

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

Proponer técnicamente bombas para el movimiento de concentrado a escala laboratorio

Trabajo de Titulación para optar al Título
Técnico Universitario en Minería y
Metalurgia

Alumnos:

Nicolas Rodrigo Espejo Chang

Francisco Alejandro Rojas Castro

Profesor Guía:

Ingeniero Erik Kohnenkamp

2021

Agradecer a todas las personas incluyendo a mi familia y amigos que estuvieron siempre conmigo apoyándome en esta etapa y en este logro, y a todas las personas que siempre me aconsejaron a que siguiera mis sueños y metas y que nunca me rindiera esto va dedicado a todos ellos.

RESUMEN

El presente trabajo busca implementar una bomba de movimiento de concentrado o pulpa a escala laboratorio, por lo cual se usarán bombas del mercado, para poder ver, su funcionamiento y diferencias entre ellas y así poder seleccionar la adecuada, teniendo en consideración un caudal de escala industrial al igual que la altura, además de utilizar las variables operacionales de las bombas de pulpa.

Teniendo la bomba a escala industrial se aplicarán las leyes de semejanzas de la bomba para poder obtener un caudal a menor escala, utilizando las variables operacionales, y así poder obtener una bomba adecuada a escala laboratorio.

Finalmente, ya obtenida la bomba a escala laboratorio para el movimiento de concentrado, a esta se le realizará un plan de mantenimiento básico, el cual pueda asegurar la durabilidad de la bomba que será utilizada en escala laboratorio.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE GRAFICOS.....	10
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA.....	11
A. SIGLAS.....	11
B. SIMBOLOGÍA.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
PROBLEMÁTICA.....	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	13
CAPÍTULO 1: Bombas de movimiento de concentrado en la industria minera.....	14
1. Funcionamiento de las bombas	14
1.1. PARA QUÉ SIRVEN.....	14
1.2. BOMBAS DE PULPA POR TIPO DE APLICACIÓN	14
1.3. TIPOS DE BOMBAS E INSTALACIÓN	15
Bombas verticales.....	15
Bombas en instalaciones semi – secas.....	16
Instalaciones húmedas	16
1.4. COMPONENTES MECÁNICOS.....	17
Impulsor de la bomba.....	17
Carcasa	18
Sello.....	18
Rodamientos.....	19
Configuración de los rodamientos	19
Accionamiento	19
1.6 Clasificación de las bombas sumergibles.....	20
Tipos de bombas.....	20
• Bombas Sumergible.....	20
• Motobombas.	20
• Bombas de motor húmedo.....	20

• Bombas de motor seco.....	20
Partes de las Bombas	21
Tipo de carcasas.....	23
• Carcasa sólida.....	23
• Carcasa partida	23
1.7 BOMBAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA MINERA MARCA KSB Y CARACTERISTICAS	24
Bomba instalada en seco.....	24
Magnochem-Bloc.....	24
Modelo Bomba instalada en seco	24
KWP-Bloc	24
Bomba instalada en seco.....	25
MegaCPK.....	25
Bomba instalada en seco.....	25
RPH	25
Bomba instalada en seco.....	26
Sewabloc.....	26
BOMBA INSTALADA EN SECO	26
CPKN	26
Bomba instalada en húmedo (sumergible)	27
Motobomba sumergible	27
Bomba instalada en seco.....	27
Omega.....	27
1.8 Bomba seleccionada a escala industrial.....	28
Datos técnicos:.....	28
CAPÍTULO 2: VARIABLES OPERACIONALES Y SELECCIÓN DE BOMBA	29
2.1 PROPIEDADES DEL FLUIDO O MATERIAL A TRANSPORTAR	29
Propiedades de los Sólidos.....	30
PARÁMETROS OPERACIONALES DE LAS BOMBAS	31
Altura de Succión (Hs).....	31
Caudal de trabajo (Q)	31
Potencia (P o N).	31
Leyes de semejanzas de las bombas	32

Selección de bomba	32
Costos de mantenimiento reducidos debido a:	33
Durabilidad debido a:	33
Gran seguridad de funcionamiento mediante:	34
Gran flexibilidad gracias a:	34
Rendimiento y valores NPSH excelentes gracias a:	34
Aplicando Datos	36
Bomba propuesta	37
Diagrama de partes	37
Dimensiones	38
Características:	38
CAPÍTULO 3: MANTENIMIENTO BASICO PARA MANTENER LA DURABILIDAD DE LA BOMBA	41
MANTENIMIENTO DE UNA BOMBA	41
TIPOS DE MANTENIMIENTOS A LA BOMBA	42
FALLAS PRINCIPALES DE LAS BOMBAS	42
CAVITACIÓN	42
SINTOMAS DE CAVITACIÓN	43
Vibración y Ruido anormal:	43
DAÑOS A COMPONENTES POR CAVITACIÓN	43
Corrosión con cavitación	43
CORROSIÓN	44
¿Cómo realizar el mantenimiento de una bomba sumergible?	45
Síntomas a tener en cuenta en el mantenimiento de una bomba sumergible	45
Análisis de Fallas de Electrobomba sumergible	46
1- Fenómeno de falla	48
No Flujo o menos flujo.....	48
2- Fenómeno de falla:	48
3- Fenómeno de falla:	48
4- Fenómeno de falla:	48
5- Fenómeno de falla:	49
6- Fenómeno de falla:	49
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	50

Mantenimiento diario	50
Mantenimiento mensual	50
Conclusiones y Recomendaciones	51
Conclusión general	51
Bibliografía	52
ANEXO:	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Instalación en seco	15
Ilustración 2: Instalación Vertical	15
Ilustración 3: Instalación semi seca.....	16
Ilustración 4: instalación en húmedo.....	16
Ilustración 5: Impulsor	17
Ilustración 6: Carcasa	18
Ilustración 7: Ubicación del sello.....	18
Ilustración 8: Accionamiento	19
Ilustración 9: Partes de bomba sumergible	21
Ilustración 10: Características de bomba sumergible	22
Ilustración 11: implosión	42
Ilustración 12: Diagrama de Ishikawa	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Densidad según mineral.....	30
Tabla 2: Concentrados del proceso de flotación a escala industrial.....	32
Tabla 3: Características de electrobomba sumergible de escala laboratorio.....	40
Tabla 4: Posibles problemas y solución de la electrobomba sumergible.....	41

ÍNDICE DE GRAFÍCOS

Gráfico 1: Curva de bomba Omega.....	33
--------------------------------------	----

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

ISO: International Organization for Standardization (Organización internacional de estandarización).

EPP: Equipo de protección personal.

HP: Caballos de fuerza.

DIN: Instituto Alemán para la Normalización.

ANSI: Instituto de Estándares Nacionales Americanos.

B. SIMBOLOGÍA

l/min: Litros en minutos

INTRODUCCIÓN

Cuando el mineral se extrae de la mina, posee cantidades elevadas de minerales con valor comercial y minerales estériles, los cuales no tienen valor comercial, es necesario seguir procesos metalúrgicos, Porque con estos se logra obtener la separación de minerales, y gracias a estos procesos se obtiene el producto deseado. Previamente a los procesos metalúrgicos tenemos el mineral, el cual es acopiado por un equipo de carguío, luego el mineral, es llevado al primer proceso metalúrgico, que es la conminución, en el cual el mineral es reducido de tamaño mediante un chancador los cuales pueden ser uno o más, el chancador cumple la función de triturar el mineral, para disminuir su tamaño. Posteriormente el proceso de molienda, en el cual ingresa el mineral que viene desde el chancador a un molino, el cual disminuye aún más su granulometría, luego se continúa con el siguiente proceso metalúrgico que es o son las celdas de flotación, las cuales me permiten separar el mineral que tiene valor comercial del que no mediante reactivos, este proceso entrega un producto llamado pulpa es llevada con bombas de extracción, debido a que son de varias celdas de flotación al siguiente proceso de espesamiento y filtrado donde aquí se separa el agua del concentrado.

Por ende, es necesario conocer el uso y características de las bombas, ya que permiten el movimiento del concentrado dentro de la planta metalúrgica. Además, son parte fundamental en el proceso metalúrgico, debido a que nos ayudan en el movimiento del concentrado, que proveniente de la celda de flotación, es que se debe comprender su funcionamiento por completo.

PROBLEMÁTICA

No existen bombas para desarrollar actividades de laboratorio, que permitan modelar el transporte de pulpa o concentrado, y deben ser bombas relativamente económicas, para poder comprar en cantidad para permitir trabajar en simultáneo con varios grupos.

OBJETIVO GENERAL

Instalar bomba adecuada para experimentos con flujo de concentrado, a escala laboratorio, para el uso pedagógico considerando variables técnicas, además un mantenimiento básico para asegurar la durabilidad de esta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los tipos de bombas que existen en el mercado, para el movimiento de concentrado, mediante características técnicas, para lograr una mejor eficacia al momento de trabajar.
- Determinar parámetros operacionales de las bombas de movimiento de concentrado, utilizando información industrial, para obtener variables operacionales relevantes y medidas de mantenimiento.
- Establecer actividades básicas de mantenimiento y de laboratorio, para la bomba seleccionada, utilizando distintas normas y documentos oficiales.

CAPÍTULO 1: Bombas de movimiento de concentrado en la industria minera

1. Funcionamiento de las bombas

Las bombas de movimiento de pulpa, son una versión más pesada y resistente de las bombas centrífugas, capaces de admitir materiales duros y abrasivos. Al utilizar la conversión de energía cinética de rotación, en energía hidrodinámica del flujo de fluido, las bombas centrífugas para pulpa aceleran el flujo de fluido a lo largo de las tuberías. La rotación de la bomba, y, por lo tanto, la energía de rotación, normalmente se crea mediante el motor eléctrico que impulsa el eje de la bomba a través, de una transmisión por correa V. El fluido ingresa de forma axial en el ojo del impulsor de la bomba, que, por su rotación, actúa tangencial y radialmente sobre el fluido. El fluido es acelerado por el impulsor, ganando velocidad, fluyendo de manera radial hacia el interior de la cubierta, desacelerando, pero aumentando la presión. Al ser presurizado, sale de la voluta. El fluido desplazado en el cabezal de la bomba, es reemplazado por la presión atmosférica y la presión estática que actúan sobre el fluido en el sumidero, empujándolo hacia el impulsor.

