorro pequeño pero potente empuja el agua a través del sistema de plomería para garantizar un flujo constante y una presión adecuada en los grifos de su hogar. Sin él, no podrás suministrar agua a tu hogar, lo que puede causar una serie de problemas

Tipos de impulsores

a) Impulsor abierto

Las palas se fijan al eje central y se montan directamente sobre el eje sin moldes, paredes laterales ni cubiertas. La protección clara es estructuralmente más débil y requiere valores NPSHR más altos. Por lo general, se utilizan en bombas de pequeño diámetro y bajo costo que manejan sólidos suspendidos. Son más susceptibles a la corrosión que los impulsores cerrados, por lo que su eficiencia disminuye rápidamente en ambientes corrosivos (Fesmex, 2020)

b) Impulsor parcialmente abierto o semi-cerrado

Este tipo de hélice incluye una pared trasera (capó) que asegura las palas y aumenta la resistencia mecánica. Se utilizan para bombas de diámetro medio y líquidos que contienen pequeñas cantidades de materia en suspensión. Tienen mayor eficiencia y menor NPSHR que los impulsores abiertos. Es importante mantener un pequeño espacio o distancia entre las palas de la hélice y el casco. Si la abertura es demasiado grande, se producirá deslizamiento y recirculación, lo que dará como resultado una eficiencia reducida y un calentamiento agresivo.

c) Impulsores cerrados

Los impulsores cerrados tienen paredes delantera y trasera para una máxima durabilidad. Se utilizan en bombas grandes con alta eficiencia y bajo NPSHR. Pueden manejar sólidos suspendidos sin descomponerse, pero tienen una alta tasa de corrosión. Los impulsores cerrados son el tipo más común de impulsor utilizado en bombas centrífugas para líquidos claros. Dependen de anillos de desgaste apretados en el impulsor de la bomba y en la carcasa de la bomba. Los anillos de desgaste separan la presión de entrada de la presión interna de la bomba, lo que reduce las cargas axiales y ayuda a mantener la eficiencia de la bomba. (Fesmex, 2020)

1.7.7 Panel de Control

El panel de control es necesario para garantizar el funcionamiento óptimo de la bomba de agua. Este dispositivo le permite monitorear y controlar el flujo de agua, así como encender y apagar la bomba. El panel de control permite al operador de la bomba ajustar individualmente la velocidad y el flujo de agua,

1.7.8 Sello mecánico

Es el cierre mecánico de mayor uso, compuesto por carbón y cerámica. Se lubrica y refrigera con el agua bombeada, para ello evitar el funcionamiento en seco debido daños inerrablemente por el tipo de avería (Benoit, 2014)

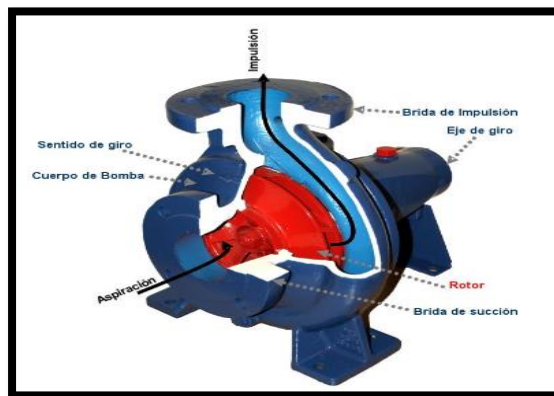


Figura 0-11 Partes de una bomba centrífuga.

Fuente: (Fluideco, 2019).

**CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES TÉCNICOS DEL EQUIPAMIENTO PARA
PROCESO DE LAVADO DE EQUIPOS DE EXTRACCIÓN MINERA**

2. ANTECEDENTES TECNICOS

2.1 CONCEPTOS HIDRÁULICOS

2.1.1 Caudal

Las unidades de medida más comúnmente empleadas son metros cúbicos por hora (m³/h), litros por minuto (L/min), y litros por segundo (L/s). Sin embargo, en el contexto anglosajón, también se puede expresar en galones imperiales por minuto (Igpm) o en galones americanos por minuto (USgpm). Las equivalencias entre las principales unidades de caudal son las siguientes: (Monge, 2017)

$$1 \text{ L/s} = 60 \text{ L/min} = 3.6 \text{ m}^3/\text{h} = 13.148 \text{ Igpm} = 15.839 \text{ USgpm}.$$

El caudal volumétrico que fluye a través de un sistema se puede calcular multiplicando la velocidad del fluido (v) por el área transversal de la sección de paso.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot d}{t} = S \cdot \frac{d}{t}$$

Por otro lado, el caudal másico "Qm" representa la cantidad de masa de fluido que fluye en una unidad de tiempo. Para obtenerlo, se multiplica la densidad del fluido (ρ) por el caudal volumétrico.

$$Q_m = \rho \cdot Q$$

En el caso del agua, la densidad se establece en 1000 kg/m³.

2.1.2 Presión

La presión es la fuerza ejercida por un fluido en relación con la superficie sobre la que actúa. En el Sistema Internacional (SI), se utiliza el Pascal (Pa) como la unidad de medida de la presión, donde 1 Pascal es igual a 1 Newton por metro cuadrado (1 Pa = N/m²) (Monge, 2017).

Debido a que el Pascal es una unidad pequeña en muchas aplicaciones prácticas, se emplean múltiplos como el kilo Pascal (kPa), el mega pascal (MPa), entre otros. También, el Bar es una unidad común para medir la presión, donde 1 Bar equivale a 10^5 Pascales (1 Bar = 100.000 Pa).

En el contexto de la altura de elevación, es común su expresión en metros de columna de líquido (mcl), y existe la siguiente relación:

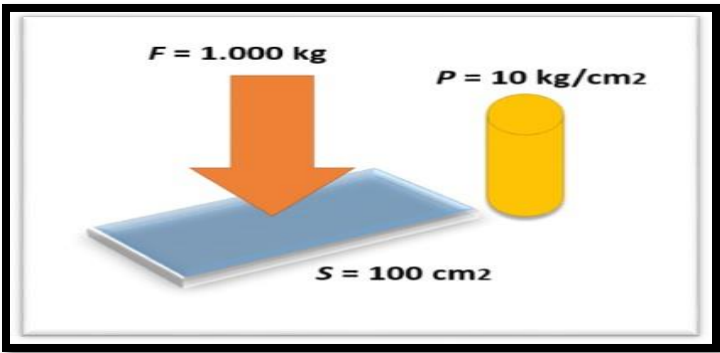


Figura 2-1: Formula equivalencia entre unidades

Fuente: Web bombasideal.com

Además, para la equivalencia entre las diversas unidades de presión utilizadas comúnmente, se aplica la siguiente conversión:

1 bar =	1,02 kg/cm ²
1 bar	10,2 mca
1 kg/cm ²	0,981 Bar
1 mca	0,0981 Bar
1 mca	9810 Pascal
1 at (atmosfera técnica)	1 kg/cm ²
1 atm (atmosfera física)	1,033 kg/cm ²

La atmósfera física es equivalente a una columna de mercurio de 760 mm. de altura, que es igual a una columna de agua a 4°C de 10,33 metros de altura de agua, (Monge, 2017)

2.1.3 Presión absoluta

Se conoce como presión absoluta a la suma de la presión atmosférica, que se puede medir con un calibrador o manómetro, y la presión manométrica del fluido. En ingeniería, la presión absoluta es la presión de un sistema en relación con la presión de un vacío absoluta. La presión absoluta no tiene un valor fijo, la misma puede variar según la temperatura o la elevación.

La fórmula para este tipo de medición se expresa de la siguiente manera, (Monge, 2017)

$P_{\text{absoluto}} = P_{\text{calibre}} + P_{\text{atmosférico}}$

La presión absoluta se calcula en una superficie por medio de la sumatoria de la presión atmosférica y la presión manométrica.

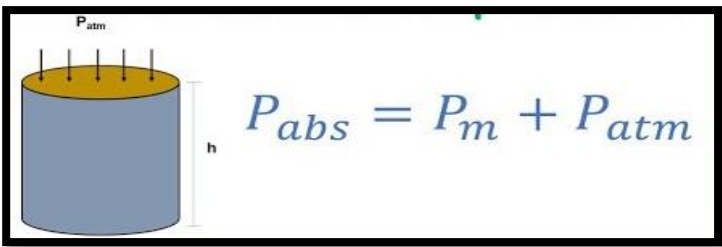


Figura 2-2:
equivalencia

Formula
presión absoluta

Fuente: , (Monge, 2017)

2.1.4 Presión relativa o manométrica

La presión manométrica, también llamada sobrepresión, es la presión medida con respecto a la presión atmosférica. La presión manométrica está referenciada a cero con respecto a la presión del aire ambiente (o atmosférico). Esto significa que la presión manométrica varía en función de la altura sobre el nivel del mar y de las condiciones meteorológicas. Es por eso que la medición de presión manométrica es suficiente para la mayoría de las aplicaciones industriales debido a que todos los procesos de una refinería o planta de fabricación están expuestos a la misma presión del aire, (Monge, 2017)

2.1.5 Cavitación de una bomba

La aceleración se produce cuando el líquido ingresa al impulsor, lo que provoca que se formen burbujas cuando la presión es lo suficientemente baja. Esto tiene dos efectos en el rendimiento: primero, la cavitación desgasta el impulsor y eventualmente lo destruye. En segundo lugar, si la cavitación es fuerte, se reduce la sustentación. ¿Qué es un poro y qué lo causa? (Interempresas, 2023)

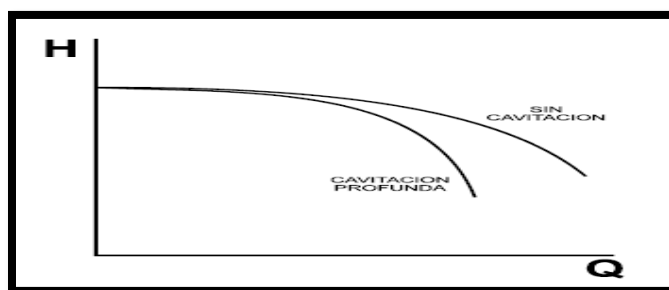


Figura 2-3: Efecto de la cavitación sobre la curva característica de la bomba.

Fuente: vogt.cl

2.1.6 Golpe de Ariete

Los eventos hidráulicos temporales que ocurren debido a diferencias en la velocidad del fluido transportado se denominan forja. Este fenómeno se manifiesta como la conversión de energía cinética en energía de presión y energía elástica, lo que provoca que las ondas de presión y las ondas de flexión se propaguen a través de la tubería. Si el golpe de ariete no se controla eficazmente, puede provocar roturas de tuberías debido a sobrepresión o sedimentación, y graves problemas operativos (Hidraulica, 2022)

Una transición hidráulica es un evento en el que la velocidad del fluido cambia debido a un cambio en la función del sistema. Estos cambios de velocidad crean cambios de presión que se propagan por todo el sistema de tuberías a la velocidad del sonido determinada por la elasticidad. agua, tuberías, paredes, pisos

Los principales efectos de los resultados de la presión del agua son riesgos para la salud debido a la alta presión, la caída de presión, la separación de la columna de agua que alcanza valores de cavitación, la fuga de contaminantes bajo presión negativa y los daños posteriores. Las mangueras pueden dañarse o desgastarse con el tiempo. Los efectos del golpe de ariete sobre la calidad del agua se manifiestan de dos maneras diferentes, las cuales tienen implicaciones para la salud.

Con el tiempo, se forma una película microbiana muy fina en las paredes internas de la tubería. Durante las transiciones de presión del agua, cuando la presión cambia significativamente, esta fina película se desprende de la pared de la tubería y queda suspendida, lo que afecta la calidad del agua. Los accesorios de tubería con arandelas de goma (mangas o "anillos") están diseñados para soportar únicamente presión positiva. Si se produce una presión negativa durante la recuperación hidráulica, la junta puede perder su sello y quedar expuesta a elementos externos a la tubería, como el suelo. bomba de agua. Si el nivel del agua subterránea es más alto que el nivel del agua dentro de la tubería,

el agua subterránea fluiría hacia la tubería bajo presión negativa. En ambos casos, el agua potable está contaminada

En acueductos, redes, y demás sistemas de transporte de fluidos, las principales causas de los transitorios hidráulicos son:

- a) -Parada o arranque de bombas
- b) -Apertura o cierre de válvulas
- c) -Cambios de nivel en tanques y reservorios
- d) -Cambios bruscos de demanda
- e) -Rotura de tuberías
- f) -Llenado y vaciado de tuberías

2.2 CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA

Una curva característica de una bomba describe la relación entre la altura del agua (también llamada caída de presión) y el caudal. Esta relación es esencial para tomar decisiones informadas al elegir la mejor bomba para una instalación en particular. La altura de la bomba es una medida que se puede expresar como presión y representa la energía transferida a un fluido. En otras palabras, es la presión que debe superar la bomba para garantizar que el fluido fluya según las condiciones de diseño (SBV industriales, 2021).

