

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

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS
UBICADAS EN ANGLO AMERICAN SUR PLANTA LAS TÓRTOLAS ESTACIÓN DE
REBOMBEO**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Sebastián Eduardo Retamal Arriaza

Profesor guía:
Ingeniero Luis Gutiérrez Meneses

2018

Agradezco a mi familia por inferir en mis decisiones y guiarme por el buen camino, a mis padres Carmen y Ricardo por acompañarme y brindarme todo su apoyo durante este primer logro académico, siendo ellos un pilar incondicional y fundamental en el logro de este objetivo, a mi hermana Kareem por ayudarme indudablemente en la creación de este hecho y decir que en conjunto son la ayuda más importante para la finalización de esta gran etapa. También agradecer a todas aquellas personas que estuvieron apoyándome en esta causa, amigos y compañeros.

"La mayor gloria no es nunca caer, sino levantarse siempre."...

RESUMEN EJECUTIVO

KEYWORDS: PLAN DE MANTENIMIENTO – BOMBAS CENTRÍFUGAS

El presente trabajo, es un estudio sobre la implementación de una propuesta de un plan de mantenimiento sobre bombas centrifugas pertenecientes a la empresa Anglo American Sur (AAS) y reparadas por la empresa Proseal Ltda. quien es la responsable de la entrega de datos para poder llevar a cabo esta propuesta y resolver la problemática presente, la cual consiste en un incumplimiento del contrato acordado por ambas empresas donde se explica que la reparación a cada unidad de bombeo no puede sobrepasar los 15 días. Estos días, comienzan a regir una vez que ha arribado el equipo a la empresa hasta la llegada de esta misma a faena minera. Cuando esto no se cumple, se comienzan a generar multas hacia la empresa las que generan pérdidas para la empresa.

Es por esto, que se procedió en primera instancia con el desarrollo de diferentes análisis del levantamiento de la reparación de los equipos en la empresa, además de determinar el mantenimiento que se les aplica una vez que el equipo está operativo en faena.

Para poder entender el objetivo final de este informe, es necesario dar a conocer cada uno de los capítulos y sus respectivos objetivos específicos que inciden en el desarrollo de esta evaluación, empezando por la descripción de conceptos generales relacionados con las bombas centrifugas necesaria para entender el contexto en el cual se está desarrollando dicha evaluación.

Luego se explicará de forma rigurosa, cómo se llevará a cabo la categorización de las fallas más comunes que pueden incidir en una bomba centrífuga mediante el diagrama de Pareto e Ishikawa y que en conjunto describen las causas y efectos de cada una de las variables que intervienen en la generación de la falla de los elementos internos y externos del equipo. Con la información recopilada se buscará una solución que abarque la mayor cantidad de causas que afecten la falla.

Siguiendo con esto, se procederá con la comparación entre mantenimientos, ya sea el que se aplica actualmente en la empresa entre el recomendado por el fabricante, con el fin de identificar cuáles son las falencias del mantenimiento ejecutado por la empresa Proseal Ltda. y que podrían ser determinantes para un cambio rotundo en las futuras reparaciones.

Gracias a toda la información desarrollada en los primeros tres capítulos, es factible culminar con la evaluación de este proyecto mediante un indicador económico denominado Valor Actual de Costos (VAC) el que permitirá saber cuál de los mantenimientos aplicados actualmente, contra los sugeridos para un futuro generarían mayor costo y así poder decidir entre cada uno de ellos cual es el más factible rentablemente.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	
SIGLA Y SIMBOLOGÍA	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	
1.1. TIPOS DE BOMBAS	5
1.1.1. Bombas de desplazamiento positivo	5
1.1.2. Bombas dinámicas	9
1.2. EMPRESA INVOLUCRADA	14
1.2.1. Anglo American Sur	14
1.3. DESCRIPCION DE LA EMPRESA PROSEAL LTDA.	20
1.3.1. Ubicación geográfica	20
1.3.2. Actividad de la empresa	21
CAPÍTULO 2: FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS	
2.1. HISTORIAL DE FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS	24
2.1.1. Elementos de una bomba centrífuga estación Rebombeo	25
2.1.2. Reparaciones de los equipos entre los 2015 al 2107	26
2.2. DIAGRAMA DE PARETO	31
2.3. DIAGRAMA DE ISHIKAWA	35
2.3.1. Ishikawa para bujes de desgaste	37
2.3.2. Ishikawa para anillos de desgaste	38
2.3.3. Solución final	39
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO	
ACTUAL	
3.1. ANTECEDENTES GENERALES DEL MANTENIMIENTO	41
3.2. MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR PARTE DEL FABRICANTE	42
3.2.1. Generalidades	43
3.2.2. Desmontaje del cabezal y la columna	44
3.2.3. Desmontaje del tazón	45
3.2.4. Desmontaje del tazón con chavetas	46
3.2.5. Extracción de la caja de la turbina y los anillos de desgaste del del impulsor	46
3.2.6. Extracción de los rodamientos del tazón, la campana de succión y el eje de línea	46
3.2.7. Inspecciones anteriores al ensamblaje	46

3.2.8.	Reensamble	48
3.3.	MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR PARTE DE PROSEAL LTDA.	58

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA NUEVA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

4.1.	VAC CORRESPONDIENTE A LOS AÑOS 2015, 2016 Y 2017	67
4.2.	VAC CORRESPONDIENTE AL NUEVO MANTENIMIENTO RECOMENDADO EN BASE A LOS AÑOS 2018, 2019 Y 2020	69

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍAS

ANEXO A: ORDENES DE COMPRA DE INSUMOS Y MATERIAS PRIMAS

ANEXO B: CATÁLOGO RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS VIT

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Bomba centrífugas horizontal	4
Figura 1-2.	Bomba de pistón axial	5
Figura 1-3.	Émbolo y prensaestopas junto a un émbolo	6
Figura 1-4.	Bomba de diafragma	6
Figura 1-5.	Bomba de engranajes	7
Figura 1-6.	Bomba de lóbulos	7
Figura 1-7.	Bomba de tornillo doble	8
Figura 1-8.	Bomba peristáltica	8
Figura 1-9.	Bomba centrífuga vertical	10
Figura 1-10.	Bomba centrífuga horizontal de flujo radial	10
Figura 1-11.	Bomba centrífuga horizontal de flujo axial	11
Figura 1-12.	Descarga del flujo radial en bomba horizontal	11
Figura 1-13.	Descarga del flujo axial en turbina	12
Figura 1-14.	Descarga de flujo radial y axial	12
Figura 1-15.	Ubicación geográfica de Mina Los Bronces	15
Figura 1-16.	Ubicación geográfica de Planta Las Tórtolas	15
Figura 1-17.	Proceso productivo de Los Bronces	16
Figura 1-18.	Tranque de relave Las Tórtolas	19
Figura 1-19.	Ubicación geográfica de la empresa	21
Figura 2-1.	Bomba centrífugas, estación Rebombeo	24
Figura 2-2.	Ejemplo de diagrama de Ishikawa	36
Figura 3-1.	Evolución del mantenimiento	42
Figura 3-1.	Ensamble de un sello mecánico	55
Figura 3-2.	Acoplamiento del tipo espaciador	57

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1. Resumen bombas de desplazamiento positivo	9
Diagrama 1-2. Resumen bombas dinámicas	13
Diagrama 1-3. Diagrama de equipos principales estación de Rebombeo	18
Diagrama 2-1. Pareto de los equipos	34
Diagrama 2-2. Ishikawa para bujes	37
Diagrama 2-3. Ishikawa para anillos de desgaste	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Elementos de una bomba centrífuga Goulds pumps VIT 6x13, 10 etapas	25
Tabla 2-2. Reparación y fabricación de elementos para bomba N°1	26
Tabla 2-3. Reparación y fabricación de elementos para bomba N°2	27
Tabla 2-4. Reparación y fabricación de elementos para bomba N°3	28
Tabla 2-5. Reparación y fabricación de elementos para bomba N°4	29
Tabla 2-6. Reparación y fabricación de elementos para bomba N°5	30
Tabla 2-7. Fallas y frecuencia de fallas	33
Tabla 3-1. Eliminación de componentes para el desmontaje de cabezal y columna	45
Tabla 3-2. Criterios para el reemplazo de las piezas del impulsor	47
Tabla 3-3. Instalación de acoplamientos	51
Tabla 3-4. Instalación y ajuste de impulsor	53
Tabla 4-1. Costos de mantención por equipo, expresados en UF	68
Tabla 4-2. Costos de mantención de equipo N° 1, expresados en UF	70
Tabla 4-3. Costos de mantención de equipo N° 2, expresados en UF	71
Tabla 4-4. Costos de mantención de equipo N° 3, expresados en UF	71
Tabla 4-5. Costos de mantención de equipo N° 4, expresados en UF	72
Tabla 4-6. Costos de mantención de equipo N° 5, expresados en UF	73
Tabla 4-7. Resumen de costos de mantención, expresados en UF	73

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA:

AAS:	Anglo American Sur
AISI:	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y Acero)
.com:	Company
CAPM:	Capital Asset Pricing Model (Modelo de Valoración del Precio de los Activos Financieros)
CLF:	Unidad de Fomento determinada según código ISO 4217
CLP:	Peso Chileno
Ed.:	Edición
IPC:	Índice de Precios al Consumidor
http:	Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Hipertextos)
ISO:	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
ITT:	Industrial International (Industria internacional)
Ltda.:	Limitada
MBR:	Mantenimiento Basado en el Riesgo
m.s.n.m:	Metros Sobre el Nivel del Mar
Nº:	Número
NFPA:	National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego)
rpm:	Revoluciones por Minuto
R:	Tasa Social de Descuento
S.A.:	Sociedad Anónima
TIR:	Total Indicated Reading (Lectura Total Indicada)
TPM:	Mantenimiento Productivo Total
UF:	Unidad de Fomento
VAC:	Valor Actual de Costos
VIT:	Vertical industries Turbines (Turbina Industrial Vertical)
www:	World Wide Web (red informática mundial)
WACC:	Weighted Average Cost of Capital (Costo Promedio Ponderado del Capital)

SIMBOLOGÍA:

cm:	Centímetro
hr:	Hora
km:	Kilómetro
m:	Metro
mm:	Milímetro

m³/hr: Metro cúbico / hora

\$: Peso chileno

%: Por ciento

INTRODUCCIÓN

Proseal Ltda. es una empresa que se dedica principalmente al mantenimiento de equipos rotativos por medio de la reparación y/o fabricación de componentes, los que luego serán ensamblados de la manera más óptima para que la operación de la unidad rotativa sea la correcta en su proceso de funcionamiento.

Proseal Ltda. opera en diferentes industrias, pero principalmente lo hace en la industria de la minería, no obstante no deja de lado las industrias que se dedican al área de la petroquímica, celulosa, sanitarias entre otras.

La empresa posee una gran experiencia y trayectoria en el rubro del mantenimiento, siendo participe de una serie de proyectos innovadores que hacen crecer sus fortalezas, como lo son la calidad del servicio y una fuerte orientación al cliente.

Actualmente Proseal Ltda. mantiene un contrato por la reparación de bombas centrífugas con la minera Anglo American Sur. Este convenio es uno de los más extensos e importantes de la empresa, ya que el servicio de reparación para la minera aporta el 50 % de las utilidades de la empresa.

Por lo general, la empresa Anglo American Sur realiza mantenimiento correctivo a sus equipos, ya que prefieren dar prioridad a la producción en vez de alargar el funcionamiento operacional de la máquina, es decir su disponibilidad en terreno, donde el costo por el mantenimiento correctivo dirigido a un equipo, fluctúa entre los \$ 24,6 millones.

Debido a la preferencia dada por la minera, el tiempo de disponibilidad de los equipos en faena disminuye y el tiempo de reparación de los equipos en la empresa Proseal Ltda. aumenta. Esto último es indeseable para la empresa, ya que en el contrato acordado establece un tiempo máximo de reparación de 15 días por equipo el que generalmente no se cumple, debido al gran deterioro observado en las máquinas al momento de realizar el mantenimiento.

El tiempo de reparación real promedia los 25 días, esto según el contrato establecido produce un incumplimiento del acuerdo, lo que se traduce en multas para la empresa reparadora. Para ser más explícito, a continuación se presentará textualmente lo acordado por la empresa AAS:

“El retraso en la entrega de equipos según lo especificado en las bases técnicas o lo comprometido en el informe técnico será de un 0.5 % del valor de la reparación del equipo por cada día corrido de retraso, con un máximo de 10 %.”

Es por esto que se procederá con una propuesta de mejora de un plan de mantenimiento, que minimice los tiempos de reparación y disminuya los costos de mantención asociados a cada equipo intervenido por la empresa Proseal Ltda.

En este caso las bombas centrífugas a evaluar serán las correspondientes a la minera Anglo American Sur, planta Las Tórtolas, estación de Rebombeo, donde se analizarán las fallas que inciden en la disponibilidad de los equipos en faena, lo que se relacionará directamente con el mantenimiento ejecutado en la empresa, ya que esto, servirá para poder identificar los tiempos reales de reparación, además de la realización de un diagrama de Pareto e Ishikawa, lo que dará como resultado la propuesta de implementación de la mejora junto con la evaluación de costos, que tiene como objetivo comparar el actual mantenimiento con la mejora sugerida.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Proponer una mejora de plan de mantenimiento a bombas centrífugas a partir de sus índices de disponibilidad perteneciente a Anglo American Sur, planta Las Tórtolas, estación de Rebombeo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

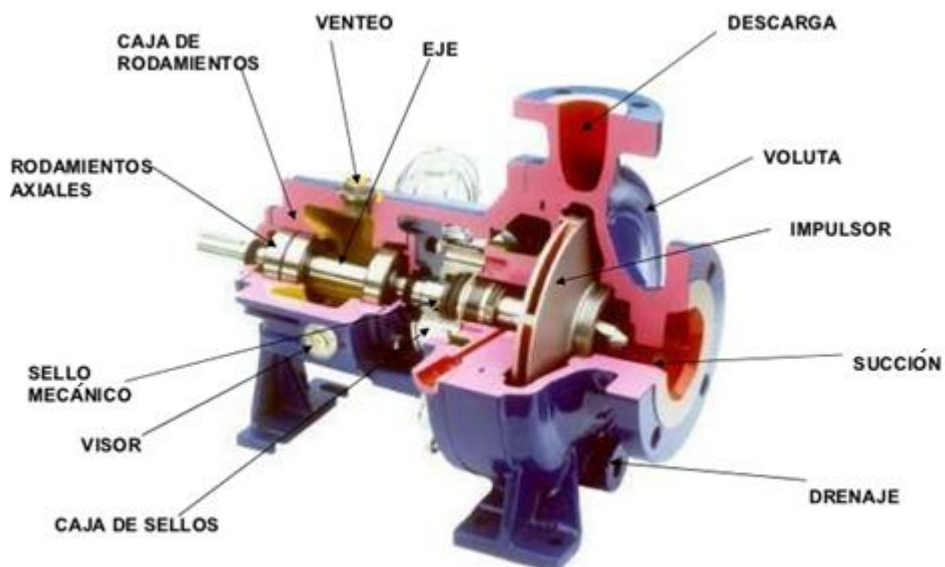
- Describir conceptos generales de bombas centrífugas por medio de referencia bibliográfica;
- Categorizar los tipos de fallas asociados a las bombas centrífugas, según diagrama de Pareto e Ishikawa;
- Proponer una mejora al plan de mantenimiento actual a través de la comparación con el manual técnico del fabricante, y
- Evaluar la propuesta del plan de mantenimiento, mediante el indicador económico VAC.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

1. ANTECEDENTES GENERALES DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

Una bomba centrífuga, es una turbo máquina que transforma la energía eléctrica proveniente del motor en energía mecánica a través del eje y transmitida hacia el impulsor o rodete el que se encuentra dentro de una carcasa o voluta, donde esta última energía es transformada a su vez en energía hidráulica con el fin de provocar el desplazamiento del líquido por medio de tuberías o cañerías.

El caudal entra generalmente de forma axial al eje, el que llega al núcleo o centro del impulsor, pasa por los álabes los que le entregan energía cinética para posteriormente proceder con la liberación de este hacia la voluta o carcasa quien direcciona el caudal a la zona de descarga del equipo de bombeo, ver Figura 1-1.



Fuente: www.fluidos.eia.edu.co

Figura 1-1. Bomba centrífuga horizontal

Las bombas hidráulicas, tienen como principal objetivo recibir, transformar y transportar el caudal desde un punto a otro, esto es generado por la capacidad que poseen de producir vacío, con lo cual se puede inicialmente mover el líquido. Según lo anteriormente mencionado, estos equipos son solo capaces de proveer caudal y no de generar presión, ya que este último solo aparece cuando el caudal necesita vencer algún tipo de resistencia provocada por el sistema.