1.1. PARA QUÉ SIRVEN

Bombas de pulpa por tipo de servicio, el término "bombas de pulpa" engloba a distintos tipos de bombas centrífugas para servicios pesados que se emplean para, el transporte hidráulico de sólidos. Para precisar su denominación se pueden clasificar en función de los sólidos que admiten las distintas aplicaciones de bombeo. Las bombas de pulpa se emplean para el bombeo, de barro/arcilla, y arena con un tamaño de sólidos de hasta 2 mm (malla 9).

1.2. BOMBAS DE PULPA POR TIPO DE APLICACIÓN

Las aplicaciones de los procesos, permiten precisar también terminológicamente el nombre de las bombas. Las bombas de espuma definen, por su aplicación, el tipo de pulpa que admiten, espumosos y principalmente flotantes. Las bombas de transferencia de carbón definen el transporte hidráulico suave de carbón en circuitos de CIP (carbón en pulpa) y CIL (carbón en lixiviación). Las bombas de sumidero, también una denominación estándar, designan a las bombas que funcionan en sumideros en el suelo, bombas con la carcasa sumergida, pero que poseen rodamientos y accionamientos secos. Bombas sumergibles. La unidad entera, incluido el accionamiento, esta sumergida.

1.3. TIPOS DE BOMBAS E INSTALACIÓN

Instalación en seco

La mayoría de las bombas de lodo horizontales, se instalan en seco, dónde el accionamiento y los rodamientos quedan por fuera del lodo y el extremo húmedo está cerrado. Las bombas se instalan libremente, fuera del líquido. Ilustración 1.

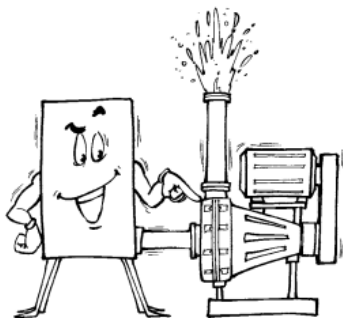


Ilustración 1: Instalación en seco

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

Bombas verticales

La bomba vertical para tanques, funciona en sumideros abiertos con la carcasa montada directamente sobre la parte inferior del tanque. El eje ofrece un diseño en voladizo, con el alojamiento de los rodamientos y el accionamiento montados sobre el tanque, y el impulsor que gira en el interior de la carcasa de la bomba. El lodo se transporta desde el estanque por el extremo húmedo, alrededor del eje, y se descarga horizontalmente por la boca de salida.

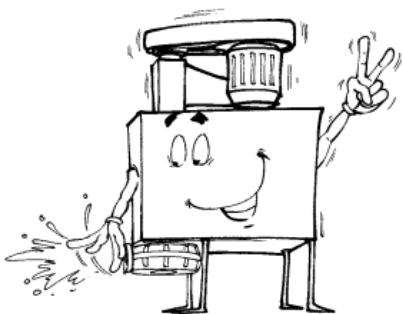


Ilustración 2: Instalación Vertical

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

Bombas en instalaciones semi – secas

En aplicaciones de dragados, puede emplearse un diseño especial, en el que las bombas horizontales se instalan con el extremo húmedo, (y los rodamientos) dentro del líquido. Esto requiere un diseño especial, que permita el sellado de los rodamientos. Ilustración 3.

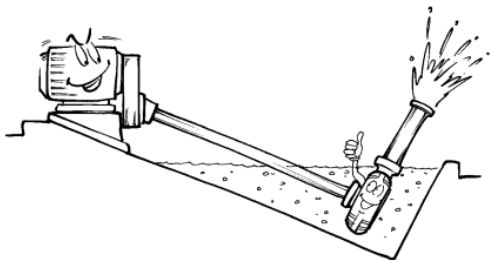


Ilustración 3: Instalación semi seca

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

Instalaciones húmedas

Existen distintas aplicaciones que requieren bombas totalmente sumergibles. Por ejemplo, para el transporte de pulpa, en sumideros con grandes fluctuaciones en el nivel de lodo. En este caso la carcasa y el motor están inundados y se requieren diseños especiales para su sellado. Ilustración 4.

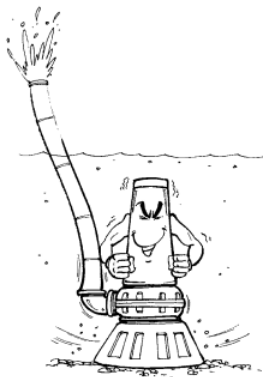


Ilustración 4: instalación en húmedo

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

1.4. COMPONENTES MECÁNICOS

Si se compara, con la mayoría de los equipos de proceso, el diseño de una bomba para extracción de pulpa, es sencillo. A pesar de la simplicidad de su diseño, existen pocas máquinas en la industria pesada, que trabajen en condiciones tan extremas. Las bombas de pulpa y sus sistemas, son fundamentales en los procesos húmedos. Para poder funcionar el 100% del tiempo de trabajo, que depende de las condiciones variables de caudal, volumen de los sólidos, etc.

COMPONENTES BÁSICOS

- El impulsor
- La carcasa
- Los sellos
- El ensamblaje de rodamientos
- El accionamiento

Impulsor de la bomba

Impulsor es igual a convertidor de energía. La función del movimiento rotativo del impulsor, es transferir la energía cinética, a la masa del lodo y acelerar su movimiento.

Una parte de esta energía cinética, se convierte en energía de presión, antes de abandonar el impulsor. Aparte de la estricta transformación hidráulica, en las bombas de pulpa se logra esto parcialmente, debido a la capacidad especial de los sólidos del propio lodo, para transportar energía por las fuerzas de arrastre hidráulico. Estas fuerzas de arrastre se usan en varias máquinas hidráulicas para procesos húmedos, (clasificadores, clarificadores, separadores, etc.) Ilustración 5.

Número de paletas del impulsor

Un mayor número de paletas aumenta la eficacia, esto quiere decir que siempre se usa el número máximo de paletas, cuando esta opción es práctica. El número máximo de álabes, en la práctica, es de cinco y se emplean en impulsores metálicos de un diámetro superior a 300 mm y de caucho de un diámetro superior a 500 mm.

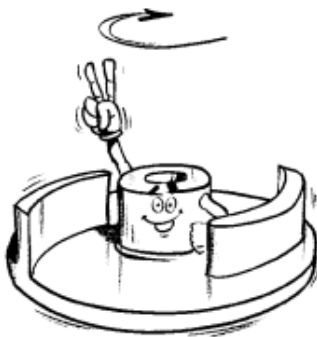


Ilustración 5: Impulsor

Fuente: PDF, Metso, bombas pulpa



Figura 1: Impulsor

Fuente: PDF, Metso, Bombas pulpa

Carcasa

Una de las funciones de la carcasa, es recoger el caudal proveniente de toda la circunferencia del impulsor, convirtiéndolo en un patrón de caudal deseable y dirigiéndolo a la descarga de la bomba. Otra función importante es reducir la velocidad de caudal y convertir su energía cinética, en energía de presión. La carcasa y el impulsor se combinan para ofrecer el mejor patrón de caudal (y conversión de energía) posible. Ilustración 6.

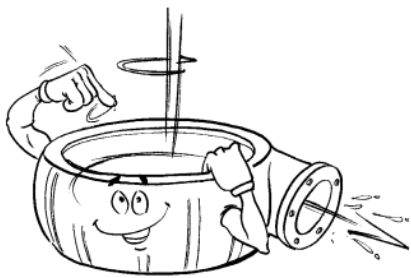


Ilustración 6: Carcasa

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

Sello

La función básica del sello del eje, es simplemente tapar el agujero por donde se introduce el eje en la carcasa, para minimizar o detener cualquier fuga. Ilustración 7

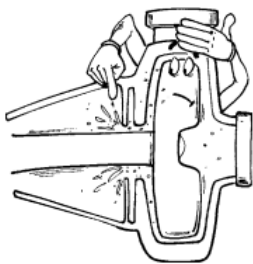


Ilustración 7: Ubicación del sello

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

Rodamientos

Configuración de los rodamientos

Las cargas radiales en los servicios, como el llenado de filtros de prensa y presurizado, se encuentran proporciones de flujo bajas, a elevadas alturas de cabeza, las cargas radiales del impulsor son altas y los arreglos dobles de rodamientos, son utilizados en el extremo húmedo, para dar una vida L10 de 40.000 horas (es decir 10% de falla en 40.000 horas).

Las cargas axiales en los servicios como el bombeo, en series multietapas, donde, cada bomba sigue inmediatamente a la otra, es decir, las bombas no están espaciadas bajo línea, se encuentran proporciones de flujo bajas, a elevadas alturas de cabeza, las cargas radiales del impulsor son altas y los arreglos dobles de rodamientos, son utilizados en el extremo húmedo para dar una vida L10 de 40.000 horas (es decir 10% de falla en 40.000 horas).

Para reunir el requisito mínimo de vida del rodamiento, pueden requerirse rodamientos dobles en el extremo seco.

Accionamiento

El accionamiento indirecto, se emplea en bombas horizontales y verticales, comprendiendo el motor en varios arreglos de accionamiento y la transmisión (correas-V / Polybelt o caja de engranajes). El accionamiento directo, se utiliza siempre en bombas sumergibles y cuando sea necesario, en la aplicación de las bombas horizontales y verticales, además el accionamiento ha sido una parte integral de las bombas, dando restricciones en el suministro de componentes y del ajuste de la capacidad de bombeo. Ilustración 8.

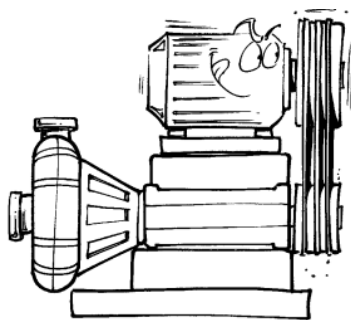


Ilustración 8:Accionamiento

Fuente: PDF, Metso, bombas para pulpa

1.6 Clasificación de las bombas sumergibles

Se pueden clasificar, principalmente, en dos grandes grupos:

Tipos de bombas

- **Bombas Sumergible.**

Útiles para bombear agua de pozos, piscinas, o depósitos de agua. Son eléctricas, ya que se sumergen en el líquido a bombear. Los aspectos más importantes: Potencia, longitud de la cuerda de suspensión, el caudal máximo litros/hora, longitud del cable de corriente eléctrica, profundidad máxima a la que se pueden sumergir, si son para instalación fija o portable. Otro aspecto si son automáticas o si tienen sistema de seguridad de paro, en caso de que la bomba se quede sin agua, normalmente tienen una boya flotante y cuando el nivel del agua baja hasta cierto punto, la bomba para automáticamente.