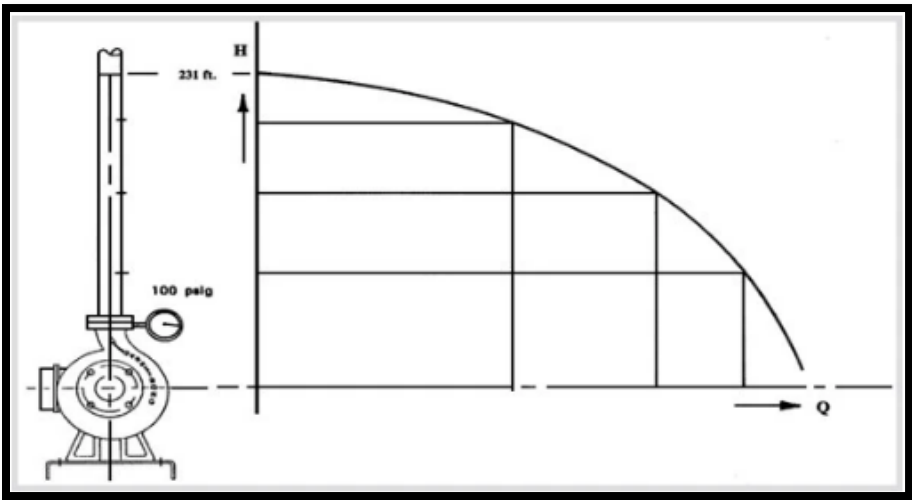


Figura 2-4: Curva característica de una bomba.

Fuente: (SBV industriales, 2021)

Como se ilustra en la figura anterior, se observa que para cada velocidad de rotación (n), se genera una curva característica única. Es importante destacar qué al reducir la velocidad de rotación, tanto la altura manométrica máxima como el caudal máximo disminuyen.

2.2.1 Curva de potencia absorbida caudal

La potencia absorbida está estrechamente relacionada a las condiciones de operación, el caudal y la altura manométrica de la bomba. Representa la potencia necesaria para que la bomba mueva su eje y funcione adecuadamente (David, 2016)

Formula 1	La potencia real, se denomina
$BPH = \frac{SG_x Q_x H}{\langle 450 \rangle}$	$P_{real} = \frac{P_{maxima}}{\% \text{ eficiencia real de la bomba}}$
Donde: BPH = es la potencia proporcionada al flujo en HP Q = caudal en lts. /min H= es la altura en bar SG = gravedad especifica = 1 450 = constante de la formula (David, 2016)	

Formula 2	
$P = Ha * p * g * Qt$	Donde: P = Potencia expresada en H.P (1 hp = 745 W) Q = caudal en lts/min Ha = altura de bombeo g = gravedad especifica = 9,8 m/s ² p = densidad del agua (%) (David, 2016)

Formula 3	
$P = \frac{SG_x Q_x N}{\langle 75n \rangle}$	Donde: P = Potencia expresada en HP (1 hp = 745 W) Q = caudal en lts/seg N = altura de bombeo en m SG = gravedad especifica = 9,8 m/s ² η = % de eficiencia la cual es la eficiencia real de bomba del fabricante (David, 2016)

2.2.2 Curva NPSH

NPSH, es una altura de potencia neta con una bomba centrífuga. En comparación con la presión de vapor a la temperatura de esta, en comparación con la "altura de absorción de la

red" y la expresión hidráulica, esto indica la diferencia en la presión del eje de la turbina. Para entender la importancia de este concepto es necesario saber qué es un fenómeno denominado cavitación (Gg CARGIL, 2021).

Cuando la presión estática de un líquido es menor que su presión de vapor, se forman burbujas debido a la evaporación parcial del líquido. Si esta cavidad formada se hace circular a presiones más altas, se producirá condensación.

Sin embargo esto sucede cuando, las burbujas explotan violentamente, creando ondas de presión que provocan vibraciones, ruido, interrupciones del flujo e incluso erosión o daños en las piezas de la bomba. Por tanto, a la hora de elegir un modelo de bomba centrífuga, es necesario tener en cuenta que no se produce cavitación durante el funcionamiento (Gg CARGIL, 2021)

Para ello, el NPSH se divide en disponible (instalación) y requerido (bomba). Para evitar el efecto cavitación en la estación de bombeo se deberán prever las siguientes conexiones

$$\text{NPSH disponible} \geq \text{NPSH requerido } 0,50$$

2.2.3 Curvas de isorrendimiento

Puede resultar útil mostrar curvas características que muestren la variación del rendimiento de la bomba en función de la velocidad de rotación, el caudal y la altura en el mismo gráfico. Estas curvas se denominan isométricas e indican áreas donde el rendimiento tiene el mismo valor. (Solari, 2022),

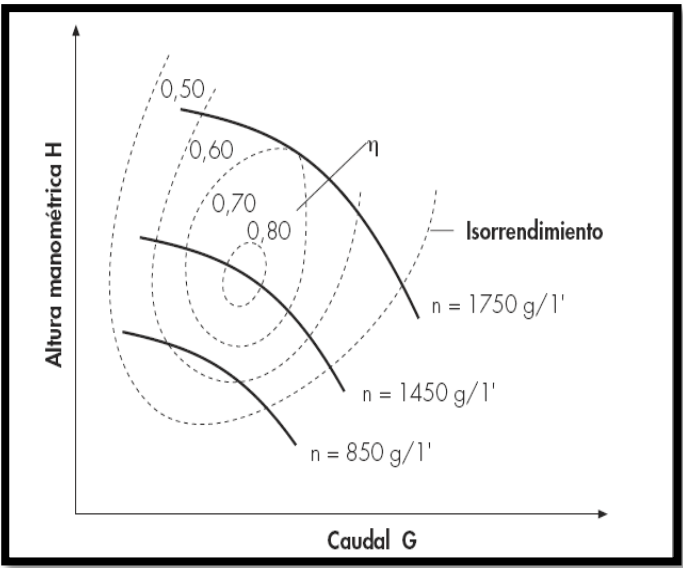


Figura 2-5: Curvas de Isorrendimiento

Fuente: (SBV industriales, 2021)

Se puede observar que el campo de rendimiento es muy estrecho, y que mínimas variaciones en el caudal, la altura manométrica o la velocidad de giro, provocan grandes variaciones en el

rendimiento. En muchos casos, los fabricantes también proporcionan las curvas características de la bomba para distintos diámetros del rodete a igual velocidad de rotación.

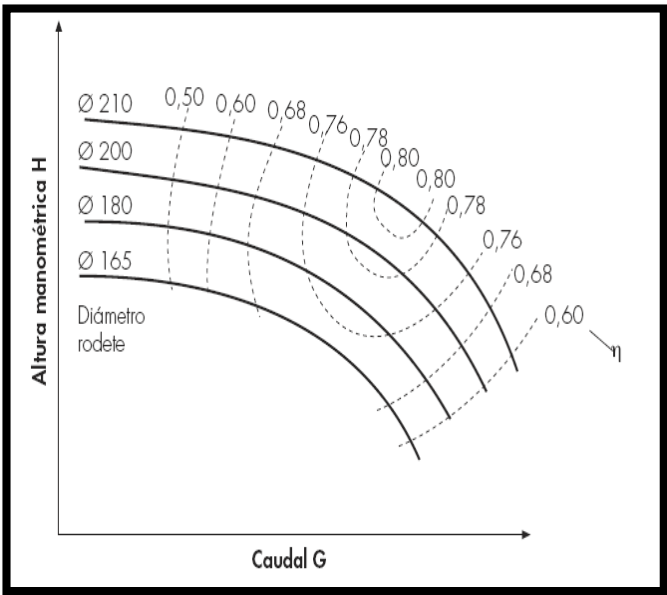


Figura 2-6: Curvas de isorrendimiento para distintos diámetros de rodete

Fuente: (SBV industriales, 2021)

2.2.4 Rendimiento total de una bomba

Se considera bomba a una máquina diseñada para proporcionar caudal y presión requerida. Pero en realidad, el rendimiento de una bomba está determinado por su curva de rendimiento, que define cómo la bomba entrega diferentes capacidades a diferentes presiones (Nunez, 2020).

La bomba proporciona diferencia de presión y caudal dependiendo de su instalación. Estas se dividen principalmente en tres categorías: centrífugas, rotativas de desplazamiento positivo y reciprocantes. Cada línea tiene diferentes características de rendimiento según las condiciones encontradas durante la instalación.

Dado que la mayoría de estos dispositivos no tienen una interfaz de control a menos que estén equipados con un convertidor de frecuencia de presión variable (VFD) y deben de operar manualmente durante la configuración, se basa únicamente en el rendimiento del sistema o dispositivo en el momento especificado el tiempo (Nunez, 2020).

Cuando una bomba pierde presión en el sistema operativo, produce un caudal y un diferencial de presión dependiendo de las condiciones de entrada. La curva es simplemente una representación gráfica del caudal y la presión diferencial que puede producir esta. Es importante tener en cuenta que el 90% de las fallas de las bombas son causadas por el sistema en el que está instalada, por lo que el proceso de selección de la bomba es solo un paso para determinar la bomba adecuada para su aplicación (Zumaeta, 2023)

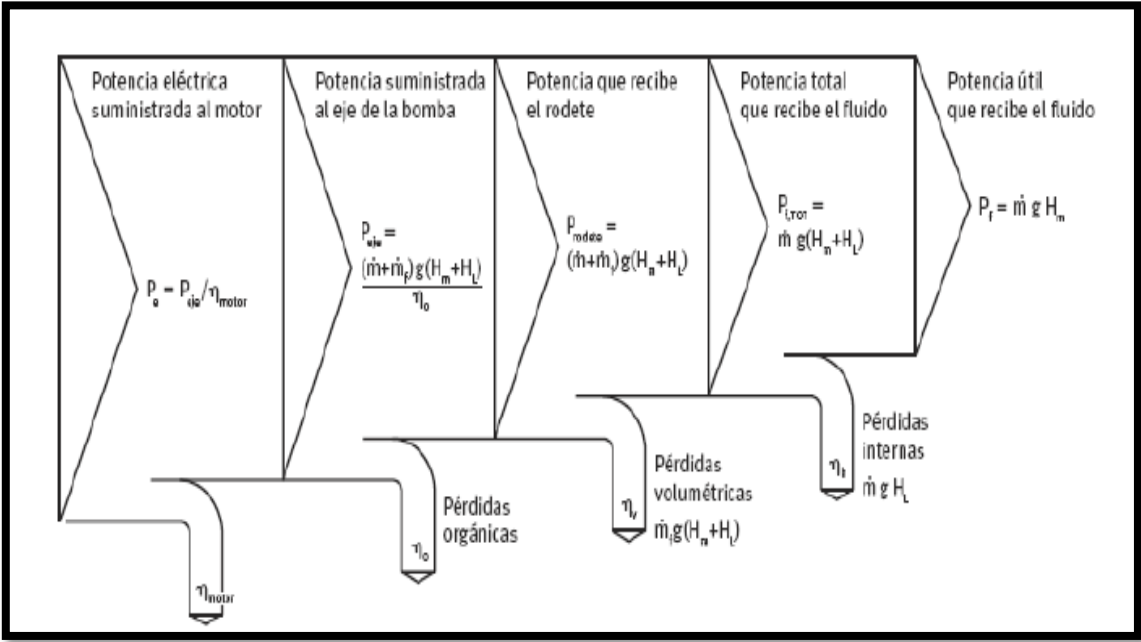


Figura 2-7: Diagrama de Sankey de una bomba centrífuga

Fuente: (Zumaeta, 2023)

Con lo que se obtiene el rendimiento del grupo motor-bomba:

$$\eta_T = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_o \cdot \eta_{motor}$$

Fuente: (Zumaeta, 2023)

Las propiedades anteriores se pueden dividir en dos partes: pérdidas debidas a mecanismos internos (propiedades mecánicas) y pérdidas de energía asociadas al fluido.

2.3.1 PÉRDIDAS DE CARGA DE LA TUBERÍA

Utilizando las fórmulas específicas mencionadas antes, puede estimar rápidamente la caída de presión en una tubería recta. Calcule la pérdida de presión total encontrando el gradiente hidráulico o la caída de presión por unidad de longitud a partir del caudal y el diámetro y multiplicándolo por la longitud total de la tubería: (Garcia, 2014).

No obstante, para una evaluación más precisa de las pérdidas de carga, es recomendable utilizar fórmulas más detalladas. Una de las ecuaciones más reconocidas y utilizadas en la práctica para este fin es la fórmula de Darcy-Weisbach, (Garcia, 2014)

$$Z = \frac{c^2}{2g} \lambda \frac{l}{d}$$

Fuente: (Garcia, 2014)

Donde

- Z = Pérdida de carga de la tubería (m).
- d = Diámetro de la conducción (m).
- l = Longitud de la conducción (m).
- c = Velocidad media del fluido (m/s).
- f = Coeficiente de fricción en función de Re

2.3.2 Número de Reynolds

¿Qué es el número de Reynolds?

Es uno de los números adimensionales más importantes en mecánica de fluidos, así como uno de los más fundamentales. De hecho, este es uno de los primeros conceptos que se visualizan un curso de mecánica de fluidos. En general, este número, definido a continuación, permite a los ingenieros determinar de antemano si el flujo será laminar o turbulento (Fernández, 2020).