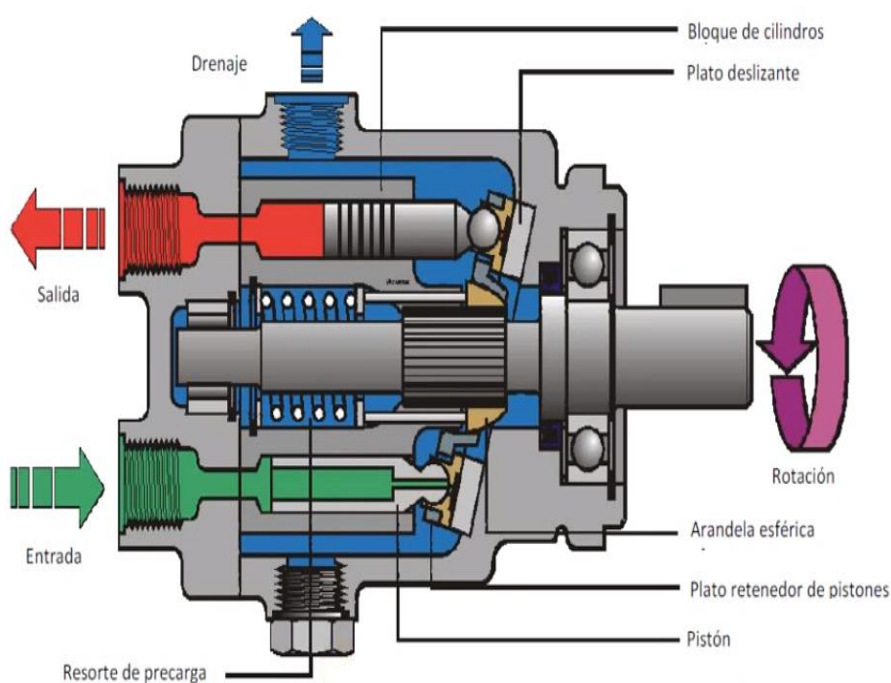
1.1. TIPOS DE BOMBAS

1.1.1. Bombas de desplazamiento positivo

1.1.1.1. Bombas reciprocantes

Una bomba reciprocantes, es aquella que suministra la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independientemente de la presión que encuentre el líquido a su salida. El volumen fijo de líquido recibido es en condiciones casi de succión, lo comprime a la presión de descarga y lo libera por el ducto de descarga. Además, en estas se puede obtener presiones altas a bajas velocidades y se pueden clasificar en:

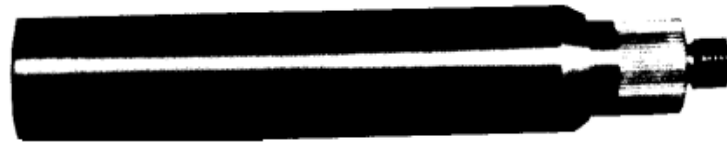
- Bombas de pistón: estas tienen el pistón que va montado sobre una biela y posee alrededor unos anillos que actúa como elementos selladores contra un cilindro o camisa. El pistón es el encargado de generar la succión y el empuje del líquido, ver Figura 1-2.



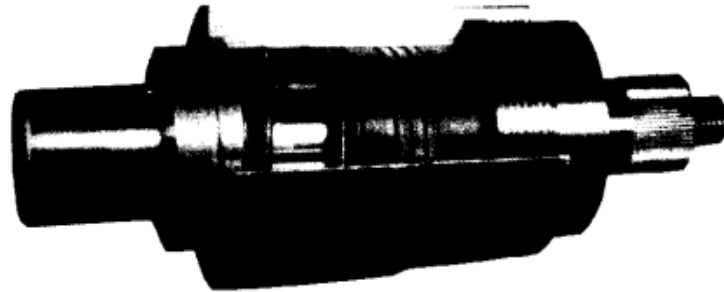
Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

Figura 1-2. Bomba de pistón axial

- Bombas de émbolo: esta consiste en una varilla lisa que contiene elementos selladores de carácter estacionarios, el cual sellan en conjunto con un prensa estopas y siempre tocando la empaquetadura, ver Figura 1-3.



Émbolo

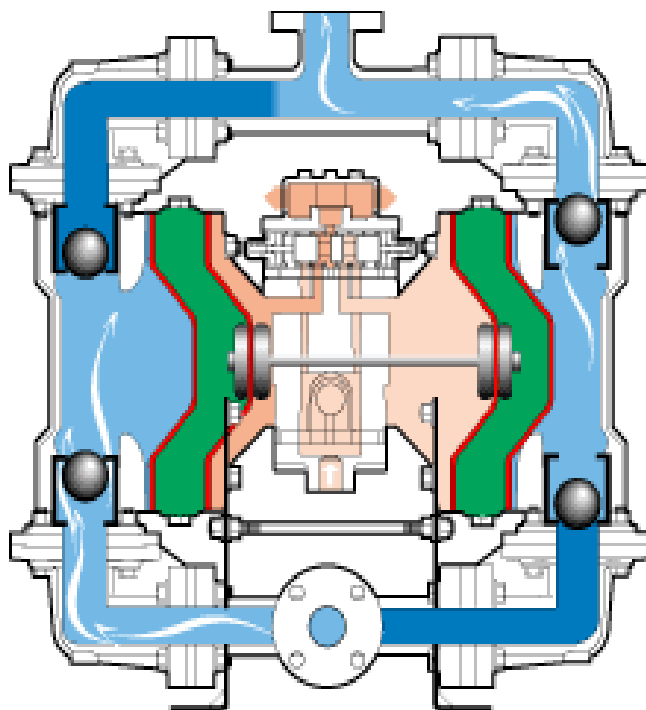


Prensaestopas

Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

Figura 1-3. Émbolo y prensaestopas junto a un émbolo

- Bombas de diafragma: esta es una bomba de potencia que desplaza volumen de un líquido en un tiempo específico. Posee un diafragma flexible por el cual se realiza la aspiración e impulsión del líquido por medio de válvulas que abren y cierran alternativamente la entrada y la salida, ver Figura 1-4.



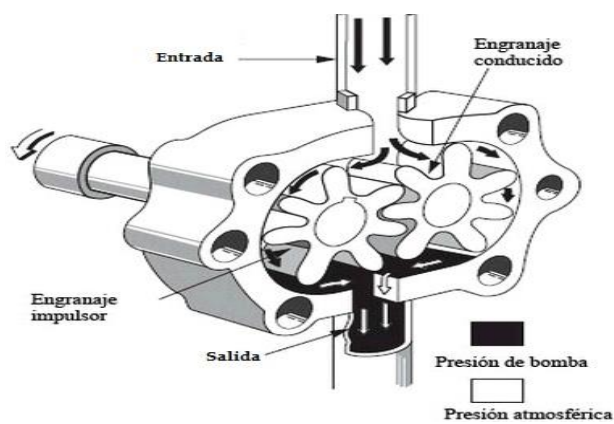
Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

Figura 1-4. Bomba de diafragma

1.1.1.2. Bombas rotativas

Estos equipos contienen en su interior partes móviles que están alojados en la carcasa y que tienen la función de desplazar el líquido por medio de la rotación que logran desarrollar cuando están en funcionamiento. Estas se pueden clasificar en:

- Bombas de engranes: estas poseen generalmente 2 ruedas dentadas y a veces más de 2 alojadas dentro de la carcasa del equipo, ver Figura 1-5. Estas ruedas poseen el mismo diámetro y medida que van girando engranan una con la otra para generar el desplazamiento del fluido.



Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y Aplicaciones

Figura 1-5. Bomba de engranajes.

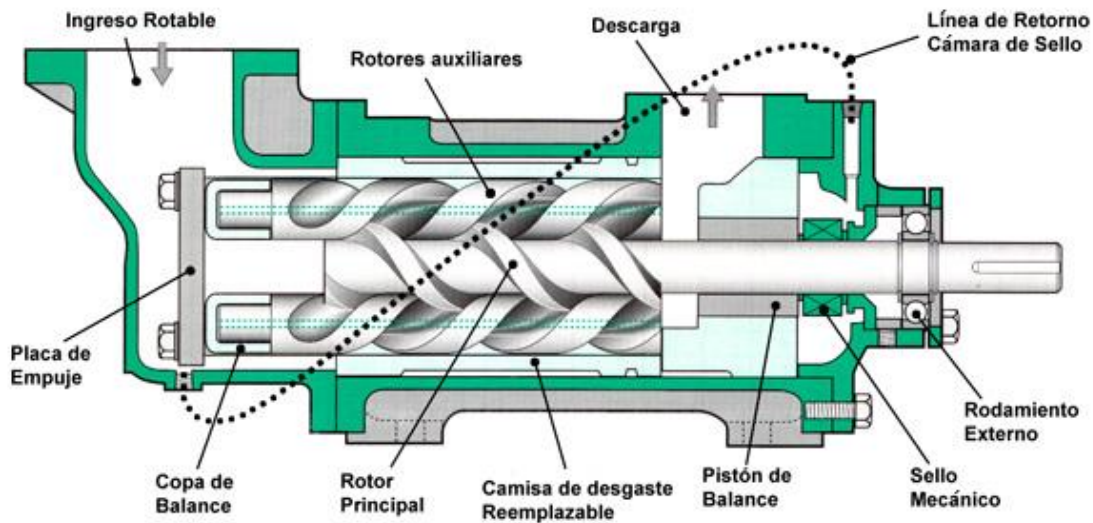
- Bomba de lóbulos: estas generan un funcionamiento similar al de engranajes. Tienen lóbulos que poseen una forma redondeada permitiendo el contacto entre estos de manera continua a medida que giran, ver Figura 1-6.



Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

Figura 1-6. Bomba de lóbulos

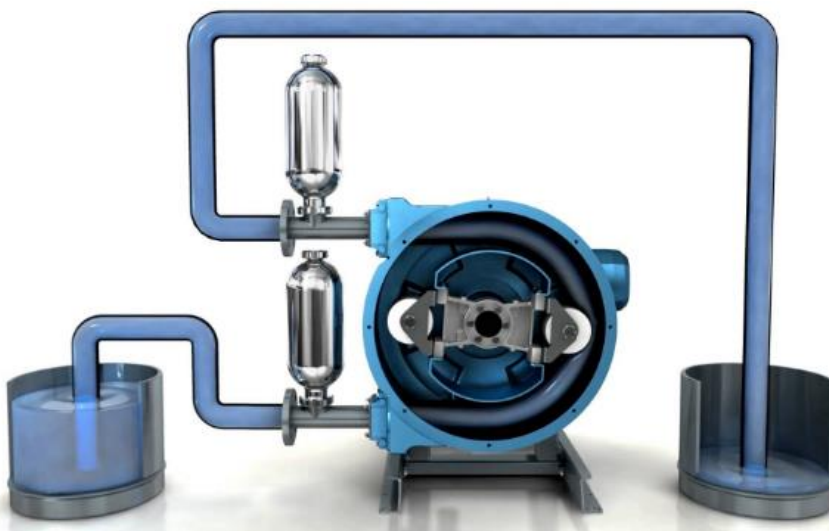
- Bombas de tornillos: estas poseen un rotor en forma de tornillo que toma el líquido y lo encierra en sus cavidades donde se aloja, de tal manera que lo obliga a circular en dirección axial desde un extremo del tornillo hasta el otro, ver Figura 1-7.



Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

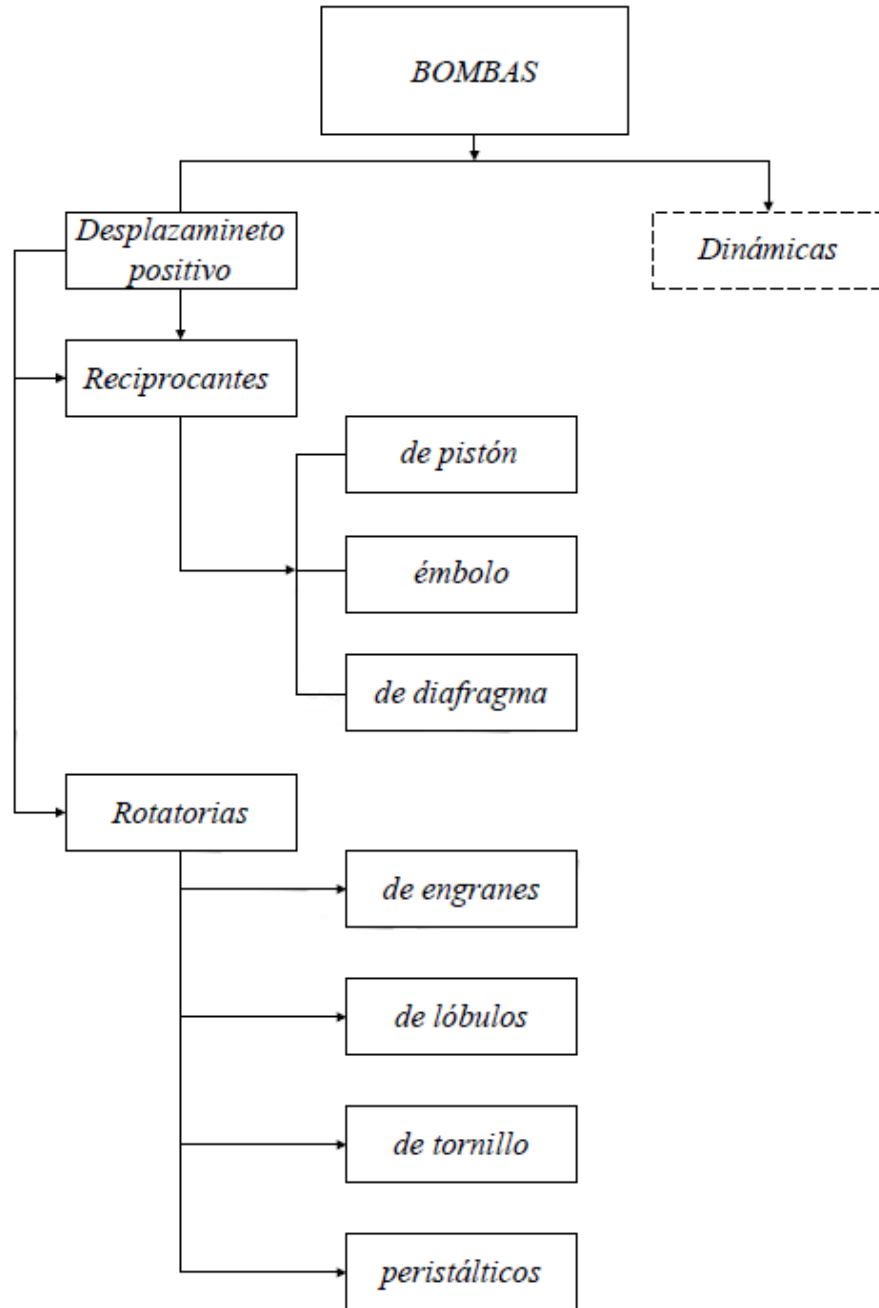
Figura 1-7. Bomba de tornillo doble.

- Bombas peristálticas: estas poseen una tubería flexible que al ser comprimidas sucesivamente por una de las ruedas que giran continuamente, obligando a circular el líquido en la dirección del giro, ver Figura 1-8.



Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

Figura 1-8. Bomba peristáltica



Fuente: Bombas, selección, uso y mantenimiento. Ed. Mc Graw Hill

Diagrama 1-1. Resumen bombas de desplazamiento positivo.

1.1.2. Bombas dinámicas

1.1.2.1. Bombas centrífugas o turbo máquinas

Estas son máquinas que funcionan bajo el principio de la centrifugación, dando como resultados giros a gran velocidad, acopladas directamente a un motor consiguiendo que las pérdidas por transmisión sean mínimas.

Están compuestas por un elemento rotativo el que abarca principalmente un impulsor (una etapa) o varios impulsores (multi-etapas), un eje y un elemento

estacionario que sería la carcasa o voluta en el caso de una bomba horizontal y tazones en el caso de una bomba vertical.

Además, estas pueden diferenciarse por su disposición, ya sea vertical (ver Figura 1-9) u horizontal (ver Figura 1-10). La primera está compuesta por un o una serie de impulsores dispuestos de forma vertical e instalado al eje de bomba y la segunda está compuesta por un impulsor o varios los cuales están dispuesto de forma horizontal e instalado al eje de bomba.



Fuente: catálogo, Bombas de turbina vertical Goulds, mayo de 2002.

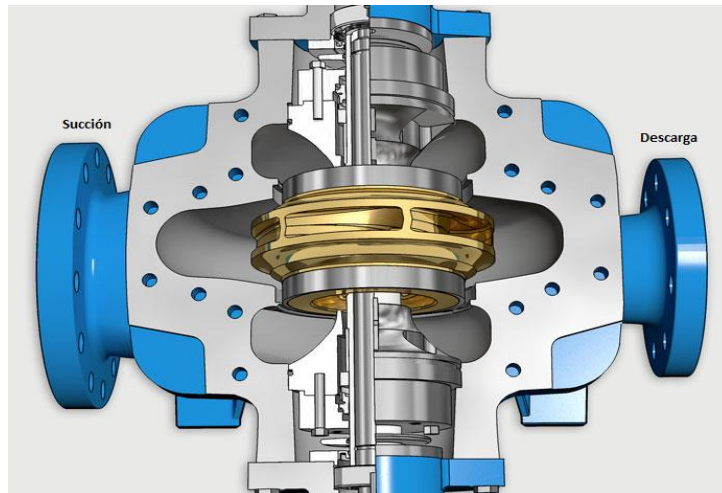
Figura 1-9. Bomba centrífuga vertical.



Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y Aplicaciones

Figura 1-10. Bomba centrífuga horizontal radial.

Por otro lado, las bombas centrífugas pueden ser clasificadas según la succión, estas pueden ser de succión simple (aplica para bombas verticales u horizontales), donde el líquido entra por un solo lado del impulsor de forma axial al eje o también pueden ser de succión doble (aplica solo para bombas horizontales), en este caso el fluido también entra de forma axial al eje, pero direccionado a los dos centros que posee el impulsor para finalmente ser descargado por su periferia, ver Figura 1-11.

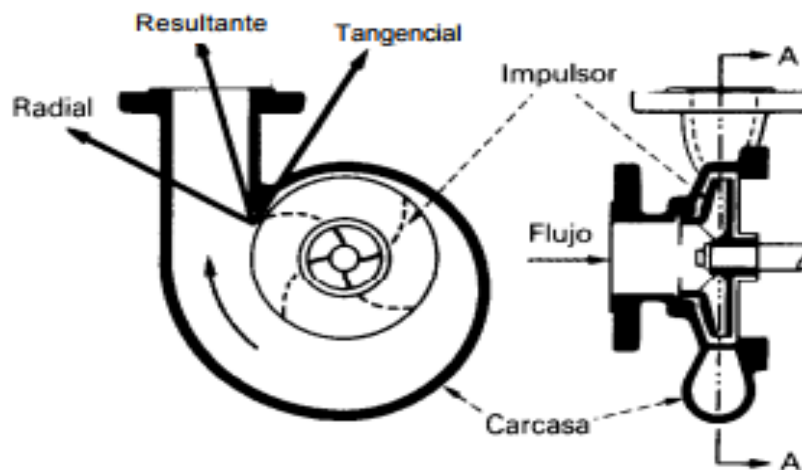


Fuente: <http://www.neptunopumps.com>

Figura 1-11. Bomba centrífuga horizontal de flujo axial.