- **Motobombas.**

Funcionan con gasolina. Utilizan motores de 2 o 4 tiempos. Se utilizan en sitios donde no se posee de energía eléctrica, ni de generador eléctrico, en este tipo de bombas el precio también varía en función de la potencia, pero en este caso se mide en CV. La potencia puede variar entre 1.5 y 13 CV. El precio de este tipo de bombas suele ser más caro, suelen tener un uso más industrial y obtienen un caudal máximo superior. Se suelen usar para (extinción de incendios, suministro de hormigoneras, riego por aspersión, transvase de agua, bombeo de agua en pozos, bombeo de aguas residuales, bombear gases y bombear lodos).

- **Bombas de motor húmedo.**

Es el tipo más común de encontrar. El motor se monta acoplado a la carcasa, por la parte de abajo, estando en contacto con el líquido que pasa por el interior de la bomba. En este tipo de aparatos, hay que extremar las precauciones de seguridad en cuanto al aislamiento de las partes eléctricas.

- **Bombas de motor seco.**

En este caso, el motor se monta acoplado en la parte superior de la carcasa. Está separado de las piezas de bombeo, por un cilindro lleno de aire, la base del cual cuenta con orificios. Al sumergirse la bomba, el aire (gas) queda atrapado en la pieza cilíndrica, manteniendo una presión desde el interior que impide al agua pasar al compartimento del motor. Ver figura 2 a ilustración 9.

Partes de las Bombas

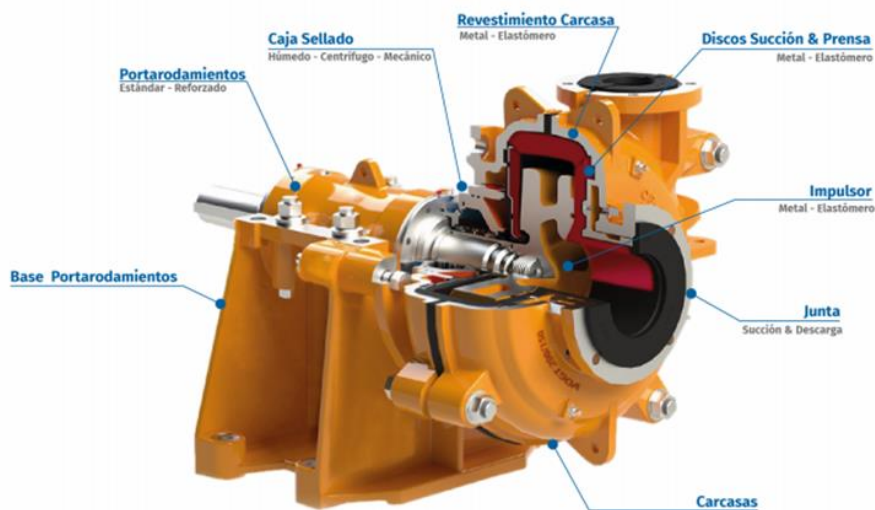
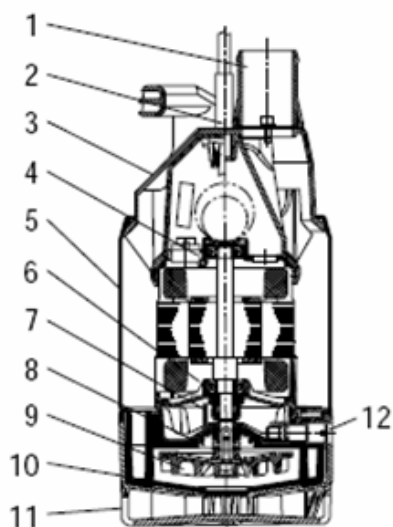


Figura 2: Partes de una bomba centrífuga

Fuente: PDF de Ceinmant Mantenimiento-Confiabilidad

PARTES DE UNA BOMBA SUMERGIBLE



	Descripción
1	Conexión de descarga
2	Entrada del cable
3	Manija/cubierta
4	Cojinete de soporte
5	Carcasa de la bomba
6	Cojinete principal
7	Sello mecánico interior
8	Sello mecánico exterior
9	Impulsor
10	Cubierta de succión
11	Colador
12	Tapón de aceite

Ilustración 9: Partes de bomba sumergible

Fuente: blog de bombas sumergibles, acueductos y cloacas

Características

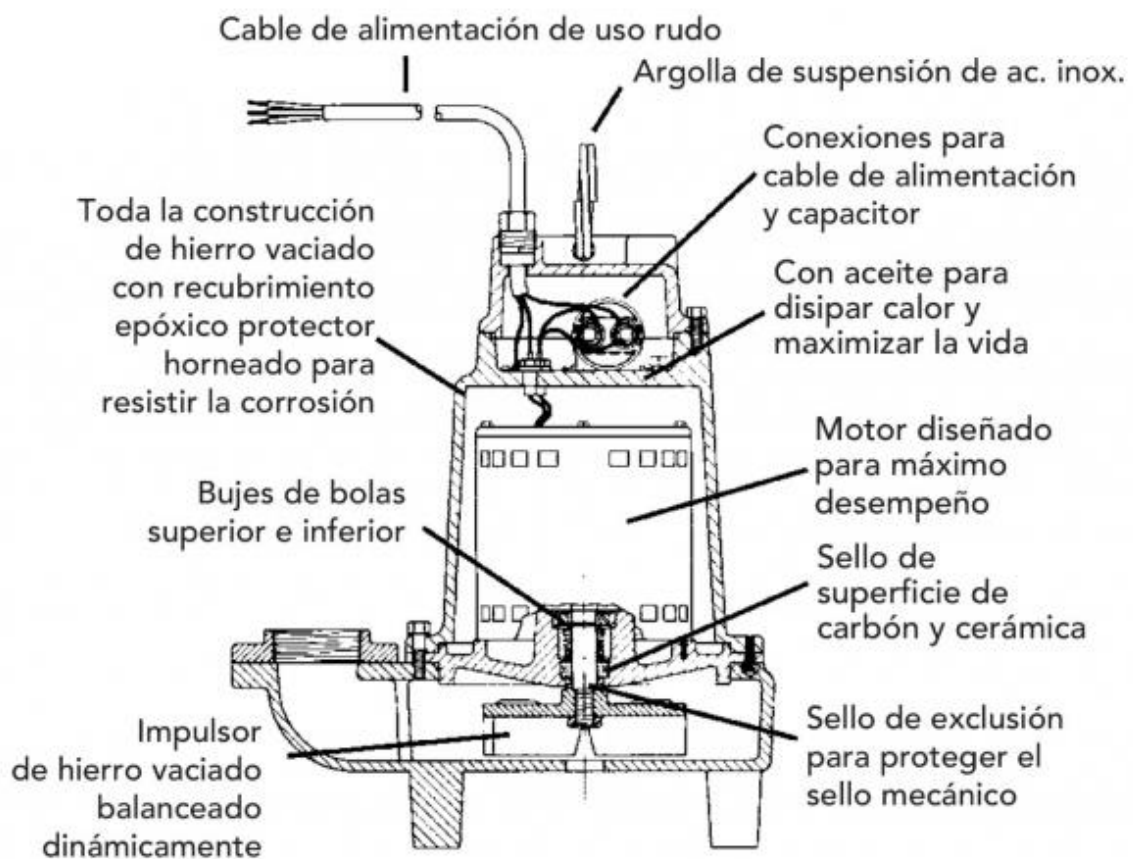


Ilustración 10: Características de bomba sumergible

Fuente: Productos Y Servicios Ambientales, S.A. De C.V

Tipo de carcasas

Los tipos de carcasas, son solicitados por las necesidades de mantenimiento de los componentes de las bombas de pulpa.

- **Carcasa sólida**

Este tipo de carcasa, es de fabricación económica y se utiliza cuando no hay requerimientos especiales de mantenimiento en las bombas de pulpa.



Figura 3: Bomba de pulpa con carcasa sólida

Fuente: Página web Industriaminera.cl

- **Carcasa partida**

Este tipo de carcasa, sólo será necesario, en casos especiales donde, por la aplicación, las bombas requieran un alto grado de mantenimiento. La carcasa partida, aumenta el precio de la bomba de pulpa.



Figura 4: Bomba de pulpa con carcasa partida sólida

Fuente: Página web KSB

1.7 BOMBAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA MINERA MARCA KSB Y CARÁCTERÍSTICAS

Bomba instalada en seco

Magnochem-Bloc

Bomba horizontal o vertical de voluta, sin sellado del eje, monobloc, de arrastre magnético, con impulsor radial, de aspiración simple.

Datos técnicos:

- Caudal máx. bomba 754 m³/h
- Altura máx. elevación 236 m
- Presión máx. 40 bar
- Temperatura máxima Fluido 200 °C



Figura 5: Bomba de pulpa magnochem-bloc

Fuente: Página web de KSB

Modelo Bomba instalada en seco

KWP-Bloc

Bomba horizontal o vertical de voluta, partida radialmente, monobloc, de aspiración simple con las más diversas geometrías de impulsor: impulsor multicanal cerrado, impulsor de múltiples álabes abierto.

Con accionamiento eléctrico.

Datos técnicos:

- Caudal máx. bomba. 330 m³/h
- Altura máx. elevación. 100 m
- Presión máx. 10 bar
- Temperatura máx. 100 °C



Figura 6: Bomba de pulpa KWP-bloc

Fuente: Página web de KSB

Bomba instalada en seco

MegaCPK

Bomba horizontal de voluta, partida, radialmente, con impulsor radial, de aspiración simple. Disponible también ejecución de eje húmedo y cámara de cierre cónica, un motor síncrono de reluctancia no magnético, con clase de eficiencia, para su uso con sistema de regulación de velocidad de los modelos sin sensores de posición del rotor.

Datos técnicos:

- Caudal máx. bomba 1160 m³/h
- Altura máx. elevación. 162 m
- Presión máx. 25 bar
- Temperatura máx. 400 °C



Figura 7: Bomba de pulpa mega CPK

Fuente: Página web de KSB

Bomba instalada en seco

RPH

Bomba horizontal de voluta, partida radialmente, con impulsor radial, de aspiración simple, disposición centerline con inductor, cuando corresponda.

Datos técnicos:

- Caudal máx. 4800 m³/h
- Altura máx. 270 m
- Pres.máx.110 bar
- Temperatura. máx. 450 °C



Figura 8: Bomba de RPH

Fuente: Página web de KSB

Bomba instalada en seco

Sewabloc

Bomba de voluta horizontal o vertical monobloc, con distintos tipos de impulsor de última generación y brida de impulsión, según la norma DIN y ANSI. Disponible en versión con protección contra explosiones.