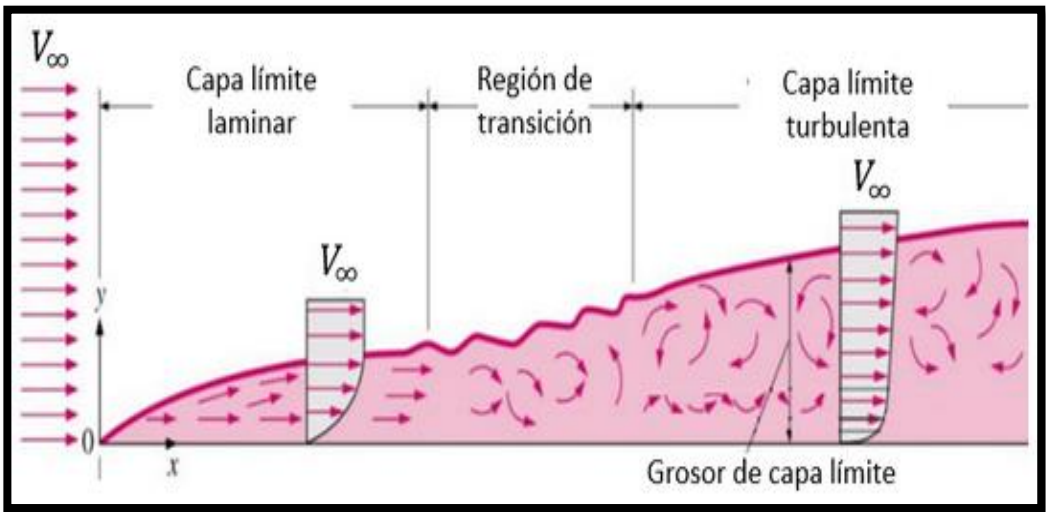


Figura 2-8 Comportamiento de la velocidad en diferentes fases

Fuente: www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/boundary-layer/velocity-boundary-layer-thermal-boundary-layer/ (Fernández, 2020).

Análisis del comportamiento.

El objetivo principal de este problema es determinar el comportamiento del fluido, es decir, saber con certeza si el fluido es laminar o turbulento. Pertenece al tipo de flujo laminar donde predominan las fuerzas viscosas y el fluido se mueve a muy baja velocidad y sigue una trayectoria recta. Por otro lado, cuando domina la fuerza de inercia, el fluido se vuelve turbulento, su velocidad cambia y sigue una trayectoria irregular. (Ielogis, 2022).

La transición entre flujo laminar y turbulento se produce para valores del número de Reynolds entre 2000 y 4000.

Fórmula del Número de Reynolds:

El Número de Reynolds se calcula generalmente mediante la fórmula:

Formula	Alternativa:
$Re = \frac{(\rho \cdot u \cdot L)}{\mu} -$	$Re = \frac{(u \cdot L)}{v} -$

Donde:

- Re = Número de Reynolds (adimensional)
- ρ = Densidad del fluido (en kg/m³)
- u = Velocidad del fluido (en m/s)
- L = Longitud característica (puede ser el diámetro en el caso de tuberías, en metros)
- μ = Viscosidad dinámica del fluido (en Pa·s o N·s/m²)
- v = Viscosidad cinemática del fluido (igual a μ/ρ , en m²/s)

Flujo Laminar: Si el Número de Reynolds es aproximadamente menor que 2000, el flujo tiende a ser laminar. Esto significa que el fluido fluye en capas paralelas, con mínima mezcla entre ellas.

Flujo Turbulento: Si el Número de Reynolds es aproximadamente mayor que 4000, el flujo es turbulento. En este caso, el fluido experimenta mezcla irregular y formación de remolinos.

El Número de Reynolds es importante en muchas aplicaciones de ingeniería, como el diseño de tuberías, aeronaves, y en la comprensión de fenómenos naturales como la circulación de la atmósfera y de los océanos. Su valor ayuda a determinar el régimen de flujo y es crucial para el cálculo correcto de las pérdidas de carga y otros parámetros hidráulicos. (Ielogis, 2022)

¿Qué ocurre con N° Re entre 2000 – 4000? Se considera inestable e irregular como resultado del inicio es la turbulencia.

El número de Reynolds es la relación entre las fuerzas de inercia y viscosas en un fluido que fluye. Recuerde que la fuerza de inercia es el impulso de un fluido en movimiento y la fuerza viscosa es la fuerza de fricción de un fluido que fluye. El número de Reynolds es un valor adimensional que se utiliza para determinar si un fluido es laminar (R menor que 2300) o turbulento (R mayor que 4000). El flujo laminar ocurre cuando el fluido se mueve de manera suave y predecible. La turbulencia ocurre cuando un fluido se mueve de manera caótica y su movimiento es difícil de predecir. Un flujo transitorio es una condición en la que un fluido comienza a fluir o se ralentiza y se detiene.

Cuando diseñas algo, necesitas crear un modelo para probarlo antes de pasar a la producción a gran escala. De hecho, si el sistema de plomería está instalado, pero no funciona correctamente, será necesario repararlo, lo que es una pérdida de tiempo y dinero. El modelo debe ser equivalente al modelo real. La similitud dinámica ocurre cuando las condiciones de escala del modelo y del sistema grande son las mismas. La geometría debe ser la misma y la velocidad del fluido a través del sistema debe ser proporcional a la presión, la viscosidad del fluido y el esfuerzo cortante (fuerzas anormales sobre el fluido). Un ejemplo de disimilitud dinámica entre el modelo y el sistema real es cuando hay tuberías horizontales y no horizontales (Rodrigo, 2020).

Por ejemplo, si se cuenta con un número de Reynolds de 200 para el agua que fluye a través de las 2 tuberías separadas. Donde la primera cuenta con un diámetro de 2,75 cm (0.0275 m). Conociendo la densidad del agua la cual es 1000 kg/m³, y viscosidad 0,0013 kg/(m.s.) ¿Qué velocidad debe tener el agua a través de la tubería para ajustarse a estos parámetros?, el cálculo es:

$$2000 = (1000 \text{ kg/m}^3) v (0,0265 \text{ m}) / 0,00133 \text{ Pa.s} \Rightarrow v = 0,10 \text{ m/s}$$

Esto demuestra que, para culminar el proyecto de investigación, se tiene que dar uso de tubería de mayor diámetro con igual configuración, para ello calcular la velocidad del agua que tiene que fluir a través de la misma. Si requiere aplicar un tinte al agua donde aplica un flujo laminar.

El cálculo de velocidad del agua por donde debería fluir la tubería es más pequeño, obteniendo resultado:

$$2000 = (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot v (0,005 \text{ m}) / 0,00133 \text{ Pa} \cdot \text{s} \Rightarrow v = 0,50 \text{ m/s}$$

En conclusión, el flujo en la tubería más pequeño es más rápido, pero continúa aun fluyendo en forma laminar, debido que el número de Reynolds es el mismo que el caso anterior.

2.3.3 Rugosidad Relativa

Una vez obtenido el número de Reynolds para cada tramo, y determinando el tipo de flujo laminar, se procede a calcular la rugosidad relativa para cada tramo, en donde se obtiene:

- Rugosidad (ϵ) = $4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$
- Material = Acero (ASTM A53-B) (USI, 2023)

Tabla 2-1 Características del material.

Estándar	ASTM A 53, ASME SA 53
Calificación	Grado B
Rango de tamaño	½ “nota a 36” nota
Espesor	3 – 12 mm
Longitud	Min 3 metros o según requisitos del cliente
Especificación para tuberías	Acero, negro y por inmersión en caliente, cintado, soldado y sin costura
Tipo:	Sin costura / ERW / Soldado
Conexiones finales	Liso, Bisel, Atornillado, Roscado

Fuente: Elaboración propia (2024), tomado de (USI, 2023).

2.3.4 Pérdida de carga por accesorios Factor K

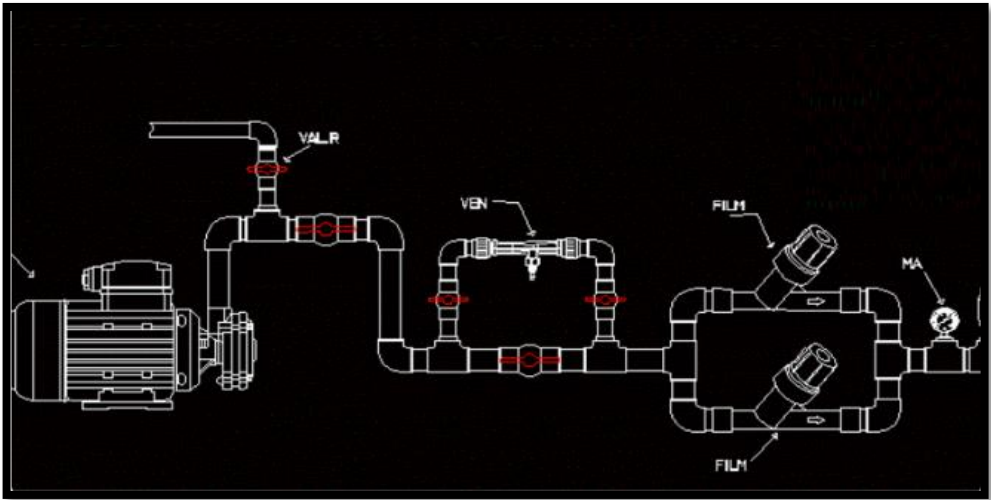


Figura 2-9 caída de presión de accesorios

Fuente: (Acosta, 2021)

La pérdida de carga en accesorios de tuberías, como válvulas, codos, te, y otros, se puede calcular utilizando el llamado "Factor K". El mismo representa la pérdida de carga debido a los accesorios en términos de la altura de fluido y se aplica en la ecuación para calcular la pérdida de energía de dichos elementos.

La fórmula general es:

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

Donde:

h_f = Pérdida de carga en los accesorios (en metros)

K = Factor de pérdida de carga del accesorio (adimensional)

V = Velocidad del fluido en la tubería (en metros por segundo)

g = Aceleración debida a la gravedad (en metros por segundo cuadrado, generalmente $9,81 \text{ m/s}^2$) (Acosta, 2021).

El valor de la constante K varía según el tipo de accesorio y en ocasiones depende del tamaño y ángulo (en el caso de codos, por ejemplo).

Los valores K para diversos accesorios pueden encontrarse en manuales técnicos, en tablas dedicadas o proporcionados por el fabricante de dichos accesorios. Este método se usa

comúnmente para calcular la caída de presión en sistemas de tuberías donde la presencia de accesorios puede tener un impacto significativo en el rendimiento del sistema (Acosta, 2021).

Codos, accesorios, válvulas*	
Codo 45°	0.35 a 0.45
Codo 90°	0.50 a 0.70
Codo 22° 30'	0.25 a 0.30
Te, de paso directo	0.60
Te, salida de lado	1.30
Te, salida bilateral	1.8 a 2.0
Válvulas de compuerta (abierta)....	aprox. 0.25
Válvulas de control (abierta).....	aprox. 3.00
Válvula de globo abierta	10.00
Válvula de pie	1.75
Válvula de retención	2.75

Figura 2-10: Tabla valor coeficiente K en accesorios

Fuente: (Perés, 2014)

2.3.5 Principio de Bernoulli

El Teorema de Bernoulli, formulado por el matemático y físico suizo Daniel Bernoulli en el siglo XVIII, es un principio fundamental en la dinámica de fluidos. Este teorema establece que, en un flujo de fluido ideal (incompresible y sin viscosidad), la energía total a lo largo de una línea de corriente es constante. Este principio proporciona una relación entre la presión, la velocidad y la altura en diferentes puntos de un flujo de fluido. (Munilla, 2014).

El Teorema de Bernoulli se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

- P = Presión del fluido (en Pascal, Pa)
- ρ = Densidad del fluido (en kg/m³)
- V = Velocidad del fluido (en m/s)
- g = Aceleración debido a la gravedad (en m/s²)
- h = Altura respecto a una referencia (en metros)” (Munilla, 2014)

El teorema de Bernoulli explica la relación entre la velocidad del fluido y la presión. Según el principio, en un punto donde la velocidad del fluido aumenta, la presión disminuye y viceversa. Esto es observable en fenómenos como el efecto Venturi y el principio de funcionamiento de los alerones de los aviones.