El otro punto importante a definir es la trayectoria que puede tomar el caudal y este puede ser de la siguiente manera:

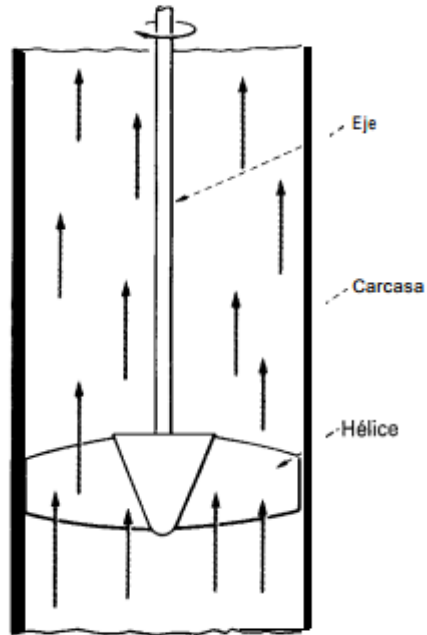
- Flujo radial: acá el líquido entra al impulsor en dirección paralela al eje y sale perpendicular al eje de bomba, ver Figura 1-12.



Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y Aplicaciones

Figura 1-12. Descarga del flujo radial en bomba horizontal.

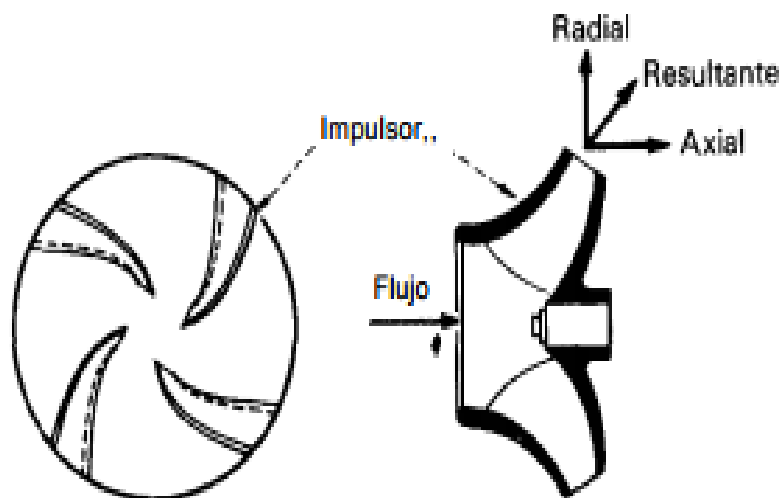
- Flujo axial: el líquido entra axialmente en el impulsor y la descarga de este, es también en dirección axial, ver Figura 1-13.



Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y Aplicaciones

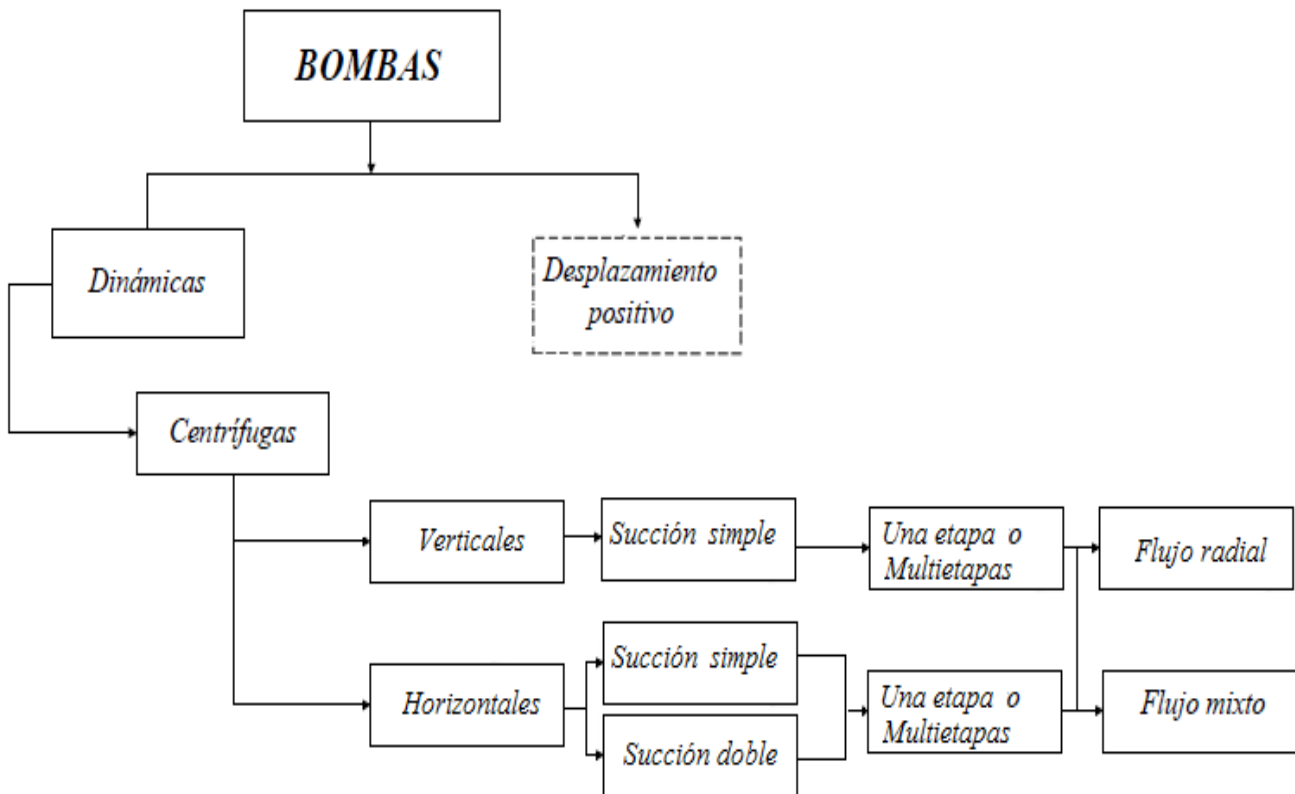
Figura 1-13. Descarga del flujo axial en turbina.

- Flujo mixto: el caudal entra axialmente en el impulsor y sale en una dirección intermedia entre radial y axial, ver Figura 1-14.



Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y Aplicaciones

Figura 1-14. Descarga de flujo radial y axial.



Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y Aplicaciones

Diagrama 1-2. Resumen de bombas dinámicas

Las bombas dinámicas especialmente las centrífugas multietapas de disposición vertical tipo turbina, son equipos altamente demandados por las empresas de la gran minería. Esto se debe a que son equipos muy eficientes al momento de transportar fluidos en lugares que demandan una alta exigencia en el sistema, ya que trabajan de manera sumergidas, es decir, estos equipos siempre operan rodeados por el fluido a bombear. Además, su diseño posee la facultad de tener instalado una serie de impulsores, los que permiten darle al fluido bombeado una mayor velocidad a medida que pasa por cada impulsor, generando un alto rendimiento con determinadas ventajas hidráulicas a diferencia de los otros tipos de bombas.

El tipo de bomba descrito con las características mencionadas anteriormente, se encuentra particularmente en Anglo American Sur, planta Las Tórtolas estación de Rebombeo. Esta estación posee 4 subestaciones dispuestas a diferentes alturas geográficas, en cada una de estas se encuentran 3 bombas centrífugas multietapas vertical del tipo turbina, las que serán evaluadas en este informe. Es por esto que en el siguiente punto, se procederá con la descripción y caracterización de la empresa involucrada en cuestión.

1.2. EMPRESA INVOLUCRADA

1.2.1. Anglo American Sur

Anglo American es una empresa minera que extrae, procesa y comercializa materias primas a granel y los transforma en metales de interés como es el cobre, diamantes, platinos, níquel, mineral de hierro y carbón.

Cuenta con operación en 45 países y en Chile lo hace desde 1980, con una producción de 650.000 toneladas de cobre fino al año. Posee y opera 5 divisiones: Mantos Copper, El Soldado, Fundición Chagres, Doña Inés de Collahuasi, la que posee el 44 % de las propiedades de la compañía y por último Los Bronces.

Los Bronces poseen 2 zonas de operaciones:

- Mina Los Bronces, y
- Planta Las Tórtolas.

1.2.1.1. Mina Los Bronces

Los Bronces es una mina de cobre a cielo abierto, que se ubica a 3.500 m.s.n.m en zona cordillerana, comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana de Santiago de Chile. Sus productos son el concentrado de cobre, molibdeno y cátodos de cobre. Esta posee una producción de 401.700 toneladas de cobre fino y 2.430 toneladas de molibdeno.

El mineral extraído de esta mina (Cobre y Molibdeno), es sometido a procesos de molienda y lixiviación para la producción de cátodos de cobre mediante electro obtención. Por otro lado, el concentrado de pulpa que es transportado a través de un minera ducto hacia la planta concentradora (flotación convencional) Las Tórtolas (52 Km de distancia), como se puede ver en la Figura 1-15.

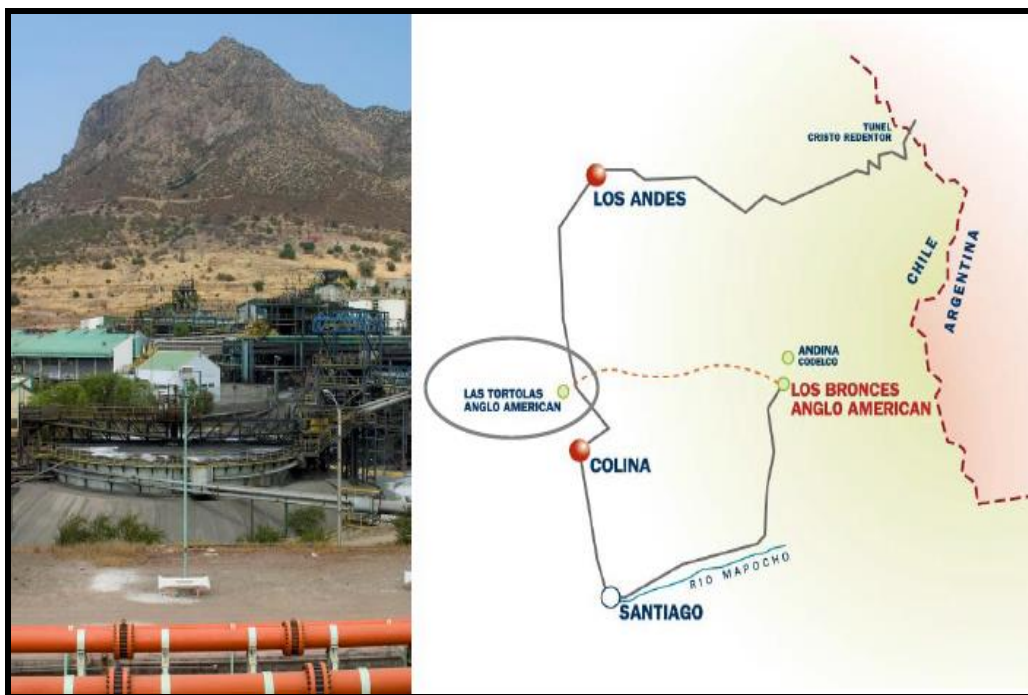


Fuente: Anglo American Sur

Figura 1-15. Ubicación geográfica de la Mina Los Bronces

1.2.1.2. Planta Las Tórtolas

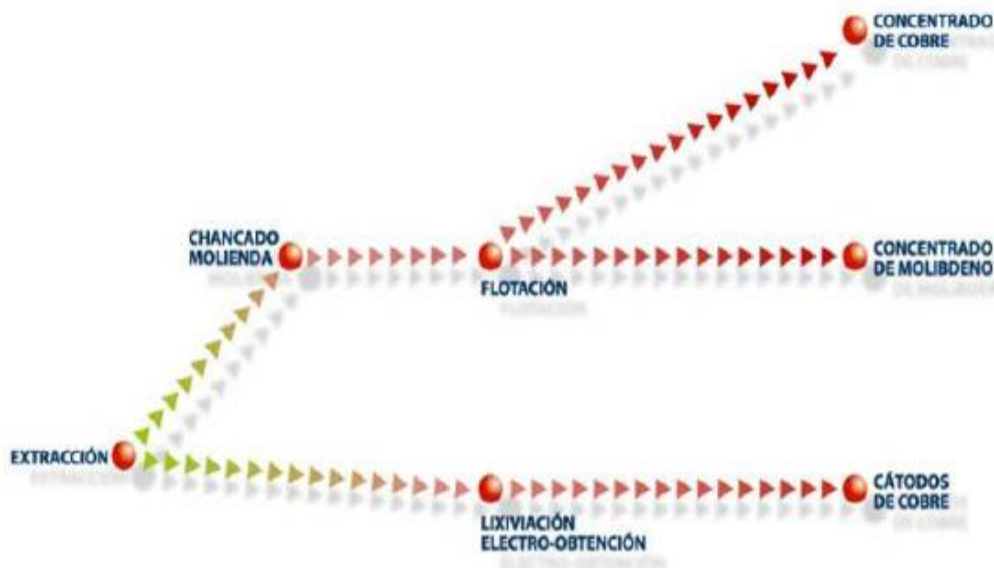
La planta Las Tórtolas está ubicada a 40 km al norte de Santiago, en la comuna de Colina, y a 850 m.s.n.m como se puede observar en la Figura 1-16.



Fuente: Anglo American Sur

Figura 1-16. Ubicación geográfica de la planta Las Tórtolas

Principalmente procesa el Cobre y Molibdeno en plantas de flotación de concentrado, los cuales son extraídos desde la minera Anglo American Sur, mina Los Bronces, ver Figura 1-17.



Fuente: Anglo American Sur

Figura 1-17. Proceso productivo de Los Bronces

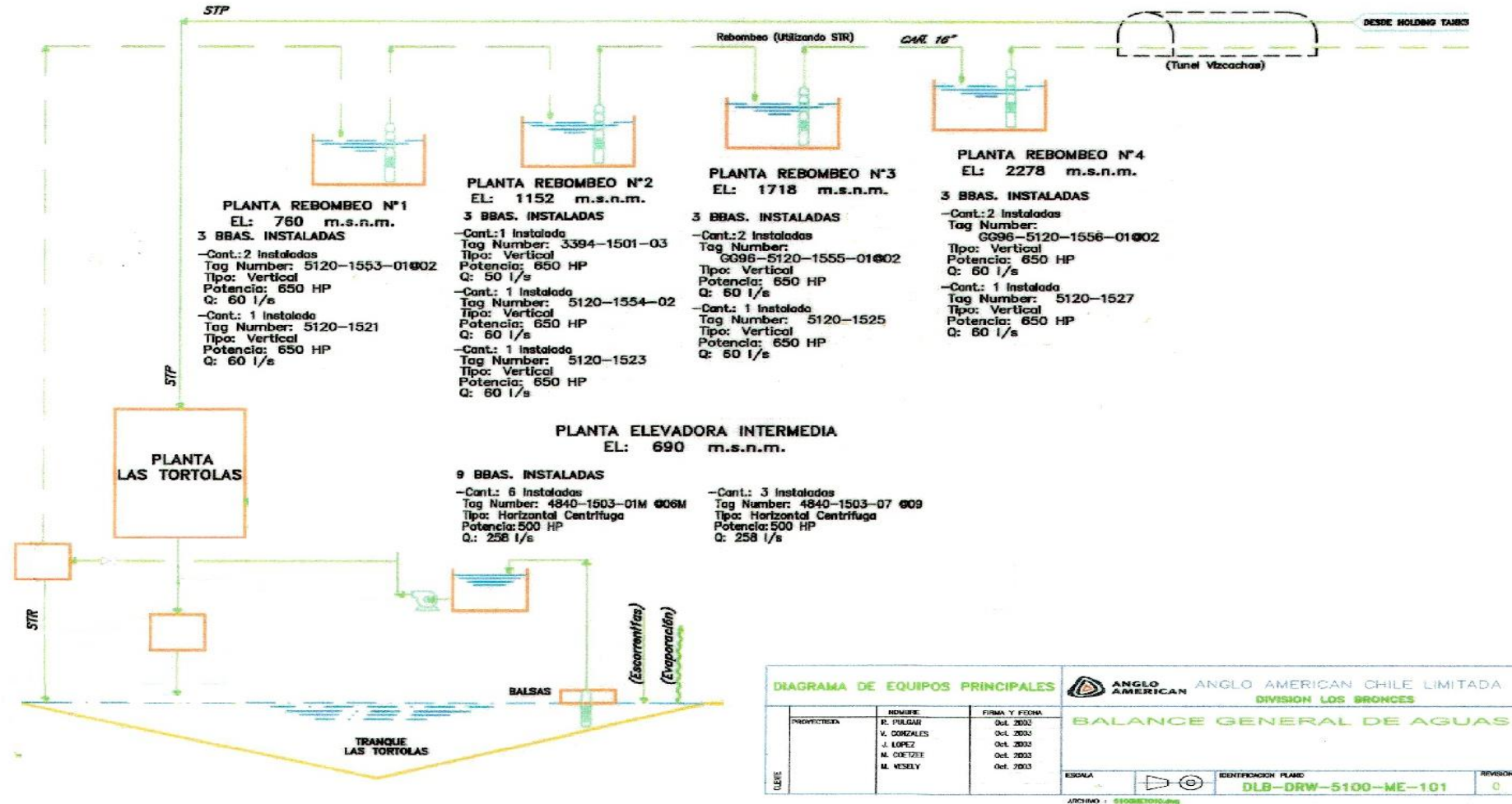
Las Tórtolas posee una estación llamada Rebombeo compuesta de 4 plantas con el mismo nombre y a diferentes alturas geográficas, en cada una de estas plantas se encuentran 3 bombas centrífugas multietapas del tipo vertical, las que serán evaluadas en este informe.