Datos técnicos:

- Caudal max. 830 m³/h
- Altura max. elevación 80 m
- Pres. max. 10 bar
- Temperatura. máx. 70 °C



Figura 9: Bombas de pulpa Sewabloc

Fuente: Página web de KSB

BOMBA INSTALADA EN SECO

CPKN

Bomba horizontal de voluta, partida radialmente, con impulsor radial, de aspiración simple.

Disponible variante de eje húmedo, cámara de cierre cónica y/o impulsor semiabierto.

Datos técnicos:

- Caudal máx. bomba. 4800 m³/h
- Altura máx. elevación. 275 m
- Presión máx. 25 bar
- Temperatura máx. 400 °C



Figura 10: Bomba de pulpa CPKN

Fuente: Página web de KSB

Bomba instalada en húmedo (sumergible)

Motobomba sumergible

Amarex KRT

Motobomba sumergible vertical u horizontal, mono etapa, monobloc, con diversos tipos de impulsores de nueva generación, de instalación húmeda o seca, versión estacionaria o transportable, con motor de alta eficiencia energética.

Datos técnicos:

- Caudal máx. 10080 m³/h
- Altura máx. elevación. 120 m
- Presión máx. 12 bar
- Temperatura máx. 60 °C



Figura 11: Motobomba sumergible Amarex KRT,

fuelle: Página web de KSB

Bomba instalada en seco

Omega

Bomba de voluta partida axialmente, mono etapa, para instalación horizontal o vertical, con impulsor radial, de doble aspiración.

Datos técnicos:

- Caudal máx. bomba. 2880 m³/h
- Altura máx. elevación. 220 m
- Presión máx. 25 bar
- Temperatura máx. 140 °C



Figura 12: Bomba de pulpa Omega

fuelle: Página web de KSB

1.8 Bomba seleccionada a escala industrial

Bomba Omega de la marca KSB, la cual consta con características:

Datos técnicos:

- Función del componente Bombear
- Tipo de conexión Entrada Brida
- Con accionamiento eléctrico
- Caudal máx. 2880 m³/h
- Caudal mín. 20 m³/h
- Altura máx. de elevación 220 m
- Alt. elevación. mín. 5 m
- Frecuencia de alimentación 50 Hz, 60 Hz
- Presión máx. 25 bar
- Comportamiento de aspiración normal
- Temperatura máxima 140 °C
- Temperatura mínima 0 °C

Esta bomba Omega es de instalación en seco, consta con bomba de voluta partida axialmente, monoetapa, para instalación horizontal o vertical, con impulsor radial de doble aspiración.

Consta con materiales resistentes a la corrosión y a la abrasión, además de rodamientos protegidos lubricados con grasa permanentemente y también consta con diferentes tipos de instalación verticales y horizontales. Esta bomba es utilizada en la industria minera.

Tiene distintos tipos de RPM como 3500, 2900, 1450, 1750.

CAPÍTULO 2: VARIABLES OPERACIONALES Y SELECCIÓN DE BOMBA

2.1 PROPIEDADES DEL FLUIDO O MATERIAL A TRANSPORTAR

Las pulpas son mezclas de sólidos y líquidos, en forma de suspensiones, de tal forma que sus características y comportamiento se pueden estudiar, en lo que a minería se refiere, como un fluido homogéneo. Es un fluido formado por la suspensión de uno o varios minerales en agua. En la industria se obtienen pulpas con diferentes procesos, procedimientos y composiciones, la cual es una mezcla entre sólido y líquido, con un porcentaje de sólidos entre el 30 y 40%.

Se usa el agua por su disponibilidad, coste y características físico - químicas de densidad, estabilidad, etc. Las pulpas se identifican industrialmente por parámetros como la densidad, viscosidad, capacidad abrasiva, etc. Pero el más relevante, es la densidad media de la pulpa y esta, bajo la consideración de utilizar agua como fluido principal, tendrá los márgenes siguientes.

- Densidad del líquido (agua): 1 kg/l (t/m^3).
- Densidad de los sólidos (minerales o rocas), entre 1,6 y 9, [t/ m^3].
- Densidad media de las pulpas: Intermedia entre la del agua y la del sólido en suspensión, está en el rango de 1,5 y 4,5 t/m^3 .

La densidad, es una característica intrínseca de los cuerpos homogéneos, propia del cuerpo o fluido analizado, y es independiente de la cantidad.

El tamaño de las partículas en suspensión, es muy variable según el proceso, pero se puede dar la referencia en el entorno de las 150 μm para el grano máximo y normalmente un tamaño menor de 75 μm .

Densidades de algunos elementos.

Denominación	Denominación	Densidad (kg/l)
Calcopirita	$CuFeS$	4,1 – 4,3
Pirita	FeS_2	4,9 – 5,2
Magnetita	Fe_3O_4	5,18
Hierro	Fe	7,3 – 7,9
Cobre	Nativo	8,9
Oro	Au	19,3

Tabla 1: Densidad según mineral

Propiedades de los Sólidos

Las propiedades abrasivas de los sólidos, se relacionan en forma directa con la capacidad de la bomba de mantener suficiente presión, mientras aumenta el desgaste del impulsor, de la bomba centrífuga y de la cubierta, en el transcurso del tiempo de operación. Las pulpas también pueden ser corrosivas en su composición química, lo que produce una condición de desgaste del tipo erosión-corrosión. Esto puede ser mucho más agresivo que la erosión o la corrosión, actuando por separado.

Los sólidos pueden variar desde unos pocos micrómetros, a menudo llamados micrones, hasta cientos de milímetros, y los sólidos pueden depositarse cuando viajan a velocidades por debajo de ciertos valores. Las propiedades de la pulpa, por lo tanto, son altamente variables. La pulpa puede comportarse como un fluido newtoniano o no newtoniano. Puede ser abrasivo y/o corrosivo, dependiendo de la composición.

Estándares de alimentación de pulpa en planta minera

TABLE 3.1a Industrial Crushing and Grinding Data for Three Copper Concentrators, 2010. Flotation Details are Given in Table 4.1

Concentrator	Candalaria, Chile	El Soldado, Chile	Los Bronces Chile
Ore treated per year, tonnes	25,000,000 (2001)	7,700,000 (2010)	21,000,000 (2010)

Tabla 2: Concentrados del proceso de flotación a escala industrial

Fuente: Libro Extractive Metallurgy

Sumamos los concentrados de las mineras (Candelaria, El Soldado, Los Bronces), para sacar un promedio general estándar, como estaba en años, lo tuvimos que pasar a días, lo que nos dio 17.900.000 ton/d, luego de ello lo pasamos a horas 2043,4 ton/h.

Calculamos la densidad de la pulpa, teniendo un 35% de mineral, que fue dividido por una densidad y mineral de 3,5. Luego teníamos un 65% de agua, la cual se dividió por su densidad y este cálculo nos dio, una densidad de pulpa de 1,3 ton/ m³.

Estos 2043,38 ton/h, se dividieron por la densidad de la pulpa 1,3 ton/ m³ y esto dio un resultado de como flujo de concentrado 1571,8 m³/h.

PARÁMETROS OPERACIONALES DE LAS BOMBAS

- Presión de operación (H).
- Altura de Succión (Hs).
- Caudal de trabajo (Q).
- Potencia (P).
- Revoluciones por minuto (Rpm)

Altura de Succión (Hs)

Representa la máxima altura, desde donde la Bomba puede extraer el líquido, medida desde el eje de la bomba hasta la superficie libre del líquido y se expresa normalmente en metros.

Caudal de trabajo (Q)

Es el volumen de líquido desplazado por la bomba, en una unidad de tiempo.

- Se expresa generalmente en litros por segundo (l/s), metros cúbicos por hora (m³/h), galones por minuto (gpm), etc.

Potencia (P o N).

Es la relación entre la energía de flujo, proporcionada por la bomba y el tiempo que la misma ha estado en funcionamiento, para comunicar dicha energía.

- $P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$ $P = Q \cdot H \cdot \gamma$

P o N: Potencia (HP)

Q: Caudal (l/s)

H: Altura (m)

ρ : Densidad del Fluido (1000 kg/ m³ en el caso del agua)

g: Aceleración de la Gravedad (generalmente se adopta: 9.81 m/s²)

γ : Peso Específico del Líquido (N/ m³)

Leyes de semejanzas de las bombas

$$\frac{Q1}{Q2} = \left(\frac{W1}{W2}\right) \left(\frac{D1}{D2}\right)^3$$

$$\frac{Bhp1}{Bhp2} = \left(\frac{P1}{P2}\right) \left(\frac{W1}{W2}\right)^3 \left(\frac{D1}{D2}\right)^5$$

$$\left(\frac{Bhp1}{Bhp2}\right) \left(\frac{W2}{W1}\right)^3 \left(\frac{\rho2}{\rho1}\right)^{1/5} = \frac{D1}{D2}$$

Selección de bomba

Tenemos un caudal de 1571,83 m³/h de concentrado, a escala industrial ya determinado; se usará una altura de 28,1 m, de industria de la empresa Codelco Chile- División Teniente, en el proceso de flotación, con esto comparamos las bombas de la marca KSB y se determinó la bomba de instalación en seco Omega.