“En ingeniería, el teorema de Bernoulli se utiliza para resolver una variedad de problemas relacionados con el flujo de fluidos. Es particularmente útil en el diseño de sistemas de tuberías, la aerodinámica de aeronaves, y la hidráulica de canales abiertos, entre otros. Ya que permite incluir una serie de energía cuya fuente se mantiene constante en todo el ciclo del proceso” (Munilla, 2014)

2.3.6_Principio de Torricelli

El principio de Torricelli forma parte del grupo de que se apoya en el manejo de la física para resolver problemas basados en el en los fundamentos del Teorema de Bernoulli, sugiere que un incremento en la velocidad de un fluido en movimiento se corresponde con una reducción de su presión. Asimismo, destaca que la energía total en un sistema de fluidos que fluyen de manera uniforme se mantiene constante a lo largo de su camino. Esto implica que un aumento en la velocidad del fluido se equilibra con una disminución en la presión. El Teorema de Torricelli se presenta como una aplicación práctica del principio de Bernoulli, enfocándose en el análisis del movimiento de un líquido contenido en un recipiente que escapa a través de un orificio bajo la influencia de la gravedad (Teorrema, 2019)

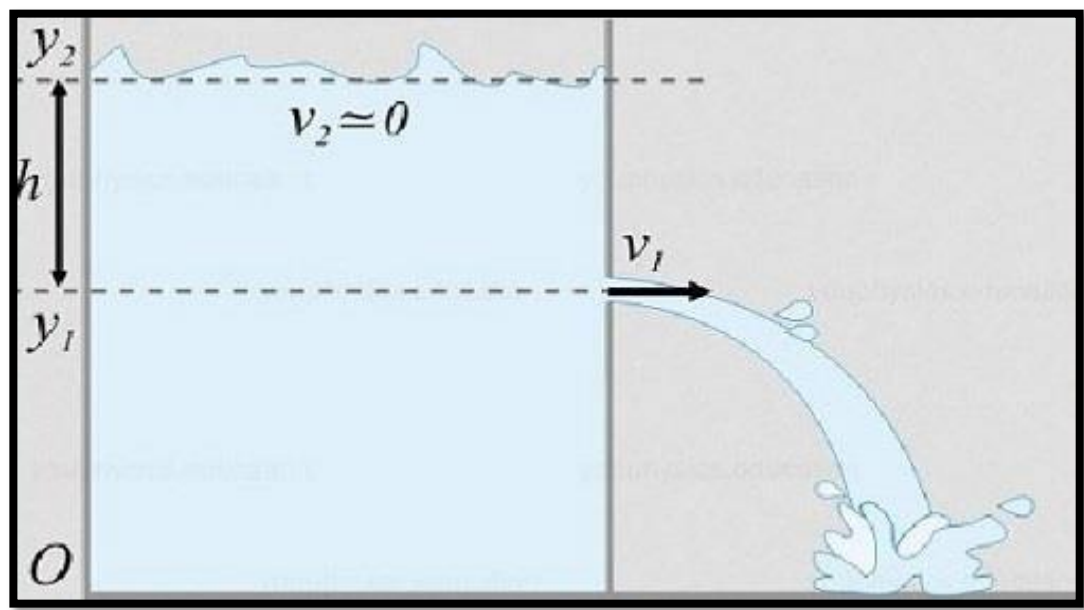


Figura 2-11: Fuente de teorema de Torricelli.

Fuente: Teorrema, 2019)

Fórmula de la Ley de Torricelli:

La velocidad de salida de un fluido a través de un orificio puede calcularse utilizando la siguiente fórmula:

- $V = \sqrt{2gh}$

Donde:

V = Velocidad de salida del fluido (en m/s)

g = Aceleración debido a la gravedad (en m/s², generalmente 9.81 m/s²)

h = Altura del nivel del fluido por encima del orificio (en metros)

2.4. PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA

Para superar tanto la altura geométrica H_g como las pérdidas dinámicas en tubería, es importante determinar el funcionamiento de la bomba mediante un método gráfico. En el mismo la curva de resistencia del conducto se aplica al diafragma de la bomba y se traza considerando la altura H_g y las pérdidas de carga para diferentes caudales (Blaz, 2023).

$$H_{sis} = H_g + Z$$

La curva de resistencia de un sistema es simplemente una representación gráfica de la ecuación anterior, trazada en un plano cartesiano. La intersección de la curva Q-H de la bomba y la curva de resistencia del sistema indica el punto de funcionamiento deseado. En sistemas con varias bombas funcionando en serie, se crea una nueva curva Q-H sumando la altura suministrada por cada bomba para un caudal determinado. El punto de operación para este escenario se determina donde esta curva Q-H típica se cruza con la curva de resistencia del sistema.

Cuando varias bombas trabajan en paralelo, la característica combinada se forma sumando los caudales de cada bomba para una altura fija. El punto de operación se encuentra en la intersección de esta nueva curva Q-H combinada y la curva de resistencia del sistema.

Cuando dos bombas centrífugas operan en paralelo en una línea de descarga común, el caudal total no es simplemente la suma de los caudales individuales de cada bomba que opera de forma independiente en la misma tubería. De hecho, la curva de resistencia al flujo entregada por cada bomba es plana. Si dos de ellos operan simultáneamente, la curva de resistencia será más pronunciada que si operan de forma independiente, considerando su caudal total.

En la práctica, uno de los mayores desafíos es dibujar correctamente la curva característica resistente de un conducto. Vamos a examinar algunos casos comunes en sistemas de bombeo:

- a) Si una bomba centrífuga solo tiene que superar una altura geométrica H_{g1} , la curva resistente del sistema se representaría como una línea horizontal (paralela al eje Q) a una altura H_{g1} en el eje vertical H .
- b) En cambio, si la bomba mueve el líquido a través de un conducto horizontal al mismo nivel que la bomba, sin desnivel geométrico, la altura generada por la bomba se usaría exclusivamente para superar las pérdidas por fricción en el conducto. Estas pérdidas aumentan proporcionalmente al cuadrado del caudal, por lo que la representación gráfica sería una parábola con vértice en $H=0$ y eje principal en el eje H . En la figura 15, esta línea estaría representada por la curva $R2$. El punto de funcionamiento se ubicaría en el punto $A2$, donde se cruzan las curvas $Q-H$ de la bomba y la resistente $R2$ del conducto (Blaz, 2023).

Si la bomba opera en un sistema donde se deben superar tanto la altura geométrica como la resistencia del conducto, la curva de resistencia total se obtiene sumando la altura geométrica H_{g1} a la caída de presión en el conducto, que indica las características generales. Está representado por la curva $R1$. El punto de operación es el punto $A1$ en la línea $Q-H$.

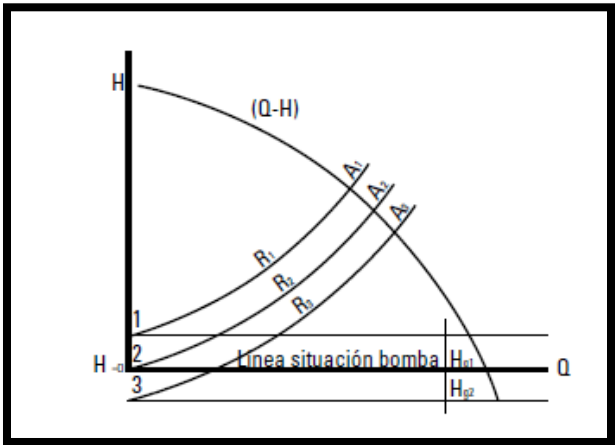


Figura 2-12: Punto de funcionamiento en un sistema

Fuente: (Santos, De león, Cabral, & Pérez, 2016)

- c) Si el punto de descarga del conducto está en un nivel más bajo que el de succión de la bomba, la altura geométrica H_{g2} , que representa esta diferencia de nivel, asistirá el flujo por gravedad, reduciendo la altura necesaria para impulsar el flujo en la misma medida H_{g2} . Entonces, la parábola resistente estaría representada por la curva $R3$, trazada desde H_{g2} .

el punto 3 a una distancia H_{g2} por debajo del punto 2 en el eje H. El punto de funcionamiento se encontraría en el punto A3.

- d) En sistemas de bombeo que incluyen varios segmentos de tuberías con diferentes diámetros, se determina la característica total del conducto sumando las pérdidas de cada sección para un flujo específico. Esto permite entender cómo las variaciones en el diámetro afectan la eficiencia general del sistema.
- e) En situaciones donde una bomba centrífuga distribuye el líquido simultáneamente a través de dos tuberías, AB y AC, que desembocan en el mismo nivel H, el punto de operación se localiza en D. Este punto es la intersección de la curva Q-H de la bomba con la línea que representa la resistencia combinada de las tuberías, la cual se obtiene sumando los flujos Q_1 y Q_2 de los segmentos AB y AC a la altura H Fuente: (Santos, De león, Cabral, & Pérez, 2016)

Las curvas R_1 y R_2 representan las características de resistencia de los tramos AB y AC, respectivamente. El punto D debe ubicarse en la curva Q-H de la bomba, que estará manejando un flujo combinado Q_3 a una altura H, de manera que se cumpla la relación $Q_3 = Q_2 + Q_1$. Los flujos específicos que circulan por cada tramo, AB y AC, se determinan por el punto donde las curvas resistentes R_1 y R_2 interceptan la línea horizontal trazada a la altura H, es decir, los puntos 1 y 2, respectivamente.

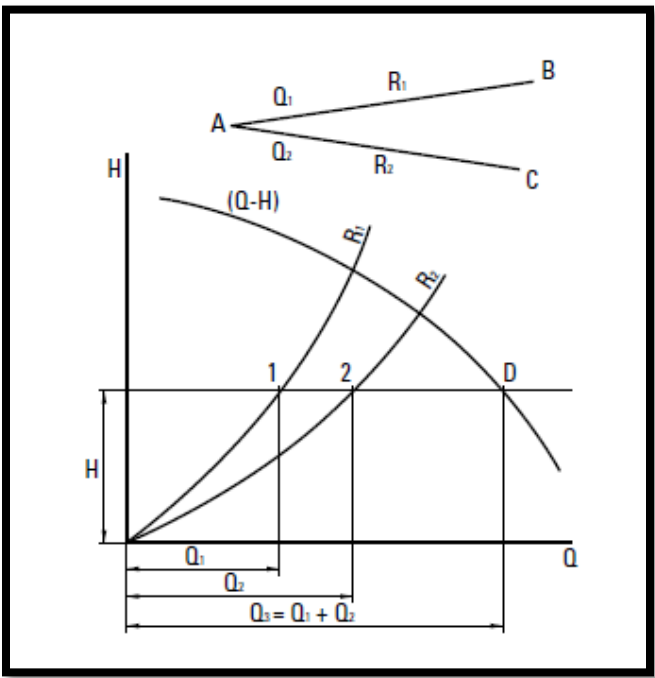


Figura 2-13: Punto de funcionamiento en un sistema

Fuente: (Santos, De

león, Cabral, & Pérez, 2016)

- f) Si los tramos descargan a distinto nivel, el procedimiento es análogo, con la única diferencia que el arranque de las curvas resistentes del sistema estará situada a una altura sobre el eje de ordenadas igual al desnivel existente en cada caso Fuente: (Santos, De león, Cabral, & Pérez, 2016)

**CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA PROCESO DE
LAVADO DE EQUIPOS DE EXTRACCIÓN MINERA**

3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS TÉCNICOS

Durante el seguimiento del funcionamiento del sistema de bombeo, para la recolección de datos se obtiene lo siguiente:

Tabla 3-1: Datos técnicos recolectados en terreno

	Diametro de la tuberia en pulgadas	Altura de la bomba [m]	RPM del motor	Caudal Q [m3/h]
Bomba N°1	6 "	85	2950	60
Bomba N°2	Fuera de servicio	Fuera de servicio	Fuera de servicio	Fuera de servicio

Fuente: Elaboración Propia (2024)

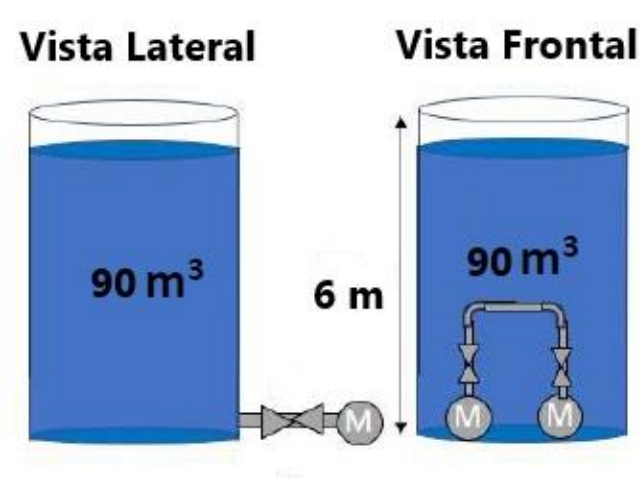


Figura 3-1: Vista lateral – Vista frontal.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.1.1 Datos de parámetros correspondientes a bombas

- Caudal por Bomba: 60 m³/h
- Número de Bombas: 2
- Altura Bombeo: 85 m
- T° Agua: 15°C

Debido a que la velocidad es desconocida, para efectos de cálculos se utilizara la ecuación de continuidad:

$$\text{Caudal} = \text{Área} \times \text{Velocidad}$$

Considerando:

$$Q = A * V$$

Donde el área de una tubería a sección llena es;

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

Como anterior mente ya tenemos el dato del caudal y despejando en la fórmula de continuidad la velocidad quedaría representada en la siguiente fórmula:

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

Remplazando

$$D = 6 \text{ pulgadas} = 6 \times 0,0254 = 0,1524 \text{ m.}$$

$$Q = 60 \text{ m}^3/\text{h} = 60 \times (0,1524)^3 / 60 \times 60 \text{ s} = 0,003539/60 = 0.00005899 \text{ m}^3/\text{s} = 0.05899 \text{ l/s}$$

$$V = \frac{0,05899 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,1524)^2}{4} \text{ m}^2}$$

$$V = \frac{0,23596 \text{ m}^3/\text{s}}{0,073966 \text{ m}^2} = 3,275 \text{ m/s}$$

$$V= 3,275 \text{ m/s}$$

3.1.2 Número de Reynolds

Se debe considerar para realizar el cálculo del número de Reynolds, los siguientes datos, tales como las longitudes de cada tramo, densidad, peso específico y viscosidad cinemática del agua a 15°C y los datos anteriormente calculados, donde se obtiene:

Tabla 3-2 Tabla A.1 unidades del SI

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m³)	Densidad ρ (kg/m³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m²/s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}

Fuente: Propiedades del agua Robert L. Mott

- Densidad = $\rho_{H_2O@15C} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Peso específico = $\gamma_{H_2O@15C} = 9,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times \frac{1000}{1} \frac{\text{N}}{\text{kN}} = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$
- Viscosidad dinámica = $\nu_{H_2O@15C} = 1,15 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Luego de la recopilación de los datos anteriores se procede a realizar el cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{VxDx\rho}{\nu}$$

Donde:

$$V = \text{Velocidad} \quad \frac{m}{s}$$

$$D = \text{Diámetro} \quad m$$

$$\nu = \text{Viscosidad dinámica} \quad \frac{kg}{ms}$$

$$\rho = \text{Densidad agua a } 15^{\circ}C. \quad \frac{kg}{m^3}$$

$$Re = \frac{3,2749 \frac{m}{s} \times 0,1524 \text{ m} \times 1000 \frac{kg}{m^3}}{1,15 \times 10^{-3} \frac{kg}{ms}} = 433.955.44 = 4,3395544 \times 10^5$$

Re > 4000, flujo turbulento.