En la planta Rebombeo N° 1 que está a 760 msnm se encuentran 3 bombas centrífugas, que son las encargadas de transportar el caudal hasta la planta N° 2 la que se encuentra a 1.152 msnm, acá también se posicionan 3 bombas centrífugas más, estas tienen la función de enviar el líquido bombeado a la planta N° 3 que se encuentra a 1.718 msnm. Las bombas centrífugas instaladas acá (3 unidades) envían el líquido succionado a la planta N° 4 que está a 2.278 msnm y en esta última también se encuentran 3 bombas centrífugas más, lo que hace un total de 12 equipos de bombeo.

El caudal bombeado por estos equipos, es sacado del tranque de relave llamado Las Tórtolas y proporciona la alimentación hacia el proceso de flotación que se realiza en esta planta.

Este tranque al igual que todos, tiene la función de contener el agua que se ha utilizado para los procesos de concentración del cobre, ya que el agua que sale de estos procesos está contaminada y no puede ser desechada en cualquier lado. El agua contaminada de metales pesado y químicos tóxicos es llevada al tranque donde los contaminantes lentamente se van depositando al fondo y el agua en la

superficie va quedando limpia y reutilizables para los mismos procesos productivos de la mina.



Fuente: Anglo American Sur.

Diagrama 1-3. Diagrama de equipos principales estación Rebomero.

El tranque está diseñado con murallas construidas con material estéril y están recubiertos en el fondo con arcilla y polietileno de alta densidad. Este, está construido mediante la deposición de relaves cicloneados, los que deben tener no más de un 10 % de finos. El muro principal, incluye un muro de partida de suelo compactado, sobre el cual se depositaron hidráulicamente los relaves cicloneados, los que luego se compactaron mecánicamente. El muro Oeste se construyó de igual manera que el anterior muro y el muro Este se construyó mediante relleno convencional, de capas horizontales compactadas de arenas de relaves, las que se transportan en camión. Esto se puede observar en la Figura 1-18.



Fuente: Anglo American Sur

Figura 1-18. Tranque de relave Las Tórtolas

Anglo American Sur como empresa mandante, solicita hace 10 años a las empresas de rubro minero establecer tareas de mantenimiento a los equipos que se encuentran en faena, este se ejecuta por medio de una licitación que corresponde en este caso al servicio de reparación, mantenimiento y asistencia técnica de bombas centrífugas, el que involucra la división Los Bronces (Mina Los Bronces y Planta Las Tórtolas).

Esta licitación tiene por objetivo establecer un contrato entre la minera y la empresa que ofrezca los mejores servicios de reparación. Proseal Ltda. es la empresa adjudicadora de este contrato a partir del año 2008, siendo nuevamente renovado en el año 2014 con una vigencia hasta el año 2017. Por lo cual y según lo expuesto Proseal Ltda. es la empresa que se dedica a la reparación de equipos rotativos de la minera Anglo American Sur hasta la actualidad.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA PROSEAL LTDA.

Proseal Ltda., es una empresa de ingeniería, desarrollo y servicios tecnológicos que inicia sus actividades en febrero del 2015 bajo el mandato de los señores Manuel Alfaro, Iván Alfaro, Jaime Moreno y Raúl Oróstica, en la ciudad de Quilpué. Esta comenzó sus funciones dentro del área de trabajo de equipos de apoyo y mantenimiento industrial a empresas de la gran minería, petroquímicas e industria de generación eléctrica.

Actualmente la empresa cuenta con más de 150 trabajadores, formada por ingenieros y técnicos, que poseen 25 años de experiencia laboral en el área industrial, minería, petroquímica y generación eléctrica, con un alto grado de calificación en procesos de fabricación, reconstrucción y mantenimiento de equipos de bombeo, reductores y equipos rotativos.

La empresa posee un equipo de profesionales dotado de una amplia experiencia en fabricación y ensamblado de equipos contra incendios bajo normas internacionales NFPA 20/NFPA 25, diseño y fabricación de componentes y piezas para bombas centrifugas en acero Hastelloy C-276, Super Dúplex 2205, AISI 904L, Alloy 20, 316 SS, 254 SMO, Titanio, Bronce.

Las operaciones, se rigen bajo una política de calidad de altos estándares y manejo de normas ambientales y en la búsqueda de los beneficios del desarrollo sustentable. Junto a la aplicación de políticas de administración de recursos humanos y técnicos basados en la norma de calidad ISO 9001, que se encuentra en implementada a partir del año 2016, y que promueve la entrega del mejor servicio a los clientes y transmitir a sus trabajadores de los beneficios de la creación de nuevas oportunidades y capacitaciones laborales.

1.3.1. Ubicación geográfica

La casa matriz y centro de fabricación está ubicada en la comuna de Quilpué, Calle Tres #665, localidad de El Belloto, V Región (ver Figura 1-2), además cuenta con oficinas comerciales ubicadas en Iquique I Región, Santiago Región Metropolitana, Antofagasta II Región, en ésta última también cuenta con una oficina técnica adicionando la sucursal ubicada en calle Marga-Marga #3731, localizada en Quilpué, sector Alto del Yugo.



Fuente: Fotografía extraída de Google Earth

Figura 1-19. Ubicación geográfica de la empresa

1.3.2. Actividad de la empresa

La empresa se especializa en la fabricación y ensamblado de componentes, partes y piezas para equipos rotativos como bombas centrífugas, cajas reductoras, cajas de rodamientos y agitadores industriales. Además, cuenta con el arriendo de estos equipos y venta de repuestos.

Se especializa en la construcción, ensamblado y reconstrucción de equipos rotativos que se encuentran en operaciones mineras, petroleras, generadoras eléctricas, químicas y de distribución de agua. Debiendo para ello rediseñar, fundir y fabricar diferentes componentes como ejes, tazones, impulsores, carcasas, bujes, anillos de desgaste, columnas y soportes metálicos de motobombas.

Este proceso involucra importación de materias primas, ejecución de planos, diseño, fabricación de modelos, fundición de piezas y mecanizado antes del armado de bombas.

La fabricación de repuestos y partes de bombas centrífugas realizados, se complementa con servicios hacia sus clientes en otras actividades extras como:

- Registro, control y monitoreo de operaciones de bombas centrífugas.
- Asistencia en campo en ensamblado y puesta en marcha de bombas y equipos rotativos.
- Capacitaciones del correcto uso de equipos de bombeo a personal de mantenimiento y operadores de plantas mineras, petroquímicas, generadoras eléctricas y forestal.

- Traspaso de información y tecnología a clientes, referentes a prolongaciones de vida útil equipos y manejo eficiente en consumo energético.

Proseal Ltda. posee principalmente la unidad de negocios de reparación de equipos de bombeo, la que aporta el 75 % de las utilidades de la empresa, es por ello que la empresa se concentra en mantener personal calificado y capacitado para realizar las tareas de reparación de equipos que son entre otras el armado y desarmado de bombas, control dimensional de piezas, fabricación y reparación de partes componentes de bombas, soldadura, control de calidad, además de contar con profesionales encargados del mantenimiento de equipos de bombeo en faenas mineras, más específicamente en la empresa Anglo American Sur, División "Los Bronces y División "Las Tórtolas", con quien Proseal Ltda. mantiene actualmente un contrato de reparación y mantención de bombas.

CAPÍTULO 2: FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

2. FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

2.1. HISTORIAL DE FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas que operan en la estación de Rebombeo, planta Las Tórtolas, corresponde a bombas centrífugas marca Goulds pumps, modelo VIT 6x13 de 10 etapas. La estación de Rebombeo posee 4 subestaciones y en cada una de estas se encuentran instalada 3 bombas centrífugas, haciendo un total de 12 bombas (ver Figura 2-1).

Los equipos tienen como objetivo proporcionar el caudal (caudal nominal de 216 m³/hr cada una a una altura de 611 metros) necesario para que la Planta las Tórtolas funcione de manera óptima y así el proceso de flotación realizado por esta misma sea el correcto. Sin embargo, estas no funcionan de manera continua, su operación dependerá de las necesidades que requiera la planta es decir, si el proceso de flotación requiere de más caudal, entonces se pondrá en funcionamiento más unidades de bombeo, por lo tanto puede que no siempre estén operando las 12 bombas instaladas, esto dependerá del nivel de fluido que se necesite para el proceso.



Fuente: Proseal Ltda.

Figura 2-1. Bomba centrífuga, estación de Rebombeo

Actualmente, a estos equipos se les realiza un mantenimiento correctivo, el que es realizado aproximadamente cada 8 meses por la empresa mandante. Para ver si este mantenimiento es el adecuado en cuanto a disponibilidad y costos primero se procederá con la identificación de cada uno de los componentes que conforman la unidad de bombeo, para luego realizar un listado de las reparaciones generadas por un periodo de 3 años.

2.1.1. Elementos de una bomba centrífuga, estación de Rebombeo

A continuación, se dará a conocer todos los elementos que conforman una bomba centrífuga marca Goulds Pumps, modelo VIT, tamaño 6x13 de 10 etapas de la estación de Rebombeo, planta Las Tórtolas.

Tabla 2-1. Elementos de una bomba centrífuga Goulds pumps VIT 6x13, 10 etapas

Cantidad	Elementos	Metalurgia
01	Soporte de motor	Acero al carbono
01	Cabezal de descarga	Acero al carbono
01	Carrete de acoplamiento	Acero al carbono
01	Tuerca de levante	Acero al carbono
01	Machón de acoplamiento	Acero al carbono
01	Porta sello mecánico	Acero al carbono
01	Columna	Acero al carbono
11	Tazones	Acero al carbono
12	Bujes de desgaste	Vesconite
01	Sello mecánico	AISI 316
10	Impulsores	AISI 316
10	Chavetas de impulsor	AISI 316
10	Medias lunas de impulsor	AISI 420
20	Anillos rotativos	AISI 316
20	Anillos estacionarios	AISI 316
02	Ejes	AISI 420
01	Copla roscada entre ejes	AISI 420
01	Kit de pernería	Acero al carbono

Fuente: Proseal Ltda.

2.1.2. Reparaciones de los equipos entre los años 2015 al 2017

➤ Reparación equipo N° 1

- ✓ Fecha de llegada 13 de enero del 2015.
- ✓ Tiempo de reparación 22 días.

Tabla 2-2. Reparación y fabricación de elementos para bomba N° 1

COMPONENTES A REPARAR / FABRICAR		
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE ESTADO DEL COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR
Porta sello mecánico	Leves golpes, ataque químico superficial. Guía de ajuste contra sello mecánico en mal estado (guía hembra).	Pulido mecánico, limpieza química, corregir paralelismo. Aporte de material en guía para el posterior mecanizado.
Eje de acoplamiento	Desgaste radial en zona de buje de porta sello mecánico, canal de chaveta y roscas en buen estado.	Recuperar mediante aporte cerámico en puño de descanso zona de porta sello mecánico.
Eje porta impulsor	Desgaste en puños de descanso, pérdida de linealidad.	Aporte de recubrimiento cerámico en puños de descanso, pulido mecánico y recuperar linealidad.
Tazones	Tazón N° 1 y N° 2 con anillos desmontados en lado de succión. Tazones presentan pérdida de material en fondo de tazón (zona de anillo lado succión) y desgaste en guías machos en tazón N° 1, N° 2, N° 3, N° 9 y N° 10.	Recuperar mediante aporte de material en guías macho de las etapas 1, 2, 3, 9, y tazón 10. Limpieza química, pulido manual y aplicación de pintura epóxica azul en su exterior. Extracción de anillos y buje.
Impulsores	Impulsor N°2 y 3 con desgaste en cara frontal debido a la incrustación de anillos estacionarios (lado succión), resto de los impulsores se encuentran en buen estado.	Extraer anillos, para el posterior montaje de los nuevos, rectificado mecánico en zona dañada y balanceo dinámico.
Anillos estacionarios	Fabricar.	Con desgaste fuera de parámetros. Espesor muy bajo para rectificar.
Bujes de tazón	Fabricar.	Con desgaste fuera de parámetros.
Anillos rotativos	Fabricar.	Con desgaste fuera de parámetros, desgaste en cara superior, evidencia de avance corrosivo (pitting).
Chavetas de impulsor	Fabricar.	Ataque químico, desgaste, leve deformación y holgura fuera de parámetros.
Copla roscada unión ejes	Fabricar.	Pérdida de ajuste en rosca.

Fuente: Proseal Ltda.

➤ Reparación equipo N° 2

- ✓ Fecha de llegada 24 de septiembre del 2015.
- ✓ Tiempo de reparación 20 días.

Tabla 2-3. Reparación y fabricación de elementos para bomba N° 2

COMPONENTES A REPARAR / FABRICAR		
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE ESTADO DEL COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR
Porta sello mecánico	Presenta corrosión superficial, guía de ajuste dentro de parámetros requeridos.	Pulido mecánico, limpieza química, corregir paralelismo y extraer buje.
Eje porta impulsor	Desgaste en puños de descanso en etapa N° 2 y N° 10 (medida bajo la nominal).	Recuperar puños de descanso en etapa N° 2 y N° 10 y pulido mecánico.
Tazones	Presentan desgaste con pérdida de material en difusor (álabes), tazones N° 2, N° 3 y N° 7. Tazones N° 2, N° 3 y N° 7, presentan holgura fuera de parámetros (guía macho bajo la nominal).	Recuperar mediante soldadura rellenando guías machos en tazones N° 2, N° 3 y N° 7 y recuperar álabes de tazones (difusor). Limpieza y pintura epóxica color azul en su exterior. Extraer anillos y bujes.
Impulsores	Buen estado.	Limpieza química, pulido mecánico y balanceo dinámico.
Anillos rotativos	Buen estado.	Limpieza química y pulido mecánico.
Eje de acoplamiento	Fabricar.	Marcas de pernos de sello mecánico, desgaste en puño y pérdida de linealidad.
Anillos estacionarios	Fabricar.	Desgaste en superficie quedando con holguras fuera de parámetro.
Bujes de tazón	Fabricar.	Desgaste en superficie interior no permitiendo su reutilización.
Chavetas de impulsor	Fabricar.	Pérdida de ajuste (holgura fuera de parámetros).
Copla roscada unión ejes	Fabricar.	Pérdida de ajuste en rosca, y golpes periféricos.

Fuente: Proseal Ltda.

➤ Reparación equipo N° 3

- ✓ Fecha de llegada 18 de abril del 2016.
- ✓ Tiempo de reparación 15 días.

Tabla 2-4 Reparación y fabricación de elementos para bomba N° 3

COMPONENTES A REPARAR / FABRICAR		
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE ESTADO DEL COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR
Porta sello mecánico	Guía macho fuera de estándar (medida más bajo la nominal), guía hembra ajuste con sello mecánico en mal estado (ataque químico, desgaste de material).	Pulido mecánico, limpieza química, corregir paralelismo. Aporte de material en guías de ajuste para el posterior mecanizado. Extraer buje.
Eje porta impulsor	Buen estado.	Recuperable mediante pulido mecánico.
Tazones	Guías macho se encuentran bajo la medida nominal, produciendo holgura fuera de parámetros entre componentes y leve desgaste en álabes de tazón.	Recuperar mediante aporte de material en guías macho para estandarizar medidas y disminuir holgura. Extracción de bujes, limpieza y pintura epóxica color azul en su exterior.
Impulsores	Buen estado.	Limpieza química, pulido mecánico y balanceo dinámico.
Eje de acoplamiento	Buen estado.	Reutilizable mediante pulido mecánico.
Chavetas de impulsor	Buen estado.	Reutilizable mediante pulido mecánico.
Copla roscada unión ejes	Buen estado.	Reutilizable mediante pulido mecánico.
Bujes de tazón	Fabricar.	Excesivo desgaste en superficie interior.
Anillos rotativos	Fabricar.	Holgura fuera de parámetros.
Anillos estacionarios	Fabricar.	Holgura fuera de parámetros.

Fuente: Proseal Ltda.

➤ Reparación equipo N° 4

- ✓ Fecha de llegada 11 de noviembre del 2016.
- ✓ Tiempo de reparación 17 días.

Tabla 2-5. Reparación y fabricación de elementos para bomba N° 4

COMPONENTES A REPARAR / FABRICAR		
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE ESTADO DEL COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR
Porta sello mecánico	Buen estado.	Limpieza, pulido mecánico.
Eje porta impulsor	Eje presenta linealidad fuera de parámetros, y desgaste excesivo en puño de trabajo de descanso de columna.	Recuperar linealidad y recuperar puño dañado mediante aplicación de cerámica.
Tazones	Tazones se encuentran en buenas condiciones, pero presentan pérdida de ajuste debido a que guías machos se encuentran bajo medida nominal en tazones N° 1, N° 2, N° 4 y N° 5.	Recuperar mediante aporte de material en guías macho, para el posterior mecanizado, limpieza y pintura epóxica color azul en su exterior.
Impulsores	Se encuentran en buenas condiciones.	Recuperables mediante limpieza química, balanceo dinámico.
Eje de acoplamiento	Presenta leve desgaste en zona de trabajo buje St. Box.	Recuperable mediante la aplicación de cerámica, pulido mecánico.
Chavetas de impulsor	Buen estado.	Pulido mecánico.
Copla roscada unión ejes	Buen estado.	Limpieza y pulido mecánico.
Bujes de tazón	Fabricar.	Con desgaste en superficie quedando fuera de parámetros.
Anillos rotativos	Fabricar.	Holgura fuera de parámetros.
Anillos estacionarios	Fabricar.	Holgura fuera de parámetros.

Fuente: Proseal Ltda.

➤ Reparación equipo N° 5

- ✓ Fecha de llegada 25 de julio del 2017.
- ✓ Tiempo de reparación 14 días.

Tabla 2-6. Reparación y fabricación de elementos para bomba N° 5

COMPONENTES A REPARAR / FABRICAR		
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE ESTADO DEL COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR
Porta sello mecánico	Guía macho presenta mediad nominal fuera de parámetros requeridos.	Aporte de material en guía macho para el posterior mecanizado, y extraer buje.
Eje porta impulsor	Puños de descanso presentan desgaste, provocando que medida nominal de eje se encuentre fuera de parámetros requeridos.	Recuperar mediante aplicación de cerámica en sus puños de descanso.
Tazones	Tazones presentan leve desgaste en sus anillos de desgaste y en cut water.	Recuperar cut water mediante aporte de material, extraer bujes y aplicar pintura epóxica color azul en exterior.
Impulsores	Buen estado.	Pulido mecánico y balanceo dinámico.
Eje de acoplamiento	Presenta leve desgaste en puño de descanso.	Recuperar cerámica debido al desgaste provocado en puño, y aplicar pulido mecánico.
Chavetas de impulsor	Buen estado.	Pulido mecánico.
Copla roscada unión ejes	Buen estado.	Pulido mecánico.
Bujes de tazón	Fabricar.	Holgura fuera de parámetros.
Anillos rotativos	Fabricar.	Exceso de holgura y desgaste de material.
Anillos estacionarios	Fabricar.	Exceso de holgura y desgaste de material.