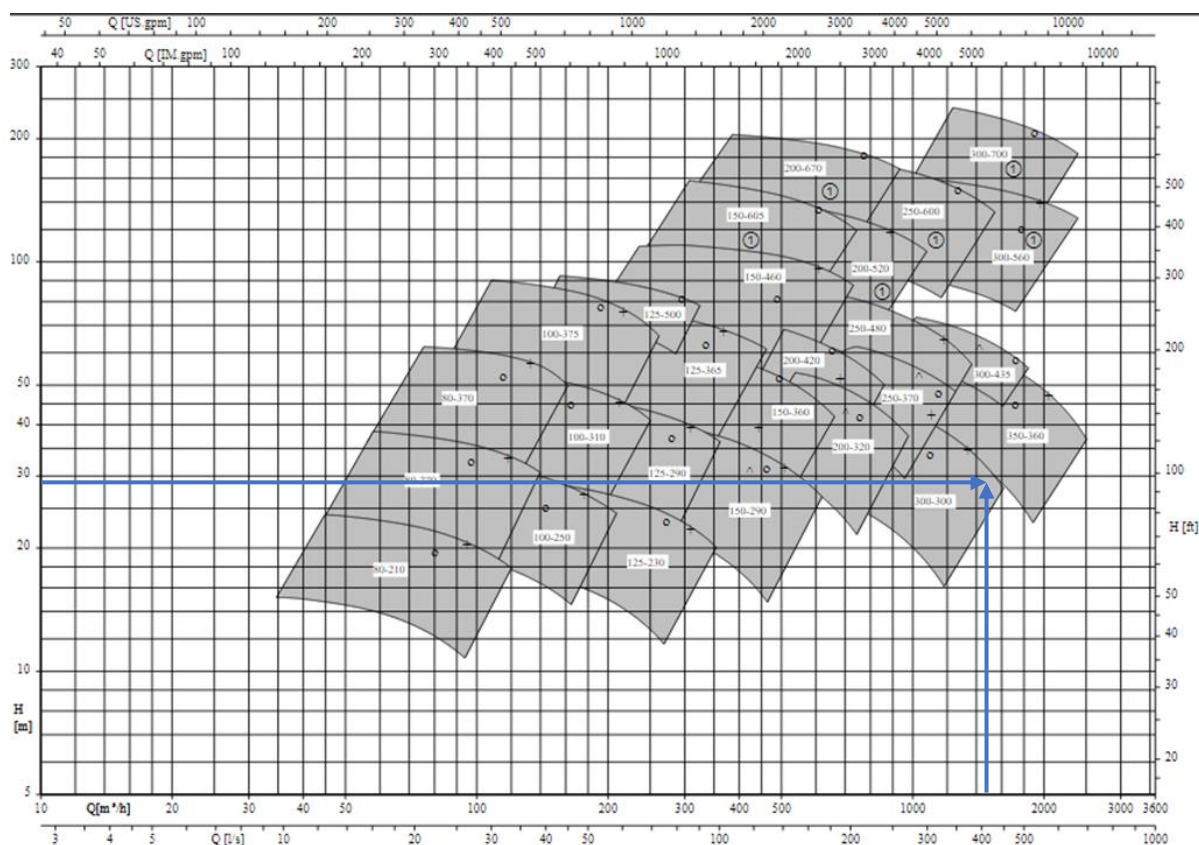


Gráfico 1: Curva de Bomba Omega para determinar serie

Fuente: Pagina Web KSB

Utilizando sus características y gráfico, usando los 1571,83 m³/h de caudal y la altura de 28,1 m, determinamos unas Rpm de 1750 y un tamaño o serie 300-300, luego verificando su tamaño, se concluyó que esta bomba consta con 137,95 Hp de potencia.

Por otro lado, esta bomba Omega, consta con ventajas:

Costos de mantenimiento reducidos debido a:

- Montaje rápido y sencillo con componentes autoalineantes, (parte superior de la carcasa, rotor y tapa de la carcasa).
- Materiales resistentes a la corrosión y a la abrasión.
- Funcionamiento silencioso y sin vibraciones.
- Las piezas de repuesto y sustitución, se pueden utilizar en diferentes tamaños.

Durabilidad debido a:

- Eje seco y hermetizado.
- Distancias entre cojinetes reducidas y un eje corto.
- Rodamientos protegidos, lubricados con grasa permanentemente.

Gran seguridad de funcionamiento mediante:

- Eje rígido sin roscas entre los cojinetes.
- Cojinetes de grandes dimensiones.
- Cierre fiable gracias a la brida parcial maciza.
- Compensación de fuerza axial, mediante rodete de flujo doble.
- Modelo como espiral doble.

Gran flexibilidad gracias a:

- Colocación del accionamiento a la izquierda o a la derecha de la bomba.
- Cierre del eje en forma de empaquetadura, del prensaestopas o cierres mecánicos.
- Diferentes tipos de instalación verticales y horizontales.

Rendimiento y valores NPSH excelentes, gracias a:

- Rodetes optimizados por ordenador.
- Grandes superficies de entrada del rodete, para mejorar el proceso de aspiración.
- Anillos de desgaste y de rodadura intercambiables, de bajo costo.
- Codo de entrada sin remolinos y con escasa pérdida de energía.
- Impulsor torneado en el punto de servicio.
- Varios sistemas hidráulicos por tamaño.

Ahora con la bomba a escala laboratorio se utilizará una Electrobomba sumergible, marca Humboldt modelo XKS-500 PG, la cual consta con unas Rpm de 3400 y una potencia de 0,67 Hp.

Con estos datos, se determinará su caudal en escala laboratorio, sabiendo que caudal máximo de esta electrobomba es de 11,1 m³/h; y para determinar esto, se utilizarán las leyes de semejanzas de las bombas.

Se realizará la combinación de las 2 ecuaciones:

W: Revoluciones por minuto

Q: Caudal (m³/h)

BHP: Potencia

$$\left(\frac{Bhp1}{Bhp2}\right) \left(\frac{W2}{W1}\right)^3 \left(\frac{\rho2}{\rho1}\right)^{1/5} = \frac{D1}{D2}$$

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{W1}{W2} \left(\frac{Bhp1}{Bhp2}\right) \left(\frac{W2}{W1}\right)^3 \left(\frac{\rho2}{\rho1}\right)^{3/5}$$

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{W1}{W2} \left(\frac{Bhp1}{Bhp2}\right)^{3/5} \left(\frac{W2}{W1}\right)^{9/5} \left(\frac{\rho2}{\rho1}\right)^{3/5}$$

$$1 - \frac{9}{5} = \frac{-4}{5}$$

$$\frac{Q1}{Q2} = \left(\frac{W2}{W1}\right)^{4/5} \left(\frac{Bhp1}{Bhp2}\right)^{3/5} \left(\frac{\rho2}{\rho1}\right)^{1/5}$$

La densidad se considera 1, debido a que serán las mismas, porque se preparará el fluido y/o pulpa, con la misma densidad que tenga la minera, que se va a utilizar.

$$\frac{Q1}{Q2} = \left(\frac{W2}{W1}\right)^{4/5} \left(\frac{Bhp1}{Bhp2}\right)^{3/5}$$

Aplicando Datos

$$\frac{1571,83 \text{ m}^3/\text{h}}{Q2} = \left(\frac{3400 \text{ RPM}}{1750 \text{ RPM}} \right)^{4/5} \left(\frac{137,95 \text{ Hp}}{0,67 \text{ Hp}} \right)^{3/5}$$

$$\frac{1571,83}{Q2} = 41,5854$$

$$Q2 = \frac{1571,83}{41,5854}$$

$$**Q2 = 37,8 \text{ m}^3/\text{h}**$$

Estos 37,8 m³/h, será el flujo a transportar en escala laboratorio, pero con la electrobomba que tenemos, contamos con un flujo máximo de 11,1 m³/h como máximo, esto quiere decir, que esta electrobomba sumergible representará 1/4 de este flujo.

$$\frac{37,8}{11,1} = 3,42$$

Bomba propuesta

Electrobomba sumergible escala laboratorio, marca Humboldt Pumps, modelo, XKS-500 PG



Figura 13: Electrobomba sumergible marca Humboldt Pumps

Fuente: Página web de Sodimac

Diagrama de partes

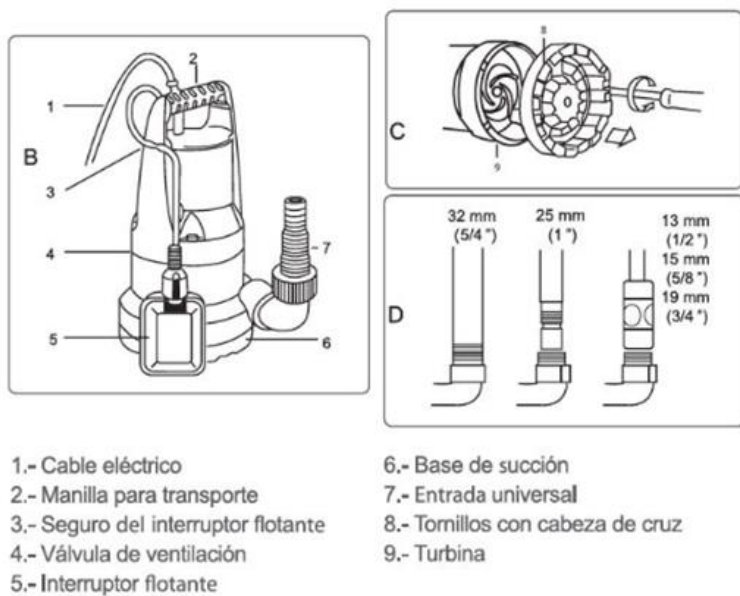


Ilustración 11: Diagrama de partes

Fuente: Página web de Sodimac

Dimensiones

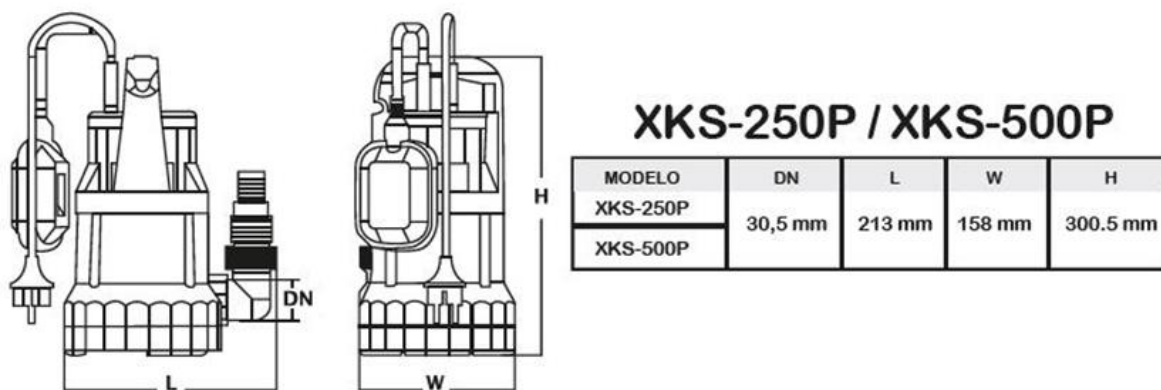


Ilustración 12: Dimensiones de electrobomba

Fuente: Página web de Sodimac

Características:

La Electrobomba sumergible de Humboldt, es de aplicación industrial y doméstica, lo que asegura versatilidad, por otro lado, es capaz de bombear sin que sufra ninguna filtración, ya que su motor sellado, está diseñado para estar totalmente cubierto de agua. Monofásica, se alimenta por red eléctrica y opera con voltaje de 220 V, logrando una alta potencia. Además, es confeccionada en cobre, lo cual básicamente, ofrece una protección contra el agua y el polvo. También, alcanza 9 m de altura de elevación. Y finalmente su carcasa es de acero inoxidable.