3.1.3 Rugosidad Relativa

Una vez obtenido el número de Reynolds para el tramo de cañería, y determinando que este valor es mayor a 4000, considerado como flujo turbulento, se procede a calcular la rugosidad relativa para cada tramo, en donde se obtiene:

- Material = Acero Comercial o soldado (ASTM A53-B)
- Rugosidad (€) = $4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

Tabla 3-3 Tabla valores de diseño rugosidad de tubos

Material	Rugosidad (m)	Rugosidad (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$9,8 \times 10^{-7}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Acero Remachado	$1,8 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-4}$

Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluídos.

$$R_{rel} = \frac{\epsilon}{D}, \text{ Donde:}$$

D = Diámetro m

ϵ = Rugosidad del material acero comercial m

$$R_{rel} = \frac{\epsilon}{D} = \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,1524 \text{ m}} = 0,00030183737$$

3.1.4 Factor de fricción

Considerando los datos anteriormente obtenidos para el circuito de cañerías de la losa de lavado, correspondiente al número de Reynolds y rugosidad relativa se obtiene, el siguiente factor de fricción según el diagrama de Moody:

- $Re = 433.955,44 = 4,331 \times 10^5$
- $R_{rel} = 0,00030183737$

Para Re mayores a 100.00 se considera la fórmula de Colebrook, se aplicó un balance de las fuerzas en el flujo permanente y considera a rugosidad de la tubería

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -0,86 \ln\left(\frac{K}{3,7} + \left(\frac{2,51}{Re \cdot f^{1/2}}\right)\right)$$

Siendo K/D, la rugosidad relativa (está en el rango 0,00004 a 0,05), por contar con numero de Reynolds ($4,33955 \times 10^5$)

El valor de “f” se revisa en el grafico doble logarítmica en el diagrama de Moody

Tabla 3-4 Tabla Resolución de ecuación

RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE COLEBROOK & WHITE POR MÉTODOS ITERATIVOS									
k/D=0.0008	Re	$-\log(k/7.4+2.51/Re f^{1/2})$	$k/7.4$	$2.51/Re f^{1/2}$	$(k/7.4+2.51/Re f^{1/2})$	$1/f^{1/2}$	f		
0.0008	0.0002	100	2.429311263	2.16216E-05	0.060980	0.061002	(1.214656)	2.4294988	0.1694208
0.0008	0.0002	1000	3.995122875	2.16216E-05	0.010035	0.010056	(1.997561)	3.9978830	0.0625662
0.0008	0.0002	10000	5.679365858	2.16216E-05	0.001429	0.001446	(2.839683)	5.6767882	0.0310309
0.0008	0.0002	100000	7.369669881	2.16216E-05	0.000185	0.000207	(3.684835)	7.3703150	0.0184089
0.0008	0.0002	1E+06	8.722702458	2.16216E-05	0.000022	0.000044	(4.361351)	8.7228520	0.0131427
0.0008	0.0002	1E+07	9.241707101	2.16216E-05	0.000002	0.000024	(4.620854)	9.2414656	0.0117090
0.0008	0.0002	1E+08	9.320675516	2.16216E-05	0.000000	0.000022	(4.660438)	9.3208625	0.0115103
0.0008	0.0002	1E+09	9.329283313	2.16216E-05	0.000000	0.000022	(4.664642)	9.3290545	0.0114901
0.0008	0.0002	1E+10	9.330129406	2.16216E-05	0.000000	0.000022	(4.665065)	9.3297196	0.0114885

Fuente: (Ecuación de Darct-weisbach - Flujo en conductos cerrados, 2016)

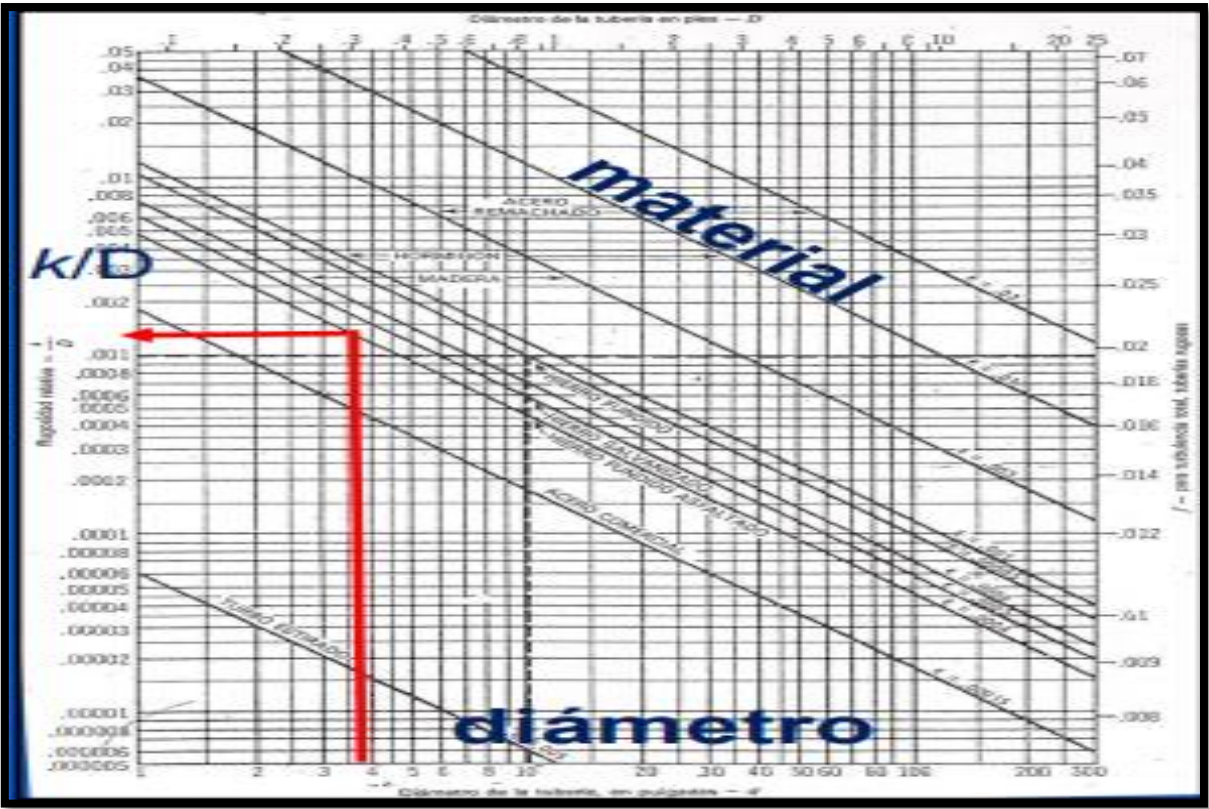


Figura 3-2 Diagrama auxiliar de Moody, rugosidad de diferentes diámetros y materiales

Fuente: (Ecuación de Darct-weisbach - Flujo en conductos cerrados, 2016)

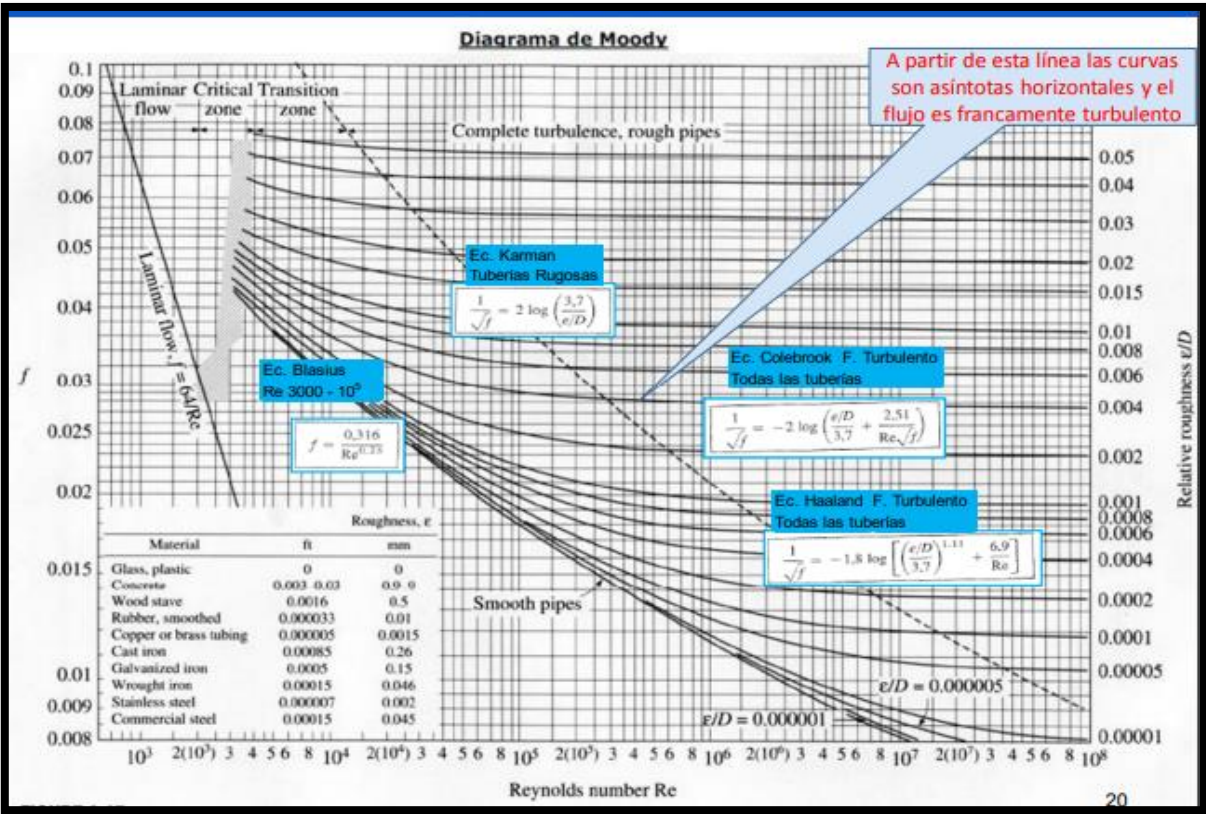


Figura 3-3: Diagrama de Moody, factor de fricción tuberías losa de lavado.

Fuente: (Ecuación de Darct-weisbach - Flujo en conductos cerrados, 2016)

Se determina con la ecuación Colebrook – White, el valor está dentro del 0,023% es por ello que la matriz de 70 puntos consta del valor de Reynolds ($4,33955 \times 10^5$).

3.1.5 Pérdidas de carga

Respecto a las pérdidas por fricción primarias, estas se presentan debido al fluido en movimiento el cual produce una resistencia, por ende, se convierte en parte de la energía del sistema, ósea energía térmica, la cual es disipada mediante las paredes de la tubería por la cual pasa el fluido, se consideran pérdidas de energía del sistema por fricción en tuberías o pérdidas menores por válvulas u otros accesorios, para obtener el valor de debe aplicar la siguiente fórmula:

Cuya ecuación es:

$$HL_f = \frac{f \times L \times V^2}{D \times 2g} \text{ , donde:}$$

f = Factor de fricción

L = Longitud del flujo $\rightarrow m$

D = Diámetro $\rightarrow m$

$V = \text{Velocidad} \rightarrow m/s$

$g = \text{Aceleración de gravedad} \rightarrow 9,81 m/s^2$

Pérdidas primarias en tramo de circuito completo losa de lavado:

- $f = 0,023$ (verificar cálculos, determinar f con ecuación Darcy y otros)
- $D = 0,1524 \text{ m}$
- $L = 85 \text{ m}$
- $V = 3,275 \text{ m/s}$

$$HLf = \frac{0,023 \times 85 \text{ m} \times (3,275)^2 \text{ m/s}}{0,1524 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,7147 \text{ m}$$

$$HLf = \mathbf{0,7147 \text{ m}}$$

En consideración a las pérdidas por fricción secundarias, estas se producen debido a elementos procedentes de las tuberías, como codos, válvulas, otros. Las pérdidas por fricción secundarias son expresadas como fracción o múltiplos de la altura de velocidad, en donde obtenemos:

$$HLs = K \times \frac{v^2}{2g}, \text{ donde:}$$

$K = \text{Valores coeficiente accesorios}$

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

$g = \text{Aceleración de gravedad} \rightarrow 9,81 \text{ m/s}^2$

Tabla 3-5 Tabla valores de factor K accesorios en cañerías

Accesorio	Unidad	K	
Válvula Mariposa	4	1	4
Codo 90°	8	0,9	7,2
Empalme en T	7	1,8	12,6
Válvula Compuerta	4	0,19	0,76
Total		24,56	

Fuente: Elaboración propia.