Fuente: Proseal Ltda.

Luego de haber señalado mediante tablas el estado de cada uno de los elementos que conforman la unidad de bombeo y el trabajo a realizar sobre estos, es necesario indicar que cada equipo luego de haber sido reparados por Proseal Ltda., llega nuevamente a mantención correctiva aproximadamente cada 8 meses. Esto ha demostrado según las tablas señaladas, que las fallas más comunes o recurrentes en estos equipos hacen referencia al desgaste tanto en bujes como de anillos rotativos y estacionarios, siendo los elementos que tienden a fabricarse en repetidas ocasiones a diferencia de los otros.

El daño provocado por el roce excesivo en bujes y anillos de desgaste, conlleva a solturas mecánicas entre los elementos, dando como consecuencias la generación de vibraciones y a su vez la elevación de temperatura. La generación de holguras por fuera de los parámetros permisibles, no produce un óptimo funcionamiento de la unidad de bombeo, obligando a la empresa a la fabricación tanto de bujes como anillos, situación que permitirá que el equipo de bombeo no tenga inconvenientes al momento de su puesta en marcha.

Las otras fallas visualizadas en las tablas, como pérdida de material en álabes de tazones o linealidad de ejes fuera de parámetros pueden provocar un descenso en el punto operación de la unidad, sin embargo esta puede continuar en funcionamiento, pero su punto de operación no será el esperado según lo expuesto por parte del fabricante.

Lógicamente esto no es deseable, ya que la producción puede verse seriamente afectada, sin embargo el hecho de que se tengan que fabricar elementos internos es muy preocupante, debido al impacto que se puede producir en el equipo si es que este no es sacado a tiempo de su operación. Si la unidad de bombeo sigue en funcionamiento con elementos en mal estado o que hayan perdido su vida útil, se podría generar daños colaterales en otras partes del equipo y esto provocaría un menor tiempo de disponibilidad de la máquina en faena, ya que el tiempo de reparación aumentaría debido a que la fabricación o reparación de los elementos de la unidad, requerirán más tiempo del normalmente pronosticado.

2.2. DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es un gráfico expuesto como un diagrama de barras, que concentra los datos obtenidos sobre un problema (en esta caso las fallas contra la frecuencia de estas mismas) ordenados descendentemente que ayudan a identificar y seleccionar los datos más relevantes para poder ser tratados. Esta herramienta es valiosa en la asignación de prioridades a los problemas de calidad en el diagnóstico de causas y en la solución de las mismas.

El principio de Pareto indica que el 80 % de los problemas que ocurren en cualquier actividad son ocasionados por el 20 % de los elementos que intervienen en producirlos. Dicho esto, se puede obtener ventajas como la mejora continua del problema, analizar y priorizar los problemas, y conseguir el mayor nivel de mejora

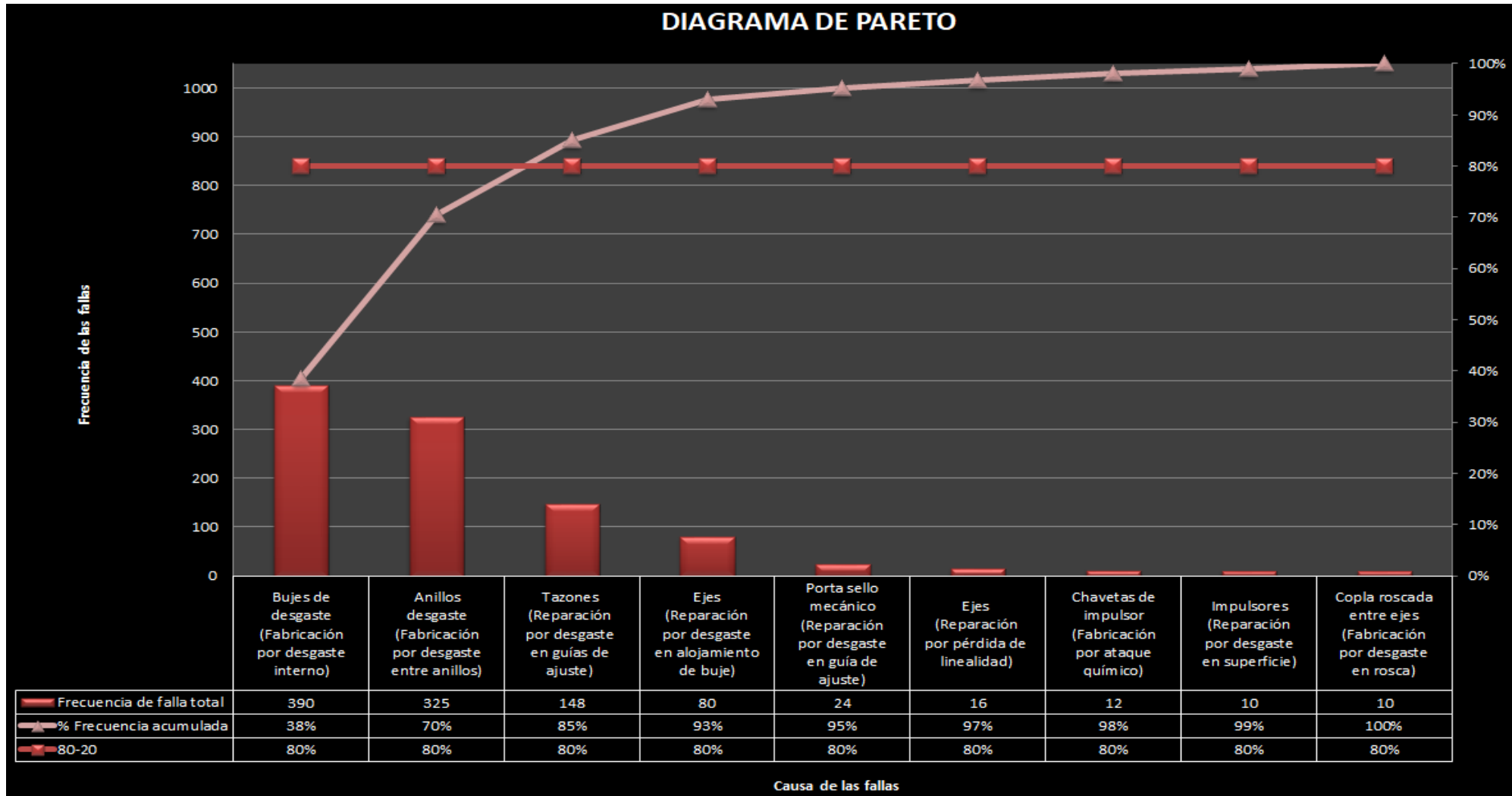
con el menor esfuerzo posible. Según lo mencionado anteriormente, es posible proceder con la realización de un análisis y evaluación de los equipos de bombeos involucrados, obteniéndose la siguiente tabla (ver Tabla 2-7) y el siguiente diagrama de Pareto (ver Diagrama 2-1).

Tabla 2-7. Fallas y frecuencia de fallas

ELEMENTO Y SU FALLA	FRECUENCIA DE FALLA	TIEMPO POR UNIDAD DE BOMBEO (hr)	FRECUENCIA DE FALLA TOTAL	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA ACUMULADA (%)
Bujes de desgaste (Fabricación por desgaste interno)	5	78	390	390	38
Anillos desgaste (Fabricación por desgaste entre anillos)	5	65	325	715	70
Tazones (Reparación por desgaste en guías de ajuste)	4	37	148	863	85
Ejes (Reparación por desgaste en alojamiento de buje)	4	20	80	943	93
Porta sello mecánico (Reparación por desgaste en guía de ajuste)	4	6	24	967	95
Ejes (Reparación por pérdida de linealidad)	4	4	16	983	97
Chavetas de impulsor (Fabricación por ataque químico)	2	6	12	995	98
Impulsores (Reparación por desgaste en superficie)	1	10	10	1005	99
Copla roscada entre ejes (Fabricación por desgaste en rosca)	2	5	10	1015	100
Total de fallas registradas			1015		

Fuente: Proseal Ltda.

Con la tabla realizada anteriormente (ver Tabla 2-7) se puede obtener el siguiente diagrama de Pareto (ver Diagrama 2-1)



Fuente: Proseal Ltda.

Diagrama 2-1. Pareto de los equipos

Según el resultado obtenido a partir del diagrama de Pareto realizado anteriormente (ver Diagrama 2-1), se puede deducir que la frecuencia de las fallas más recurrentes en los equipos de bombeo serían los siguientes, según orden decreciente:

- 1° Desgaste interno en bujes;
- 2° Desgaste entre anillos desgaste;
- 3° Desgaste en guías de ajuste en tazones;
- 4° Desgaste en alojamiento de buje en superficie de ejes;
- 5° Desgaste en guías de ajuste de porta sello mecánico;
- 6° Pérdida de linealidad en ejes;
- 7° Ataque químico en chavetas de impulsor;
- 8° Desgaste en superficie de impulsores, y
- 9° Desgaste en rosca de copla entre ejes.

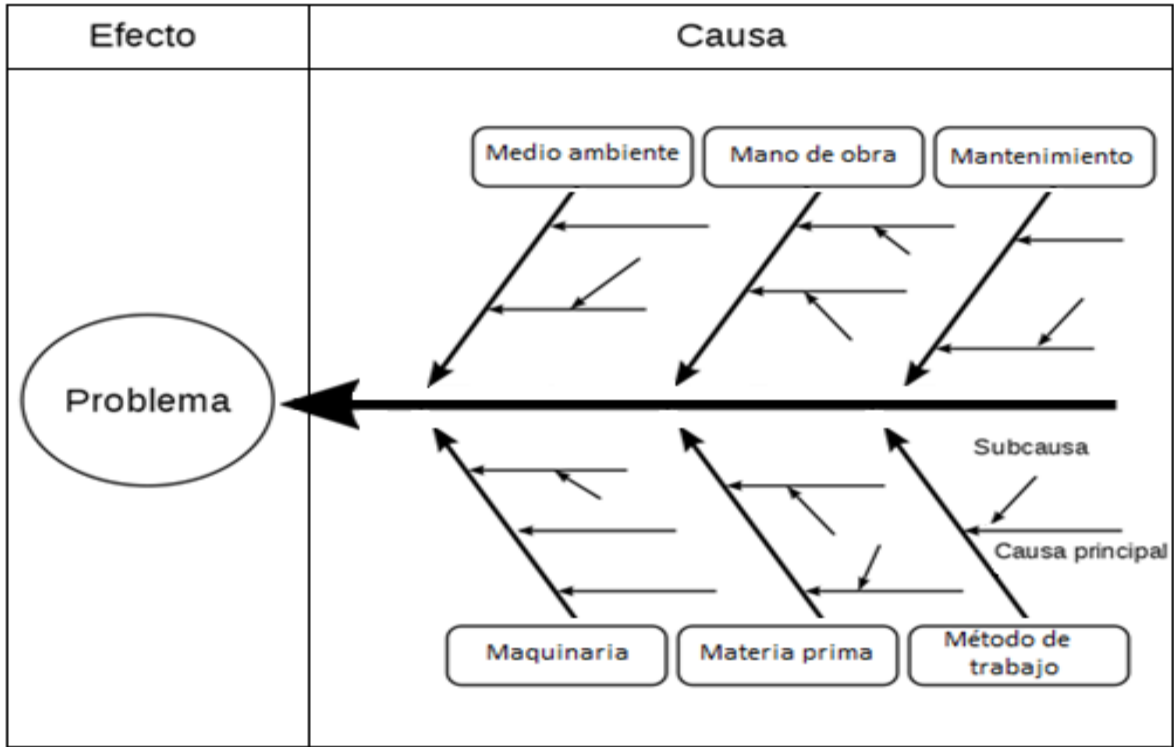
Por ende y según lo mencionado anteriormente, se observa que la frecuencia de falla total más alta corresponde a la fabricación de buje debido al desgaste interno, siendo el 38 % atribuible a esta causa y la otra frecuencia de falla total más alta corresponde a la fabricación de anillos por el desgaste interno entre estos, siendo el 31 % atribuible a esta causa, es decir se debe ver la factibilidad de atacar principalmente estas causas que pueden generar la falla de la unidad de bombeo, lo que permitirá disminuir el tamaño del problema en un 80 % aproximadamente.

Según lo indicado se procederá con la realización de los diagramas de Ishikawa respectivos para cada causa indicada.

2.3. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El diagrama de Ishikawa, es una representación gráfica que muestra las relaciones entre las causas y su efecto. Con esta herramienta se permite observar todas las causas las que van asociadas a un efecto en concreto, es decir a una causa que puede generar una falla.

La creación de los diagramas de Ishikawa, según la información obtenida a partir de Pareto, fue desarrollado en este caso de izquierda a derecha, donde los efecto que sería el problema se encuentra en el lado izquierdo y las causas en el lado derecho, ver Figura 2-2.



Fuente. Tecnología del Mantenimiento Industrial, 2004.

Figura 2-2. Ejemplo de diagrama de Ishikawa

La prioridad de las fallas, está dada por el diagrama de Pareto desarrollado anteriormente, este da como resultado 2 posibles causas de fallas que se pueden generar en los distintos elementos que conforman la unidad de bombeo. Para un mejor entendimiento, se dará a conocer los distintos diagramas de Ishikawa asociados, destacando que para la realización de estos, fue necesario establecer una reunión técnica con un grupo multidisciplinario constituido por el jefe del área de taller, un ingeniero del área post-venta y un técnico mecánico del área de ingeniería y contratos. A raíz de lo mencionado anteriormente, fue posible desarrollar los Ishikawas que se presentan a continuación.

2.3.1. Ishikawa para bujes de desgaste

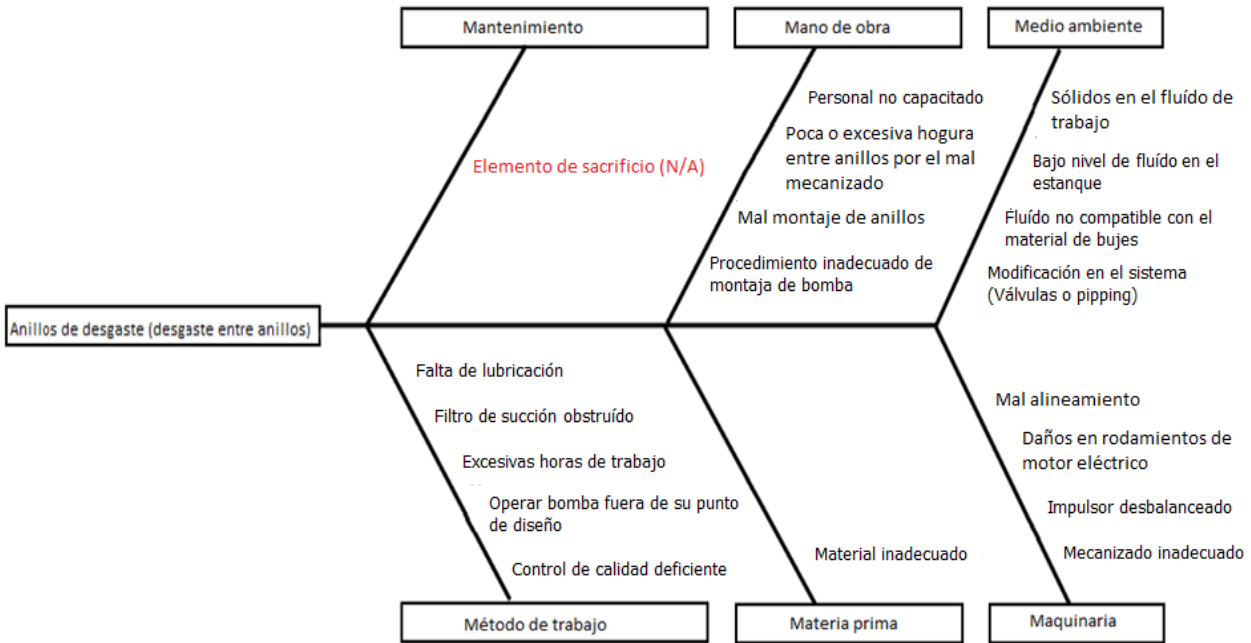


Fuente: Proseal Ltda.

Diagrama 2-2. Ishikawa para bujes

➔ Solución

En este caso la causa más relevante que genera la falla en los bujes hace alusión al método de trabajo correspondiente a la subcausa las excesivas horas de trabajo. Esto se puede verificar en contraste con lo que dice el fabricante donde su vida útil está determinada hasta las 4.800 horas de uso, esto quiere decir que serían aproximadamente unos 6 meses y medio, y según la información entregada por parte de la empresa, los equipos operan aproximadamente unos 8 meses (5840 horas). Esto es un factor determinante, ya que a partir del funcionamiento excesivo del equipo por parte de la empresa minera, se genera el enorme desgaste interno provocando huelgos fuera de parámetros y a su vez otros daños en los elementos internos del equipo, así mismo esto produce un aumento en las horas de reparación y por ende una disminución de su disponibilidad en faena.

2.3.2. Ishikawa para anillos de desgaste

Fuente: Proseal Ltda.

Diagrama 2-3. Ishikawa para anillos de desgaste

→ Solución

En este caso y al igual que el componente anterior, la causa más relevante que genera la falla entre anillos de desgaste hace alusión al método de trabajo correspondiente a la subcausa las excesivas horas de trabajo. Este elemento en conjunto con el anterior (bujes de desgaste) van tomados de la mano, debido a que los anillos tanto rotativo como estaciones son elementos de desgaste que posee la característica de ser un elemento de sacrificio, es decir lo primero que tenderá a desgastarse en condiciones normales después de los bujes serán los anillos.