XKS-500P	
Marca	Humboldt Pumps
Modelo	XKS-500PG
Tipo de bomba	Sumergible
Voltaje	220v
Frecuencia Nominal	60 Hz
Corriente nominal de trabajo	2,27 A
Corriente de arranque/ Partida	7 A
Potencia Máxima	500 W
Potencia Máxima	0,67 HP
Velocidad máxima admisible	34000 r/min
Torque de operación	0,83 Nm
Torque de partida	0,26 Nm
Temperatura ambiente máxima admisible	+35°C
Temperatura ambiente máxima admisible	0°C
Clase eléctrica	Clase I
Altura máxima	9m
Caudal máximo	185 l/min
Caudal máximo	11,1 m³/h
Diámetro Max. De partículas	5 mm
Diámetro Entrada/ Salida	30,5 mm x 38,1 mm
Diámetro Entrada/ Salida	1 1/4 in x 1 1/2 in
Peso Neto	5,65 kg
Posición de trabajo	Vertical
Temperatura máxima de fluido	35°C
Numero de fases para máquinas de corriente alterna	monofásico
Eficiencia energética a condiciones nominales de operación	48,80%
Factor de potencia nominal	0,99

Tabla 3: Características de la electrobomba sumergible de escala laboratorio

Por otro lado, esta bomba debe ser instalada según nuestro laboratorio dentro de un barril.

Precio referencia de \$74.990.

Tabla 4: Posibles problemas sus causas y solución de la electrobomba sumergible

Problema	Causa probable	Solución
1. La Bomba Eléctrica no bombea el agua, el motor no funciona.	1. El impulsor está bloqueado	Retire posibles obstrucciones del impulsor
	2. El interruptor de seguridad esta activado	Reajuste el interruptor de seguridad
2.la bomba no bombea agua, pero el motor funciona	1.La rejilla de succión esta obstruida	Limpie la rejilla
	2.La válvula de tensión está bloqueada	Limpie o remplace la válvula
	3.Hay aire en el cuerpo de impulsor (burbujas de aire)	Arranque la bomba varias veces con el fin de eliminar todo el aire
3.La bomba suministra una cantidad limitada de agua	1.La rejilla de succión esta parcialmente obstruida	Limpie la rejilla
	2.La tubería esta obstruida	Retire la obstrucción
4. La bomba funciona intermitentemente	1.La temperatura del líquido es demasiado alta	Verificar Temperatura del fluido
	2.El voltaje esta fuera de rango	Conecte la bomba a una fuente de alimentación que coincida con los datos de la placa de características

CAPÍTULO 3: MANTENIMIENTO BÁSICO, PARA MANTENER LA DURABILIDAD DE LA BOMBA

MANTENIMIENTO DE UNA BOMBA

El hecho de que los repuestos y suministro de nuevas bombas, de aleaciones adecuadas y las limitaciones que se presentan con el almacenaje del equipo y sus partes, ha servido para que el mantenimiento sea muy importante, debido a que con este se pueden evitar varios tipos de fallas. La invención de nuevos materiales para hacer reparaciones y cambios, métodos de entrenamiento, son factores que han servido para que los empleados que trabajan en la industria, se den cuenta de la importancia de tener un gran cuidado, con el equipo que está bajo su responsabilidad.

Por otra parte, un sistema de bombeo no se mantiene sólo. La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio. Una bomba que maneje líquidos limpios, no corrosivos, requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo, que tenga que manejar líquidos corrosivos o areniscos.

Una inspección periódica, resulta económica en comparación con las apagadas forzosas, debidas a daños o fallas, de las diferentes partes de la bomba. Las inspecciones de la bomba deben hacerse bimestral o anualmente, según la clase de servicio, mientras más pesado sea el servicio, más frecuentemente debe ser la inspección. La inspección debe ser completa y debe incluir un chequeo cuidadoso de las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias, así como el estado en que se encuentran todas las partes expuestas a roce o a daños causados por pulpa y/o corrosión.

Algo muy importante para el mantenimiento de bombas, es tener establecido un buen programa de mantenimiento.

Debido a que las bombas representan una parte vital de las operaciones de un proyecto y su adquisición constituye un proceso difícil y lento, hay que dedicar atención especial a la operación y al cuidado de las bombas.

TIPOS DE MANTENIMIENTOS A LA BOMBA

- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento preventivo, elabora una orden de trabajo para que una bomba de pulpa se saque de servicio, se desacople, se desarme, se examinen rodamientos, el eje, el impulsor, la carcasa, el acople, etc. como una revisión anual. En el mantenimiento preventivo, es frecuente que en la misma revisión se tome la decisión de cambiar estos elementos u otros.

El mantenimiento correctivo, se realiza al momento en que ocurre una falla a la bomba, para corregir ese problema o falla, corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento, consiste en localizar averías o defectos y repararlo inmediatamente

Las fallas en las bombas, son frecuentemente ocasionadas, cuando no se reconocen las limitaciones inherentes de la capacidad de la bomba

FALLAS PRINCIPALES DE LAS BOMBAS

CAVITACIÓN

Es cuando un fluido, entra en una zona, donde la presión es menor que la presión de vapor del mismo. Este se evapora, generando burbujas suspendidas, las cuales son transportadas por el mismo hacia una zona de alta presión, en donde las paredes de la burbuja colapsan, (implosión) cuando se convierte de vapor a líquido de forma súbita. Cuando las burbujas se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida, al momento de suceder la implosión, las presiones generadas por el líquido al colapsar las paredes de la burbuja, son puntuales y elevadas, generando sobre la pared, desprendimiento de material (picaduras).

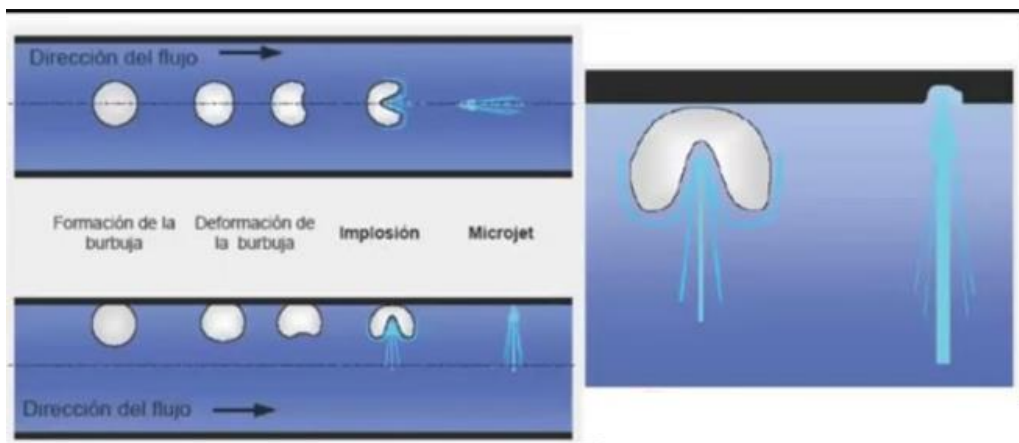


Ilustración 13: Implosión

Fuente: Clase de análisis de falla y error

En la ilustración 11 ,la formación de la burbuja, esta va ir avanzando hasta el final, hasta encontrarse con la pared de la carcasa y tengo el ojo del impulso, nace esta burbuja por una baja de presión, la velocidad hace que se vaya deformando esta burbuja, luego siente la presión de todas las otras gotitas, que es la parte de implosión ,y el espacio que estaba por el gas, se va a llenar de inmediato por el líquido, que está generando esta presión y a esto le llamamos el fenómeno de microjet, que se genera un movimiento tan fuerte a esta burbuja, es tan fuerte, esa fuerza y esa presión, que es capaz de romper el metal finalmente, qué es el metal con que está fabricado el impulsor.

SINTOMAS DE CAVITACIÓN

Las indicaciones perceptibles de la cavitación, son los ruidos y vibraciones más o menos fuertes y el trabajo inestable de la bomba. Se producen fluctuaciones en el caudal y la presión de descarga.

Dependiendo del tamaño y cantidad de burbujas los problemas van desde una pérdida parcial de capacidad, hasta una falla total de bombeo, junto con daños irreparables de los componentes internos de la bomba.

Vibración y Ruido anormal:

El desplazamiento de las burbujas, a muy alta velocidad desde el área de baja presión, hacia una zona de alta presión y el subsiguiente colapso, crea ondas de choque que producen ruidos y vibraciones anormales.

El sonido de la cavitación, puede describirse como algo similar a pequeñas partículas duras, chocando o rebotando rápidamente, en el interior de la bomba.

DAÑOS A COMPONENTES POR CAVITACIÓN

Corrosión con cavitación

Frecuentemente la cavitación, esta combinada con corrosión. La implosión de las burbujas destruye las capas protectoras, dejando a la superficie del metal permanentemente activa, para el ataque químico. En esta condición el material puede sufrir un daño considerable, aun con niveles bajos de cavitación.



Figura 14: Cavitación

Fuente: Imagen extraída de Clase de análisis de fallas

CORROSIÓN

Las bombas pueden experimentar distintos tipos de corrosión

La corrosión por picadura, es la más engañosa y destructiva y muy difícil de predecir. Suele ser sumamente localizada y se nota por agujeros pequeños en su mayoría o grandes y la pérdida de peso, debido a las picaduras, será un pequeño porcentaje del peso total del equipo.

La corrosión por erosión, se caracteriza por un ataque acelerado, ocasionado por la combinación de corrosión y desgaste mecánico. La pueden ocasionar los sólidos en suspensión, la alta velocidad o ambos.

La principal característica de las bombas sumergibles, es que todos sus elementos y motor, se encuentran bajo el agua, en una misma estructura. Estas no llegan a depender jamás de la presión del aire que las rodea, pudiendo impulsar los líquidos en pozos profundos por más de 100 metros, en forma ascendente.

Todas las bombas sumergibles están fabricadas con una carcasa que las cubre de la oxidación y corrosión, por lo que elegir una bomba de agua en particular, va a depender de la potencia y profundidad que se desee alcanzar.

¿Cómo realizar el mantenimiento de una bomba sumergible?

Primero debemos desconectar y bloquear la energía eléctrica, antes de realizar el mantenimiento de la bomba, al igual que al volverla a instalar.

También debemos recordar que cualquier dispositivo que contenga presión, podría explotar, por lo que es prudente consultar la guía de mantenimiento de cada modelo y seguir los pasos indicados por el fabricante.