$HL_s = 24,56 \times \frac{(3,275)^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 13,26 \text{ m}$

$HL_{total} = HL_f + HL_s = 0,7147 \text{ m} + 13,26 \text{ m} = \underline{13,9786 \text{ m}}$

3.1.6 Bernoulli con perdidas

$Q = 60 \text{ m}^3/\text{h} = \text{m}^3/\text{s} = 0,05899 \text{ l/s}$

$Z_1 = 7 \text{ m.}$

$D_1 = 6'' = 0,1524 \text{ m}$

$D_2 = 2'' = 0,00508 \text{ m}$

$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H_a = -H_r = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$

$Z_1 - H_l = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$

$(Z_1 - Z_2) - \frac{v_2^2}{2g} = H_l = (7\text{m}) - \frac{(29,09 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 42,6241 \text{ m}$

$$V2 = \frac{0,05899 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \cdot 0,0508^2}{4} \text{ m}^2} = 29,09 \text{ m/s}$$

$$HL= 13,9786 \text{ m}$$

3.1.7 Elección bomba centrífuga horizontal

Con los resultados obtenidos anteriormente en base a los parámetros seleccionados, observando un caudal de **60** m³/h y una carga aportada necesaria de **85** m se realiza la selección de bomba para el tramo de descarga de acuerdo con la siguiente gráfica de curvas características de bombas VOGT:

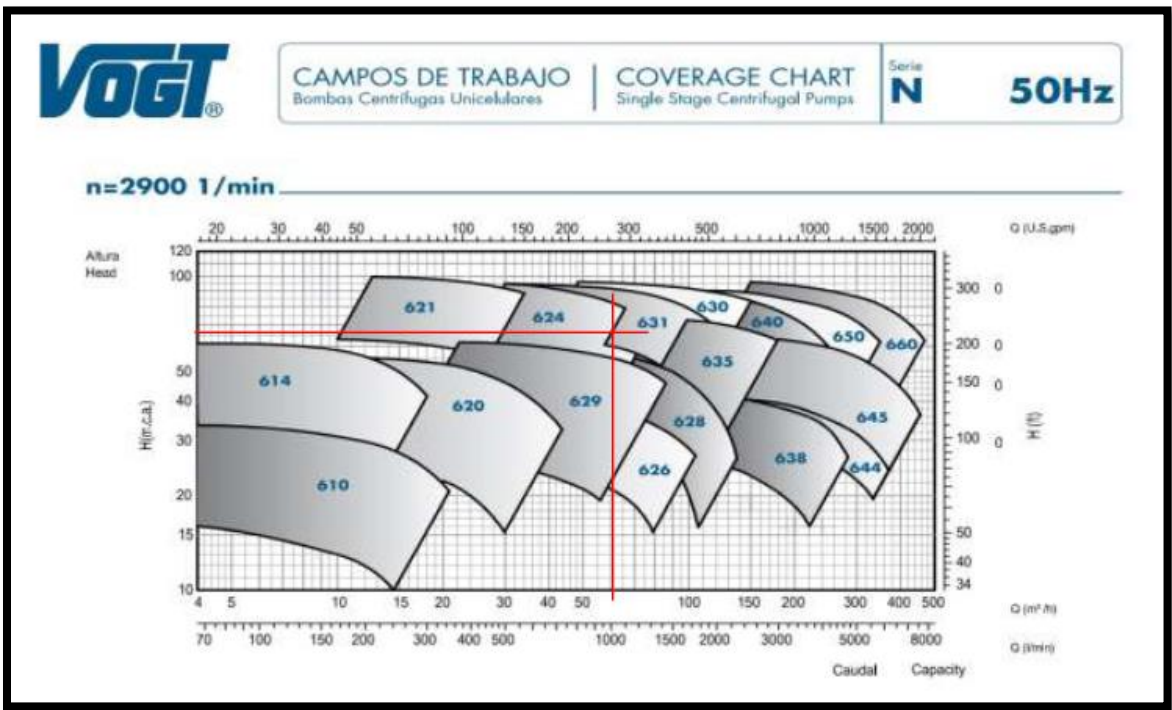


Figura 3-4: Curva característica bomba vogt.

Fuente: Catálogo de fabricante Vogt.

Dada la intersección con la coordenada abscisa, la bomba centrífuga horizontal será la bomba VOGT / N 631 integrada con motor de 40 HP a 2900 RPM. De acuerdo con la curva rendimiento de la bomba seleccionada se debe utilizar un impulsor de 223 mm de diámetro para obtener una eficiencia del 63%.

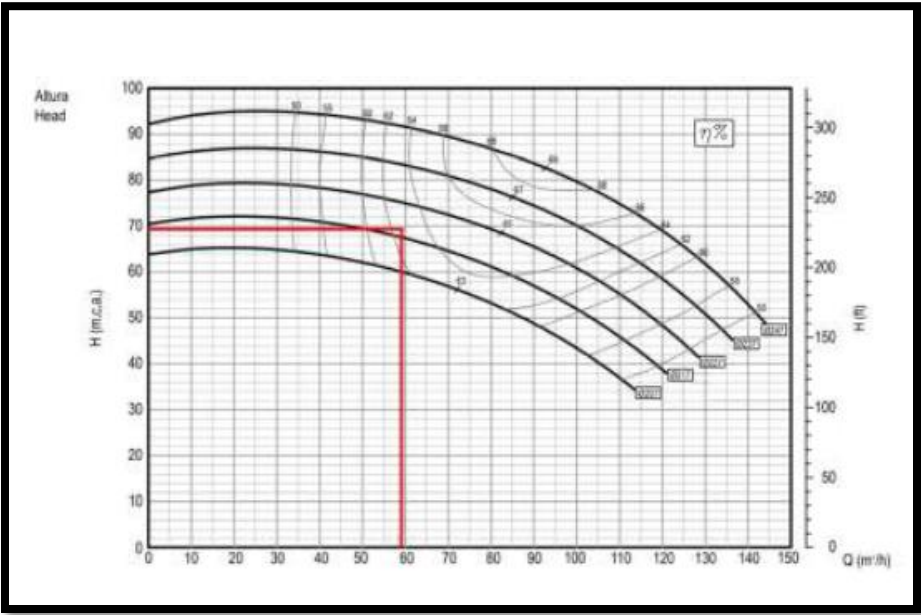


Figura 3-5: Curva rendimiento bomba vogt.

Fuente: Catálogo de fabricante Vogt.

En consideración al diámetro del impulsor de 223mm y el caudal de $59,95 m^3/h$, se estima que la potencia absorbida es de aproximadamente 26 HP, es decir esto es lo que necesita absorber el motor de la línea de alimentación para poder generar la potencia nominal de 40HP.

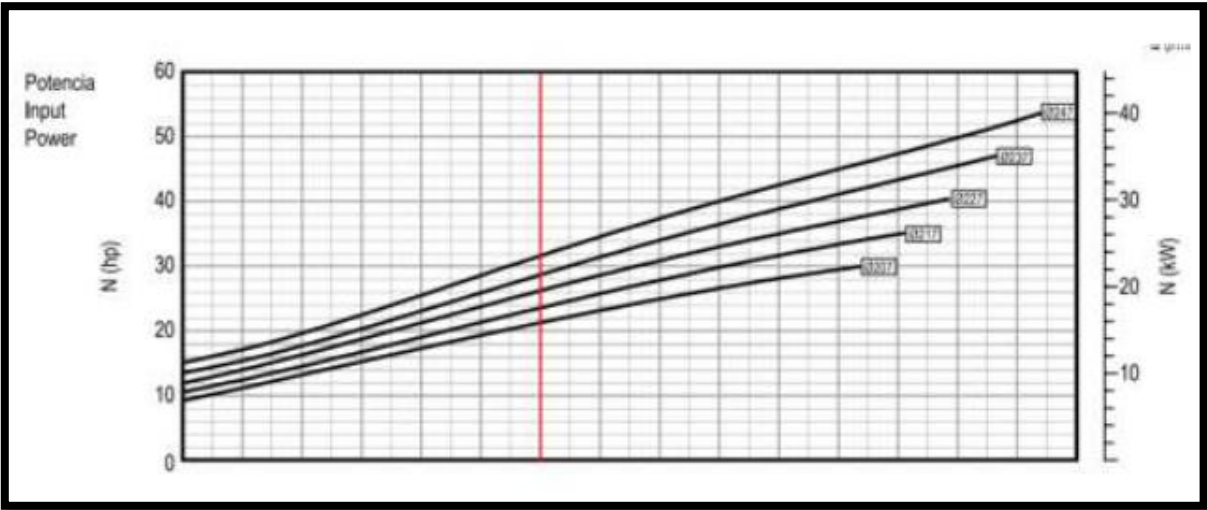


Figura 3-6: Curva característica potencia de entrada bomba vogt.

Fuente: Catálogo de fabricante Vogt

Por otra parte, según la curva característica de la bomba seleccionada el NPSH requerido por la bomba es aproximadamente de **2,6 mca.**

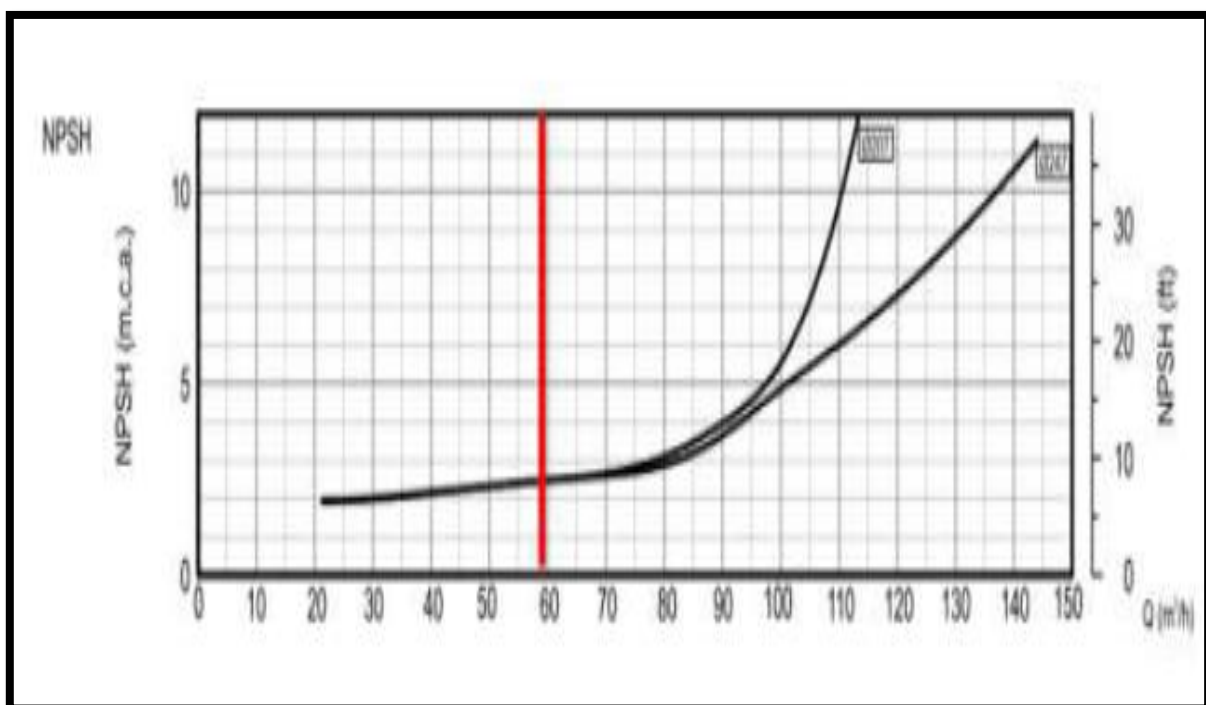


Figura 3-7: Curva característica NPSH requerida bomba vogt

. Fuente: Catálogo de fabricante Vogt.

3.1.8 Cálculo del NPHS disponible

El NPHS disponible depende de las características de la instalación del sistema a analizar, es la reserva total existente de presión por encima de la tensión de vapor del fluido el cual se encuentra disponible en la zona de succión de la bomba, se debe considerar: $NPHS_{disp} \geq NPHS_{req} + 0,5$.

$$NPHS_{disp} = 10^5 \times \frac{(p_l - p_v)}{\rho \times g} + H_a - h$$

$$P_l = 1 \text{ Bar}$$

$$P_v = 0,18 \text{ mca} \times \frac{1 \text{ Bar}}{10,2 \text{ mca}} \rightarrow 0,018 \text{ Bar}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H_a = 0$$

$$h_a = 1,4009 \text{ m}$$

$$NPSH_{disp} = 10^5 \times \frac{(1-0,018)}{1000 \times 9,8} + 0 - 1,4009$$

$$NPSH_{disp} = 8,61 \text{ m}$$

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0,5$$

$$8,61 \text{ m} \geq 2,6 \text{ m} + 0,5$$

$$8,61 \text{ m} \geq 3,1 \text{ m}$$

Es decir, cualquier bomba con un valor de NPSH_{req} menor a 8,02 m puede utilizarse en la instalación de bombeo, por ende, la bomba seleccionada está dentro de estos parámetros ya que su NPSH_{req} es de 2,6 m.

3.2 EVALUACIÓN DEL PROYECTO SITUACIÓN ACTUAL

En consideración a los costos analizados respecto a la mano de obra directa en consideración a las HH (Horas Hombre) utilizadas se tiene un costo anual de \$399.191.700.