El hecho de que los anillos rotativos o anillos estacionarios se desgasten después de los bujes, se debe a las tolerancias de armado del equipo, es decir los bujes al momento de su instalación deben poseer una tolerancia de armado (holgura) contra el eje de bomba entre 0,25 a 0,35 mm y la tolerancia entre anillos de desgaste es entre 0,58 a 0,73 mm. Debido a esto, se puede concluir que el desgaste de uno (bujes) conllevará al desgaste del otro (anillos) tan solo por las medidas de ajuste mencionadas anteriormente.

2.3.3. Solución final

Según los Ishikawa expuestos anteriormente, se puede apreciar que en la mayoría de ellos se observa una causa como la más repetitiva, la cual consistiría en el método de trabajo la que hace referencia a la subcausa horas excesivas de trabajo. En base a esto, es evidente indicar que la operatividad del equipo está por encima de la disponibilidad necesaria en faena, produciendo que las horas excesivas de trabajo provoquen un desgaste más allá de lo recomendado por el fabricante, así los tiempos entre reparaciones se elevan conllevando siempre al desarrollo de una mantención correctiva para los equipos que provienen de faena.

Es por esto, que se recomienda aplicar el mantenimiento tanto predictivo como preventivo, lo que en conjunto podrán dar un diagnóstico de la máquina, es decir, ser ocupados como una herramienta que puedan dar la información necesaria para evaluar el estado actual de la máquina, reconocer algún síntoma o un daño que pueda surgir a futuro (viéndolo por el lado predictivo) y hasta identificar alguna causa de los componentes fallados cuando se genere el mantenimiento preventivo.

Con la propuesta a aplicar, es posible evitar daños graves en los elementos internos y externos de los equipos, además de hacer que los costos disminuyan y como último se puede hasta minimizar las pérdidas de producción.

Para argumentar de mejor manera lo dicho, en el siguiente capítulo se procederá con la propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo y predictivo, el que será explicado detalladamente.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO
ACTUAL

3. PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

3.1. ANTECEDENTES GENERALES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento industrial, es considerado como una actividad o conjunto de acciones necesarias para garantizar el funcionamiento óptimo del equipo o máquina pero al menor costo posible, esto con el fin de asegurar la correcta operación de la productividad.

Esta actividad como 1º generación data desde la Revolución Industrial hasta a fines de la Segunda Guerra Mundial, donde el mantenimiento se aplicaba solo una vez que el equipo llegaba a su falla, así sucesivamente hasta el término de su vida útil (mantenimiento correctivo).

A continuación, se genera la 2º generación del mantenimiento, la que se sitúa entre después de la Segunda Guerra Mundial y a fines de los años 70. En este punto se descubre la relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de fallo, esto quiere decir que el mantenimiento se realizará antes de la producción de la falla y se comienzan con las sustituciones preventivas de los elementos internos y externos de un equipo (mantenimiento preventivo). Con esto se obtuvieron ganancias desde el punto de vista del funcionamiento del equipo, pero de igual manera tiene sus desventajas, ya que al hacer este tipo de mantenimiento puede que se llegue al cambio de una pieza que su vida útil todavía perdure durante el tiempo y no sea necesario su cambio.

La 3º generación del mantenimiento aparece a principio de los años 80, donde se realizan estudios causa-efecto (espina de pescado) para identificar el origen de las fallas o que también sirve para la detección de síntomas que puedan generar daños en las máquinas, que pueden conllevar consecuencias indeseables para el óptimo funcionamiento del equipo. Este tipo de mantenimiento es el predictivo. En conjunto con el análisis causa-efecto, también aparecen los 5 porque, arboles de falla y se hace partícipe a la producción en la detección de fallos el Mantenimiento Productivo Total (TPM), donde el operador es el primer encargado del mantenimiento.

Y por último esta la 4º generación del mantenimiento, esta se desarrolla en los primeros años de los 90 y se genera el mantenimiento basado en el riesgo (MBR), esto con el fin del proceder con una adecuada gestión del mantenimiento para aumentar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos. Esto se mantiene hasta hoy en día, el mantenimiento es mirado como una fuente de beneficios, donde el compromiso para que los activos de la empresa permanezcan en óptimas condiciones, depende de la comunicación de todos los departamentos, permitiendo que el plan ejecutado sea efectivo y llegue a ser parte de la cultura organizacional de la empresa.

La evolución del mantenimiento se desde la 1º generación hasta los días actuales se ilustran en la Figura 1-1.



Fuente: Apuntes del curso "Gestión del mantenimiento industrial", UTFSM, Sede Viña del Mar, 2016.

Figura 3-1. Evolución del mantenimiento

Luego de haber desarrollado una breve explicación sobre lo que es el mantenimiento y sus respectivas características, a continuación se procederá a comparar el mantenimiento recomendado por parte del fabricante (manual técnico) con el mantenimiento que se les aplica a los equipos en cuestión por parte de la empresa Proseal Ltda.

3.2. MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR PARTE DEL FABRICANTE

3.2.1. Generalidades

El operador de la planta tiene la responsabilidad de asegurar que todos los trabajos de mantenimiento, inspección y ensamble sean realizados por personal capacitado y autorizado, que esté familiarizado adecuadamente con todo lo concerniente con esta máquina por haber estudiado este manual en detalle.

Cualquier trabajo en la máquina, solo debe ejecutarse cuando esta se encuentre detenida. Al terminarse el trabajo, se deben reinstalar todos los dispositivos de seguridad y protección y dejar la máquina en modo operativo.

Antes de iniciar trabajos en la bomba, tómnese las medidas necesarias para impedir un arranque incontrolado. Ponga un aviso en el dispositivo de arranque que diga: "Máquina en curso de reparación: no tocar este dispositivo de arranque".

Con equipos eléctricos de accionamiento, enclave el interruptor principal en abierto y saque los fusibles. Ponga un aviso en la caja de fusibles o en el interruptor principal que diga: "Máquina en curso de reparación: no conectar este dispositivo". No limpiar nunca los equipos con solventes inflamables o tetracloruro de carbono. Al usar agentes limpiadores, protéjase contra gases tóxicos.

Se recomienda adoptar un plan y programa de mantenimiento, acorde con estas instrucciones para el usuario, que incluyan lo siguiente:

3.2.1.1. Inspecciones de mantenimiento

El programa de mantenimiento incluye los siguientes tipos de inspecciones.

- ✓ Mantenimiento de rutina;
- ✓ Inspecciones de rutina;
- ✓ Inspecciones trimestrales, y
- ✓ Inspecciones anuales.

Acorte los intervalos de inspección adecuadamente si el fluido bombeado es abrasivo o corrosivo, o si el entorno está clasificado como potencialmente explosivo.

3.2.1.2. Mantenimiento de rutina

Realice las siguientes tareas cuando lleve a cabo el mantenimiento de rutina.

- ✓ Lubrique los rodamientos en bombas suministradas con crisoles de empuje, y
- ✓ Inspeccione la empaquetadura o el sello mecánico.

3.2.1.3. Inspecciones de rutina

Realice las siguientes tareas cuando compruebe la bomba durante las inspecciones de rutina.

- ✓ Controle los ruidos inusuales, la vibración y las temperaturas de los cojinetes;
- ✓ Controle si la bomba y las tuberías tienen fugas, y
- ✓ Analice la vibración.

3.2.1.4. Inspecciones trimestrales

Realice las siguientes tareas cada tres meses.

- ✓ Controle que la base y los pernos de sujeción estén ajustados, y
- ✓ Controle el empaque, si la bomba estuvo sin funcionar y reemplácelo si es necesario.

3.2.1.5. Inspecciones anuales

Realice las siguientes inspecciones una vez al año:

- ✓ Controle la capacidad de la bomba,
- ✓ Controle la presión de la bomba, y
- ✓ Controle la potencia de la bomba.

Si el rendimiento de la bomba no satisface los requisitos del proceso y los requisitos del proceso no cambiaron, realice los siguientes procedimientos.

1° Desmonte la bomba.

2° Inspecciónela.

3° Reemplace las piezas desgastadas.

3.2.2. Desmontaje del cabezal y la columna

Advertencia: nunca intente elevar todo el ensamble de la bomba mediante los cáncamos para izar o pernos de ojo destinados sólo para el elemento motriz. Eleve siempre la bomba con grilletes a través de los cáncamos para izar o con pernos de ojo insertados a través de las bridas.

- 1° Si está equipado con sellos mecánicos, afloje los tornillos de fijación que ajustan el sello al eje de la bomba, de manera que el eje de la bomba pueda deslizarse hacia arriba o hacia abajo dentro del sello;
- 2° Extraiga los componentes necesarios según la Tabla 3-1;

Tabla 3-1. Eliminación de componentes para el desmontaje de cabezal y columna

Si la bomba es...	Entonces quite...
Movida por engranajes	El eje del elemento conductor entre el engranaje y la unidad de cebado.
Movida por motor eléctrico	Las conexiones eléctricas en la caja de empalmes y etiquete los cables eléctricos para poder volver a armarlos correctamente.

Fuente: Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento, ITT Goulds Pumps

- 3° Desacople el elemento conductor o caja de engranajes, del eje de la bomba y las bridas de montaje y luego, levántelo mediante los cáncamos o los pernos de izaje como un equipo;
- 4° Desconecte el cabezal de descarga de la tubería de descarga;
- 5° Extraiga todos los pernos de sujeción y la tubería integral;
- 6° Extraiga el acoplamiento, la caja de empaquetadura o el sello mecánico, y
- 7° Continúe con el desmontaje hasta los tazones, como se describe en la sección siguiente.

3.2.3. Desmontaje del tazón

El ensamble del tazón se compone de las siguientes partes.

- ✓ Campana de succión.
- ✓ Tazones intermedios.
- ✓ Tazón superior.
- ✓ Impulsores.
- ✓ Rodamientos.
- ✓ Eje de la bomba.

Los impulsores de la caja de la turbina están asegurados al eje por un manguito cónico o por una chaveta y un anillo de empuje dividido. Siga sólo los procedimientos que se aplican a su construcción en particular.

Estos tipos de uniones de impulsores, pueden aplicarse a cualquier bomba vertical de menos de 18 pulgadas (46 cm) de diámetro.

3.2.4. Desmontaje del tazón con chavetas

- 1° Extraiga los tornillos de cabeza que aseguran el tazón superior con el tazón intermedio;
- 2° Deslice el tazón superior sobre el eje de la bomba;
- 3° Extraiga los tornillos de cabeza y el anillo de empuje de división del eje de la bomba;
- 4° Deslice el impulsor por el eje de la bomba y extraiga la chaveta, y

Nota: si el impulsor está unido al eje, golpee el impulsor con una masa de fibra y quite el impulsor del eje de la bomba.

- 5° Repita estos pasos hasta que el ensamble del tazón esté completamente desmontado.

3.2.5. Extracción de la caja de la turbina y los anillos de desgaste del impulsor

- 1° Extraiga los tornillos de sujeción o pula la soldadura por puntos, si los anillos están unidos con esos métodos de bloqueo;
- 2° Utilice un cincel de punta de diamante para cortar dos ranuras en forma de V en el tazón o el anillo de desgaste a aproximadamente 180°. Tenga mucho cuidado de no dañar el asiento del anillo de desgaste;
- 3° Con un cincel o perforadora, golpee el extremo de una de las mitades del anillo y extraiga el anillo, y
- 4° En materiales de alta aleación como el acero cromado, coloque el tazón o el impulsor en un torno y torne el anillo de desgaste con mucho cuidado para no tornearse o dañar el asiento del anillo.

3.2.6. Extracción de los rodamientos del tazón, la campana de succión y el eje de línea

Nota: los rodamientos del embudo se ajustan a presión. No extraiga los rodamientos del embudo a menos que sea necesario reemplazarlos.

- 1° Usando una prensa de husillo y un trozo de tubería o manguito con un diámetro exterior ligeramente menor que el diámetro del tazón o del orificio del alojamiento del rodamiento del eje de línea, preñe hacia afuera el rodamiento;

- 2° Extraiga el rodamiento de la campana de succión colocando la campana de succión en un torno y torneando el rodamiento hacia afuera, y
- 3° El rodamiento de la campana de succión, también puede extraerse utilizando extractores de rodamientos para tirar hacia afuera de los rodamientos.

3.2.7. Inspecciones anteriores al ensamblaje

3.2.7.1. Pautas

Antes de montar las piezas de la bomba, asegúrese de seguir estas pautas.

- ✓ Inspeccione las piezas de la bomba, de acuerdo con la información proporcionada en estos temas anteriores al ensamblaje, antes de volver a armar la bomba. Reemplace las piezas que no cumplan con los criterios exigidos, y
- ✓ Asegúrese de que las piezas estén limpias. Limpie las piezas de la bomba con solvente para eliminar el aceite, la grasa y la suciedad.

Nota: proteja las superficies maquinadas cuando limpie las piezas. Si no lo hace, se pueden ocasionar daños en el equipo.

3.2.7.2. Pautas para el reemplazo

1° Control y reemplazo de la carcasa.

Inspeccione la carcasa para detectar grietas, desgaste o picaduras excesivos. Limpie las superficies de las juntas en su totalidad y alinee los ajustes para eliminar el óxido y los residuos.

2° Reemplazo del impulsor.

La Tabla 3-2, muestra los criterios para el reemplazo de las piezas del impulsor.

Tabla 3-2. Criterios para el reemplazo de las piezas del impulsor.

Piezas del impulsor	Cuándo se deben reemplazar
Paletas del impulsor	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando presentan surcos con una profundidad superior a 1/16 in (1,6 mm) o • Cuando tienen un desgaste de más de 1/32 in (0,8 mm)
Bordes de las paletas	Cuando se ven daños por grietas, picaduras o corrosión
Canal chavetero y orificios	Cuando vea daños

Fuente: Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento, ITT Goulds Pumps

3º Reemplazo de juntas, juntas tóricas, separadores y asientos.

- ✓ Reemplace todas las juntas, las juntas tóricas y los separadores en cada revisión y desmontaje.
- ✓ Inspeccione los asientos. Deben ser suaves y no deben tener defectos físicos. Para reparar los asientos desgastados, córtelos en la superficie con un torno manteniendo las relaciones de dimensión con otras superficies.
- ✓ Reemplace las piezas si los asientos están defectuosos.

4º Comprobación del retenedor de los rodamientos.

- ✓ Verifique el retenedor de los rodamientos en busca de deformaciones y desgaste.

5º Comprobaciones de los ejes.

- ✓ Verifique los ejes para ver la rectitud y el desgaste excesivo en las superficies de los rodamientos.
- ✓ Compruebe la deformación de los ejes. La desviación promedio total no debe exceder las 0,010 pulg. (0,25 mm) TIR por cada 10 pies (3 m) de la longitud del eje.

6º Comprobaciones del sello mecánico.

- ✓ En bombas equipadas con sellos mecánicos, verifique que el eje o el manguito estén libres de picaduras, rebabas o bordes afilados para evitar cortes o sellado incorrecto de las juntas tóricas del sello.

Extraiga las rebabas y los bordes afilados al pulir con un paño de tela esmerilada.

7° Comprobaciones del impulsor y del tazón.

- ✓ Compruebe visualmente los impulsores y los tazones en busca de grietas y picaduras. Verifique todos los rodamientos de los tazones en busca de desgaste excesivo y corrosión.

3.2.8. Reensamble

3.2.8.1. Instalación del cabezal de descarga

Precaución: no golpee ni raye el eje que sobresale por encima de la columna. El eje podría dañarse o curvarse.

El sello mecánico utilizado en un ambiente previamente clasificado debe estar certificado correctamente. Antes del arranque, asegúrese de que todas las áreas que pudieran provocar fuga de fluido bombeado en el ambiente de trabajo estén cerradas.

Nota: asegúrese de que los pernos de anilla o las eslingas sean adecuados para manejar un peso superior al de la bomba.

Los sellos mecánicos se envían por separado. Si la carcasa del sello está montada al cabezal de descarga, extraiga el sello antes de comenzar este procedimiento.

Para la opción de eje de línea cerrado, sólo realice los pasos 3 y 4 de este procedimiento.

1° Si la caja de empaque está montada al cabezal, extráigala junto con las tuberías adheridas.

2° Extraiga el protector del acople:

- a. Coloque grilletes en los pernos de izaje del cabezal de descarga o enrosque dos pernos de oreja en los orificios de montaje del soporte del elemento conductor del cabezal diametralmente y opuestos entre sí.
- b. Eleve el cabezal de descarga sobre el eje del cabezal que sobresale.

3° Oriente el cabezal de descarga hacia la posición requerida.

- a. Baje el cabezal a medida que centra el orificio vertical con el eje del cabezal que sobresale por encima de la columna.
- b. Deténgase cuando el cabezal de descarga se acople a la columna.
- c. Instale los tornillos de cabeza y asegure el cabezal de descarga a la columna.
- d. Ajuste los tornillos de cabeza gradualmente en pares diametralmente opuestos.

- 4° Eleve el ensamble de la bomba lo suficiente como para permitir la extracción de los soportes.
- 5° Instale y ajuste los tornillos de cabeza restantes, hasta que todos los tornillos de cabeza estén ajustados de manera uniforme.
- 6° Eleve el tazón, la columna y el ensamble del cabezal, y extraiga los soportes.
- 7° Baje el tazón, la columna y el ensamble del cabezal hasta que la brida de montaje del cabezal de descarga se acople con los pernos de anclaje o con la sub-base.
- 8° Asegure el cabezal de descarga a la cimentación o a la sub-base.

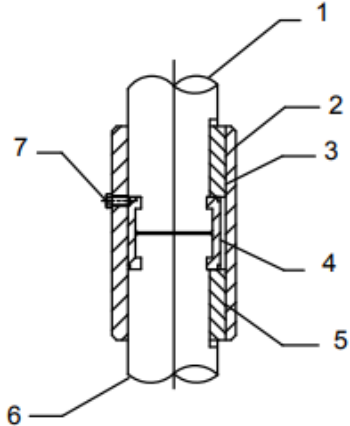
3.2.8.2. Instalación del eje

Los ejes de línea de las bombas están conectados con acoplamientos roscados o con chaveta. Esta sección describe ambos procedimientos.