Luego de comprobar que no existan riesgos de explosión, debemos permitir que la bomba se encuentre a una temperatura adecuada, para manipularla. Abrimos las válvulas, según las indicaciones del fabricante y podemos dar inicio al mantenimiento de la bomba.

Síntomas a tener en cuenta en el mantenimiento de una bomba sumergible

Para realizar un correcto mantenimiento de una bomba sumergible, es necesario estar atento a algunos signos de fallos o menor rendimiento de forma regular. De esta manera se podrá atajar el problema, antes de que sea muy grave.

Menor salida de agua: si no sale nada de agua, es necesario revisar el disyuntor, para ver si se ha disparado. Sin embargo, las posibles causas de una disminución del caudal de salida, pueden ser un nivel bajo de agua o suministro de líquido, una obstrucción de arena u otros materiales, un impulsor restringido o el desgaste general.

Flujo de agua irregular: si el agua se pulveriza en la superficie, es posible que tenga un problema con las tuberías de agua agrietadas, o la bomba sumergible puede tener una válvula de retención rota.

Ruido excesivo: si puedes escuchar el ruido del motor eléctrico. El ruido de la propia bomba, puede deberse a niveles insuficientes de líquido, (si la bomba está bombeando aire durante una parte del tiempo), o puede haber un componente bloqueado o fallando.

Calentamiento excesivo: el sobrecalentamiento de una bomba de agua sumergible, a veces puede indicar que no hay suficiente agua en el pozo, para mantenerla fría o que la bomba está fallando. Si el motor eléctrico se sobrecalienta, es importante revisarlo, para evitar reparaciones o reemplazos más costosos.

Agua turbia u obstrucción: si el líquido que se está bombeando, está inusualmente obstruido o turbio, puede haber un problema con sedimentos en el sistema. Las posibles soluciones pueden incluir cavar un pozo más profundo, para la bomba de agua o enjuagar la bomba, para eliminar cualquier bloqueo.

Facturas de electricidad particularmente altas: las bombas sumergibles, generalmente no funcionan en todo momento, y si esto ocurre, puede ser una señal de que el interruptor o la bomba están fallando. Un mayor uso de electricidad, también podría indicar un bloqueo en el sistema o insuficiencia del impulsor.

Análisis de Fallas de Electrobomba sumergible

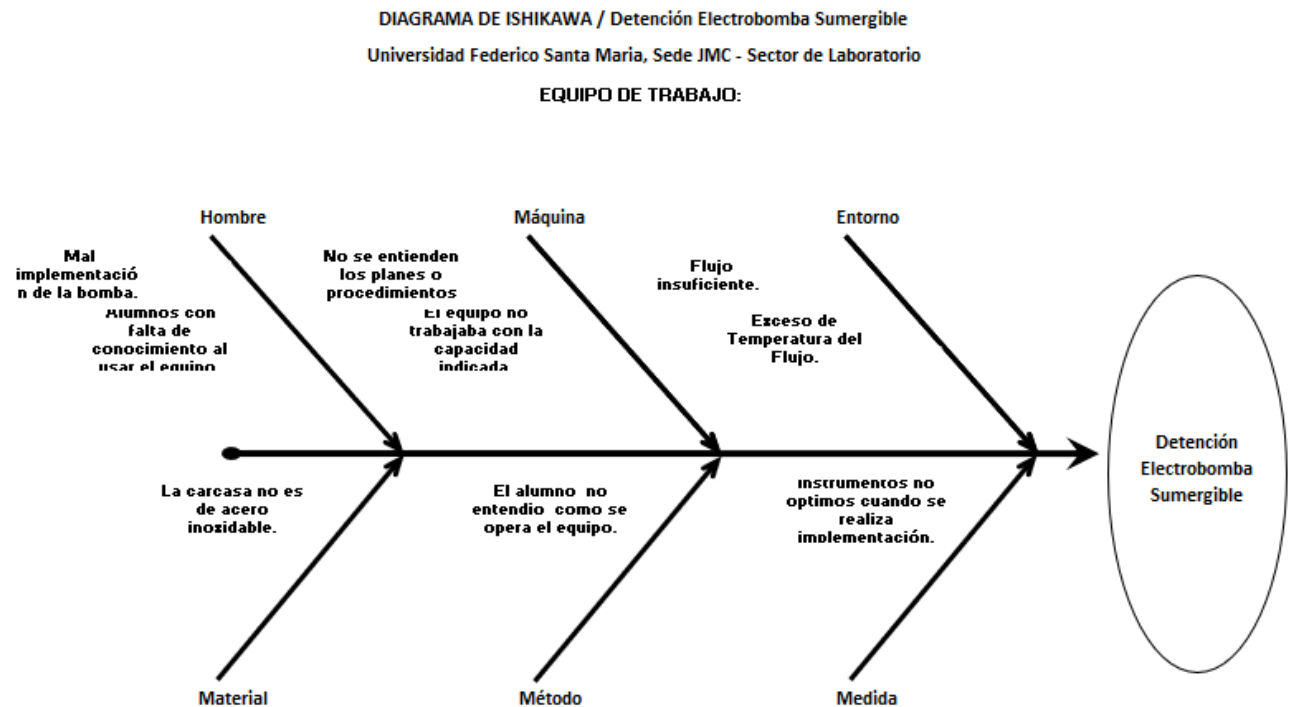


Ilustración 14: Diagrama de Ishikawa

Modo de falla (Detención Electrobomba sumergible)

Causas (materiales)

- La carcasa no es de acero inoxidable, la cual produce corrosión en el interior del equipo, la cual puede provocar la detención de la electrobomba con el tiempo

Causas (mano de obra)

- Ocurrió una mala implementación de la bomba en el laboratorio, dentro del barril.

- Alumnos con falta de conocimiento al usar el equipo, no conocen como opera el equipo, lo cual produce la detención de este.

Causas (Métodos)

- El alumno no entendió como se opera el equipo, una vez ya leído los procedimientos.

Causas (máquinas)

- No se entienden los planes o procedimientos, de cómo utilizar o implementar el equipo.
- El equipo no trabajaba con la capacidad indicada de flujo, excede el flujo máximo.

Causas (mediciones)

- Instrumentos no óptimos, cuando se realiza la implementación, por ende no quedó bien implementado el equipo.

Causas (Entorno)

- Flujo insuficiente, el barril no tiene un flujo para transportar.
- Exceso de Temperatura del flujo, excede el máximo permitido.

Acciones preventivas y correctivas

Verificar que la carcasa sea de acero inoxidable, para así evitar problemas de corrosión y en caso de ya estar corroída, realizar el cambio.

Leer bien los procedimientos de la electrobomba, para conocer bien su implementación; como esta trabaja o funciona.

Verificar que el equipo este trabajando con el flujo adecuado, según indicaciones de fabricante.

Una vez se quiere implementar la electrobomba, utilizar los instrumentos y/o herramientas adecuadas y en buen estado, para realizar una buena implementación.

Verificar que el barril donde se implementó la electrobomba sumergible, siempre conste con concentrado suficiente y/o a nivel para que esta opere de buena manera.

Razones de las fallas comunes de las bombas sumergibles y sus soluciones.

1- Fenómeno de falla

No Flujo o menos flujo.

- Causas: La inversión del motor; el motor no arranca; el nivel del flujo debajo del puerto de succión en la tubería o las uniones hay fugas graves; el anillo de sellado del impulsor de la bomba o daño serio por desgaste; el motor y el movimiento de acoplamiento del eje de la bomba.
- Solución de problemas: verificar el voltaje; aumente la tubería de elevación o reemplace la bomba de agua; el reemplazo del anillo de sello o impulsor.

2- Fenómeno de falla:

Reducción de flujo.

- Las causas son las siguientes:
 - El anillo de sello está desgastado
 - La red del filtro está bloqueada; y la tubería de agua o la carcasa tiene fugas.
- Solución:
 - Desmantele la bomba y repare la red de agua del filtro; y quite la revisión de la bomba para eliminar la falla.

3- Fenómeno de falla:

Vibración severa de la unidad.

- Las causas son las siguientes:
 - El eje de la bomba está doblado; y el desgaste de los cojinetes de la bomba y el motor es demasiado grande.
- Solución:
 - Retire el eje de corrección de la bomba o el reemplazo.
 - Retire la bomba o el motor para reparar el cojinete.

4- Fenómeno de falla:

El indicador del medidor está oscilando.

- Las causas son las siguientes:
 - El nivel de agua en movimiento, se reduce al puerto de succión de la bomba.

-El flujo es demasiado grande, para causar la cadena del rotor de la bomba.

- Solución:

-Aumentar la tubería de agua o reemplazar la bomba de agua; y cerrar la válvula pequeña, para reducir la producción de agua.

5- Fenómeno de falla:

La resistencia de aislamiento Cae

- Causas:

-La calidad de la unión del cable, no es alta.

-El daño de aislamiento del motor; y el daño del cable.

- Solución:

-Reconexión de la unión del cable.

-Reparar el devanado del motor.

-Reparar o reemplazar el cable.

6- Fenómeno de falla:

Al arrancar, el motor no gira y se escucha un zumbido.

- Causas: -Funcionamiento monofásico del motor.

-Teniendo eje oclusal.

- Solución:

-Revise el cable de alimentación para descubrir la fase rota.

-Repáre o reemplace el cojinete.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Mantenimiento diario

- Comprobar que la velocidad de la bomba de agua, si corresponde con la salida.
- Examinar las bridas por si existen fugas, fisuras, desgastes o partes oxidadas que puedan hacer peligrar el funcionamiento.

Mantenimiento mensual

- Examinar y reparar sellos.
- Lubricación de cojinetes según las especificaciones propias del aparato.
- Comprobar la elevación de la bomba de agua, respecto a su base.
- Cambiar los acoplamientos para lograr una salida adecuada.
- Comprobar que los puntos de montaje son seguros.
- Inspeccionar el sello mecánico y embalaje.
- Comprobar los acoplamientos.
- Limpiar los filtros.
- Eliminar la acumulación de polvo y suciedad de los motores.

Un mantenimiento habitual conseguirá evitar daños y reducir costos generales.