Respecto a los costos de mano de obra indirecta, es decir el personal que no participa en la operación del sistema y no tienen incidencia dentro del proceso de funcionamiento, como personal de apoyo en área administrativa se obtiene un costo anual de \$342.652.693

Considerando los costos de operación actual, en costos operacionales y gastos de fabricación en análisis al funcionamiento del sistema se obtiene un costo anual de insumos operacionales de \$54.143.025

3.2.1_Costo de mano de obra directa

Tabla 3-6 Costos mano de obra directa, situación actual.

MANO DE OBRA DIRECTA DE LA SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL						
DETALLE	VALOR HORA HOMBRE	CANTIDAD DE HORAS HOMBRE UTILIZADAS POR MANIOBRA	CANTIDAD DE OPERADORES POR MANIOBRA	CANTIDAD DE MANIOBRAS AL AÑO EN EQUIPOS Y COMPONENTES	CANTIDAD DE EQUIPOS Y COMPONENTES ATENDIDOS	VALOR TOTAL HORAS HOMBRE AL AÑO EN PESOS
Mecánico T1	\$ 9.067	3,00	1	198	23	\$ 123.879.916
Mecánico T2	\$ 9.067	3,00	1	198	23	\$ 123.879.916
Operador	\$ 11.084	3,00	1	198	23	\$ 151.431.868
TOTAL COSTO DE MANO DE OBRA SITUACIÓN ACTUAL						\$ 399.191.700

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2_Costo de mano de obra indirectos

Tabla 3-7 Costos mano de obra indirecta, situación actual.

MANO DE OBRA INDIRECTA DE LA SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL						
DETALLE	VALOR HORA HOMBRE	CANTIDAD DE HORAS HOMBRE UTILIZADAS POR MANIOBRA	CANTIDAD DE OPERADORES POR MANIOBRA	CANTIDAD DE MANIOBRAS AL AÑO EN EQUIPOS Y COMPONENTES	CANTIDAD DE EQUIPOS Y COMPONENTES ATENDIDOS	TOTAL HORAS HOMBRE AL AÑO EN PESOS
Prevencionista	\$ 8.547	3,00	1	198	23	\$ 116.771.684
Supervisor	\$ 16.534	3,00	1	198	23	\$ 225.881.009
TOTAL COSTO DE MANO DE OBRA SITUACIÓN ACTUAL						\$ 342.652.693

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3_Costo operacionales y de fabricación situación actual

Tabla 3-8 Costos operacionales, situación actual.

SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL - COSTOS OPERACIONALES O GASTOS DE FABRICACIÓN				
DETALLE	VALOR POR CADA MANIOBRA	CANTIDAD DE MANIOBRAS AL AÑO	CANTIDAD DE EQUIPOS ATENDIDOS AL AÑO	TOTAL GASTOS DE FABRICACIÓN EN PESOS
Energía eléctrica Motor 40 HP (30 kW)	\$ 36.325	198	1	\$ 7.192.350
Agua Estanque (55m3)	\$ 231.825	99	1	\$ 22.950.675
Empresa Externa	\$ 2.000.000	12	1	\$ 24.000.000
TOTAL GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y GASTOS DE VENTAS SITUACIÓN ACTUAL				\$ 54.143.025

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO OPERACIONAL PROPUESTA

Respecto a la situación propuesta en relación con la mano de obra directa, se logra una reducción de horas hombres utilizadas en el proceso de 3 horas a 1 hora para influir de manera positiva a la adherencia de los planes de mantención, ya que estos contemplan un tiempo de 2 horas para el proceso de lavado y actualmente por las deficiencias en el sistema se utiliza un tiempo aproximado de 3 horas, por lo tanto, se obtiene un costo anual de \$228.055.279.

En relación con el costo de mano de obra indirecta se obtiene un costo anual de \$195.754.960. Finalmente, respecto a los costos operacionales o gastos de fabricación estos aumentan su costo debido a la integración de nuevos componentes al sistema, conllevando en un aumento en el consumo de kW/h y aumento volumétrico del agua, por lo consiguiente, se obtiene un costo anual de \$87.104.393.

3.3.1_Costo de mano de obra directa propuesta

Tabla 3-9 Costos mano de obra directa, situación propuesta.

MANO DE OBRA DIRECTA DE LA SITUACIÓN OPERACIONAL PROPUESTA						
DETALLE	VALOR HORA HOMBRE	CANTIDAD DE HORAS HOMBRE UTILIZADAS POR MANIOBRA	CANTIDAD DE OPERADORES POR MANIOBRA	CANTIDAD DE MANIOBRAS AL AÑO EN EQUIPOS Y COMPONENTES	CANTIDAD DE EQUIPOS Y COMPONENTES ATENDIDOS	VALOR TOTAL HORAS HOMBRE AL AÑO EN PESOS
Mecánico T1	\$ 9.067	1,00	1	223	35	\$ 70.771.684
Mecánico T2	\$ 9.067	1,00	1	223	35	\$ 70.771.684
Operador	\$ 11.084	1,00	1	223	35	\$ 86.511.911
TOTAL COSTO DE MANO DE OBRA SITUACIÓN ACTUAL						\$ 228.055.279

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.2_Costo de mano de obra indirecta propuesta

Tabla 3-10 Costos mano de obra indirecta, situación propuesta.

MANO DE OBRA INDIRECTA DE LA SITUACIÓN OPERACIONAL PROPUESTA						
DETALLE	VALOR HORA HOMBRE	CANTIDAD DE HORAS HOMBRE UTILIZADAS POR MANIOBRA	CANTIDAD DE OPERADORES POR MANIOBRA	CANTIDAD DE MANIOBRAS AL AÑO EN EQUIPOS Y COMPONENTES	CANTIDAD DE EQUIPOS Y COMPONENTES ATENDIDOS	TOTAL HORAS HOMBRE AL AÑO EN PESOS
Prevencionista	\$ 8.547	1,00	1	223	35	\$ 66.710.803
Supervisor	\$ 16.534	1,00	1	223	35	\$ 129.044.157
TOTAL COSTO DE MANO DE OBRA SITUACIÓN ACTUAL				-		\$ 195.754.960

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.3_Costo operacionales y de fabricación propuesta

Tabla 3-11 Costos mano de obra indirecta, situación propuesta.

SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL - COSTOS OPERACIONALES O GASTOS DE FABRICACIÓN				
DETALLE	VALOR POR CADA MANIOBRA	CANTIDAD DE MANIOBRAS AL AÑO	CANTIDAD DE EQUIPOS ATENDIDOS AL AÑO	TOTAL GASTOS DE FABRICACIÓN EN PESOS
Energía eléctrica Motor 40 HP (30 KW)	\$ 72.650	223	2	\$ 32.401.900
Energía eléctrica Motor 2 HP (1.5 KW)	\$ 1.816	223	1	\$ 404.968
Agua Estanque (90 m3)	\$ 379.350	112	1	\$ 42.297.525
Empresa Externa	\$ 2.000.000	6	1	\$ 12.000.000
TOTAL GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y GASTOS DE VENTAS SITUACIÓN ACTUAL				\$ 87.104.393

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.4 Ahorro de costos del proyecto

En la tabla que se muestra a continuación, se manifiesta la diferencia frente a la situación actual y a la situación propuesta, considerando un ahorro de costo anual de \$285.072.786 referente a la reducción de horas hombre (HH) del proceso en la minimización de 3 horas a 1 hora de acuerdo con la situación propuesta frente a la situación actual.

Tabla 3-12 Ahorro de costos del proyecto

AHORRO DE COSTOS DEL PROYECTO	
SITUACIÓN ACTUAL	\$ 795.987.418
COSTOS MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 399.191.700
COSTOS MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 342.652.693
GASTOS DE FABRICACIÓN	\$ 54.143.025
SITUACIÓN PROPUESTA	\$ 510.914.632
COSTO MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 228.055.279
COSTO MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 195.754.960
GASTOS DE ADM. Y GASTOS DE VENTAS	\$ 87.104.393
AHORRO DE COSTOS	\$ 285.072.786

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.5 Inversiones del proyecto

Considerando las inversiones del proyecto, se estima que la vida útil de este de acuerdo con el anexo N°1 de la tabla de vida útil de bienes físicos del SII (Servicio de Impuesto Interno), se considera una vida útil de 20 años para maquinarias y equipos industriales. Se obtiene un costo total de valor de salvataje del proyecto de \$338.941.446.

Tabla 3-13 Inversiones del proyecto.

DETALLE	VALOR DE ADQUISICIÓN	AÑOS DE VIDA UTIL	VALOR DE DESECHO DEL ACTIVO	DEPRECIACIÓN ANUAL	DEPRECIACIÓN ACUMULADA EN 5 AÑOS	VALOR DE SALVATAJE DEL PROYECTO
Conjunto Motor - Bomba 40 HP	\$ 4.786.677	10	\$ -	\$ 478.668	\$ 2.393.339	\$ 2.872.006
Conjunto Motor - Bomba 2 HP	\$ 463.000	10	\$ -	\$ 46.300	\$ 231.500	\$ 277.800
Filtro Y225	\$ 36.900	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Estanque Agua Pioneer	\$ 20.900.000	20	\$ -	\$ 1.045.000	\$ 5.225.000	\$ 6.270.000
Impulsor Bomba	\$ 583.900	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Sello Mecánico	\$ 318.450	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Eje de Cuerpo de Rodamiento	\$ 167.500	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Rodamientos	\$ 67.460	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
O'Rings	\$ 46.510	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flexible Omega	\$ 280.510	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Tuerca eje 3/8"	\$ 11.420	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Cuerpo Bomba - AISI 316	\$ 1.010.900	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Cuerpo Union - AISI 316	\$ 434.687	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Cuerpo Rodamiento - AISI 316	\$ 242.450	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mano de Obra + Ingeniería	\$ 369.404.278	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTALES	\$ 398.754.642	20	\$ -	\$ 19.937.732	\$ 59.813.196	\$ 338.941.446

Fuente: Elaboración propia.(2024)

3.3.6 Plan de mantenimiento

De acuerdo con la tabla que se muestra a continuación, se observan los costos asociados al plan de mantención, el cual debe ser efectuado cada dos meses, debido a la disposición de lodos en las piscinas de decantación y acumulación de sedimentación en el estanque de agua obteniendo un costo de mantención de \$9.980.330 efectuado cada dos meses, por cuatro turnos.

Tabla 3-14 Plan de mantenimiento.

PLAN DE MANTENIMIENTO			
DETALLE	VALOR AL AÑO EN PESOS		
MANO OBRA DIRECTA			
Detalle	Valor HH	Recurso Hora	Total
Mecánico T1	\$ 9.067	2,5	\$ 22.669
Mecánico T2	\$ 9.067	2,5	\$ 22.669
Operador	\$ 11.084	2,5	\$ 27.710
MANO OBRA INDIRECTA			
Prevencionista	\$ 8.547	2,5	\$ 21.368
Supervisor	\$ 16.534	2,5	\$ 41.334
GASTOS DE FABRICACIÓN			
Pala Punta Huevo	\$		20.940
Empresa Externa	\$		2.000.000
Repuestos	\$		125.990
Grasa MOBIL POYREX- EM	\$		212.403
TOTALES	\$		9.980.330

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.7 Flujo de caja

En base a la evidencia del flujo de caja presentado, se observa que el proyecto es viable en base al tiempo donde se establecen los siguientes flujos netos de efectivo:

- Año 1: \$275.092.456
- Año 2: \$275.092.456
- Año 3: \$275.092.456
- Año 4: \$275.092.456
- Año 5: \$614.033.902

Estos flujos netos de efectivo serán utilizados para calcular V.A.N y T.I.R del proyecto.

Tabla 3-15 Flujo de caja.

ESTADO DE FLUJO DE CAJA						
ITEM	2021	2022	2023	2024	2025	2026
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS						
AHORRO DE COSTOS		\$ 285.072.786	\$ 285.072.786	\$ 285.072.786	\$ 285.072.786	\$ 285.072.786
EGRESOS		\$ 29.918.062	\$ 29.918.062	\$ 29.918.062	\$ 29.918.062	\$ 29.918.062
PLAN DE MANTENIMIENTO		\$ 9.980.330	\$ 9.980.330	\$ 9.980.330	\$ 9.980.330	\$ 9.980.330
OTROS						
DEPRECIACIÓN		\$ 19.937.732	\$ 19.937.732	\$ 19.937.732	\$ 19.937.732	\$ 19.937.732
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$ 255.154.724	\$ 255.154.724	\$ 255.154.724	\$ 255.154.724	\$ 255.154.724
IMPUESTO A LA RENTA		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD DESPUES D IMPUESTO A LA RENTA		\$ 255.154.724	\$ 255.154.724	\$ 255.154.724	\$ 255.154.724	\$ 255.154.724
MÁS DEPRECIACIÓN		\$ 19.937.732	\$ 19.937.732	\$ 19.937.732	\$ 19.937.732	\$ 19.937.732
INVERSIONES	\$-398.754.642					
ACTIVOS FIJOS	\$-398.754.642					
CAPACITACIONES						
VALOR DE RESCATE DEL PROYECTO DE ACTIVOS FIJOS						\$ 338.941.446
FLUJO DE CAJA	\$-398.754.642	\$ 275.092.456	\$ 275.092.456	\$ 275.092.456	\$ 275.092.456	\$ 614.033.902

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.8 Criterios de evaluación del proyecto

Para la evaluación del proyecto se considerarán tres criterios de evaluación: Valor Actual Neto (V.A.N), Tasa Interna de Retorno (T.I.R) y Periodo de Recuperación de Inversión (P.R.I). Estos criterios permitirán la determinación de la rentabilidad de la mejora propuesta mediante la visión de la inversión a efectuar para el comienzo y ejecución del proyecto.