Consulte el Esquema de la bomba certificado para ver los números de columna y secciones del eje requerido.

- 1° Verifique la rectitud del eje del cabezal y del eje de línea. El TIR promedio debe ser menor que 0,0005 pulg (0,013 mm) por pie (0,305 m) y no debe exceder las 0,005 pulg (0,127 mm) por cada 10 pies (3 m).
- 2° Instale el acoplamiento según Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Instalación de acoplamientos

Si el acoplamiento del eje de línea es...	Entonces...
Roscado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplique una película delgada de aceite a las roscas del acoplamiento si es un material anticorrosivo. Utilice un anti-adherente si el acoplamiento es un material corrosivo. 2. Gire la rosca manualmente hasta sentir resistencia. Puede usarse un cable fino insertado en el orificio del taladro en el centro del acoplamiento como medidor para determinar cuándo el acoplamiento está correctamente posicionado en el eje. 3. Extraiga el cable después de instalar el acoplamiento. 4. Complete la unión usando un par de llaves para tuberías, una en la parte superior del eje de la bomba y otra en el acoplamiento. 5. Coloque el eje de línea superior en el acoplamiento y ajuste a mano. No aplique llaves en las superficies lisas de los cojinetes. <p>Para ver una ilustración del acoplamiento roscado, consulte la lubricación del producto VIT-FF en el capítulo Lista de piezas.</p>
Con chaveta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inserte la chaveta en el eje de la bomba. 2. Baje el manguito sobre el eje de la bomba, aproximadamente 1,0 pulg. (25,4 mm) por debajo de la parte superior del eje. 3. Baje el eje de línea hasta que entre en contacto con el eje de la bomba. 4. Inserte el anillo de división en las ranuras del eje de la bomba y del eje de línea. 5. Levante el manguito hasta que cubra el anillo de división. 6. Inserte la chaveta en el eje de línea. 7. Levante el manguito hasta la parte superior de la chaveta. 8. Asegure el manguito en el anillo de división con un tornillo de bloqueo y con cable de bloqueo.
Si el acoplamiento del eje de línea es...	Entonces...
	 <ol style="list-style-type: none"> 1. Eje de línea 2. Manguito 3. Llave 4. Anillo de división 5. Llave 6. Eje de la bomba 7. Cable de bloqueo/tornillo de bloqueo

Fuente: Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento, ITT Goulds Pumps

3º Coloque un dispositivo de elevación de tipo torno de tubería pequeño y ajustable en una sección del tubo cerrado. Si no dispone de ese dispositivo,

utilice un pedazo de cable de manila, atado al tubo mediante un ballestrinque o un nudo doble.

- 4° Levante y baje el tubo cerrado sobre la primera mitad del eje adjunto al tazón.
- 5° Aplique un componente anti-agarrotamiento a las roscas coincidentes del rodamiento del tornillo de la parte superior de la bomba y ajuste con firmeza.
- 6° Instale la primera parte de la tubería de la columna sobre el tubo:
 - a. Instale dos pernos de oreja en forma diamétrica y opuestos entre sí en la brida superior de la columna inferior.
 - b. Coloque una eslinga en los pernos de oreja y en el gancho del elevador.
 - c. Eleve la sección de la columna sobre el ensamble del tazón.
 - d. Baje la columna sobre el tubo cerrado hasta que la brida de la columna se acople al registro de la brida del tazón de descarga.
 - e. Inserte la mayor cantidad de tornillos de cabeza posibles a través de las dos bridas y ajuste gradualmente en pares opuestos diametralmente.
- 7° Levante todo el ensamble por los pernos de oreja de la columna y extraiga los soportes.
- 8° Baje lentamente el tazón y el ensamble de la columna.
- 9° Coloque los soportes en la cimentación y continúe bajando el ensamble hasta que la brida de la columna superior descanse en los soportes.
- 10° Rocíe con un cuarto de aceite de turbina suave en la sección superior del tubo y atornille el rodamiento del tubo en la parte superior hasta que haga tope y quede listo para recibir la parte siguiente del ensamble de la tubería.
- 11° Instale el acoplamiento del eje de línea en el extremo proyectado del eje.

3.2.8.3. Ajuste del impulsor para un elemento conductor de eje sólido

Importante: la determinación del juego axial del eje del elemento conductor puede ser crítica y debe agregarse a la configuración del impulsor descrita en este tema. Para bombas más grandes que 8,00 pulgadas (20,32 cm), esta cantidad puede no ser suficiente. Consulte el dibujo de salida de la bomba para obtener detalles.

Cuando se restablecen los impulsores, también debe restablecer el sello.

Complete los siguientes pasos en base a su tipo de impulsor según se indica en Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Instalación y ajuste de impulsor

Si el impulsor es un...	Entonces...
Impulsor abierto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Con los impulsores en contacto con la parte inferior de los tazones, gire la placa de ajuste hacia el cubo del elemento conductor o espaciador para obtener una holgura de 0,015 pulg. (0,381 mm) entre la placa de ajuste y el cubo del elemento conductor o espaciador para los primeros 10 pies (3 m) adicionales de la columna. 2. Agregue 0,010 pulg. (0,254 mm) por cada 10 pies (3 m) adicionales de la columna. Por ejemplo, si la longitud total de la bomba es 50 pies (15 m), establezca los impulsores abiertos a 0,055 pulg. (1,397 mm). 3. Alinee la placa de ajuste con el núcleo de la bomba y una con firmeza las bridas del acoplamiento con tornillos de cabeza y tuercas. 4. Establezca el sello: <ol style="list-style-type: none"> a. Ajuste con firmeza todos los tornillos de fijación del collar. b. Extraiga el espaciador entre la placa del casquillo y el collar. c. Conserve el espaciador para restablecimientos futuros del sello.
Impulsor cerrado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtenga la configuración del impulsor del dibujo de salida de la bomba certificado. 2. Alinee la placa de ajuste con el núcleo de la bomba y una con firmeza las bridas del acoplamiento con tornillos de cabeza y tuercas. 3. Establezca el sello: <ol style="list-style-type: none"> a. Ajuste con firmeza todos los tornillos de fijación del collar. b. Extraiga el espaciador entre la placa del casquillo y el collar. c. Conserve el espaciador para restablecimientos futuros del sello.

Fuente: Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento, ITT Goulds Pumps

3.2.8.4. Instale el tazón de la turbina y el anillo de desgaste del impulsor

- 1° Coloque la cara biselada del tazón o anillo de desgaste del impulsor en el asiento del anillo y presione el anillo en el asiento, y
- 2° Utilice una prensa de husillo o su equivalente y asegúrese de que el anillo esté nivelado con el asiento del anillo de desgaste.

3.2.8.5. Instalación de los rodamientos del tazón, la campana de succión y el eje de línea

Asegúrese de contar con una prensa de ejes o similar para prensar los rodamientos.

- 1° Prese el rodamiento en el retenedor;
- 2° Prese el rodamiento en la campana de succión.

La parte superior del rodamiento debe sobresalir por arriba del cubo de succión en una longitud igual a la profundidad del orificio escariado del collar de arena;

- 3° Prese los rodamientos en los tazones intermedio y superior, y

4° Coloque el tazón con la brida hacia abajo y preme el rodamiento a través del lado biselado del cubo del tazón hasta que el rodamiento esté nivelado con el cubo.

3.2.8.6. Instalación del ensamble del tazón con chaveta

- 1° Instale la chaveta en el canal chavetero del eje de la bomba, deslice el impulsor sobre el eje y posicione el impulsor sobre la chaveta.
- 2° Instale un anillo de empuje de división en la ranura del eje de la bomba y asegúrelo al impulsor con tornillos de cabeza.
- 3° Deslice un tazón intermedio sobre el eje de la bomba y asegúrelo a la campana de succión con tornillos de cabeza, y
- 4° Repita estos pasos para la cantidad de etapas requeridas.

3.2.8.7. Instalación del sello mecánico

Las bombas se envían sin sellos mecánicos instalados. Si no los tienen, consulte las instrucciones de instalación del fabricante de los sellos mecánicos. Las opciones de sello mecánico para esta bomba son:

- ✓ Sello mecánico del cartucho.
- ✓ Sello mecánico convencional, de componente interno.
- ✓ Sello mecánico convencional, ubicado fuera del componente.
- ✓ Sello de alta presión.
- ✓ Sello mecánico doble.

Nota:

- ✓ No bombee inserciones de carbón en el eje, ya que pueden astillarse, agrietarse o romperse.
- ✓ No apriete excesivamente los tornillos en el manguito. Podría distorsionarse el asiento del sello y hacer que el sello falle.
- ✓ No extraiga el espaciador de sello o la arandela excéntrica, ajuste el sello o apriete los tornillos de fijación hasta que haya ajustado los impulsores.
- ✓ Restablezca el sello después de ajustar el impulsor.

- 1° Instale la junta tórica o junta entre el alojamiento del sello y el sello.
 - a. Instale el sello sobre el eje y colóquelo en posición contra la cara de la caja del sello.
 - b. Tenga cuidado cuando pase el manguito y la junta tórica por los canales chaveteros o las tuercas para evitar daños en la junta tórica.
- 2° Coloque el casquillo del sello sobre el alojamiento del sello del cabezal de descarga y asegúrelo con tornillos de cabeza (o tuercas para poleas).

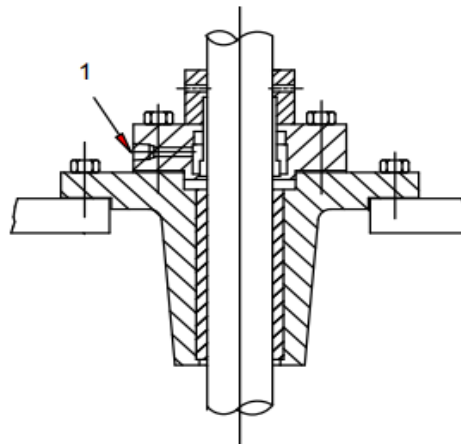
- 3° Ajuste los tornillos de cabeza gradual y uniformemente en un patrón entrecruzado, en dos o tres pasos.
- 4° Instale todas las tuberías del sello según sea necesario.
- 5° Antes de realizar las conexiones finales de las líneas de presurización de líquido de sellado, asegúrese de que el alojamiento del sello y que todas las líneas de líquido de sellado estén libres de suciedad, óxido y otras partículas.
- 6° Instale el elemento conductor y el acoplamiento.

El ensamble de un sello mecánico montado exteriormente simple esta proporcionado por dos subconjuntos:

- Unidad estable, y
- Unidad rotativa.

- 1° Instale la unidad estable, que es el ensamble del casquillo del sello. La unidad estable quedará orientada hacia arriba.
- 2° Instale la unidad rotativa y tenga cuidado de no desarmar las piezas rotativas. La instalación se dificulta cuando las piezas de la unidad rotativa se desarman.

- 1° Ajuste el sello.
 - a. Consulte el espacio de resorte que aparece sellado en el collar y que se muestra en el dibujo del ensamble del sello.
 - b. Ajuste los tornillos de fijación, de manera que el anillo de compresión se mantenga a la misma distancia desde el collar hacia todos los puntos.
 - c. Antes de arrancar la bomba, asegúrese de que el espacio de resorte y la distancia desde la cara de la caja de empaque hasta el collar sea la que se muestra en la Figura 3-1 de ensamble del sello.



1. Desvío para succión

Fuente: Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento, ITT Goulds Pumps

Figura 3-1. Ensamble de un sello mecánico

➤ Lubricación de la bomba

En general, las bombas VIT que vienen lubricadas de fábrica, no requieren lubricación periódica. La caja de empaquetadura y el sello mecánico necesitan flujo de purga.

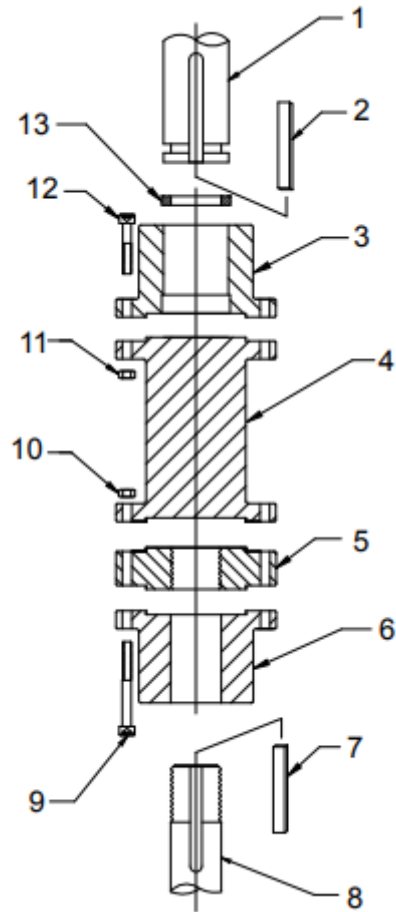
3.2.8.8. Instalación de un elemento conductor de eje sólido

Nota:

- ✓ Cuando se suministra la bomba con un calderín de empuje, no asegure el motor a la cabeza de descarga hasta que se hayan instalado el calderín de empuje y el acoplamiento flexible. Si es necesario, se proporcionará un complemento independiente para los calderines de empuje.

- ✓ Lea y siga las instrucciones del fabricante antes de lubricar los cojinetes del motor. La lubricación excesiva puede producir sobrecalentamiento en los rodamientos y fallas prematuras.

El acoplamiento entre el eje del elemento conductor y el eje del cabezal de descarga puede ser de tipo espaciador o no espaciador. El tipo espaciador se utiliza en bombas armadas con un sello mecánico para permitir el servicio del sello sin extraer el elemento conductor según Figura 3-2.



Fuente: Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento, ITT Goulds Pumps

Figura 3-2. Acoplamiento del tipo espaciador

1. Eje del elemento conductor.
 2. Llave del motor, suministrada por el proveedor del motor.
 3. Núcleo del elemento conductor,
 4. Espaciador.
 5. Placa de ajuste.
 6. Núcleo de la bomba.
 7. Llave de la bomba
 8. Eje del cabezal.
 9. Tornillo de cabeza.
 10. Tuerca hexagonal.
 11. Tuerca hexagonal.
 12. Tornillo de cabeza.
 13. Anillo de división.
1. Si se proporciona un soporte del motor y no está instalado, realice los pasos siguientes:
 - a. Coloque el soporte del elemento conductor e inspeccione las superficies de montaje y el registro.

- b. Limpie estas superficies totalmente.
 - c. Instale el soporte del elemento conductor en el cabezal de descarga y asegúrelo con tornillos de cabeza.
2. Ate un estrobo a los pernos de izaje del elemento conductor y coloque el motor.
3. Inspeccione la superficie del montaje, el registro y la extensión del eje y luego limpie estas superficies totalmente. Si se encuentran rebabas, extráigalas con una lima mineral suave.
4. Oriente la caja de empalmes del motor en la posición requerida:
 - a. Alinee los orificios de montaje del motor con los orificios etiquetados coincidentes en el cabeza de descarga.
 - b. Baje el motor hasta que los registros se acoplen y el motor descansa en el cabezal de descarga.
 - c. Asegure el motor con tornillos de cabeza.
5. En elementos conductores con trinquetes no reversibles o clavijas, gire el eje del elemento conductor manualmente en el sentido de las agujas del reloj visto desde arriba, hasta que los trinquetes no reversibles o clavijas se acoplen totalmente.
6. Lubrique los cojinetes del motor de acuerdo con las instrucciones de la placa de lubricación unida al bastidor del motor.
7. Realice conexiones eléctricas temporales de acuerdo con los cables etiquetados o el diagrama adjunto al motor.

El motor debe girar en sentido contrario a las agujas del reloj visto desde arriba. Vea la flecha en la placa de identificación de la bomba. Si el motor no rota en sentido contrario a las agujas del reloj, cambie la rotación intercambiando los dos cables (sólo para trifásicas). Para motores monofásicos, consulte las instrucciones del fabricante del motor.

Si se requiere ajuste del juego del extremo del eje del motor, verifíquelo con un indicador de dial antes de conectar el acoplamiento de la bomba al motor de eje sólido. Consulte el manual de instrucciones del fabricante del motor aplicable para obtener información detallada sobre el juego axial del eje del motor.

Luego de haber indicado el mantenimiento propuesto por parte del fabricante extraído del manual técnico, se procederá con el desarrollo del mantenimiento que realiza la empresa Proseal Ltda., con el fin de comparar estos y ver cuáles son los resultados que se obtienen a partir de este análisis.

3.3. MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR PARTE DE PROSEAL LTDA.

Proseal Ltda., es una empresa que presta servicio de mantenimiento industrial a los equipos de bombeo que operan dentro de las empresas mineras. Si

bien Proseal Ltda., repara y mejora continuamente lo equipos que llegan desde faena, también se encarga de efectuar mantenimiento en el área de terreno con el fin de observar los parámetros bajo el cual se desempeña el equipo permitiendo mantener la unidad de bombeo bajo las condiciones operacionales óptimas requeridas. A continuación, se darán a conocer los mantenimientos que efectúa Proseal Ltda., a las bombas centrífugas involucradas en este informe.

1º Mantenimiento correctivo. Este es realizado en las instalaciones de Proseal Ltda., una vez que el equipo es retirado desde faena. Si bien, el mantenimiento se desarrolla a partir de lo que indica el fabricante hay ciertos procedimientos que han ido variando debido a los requerimientos solicitados por el cliente, lo que ha provocado ciertas modificaciones al mantenimiento original instaurado por el manual técnico, sin embargo, la reparación realizada permite un desempeño óptimo del equipo en terreno; y

2º Mantenimiento predictivo. Este es realizado en terreno una vez que el equipo es instalado en faena y se realiza su puesta en marcha. Es por esto y para tener una mejor idea sobre el mantenimiento realizado por la empresa Proseal Ltda., se ha realizado una entrevista al personal mecánico involucrado en el mantenimiento de las unidades rotativas, con el fin de interiorizarse y desarrollar una mejor explicación sobre lo acontecido.