Conclusiones y Recomendaciones

- Conclusión 1: Se identificaron las bombas de movimiento de concentrado en el mercado utilizadas en la industria minera, además de su funcionamiento, características técnicas, partes, y los tipos de bombas que existen.
- Conclusión 2: Se determinó los parámetros operacionales para la selección de bomba a escala laboratorio, utilizando las leyes de semejanza de las bombas y las características técnicas de cada bomba, escala industrial Omega de la marca KSB y laboratorio Electrobomba sumergible marca Humboldt.
- Conclusión 3: Se establecieron medidas de mantenimiento preventivo y correctivo, de la electrobomba sumergible marca Humboldt, basándonos en las fallas recurrentes de las bombas sumergibles, para realizar un análisis de estas.

Conclusión general

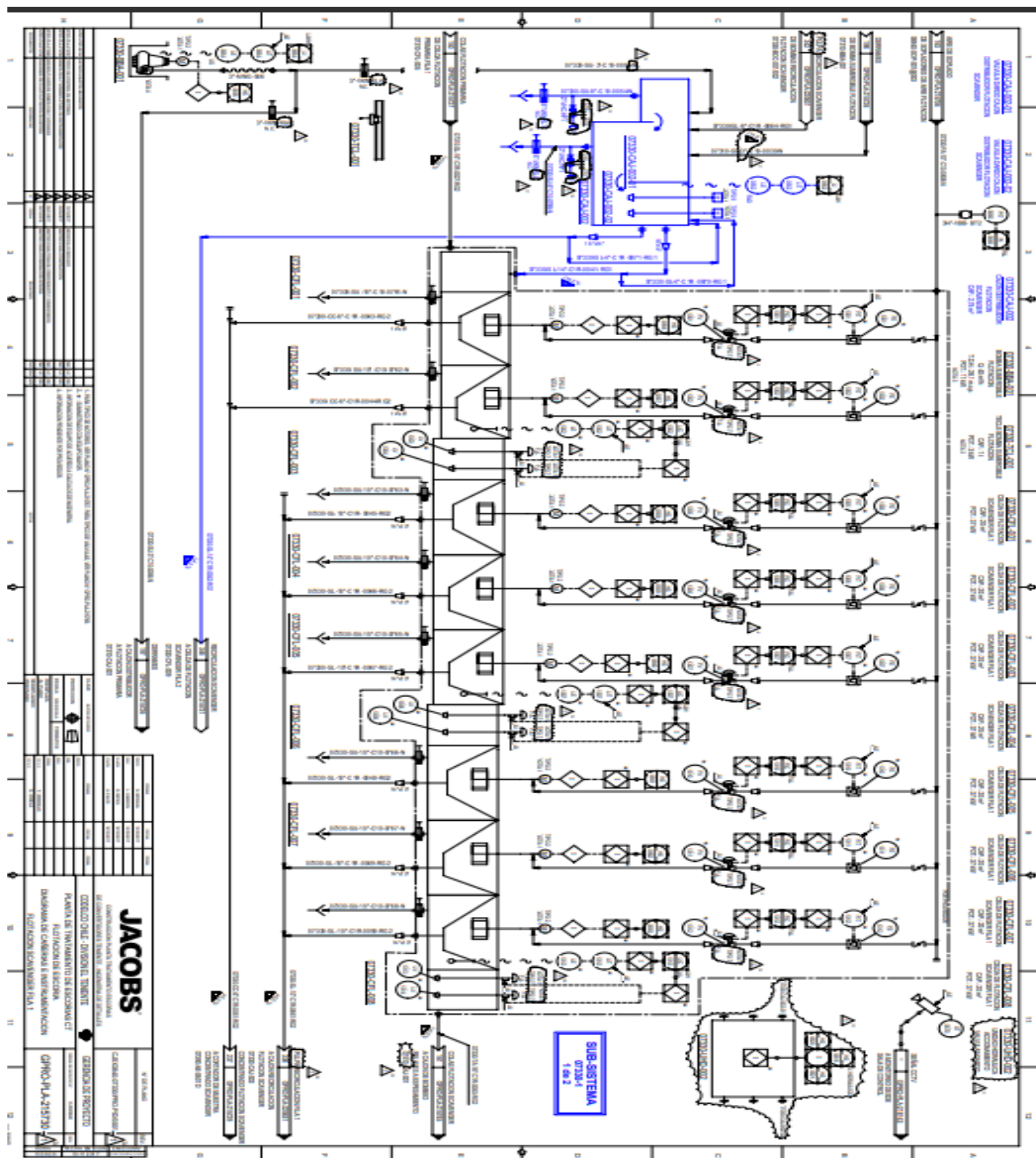
De acuerdo con los objetivos planteados, se logró identificar las bombas utilizadas para el movimiento de concentrado marca KSB, en la industria minera y seleccionar la bomba adecuada según sus características técnicas, como su caudal, sus RPM, etc. Ya con la bomba seleccionada a escala industrial, Omega marca KSB, se determinó una electrobomba sumergible marca Humboldt Pumps, modelo, XKS-500 PG, la cual se implementará en el laboratorio, sumergida dentro de un barril que contendrá el concentrado. Con estas 2 bombas y teniendo sus características técnicas, se realizó el cálculo para determinar un caudal, utilizando las leyes de semejanzas, se concluye que la electrobomba sumergible que se utilizara en laboratorio será la Humboldt Pumps, modelo XKS-500, la cual es de aplicación industrial y doméstica, lo que asegura versatilidad, por otro lado, es capaz de bombear sin que sufra ninguna filtración, ya que su motor es sellado, está diseñado para estar totalmente cubierto de agua. Finalmente para mantener la durabilidad o vida útil de esta, se realizaran planes de mantenimiento correctivos y preventivos, los cuales ayudaran no solamente en la durabilidad, sino también en el rendimiento de esta.

Bibliografía

- McLanahan, Bombas para pulpa, (2021). Disponible en: <https://www.mclanahan.com/es/productos/bombas-para-pulpa>.
- Vogt, Catalogo Vogt, (2021). <https://www.vogt.cl/catalogos/Catalogo-Vogt-HAD-Rev.1.pdf>.
- Mur, J, (2021), Parámetros de las bombas centrífugas. PumpsBombas. <https://pumpsbombas.com/parametros-de-las-bombas>.
- Es.slideshare.net. (2017). Diseño hidráulico de canales <https://es.slideshare.net/JamesMartinez16/clase-8-diseo-hidraulico-de-canales>.
- Ksb.com. (2021). Bombas aplicadas a la Minería. [<https://www.ksb.com/es-cl/aplicaciones/mineria>].
- Tecnología para la Industria. (2021). Check list para el Mantenimiento preventivo de Bombas Centrífugas. <https://tecnologiaparalaindustria.com/check-list-para-el-mantenimiento-preventivo-de-bombas-centrifugas-2/>.
- Mantenimiento. (2021). Mantenimiento a bombas centrifugas - Mantenimiento. <https://mantenimiento.win/mantenimiento-a-bombas-centrifugas/>.
- Ocw.unican.es. (2021). https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/3._pulpas.pdf.
- Cidra.com. (2010). Revista Minera. https://www.cidra.com/sites/default/files/document_library/BI0420-sp_GoingWithFlow_Mining_Magazine_APR.pdf.
- Bombascentrifugas.net. (2018). Detección de Fallas y averías en Bombas Centrífugas. <https://www.bombascentrifugas.net/2018/11/deteccion-de-fallas-en-bombas.html>.
- Leyes de Afinidad de las Bombas centrífugas. Bombascentrifugas.net. (2021). <https://www.bombascentrifugas.net/p/leyes-de-afinidad.html>. [Consultado 2021].
- Hidroterm.com.ve, Leyes de afinidad. (2021). <https://www.hidroterm.com.ve/documentacion/tutoriales/semeyanza.pdf>.
- Sodimac. sodimac.cl. (2021). <https://www.sodimac.cl/static/catalogos-web/catalogo.html?asset=SodimacCL/3147452-3-Manual>.
- Omega - Bomba de voluta partida longitudinalmente monoetapa. Ksb.com. (2018-2021). <https://www.ksb.com/es-cl/lc/productos/bomba/bomba-instalada-en-seco/omega/O00A>.
- WILFLEY, (2013). <https://www.wilfley.com/expeller/imp-doc/centrifugal-pumps-and-variable-speed.pdf>.
- BALDI, C. Apuntes de cátedra de Análisis de falla y error. Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. (2020).

- Mark E, Matthew J, Kathryn C, William G. “Libro Extractive Metallurgy of Cooper”, Fifth edición, ELSEVIER. (2011).
- Análisis de fallas comunes de la bomba sumergible de pozos. (2021). <http://es.hoouyaupump.com/news/common-fault-analysis-of-well-submersible-pump-15002961.html>.

Flujo de la empresa Codelco Chile- División Teniente en el proceso de flotación.



The diagram illustrates the process flow for the 07330-CAI-002-01 and 07330-CAI-002-02 valves. The system includes several key components and flow streams:

- 07330-CAI-002-01** and **07330-CAI-002-02**: Valves for air distribution and flotation scavenger.
- 07330-CAI-002**: Flotation scavenger, CAP: 2.75 m³.
- 07330-BBA-001**: Bomba sumergible flotacion (Submersible flotation pump), Q: 40 m³/h, T.D.H: 28.1 m.c.p., POT: 11 kW, NOTA 3.
- 07330-TCL-001**: TICLE BOMBA SUMERGIBLE FLOTACION (Submersible flotation pump), CAP: 11, ROT: 3 m³/h, NOTA 3.
- 07330-CAI-002-01** and **07330-CAI-002-02**: Valves for air distribution and flotation scavenger.
- 07330-CAI-002**: Flotation scavenger, CAP: 2.75 m³.
- 07330-BBA-001**: Bomba sumergible flotacion (Submersible flotation pump), Q: 40 m³/h, T.D.H: 28.1 m.c.p., POT: 11 kW, NOTA 3.
- 07330-TCL-001**: TICLE BOMBA SUMERGIBLE FLOTACION (Submersible flotation pump), CAP: 11, ROT: 3 m³/h, NOTA 3.
- 07330-CAI-002-01** and **07330-CAI-002-02**: Valves for air distribution and flotation scavenger.
- 07330-CAI-002**: Flotation scavenger, CAP: 2.75 m³.
- 07330-BBA-001**: Bomba sumergible flotacion (Submersible flotation pump), Q: 40 m³/h, T.D.H: 28.1 m.c.p., POT: 11 kW, NOTA 3.
- 07330-TCL-001**: TICLE BOMBA SUMERGIBLE FLOTACION (Submersible flotation pump), CAP: 11, ROT: 3 m³/h, NOTA 3.

The diagram shows the flow of air and water through various components, including pumps, tanks, and control systems. The flow is controlled by valves and sensors, and the system is designed to optimize the flotation process.