3.3.8. Cálculo del V.A.N (Valor Actual Neto)

Determinar el valor actual neto del proyecto en base a las proyecciones de los distintos flujos de caja confeccionados anteriormente. Se calculará en primera instancia el VAN en base a la tasa establecida de un 27%, donde se observa un valor actual neto positivo el cual es un indicador de la viabilidad del proyecto propuesto, con un valor de \$414.309.374.

Además, Tasa de descuento (d) para el proyecto con un interés interanual de i en 37% se obtiene

$$d = \frac{i}{(1+i)} \rightarrow d = \frac{0,37}{(1+0.37)} = 0,27 = 27\%$$

Tabla 3-16 Evaluación del proyectoV.A.N.

EVALUACIÓN DEL PROYECTO				
CÁLCULO DEL V.A.N	FLUJO DE CAJA NETO	TASA DE DESCUENTO	FACTOR DE DESCUENTO	VALOR ACTUAL
0	\$ -398.754.642	27%	1,00	\$ -398.754.642
1	\$ 275.092.456	27%	1,27	\$ 216.608.233
2	\$ 275.092.456	27%	1,61	\$ 170.557.664
3	\$ 275.092.456	27%	2,05	\$ 134.297.373
4	\$ 275.092.456	27%	2,60	\$ 105.745.963
5	\$ 614.033.902	27%	3,30	\$ 185.854.784
			V.A.N (27%) en pesos	\$ 414.309.374

Fuente: Elaboración propia. (2024)

3.3.9 Cálculo del T.I.R. (Tasa Interna de Retorno)

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR), busca evaluar el proyecto en base a la tasa de rendimiento por periodo, esta representa la tasa de interés mayor que un inversionista podría costear sin perder dinero. En base a los resultados de la tabla de cálculo de T.I.R, se evidencia que la T.I.R encontrada de 68% es mayor a la T.I.R propuesta de 27% concluyendo que el proyecto es rentable para la empresa.

Tabla 3-17 Cálculo Tasa de interes de retorno.

CALCULO DE T.I.R	
0	\$ -398.754.642
1	\$ 275.092.456
2	\$ 275.092.456
3	\$ 275.092.456
4	\$ 275.092.456
5	\$ 614.033.902
T.I.R	68%

Fuente: Elaboración propia (2024) el perido de tiempo en años es: 1,2,3,4 y 5

3.3.10 Periodo de Recuperación de Inversión (P.R.I)

El criterio o instrumento de recuperación de inversión tiene como finalidad la

determinación de periodos necesarios, o bien realizar una medición de estos en base a los flujos netos de efectivo para recuperar el costo o inversión inicial. En base a los resultados se evidencia que a partir del tercer año se obtendrá un porcentaje de ganancia, pero no la recuperación total de inversión, en este caso la recuperación de costos será a partir del quinto año.

Tabla 3-18 Perido de recuperación de inversión.

PERÍODO DE RECUPERACION DE LA INVERSIÓN	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO	COMPARACIÓN CON LA INVERSIÓN	INVERSIÓN
			\$ 398.754.642
1	\$ 216.608.233	\$ -182.146.410	
2	\$ 170.557.664	\$ -11.588.746	
3	\$ 134.297.373	\$ 122.708.627	
4	\$ 105.745.963	\$ 228.454.590	
5	\$ 185.854.784	\$ 414.309.374	
		P.R.I.	5 años

Fuente: Elaboración propia. (2024)

4. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO

En resolución de la presente investigación y mejora propuesta mediante lo anteriormente descrito en los diferentes capítulos se puede concluir que la mejora propuesta contribuye a la reducción de horas respecto al procedimiento de lavado de equipos en base al análisis efectuado respecto a la integración de otra bomba centrífuga, proponiendo en funcionamiento dos bombas centrífugas horizontales marca VOGT N/631 para el tramo de alimentación al monitor manual, y la proposición del cambio de tuberías del tramo de descarga, siendo estas de un acero ASTM A-53B DE 6”

¿cuánto es la mejora en reducción de tiempo en [h] o [%] respecto a la base?

. Esto es variable en base al caudal que el equipo debe de pasar de una zona a otra debido a la magnitud de trabajo que este asignado en la planta. En porcentaje mejora un 15% con respecto al valor inicial porque el tiempo de repuesto de mantener en flujo es más corto en el proceso operativo.

Por otro lado, la sección de suministro de agua de la cuenca tiene una capacidad de 90m³, y se propone integrar una bomba sumergible KBZ21.5 y un filtro Y255 en la sección de tubería de reflujo de esta sección, lo que brindará una mejor capacidad de filtración. Respecto al proceso de recirculación y minimización de los contaminantes contenidos en el estanque de decantación que finalmente pasan a formar parte del sedimento del estanque.

Considerando las mejoras propuestas en su conjunto, se puede concluir que mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo conduce significativamente a la optimización del proceso de limpieza del equipo. Sin embargo, siempre que en el proceso se utilice agua filtrada de forma óptima. Los sistemas eficientes de recuperación y reutilización de agua pueden reducir la cantidad y el tipo de lodo que se ha acumulado en los tanques de sedimentación, reduciendo la cantidad de lodo extraído del tanque de agua y reduciendo la carga operativa en el tanque de agua. . Para los operadores encargados de la limpieza y mantenimiento de las placas de limpieza, se optimiza así el manejo de los hidrocarburos presentes en el proceso y se reduce el tiempo de limpieza a 2 horas, lo que se traduce en una óptima adherencia funcional en el proceso de mantenimiento. El tiempo tiene un impacto positivo en los indicadores clave de mantenimiento (KPI), teniendo en cuenta el tiempo dedicado a limpiar equipos y componentes clave como parte del plan de mantenimiento

Lo anteriormente descrito se evidencia mediante los análisis realizados en la ejecución de la investigación, siendo está respaldada mediante los análisis técnicos y mediante la memoria de cálculos efectuada, dejando en evidencia la funcionalidad de los componentes escogidos para la mejora del proceso de lavado y funcionamiento del sistema de bombeo, siendo estos componentes acordes al trabajo esperado del sistema.

Al momento de realizar la disminución de lavado de dos horas a una hora, estos nos permiten que un mantenimiento de un equipo minero se reduzca de doce horas a once horas, si reflejamos esa disminución de 1 hora por los 66 equipos., serian 66 horas más de disponibilidad de la flota completa en operación que corresponde a un 0.17% del tiempo de mantenimiento. Si el 0,17% de disponibilidad del equipo se refleja en valores promedios de la hora de trabajo de los equipos, que es de 580 US/Hrs, nuestros ahorros mensuales serian de 33300 US mensuales aproximadamente.

Respecto al análisis de viabilidad del proyecto, se concluye que la propuesta es óptima y viable financieramente para su ejecución, cumpliendo con los objetivos propuestos respecto a la presente investigación, dando una solución eficaz para la empresa.

5 Bibliografía

- Achierdi RSS. (2016). *Lavado y Limpieza de Equipos Mineros*. Obtenido de <http://achiardi.cl/servicios/lavado-y-limpieza-de-equipos-mineros/>.
- Acosta, P. (2021). *Caída de presión por accesorios*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/ca%C3%ADda-de-presi%C3%B3n-por-accesorios-pol-acosta>.
- ACS Medio Ambiente. (2024). *Desnatador de Aceite Portable Tote-It®:1", 2",4".*. Obtenido de <http://www.acsmedioambiente.com/daceiteportabletote.html>.
- Antucoya - Antoragata Minerls. (<https://web.antucoya.cl/> de 2023). Obtenido de <https://web.antucoya.cl/>.
- Benoit. (2014). *Descripción de partes y piezas de bomba centrífuga para agua*. Obtenido de <https://www.benoit.cl/Bombas2.htm>: <http://www.benoit.cl/LIBRO-HIDRAULICA-BOMBAS%20IDEAL.pdf>
- Blaz, A. (2023). *El punto de operación de las bombas: clave para un rendimiento óptimo*. Obtenido de <https://www.faneci.com/el-punto-de-operacion-de-las-bombas-clave-para-un-rendimiento-optimo/>.
- Centinala. (2023). *Que hacer en el proceso fabricación minero*. Obtenido de <https://web.mineracentinela.cl/nosotros/que-hacemos>.
- David, D. (2016). *Fórmulas para determinación de la potencia de la bomba*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/davidleoduran/frmulas-para-determinacin-de-la-potencia-de-la-bomba>.
- Ecuación de Darct-weisbach - Flujo en conductos cerrados*. (2016). (U. N. Cuyo, Productor) Obtenido de <https://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/conductos-cerrados2016-1a.pdf>.
- Fernández, M. (2020). *¿Qué es el número de Reynolds?* Obtenido de <https://www.aerodinamicaf1.com/2020/10/que-es-el-numero-de-reynolds/>.
- Fesmex. (2020). *Tipo de impulsores*. Obtenido de <https://www.fesmex.com.mx/article/tipos-de-impulsores/>.
- Fluideco. (2019). *¿Qué es una bomba centrífuga?* Obtenido de <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-centrifuga/>.
- Gaete, C. (2019). *Interfaz computacional para gestión de KPI de operaciones de Cargulo y Transporte de Minera Centinela*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas / Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/174418/cf-gaete_cv.pdf?sequence=1
- Garcia, M. (2014). *Deducción de la ecuacion de Darcy-Weisbach*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/mariogll/post-perdida-de-carga>.
- Gg CARGIL. (2021). *NPSH de una bomba centrífuga: disponible y requerido*. Obtenido de <https://gargil.es/npsH-de-una-bomba-centrifuga-disponible-y-requerido/>.
- Hidraulica. (2022). *¿Por qué se produce un golpe de ariete y cómo evitarlo?* Obtenido de <https://grupohidraulica.com/noticias/2022/05/18/por-que-se-produce-golpes-de-ariete-como-evitarlo/>.
- Ielogis. (2022). *Número de Reynolds: qué es y cómo se calcula*. Obtenido de <https://ielogis.com/numero-reynolds-calculo/>.

- Interempresas. (2023). *Cavitación en el bombeo de fluidos*. Obtenido de https://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/34521-Cavitacion-en-el-bombeo-de-fluidos.html.
- Monge, M. (2017). *Fundamentos básicos de hidráulica (I)*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/fundamentos-basicos-hidraulica-i>.
- Munilla, V. (2014). *Principio de Bernoulli: que es y ecuación*. Obtenido de <https://www.geoenciclopedia.com/autor/victoria-munilla-gimenez-9.html>.
- Nunez, R. (2020). *Como leer la curva de rendimiento de una bomba*. Obtenido de https://www.northridgepumps.com/article-261_como-leer-la-curva-de-rendimiento-de-una-bomba.
- Perés, F. (2014). *Aprendice C valores, dell coeficiente "k" para perdidas de energía local*. Obtenido de https://www.academia.edu/7510814/AP%C3%89NDICE_C_VALORES_DEL_COEFICIENTE_k_PARA_P%C3%89RDIDAS_DE_ENERG%C3%8DA_LOCAL.
- Pro-Ambient. (2019). *Estanque de 250 m3 para agua potable y servicios contra incendios de un centro astronómico*. Obtenido de <https://www.pro-ambient.com/project/estanque-de-250-m3-para-agua-potable-y-servicios-contra-incendios-de-un-centro-astronomico/>.
- Rodrigo, R. (2020). *Numero de Reynolds: Definición y ecuación*. Obtenido de https://estudyando.com/numero-de-reynolds-definicion-y-ecuacion/#google_vignette.
- Santos, M., De león, C., Cabral, J., & Pérez, I. (2016). *Procedimiento para el análisis energético de sistemas de bombeo centrífugos*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532016000500015; <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n199.55945>; <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n199.55945>
- SBV industriales. (2021). *Elementos de la curva característica de una bomba*. Obtenido de <https://sbvindustriales.com/2021/05/13/elementos-de-la-curva-caracteristica-de-una-bomba/>.
- Seguridad Minera. (2023). *¿Qué criterios seguir para usar los EPP?* Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/proteccion-personal/que-criterios-seguir-para-usar-los-epp/>.
- Solari, A. (2022). *Bombas y sus componentes*. Obtenido de <https://es.studenta.com/content/111028935/op-1-bombas-alfredo-solari>.
- Teorema. (2019). *Teorema de Torricello, explicación fácil y sencilla*. Obtenido de <https://www.teorema.top/teorema-de-torricelli/>.
- Tiempo Minero. (2020). *4 equipos de protección personal esenciales en minería*. Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/4-equipos-de-proteccion-personal-esenciales-en-mineria/>.
- USI. (2023). *Tubería de acero al carbono ASTM A53 Grado B (tubo a53grb,sa 53 gr.b)*. Obtenido de <https://www.union-steels.com/es/newsdetail/carbon-steel-pipe-astm-a53-grade-b.html>.
- Wikipedia. (2023). *Antofagasta PLC*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Antofagasta_PLC.
- Zumaeta, D. (2023). *Pérdidas de Energía en Bombas Hidráulicas Centrífugas*. Obtenido de <https://view.genial.ly/64a41e49fbc26e0018f11b63/interactive-content-perdidas-de-energia-en-bombas-hidraulicas-centrifugas>.