La entrevista se ha realizado en conjunto con el líder mecánico encargado de ejecutar el mantenimiento a los equipos de la Planta las Tórtolas, estación de Rebombeo.

1. ¿Qué tipo de mantenimiento se les realiza a los equipos?

R: El mantenimiento ejecutado a los equipos siempre ha sido un mantenimiento predictivo, pero ocasionalmente y bajo el requerimiento del cliente se realiza un mantenimiento preventivo en faena.

2. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento?

R: El mantenimiento predictivo se ejecuta una vez que el equipo se ha puesto en marcha, este consiste en medir parámetros operacionales como rpm del motor, vibraciones del equipo y temperatura de los rodamientos del motor. Si los parámetros operaciones del equipo no se encuentran dentro de lo permisible se ejecutan los trabajos de reparación pertinentes que permitan el desarrollo óptimo del equipo, lo cual se verifica nuevamente a través de medición de los parámetros mencionados anteriormente.

3. ¿Tienen contabilizado una cierta cantidad de horas para realizar mantenimiento?

R: No, tanto el mantenimiento preventivo como predictivo se realizan bajo ningún procedimiento establecido por parte de Proseal, como no hay procedimiento tampoco hay un tiempo que determine la ejecución del trabajo a realizar.

4. ¿Quién realiza el montaje del equipo?

R: Proseal Ltda. realiza el desmontaje, la reparación y el montaje, ya que cualquier inconveniente con el equipo, ellos deben hacerse responsables.

5. ¿Cada cuánto tiempo se realiza inspección visual a los equipos que se encuentran operando?

R: De vez en cuando se va a la estación de Rebombeo pero no precisamente a revisar el estado de los equipos, sino, solo a realizar una inspección general de la estación:

- ✓ Que no haya una fuga considerable.
- ✓ Que el nivel de la piscina sea el adecuado.
- ✓ Y más que todo, que no se detecte algo anormal.

6. ¿El mantenimiento de este equipo solo los realiza Proseal Ltda. o también se los envían a otro proveedor a reparar?

R: En los últimos años, Proseal Ltda. ha estado a cargo de realizar el mantenimiento a los equipos, ya que ellos ganaron el contrato pero cuando antiguamente no había contrato de por medio la unidad rotativa, la enviaban a una de las 4 empresas con que trabaja Las Tórtolas para realizarles mantenimiento (ITT Goulds, Bomba Teck, Proseal Ltda. o Maestranza Diésel).

Cabe destacar que el mantenimiento predictivo es muy importante y fundamental para conseguir una buena disponibilidad y eficiencia de los equipos, ya que este se caracteriza por la detección de futuros fallos de los elementos que componen una máquina, permitiendo la detección de estos antes que el equipo sufra alguna falla que conlleve a la detención total de la unidad. Este mantenimiento va de la mano con el mantenimiento preventivo. Si se realiza un buen programa de mantenimiento predictivo se podrá anticipar a la falla, esto permitirá minimizar los tiempos muertos de reparación del equipo, debido a que el mantenimiento preventivo a realizar será programado de acuerdo a los resultados obtenidos desde la ejecución del primer mantenimiento mencionado, es decir los tiempos de reparación preventivos descenderán y en este caso se podrá obtener una mejor respuesta hacia al cliente, ya que se aumentará la vida útil o disponibilidad del equipo en terreno. Además así, se logrará el tiempo de reparación acordado con la empresa mandante lo que no incurrirá a multas o a cobros que salen de lo presupuestado por parte de Proseal Ltda.

Debido a todo lo mencionado anteriormente y a la entrevista desarrollada al personal de faena, se puede indicar que no hay un estudio que establezca un

mantenimiento predictivo sobre los equipos que repara Proseal Ltda. y operan en faena. No hay un análisis sobre la disponibilidad de los equipos en terreno ni tampoco un plan de mantenimiento adecuado acorde a las características operativas de los equipos en funcionamiento. Es por esto, que se plantearán las siguientes propuestas en relación al nuevo plan de mantenimiento.

1. Se procederá con la realización de un plan de mantenimiento predictivo, estableciendo rutas de mantenimiento que se realicen con cierta frecuencia de acuerdo a la criticidad de cada equipo (dicha criticidad tendrá que ser evaluada en conjunto con el personal a cargo de los equipos en la minera Anglo American Sur).

En estas rutas de mantenimiento, se medirán los parámetros considerados como los importantes que permitirán monitorear y conocer el comportamiento completo del equipo mientras esté en funcionamiento. Los parámetros a controlar serán los siguientes:

- Revoluciones por minuto del motor.
- Vibraciones del equipo.
- Temperatura de los rodamientos del motor.
- Presión de descarga.
- Estado del lubricante.
- Corriente de funcionamiento.
- Caudal de descarga.

Además, se realizaran inspecciones diarias mediante el uso de los sentidos de la persona.

- Inspección realizada con la vista:
 - Suciedad, piezas sueltas, protección de seguridad faltante, fugas hidráulicas y defectos en la calidad del producto.
- Inspección realizada con el oído:
 - Ruido excesivo y sonidos extraños o adicionales.
- Inspección realizada con el olfato:
 - Fricción o calor excesivo.
- Inspección realizada con el tacto:
 - Piezas sueltas.
 - Terminaciones superficiales.

Con la inspección y medición de estos parámetros, se podrá pronosticar el punto futuro de la falla de un elemento, de tal forma que este mismo pueda ser reemplazado justo antes de que falle por medio de un plan de mantenimiento preventivo, evitándose así un daño catastrófico en la unidad que conllevaría a la ejecución de un plan de mantenimiento correctivo, el cual y según lo expuesto a lo largo de este informe no es el más óptimo, debido a los inconvenientes que genera

en los tiempos establecidos por contrato y los costos no contemplados (multas) en la reparación del equipo.

2. En conjunto con el mantenimiento predictivo mencionado en el punto anterior, se realizará además un mantenimiento preventivo, en el que se contemplará siempre el cambio de bujes y anillos desgaste por unos nuevos (además de las tareas básicas que consisten en limpieza química, pulido mecánico y análisis de todas las piezas restante para ver el estado de su condición), plan desarrollado a partir de lo expuesto en el diagrama de Pareto realizado en el Capítulo 2, el que demostró que estos elementos eran los más propensos a sufrir desgaste y si se llegaran a utilizar más allá de lo recomendado por el fabricante, estos sufrirán daños que consecutivamente producirán fallas entre los demás componentes internos del equipo, situación no deseable y que se presenta en la actualidad.

El plan de mantenimiento preventivo propuesto solo abarcará un tiempo máximo de reparación de 12 días por lo cual y según lo indicado dentro del contrato establecido por ambas empresas, esta cantidad de días sí están dentro de lo acordado, por ende es factible proceder con la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo, el que se podrá realizar desde el mes de enero del año 2018 hasta el año 2020 (cada 6 meses), dado que el análisis realizado fue sobre las fallas más comunes de los equipos que han estado operando durante 3 años (años: 2015, 2016 y 2017).

En cuanto a lo recién mencionado y revisando la última reparación de los equipos, se programarán los mantenimientos según las siguientes fechas:

- Equipo N° 1
 - ✓ Primer Mantenimiento: 08 de julio del 2018.
 - ✓ Segundo Mantenimiento: 11 de enero del 2019.
 - ✓ Tercer Mantenimiento: 06 de julio del 2019.
 - ✓ Cuarto Mantenimiento: 04 de enero del 2020.
 - ✓ Quinto mantenimiento: 08 de julio del 2020.

- Equipo N° 2
 - ✓ Primer mantenimiento: 13 de marzo del 2018
 - ✓ Segundo mantenimiento: 11 de septiembre del 2018.
 - ✓ Tercer mantenimiento: 15 de marzo del 2019.
 - ✓ Cuarto mantenimiento: 12 de septiembre del 2019.
 - ✓ Quinto mantenimiento: 08 de marzo del 2020.
 - ✓ Sexto mantenimiento: 14 de septiembre del 2020.

- Equipo N° 3
 - ✓ Primer Mantenimiento: 05 de septiembre del 2018.
 - ✓ Segundo Mantenimiento: 09 de marzo del 2019.
 - ✓ Tercer Mantenimiento: 05 de septiembre del 2019.

- ✓ Cuarto Mantenimiento: 10 de marzo del 2020.
- ✓ Quinto mantenimiento: 14 de septiembre del 2020.

- Equipo N° 4
 - ✓ Primer Mantenimiento: 13 de mayo del 2018.
 - ✓ Segundo Mantenimiento: 15 de noviembre del 2018.
 - ✓ Tercer Mantenimiento: 19 de mayo del 2019.
 - ✓ Cuarto Mantenimiento: 15 de noviembre del 2019.
 - ✓ Quinto mantenimiento: 13 de mayo del 2020.
 - ✓ Sexto mantenimiento: 09 de noviembre del 2020.

- Equipo N° 5
 - ✓ Primer Mantenimiento: 13 de octubre del 2018.
 - ✓ Segundo Mantenimiento: 15 de abril del 2019.
 - ✓ Tercer Mantenimiento: 19 de octubre del 2019.
 - ✓ Cuarto Mantenimiento: 15 de abril del 2020.
 - ✓ Quinto mantenimiento: 13 de octubre del 2020.

Todo lo descrito acá, es evaluado desde el punto de vista teórico, sin embargo es necesario ejemplificar esto mediante indicadores económico que den la veracidad de lo descrito. Es por esto, que en siguiente y último capítulo de podrá observar mediante cálculos que la propuesta de mejorar del plan de mantenimiento es rentable a diferencia de la que se ejecuta hoy actualmente en la empresa.

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA NUEVA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA NUEVA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se indagará sobre la evaluación económica de la nueva propuesta de un plan de mantenimiento, el cual tiene por objetivo entregar la mayor información sobre la rentabilidad de este mismo por medio del análisis económico permitiendo dar una respuesta factible para la ejecución del proyecto planteado.

Esta evaluación económica se hará mediante el indicador denominado Valor Actual de Costos (VAC) el que se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Dónde:

VAC: Valor Actual de Costos.

I₀: Inversión inicial.

C_t: Costos incurridos durante el periodo t.

n: Horizonte de evaluación.

r : Tasa social de descuento.

T: Tiempo de evaluación del costo.

Este indicador permitirá diferenciar sobre las alternativas propuestas en cuanto a sus costos asociados. Esto se debe a que su desarrolló, se ejecuta principalmente a través de la toma de los egresos pertenecientes al proyecto, queriendo decir que el resultado que genere el menor gasto de recursos, será la alternativa más factible para su ejecución a futuro.

Dentro de los costos involucrados en este informe es preciso distinguir los siguientes:

- Costo de inversión: corresponden a los egresos o gastos que se generan para la adquisición de ciertos activos y son realizados en el momento cero del proyecto. Esta inversión se caracteriza por ser una ganancia a futuro pero de manera indirecta, ya que al invertir en este caso y como se verá más adelante en la compra de herramientas, se podrá observar que estos serán de gran utilidad para la generación de un óptimo mantenimiento.

- Costos operacionales: son costos que se generan durante la operación del proyecto, los cuales hacen que el proyecto se mantenga en normal funcionamiento como gastos de mano de obra, bienes y servicios, es por esto mismo que estos costos se caracterizan por ser periódicos. De este mismo punto se pueden desprender los siguientes costos:
 - Costos variables: son aquellos costos que son directamente proporcionales al volumen de producción, es decir pueden aumentar o disminuir según sea el caso.
 - Costos fijos: son aquellos costos que permanecen invariables a la producción, es decir son constante durante un tiempo determinado e independiente del nivel de operación de la empresa.
- Costos de mantención: son aquellos costos destinados para la mantención de equipos, infraestructura, repuestos y materiales.

Cabe destacar que los mantenimientos evaluados tanto el actual, como los propuestos generan idénticos beneficios es decir, el objetivo de cada uno de estos es concluir con la reparación del equipo en cuestión y la diferencia de cada uno de ellos radica en sus costos, es por esto que se aplica este tipo de indicador como método para evaluar la mejor alternativa.

En este caso se genera un análisis de todos los equipos en cuestión, los que han llegado a la empresa en un periodo de 3 años debido a esto, la evaluación económica se desarrollará en los periodos de los años 2015, 2016 y 2017 para así comparar estos costo con los costos de los 3 años siguientes (2018, 2019 y 2020) lo que vendría siendo el horizonte del proyecto, donde se ejecutará la nueva propuesta del plan de mantenimiento.

Por otro lado, se tiene la tasa de descuento (r), esta corresponde al retorno mínimo exigido por el inversionista que permitirá obtener una retribución hacia la inversión del proyecto.

El método para la elección de la tasa de descuento se basa en la determinación de 3 opciones:

- A. Una de las metodologías corresponde al Capital Asset Pricing Model (CAPM), la cual analiza el riesgo y el rendimiento esperado, para proyectos de expansión y su fórmula para la estimación de la tasa corresponde a la siguiente:

$$R = R_f + (R_m - R_f) * B$$

Dónde:

R: Tasa de descuento.

R_f: Tasa libre de riesgo.

R_m: Tasa de rentabilidad del mercado.

B: Relación que existe entre el riesgo del proyecto respecto al riesgo de mercado.

- B. Otra de las metodologías que sirve para calcular la tasa de descuento es el Weighted Average Cost of Capital (WACC). Es una tasa de descuento que se utiliza para valorar proyectos a través del método de descuento de flujos de caja efectivo según la siguiente fórmula.

$$WACC = K_e \times (E/(E+D)) + K_d \times (1-T) \times (D/(E+D))$$

Dónde:

WACC: Weighted Average Cost of Capital.

K_e : Coste de los fondos propios.

E: Fondos propios.

D: Endeudamiento.

K_d : Coste financiero.

T: Tasa impositiva.

- C. Y la última forma de poder obtener la tasa de descuento, es mediante la utilización de una tasa de rentabilidad de un proyecto similar. Para este caso se empleó una tasa de descuento la cual fue otorgada por la empresa correspondiente al 10 %, el que se utilizará en la evaluación de este proyecto.

La moneda a utilizar es la Unidad de Fomento (UF) sistema autorizado por el Banco Central de Chile y determinada según código ISO 4217 como CLF. Esta unidad de fomento representa el ajuste diario del peso chileno de acuerdo a la inflación de la economía, medida según el Índice de Precios al Consumidor (IPC).

El desarrollo de esta evaluación económica, se realizará con valores en Unidad de Fomento, el cual es determinado a partir del Banco Central de Chile, cuyo valor al 1 de enero del 2018 será de \$ 26.799,01 (CLP).

4.1. VAC CORRESPONDIENTE A LOS AÑOS 2015, 2016 Y 2017

A continuación, se darán a conocer los costos de mantención por equipo (costo realizado en UF) respecto al año 2015, donde se ejecutaron 2 mantenciones correctivas, año 2016 donde también se desarrollaron 2 mantenciones correctivas y año 2017 donde solo se realizó 1 mantención correctiva.

Las mantenciones correctivas realizadas a estos equipos abarcan principalmente los siguientes trabajos:

- Fabricación de bujes, anillos de desgaste, chavetas de impulsor y copla roscadas entre ejes.
- Reparación de tazonos, eje de bomba y acople, impulsores y porta sello mecánico.
- Además de las tareas básicas que involucran la reparación del equipo, como desarme de equipo, limpieza química, pulido mecánico, control de calidad, informe técnico, armado y pintura exterior.
- Sin dejar de mencionar suministros básicos como kit de o´rings, kit de pernería e instalación de placa de identificación.

A continuación, se mostrará el costo de mantenimiento de los equipos en UF (05 equipos) evaluados en los años 2015, 2016 y 2017.

Tabla 4-1. Costos de mantención por equipo expresados en UF

COSTO DE MANTENCIÓN POR EQUIPO (UF)					
Actividad	Año 2015		Año 2016		Año 2017
	Equipo N°1	Equipo N°2	Equipo N°3	Equipo N°4	Equipo N°5
Equipos y herramientas para la operación	18,67	18,67	18,67	18,67	18,67
Traslado a faena y regreso a la sucursal	22,39	22,39	22,39	22,39	22,39
Reparación de componentes	208,70	265,98	249,26	289,79	264,97
Suministro y fabricación de repuestos	316,21	353,74	333,59	352,09	326,02
HH Involucradas (Mecánicos, soldadura y mecanizado)	196,50	249,26	216,65	267,38	221,72
Costo consumo eléctrico mensual	14,93	14,93	14,93	14,93	14,93
TOTAL DE COSTOS	777,40	924,97	855,49	965,25	868,70
TOTAL DE COSTO ANUAL	1.702,37		1.820,74		868,70
UF al 1 de enero del 2018: \$ 26.799,01 CLP					

Fuente: Proseal Ltda.

Luego de dar a conocer los costos de mantenimiento por equipo, se procederá con el cálculo del Valor Actual de Costos en UF, asociados a los años 2015, 2016 y 2017 respectivamente.

$$VAC = 0 + \frac{1.702,37}{(1 + 0,1)} + \frac{1.820,74}{(1 + 0,1)^2} + \frac{868,70}{(1 + 0,1)^3}$$

Resultado final: $VAC = 3.705,02 UF$

4.2. VAC CORRESPONDIENTE AL NUEVO MANTENIMIENTO RECOMENDADO EN BASE A LOS AÑOS 2018, 2019 Y 2020

La evaluación de la nueva propuesta de mantenimiento, se hará en base a los años 2018, 2019 y 2020 y su principal forma de realizarla será, según el mantenimiento predictivo y mantenimiento preventivo descritos en el Capítulo 3, por lo cual y según lo analizado el mantenimiento predictivo realizado en terreno permitirá saber cuáles son las condiciones operacionales de funcionamiento del equipo, lo que a su vez indicará eventualmente si algún elemento o parte de este se encuentra en condiciones óptimas o no de funcionamiento. Por otro lado y a partir de los resultados que se obtengan en el mantenimiento predictivo se podrá aplicar el mantenimiento preventivo, el que permitirá realizar a tiempo el reemplazo y la reparación de los elementos necesarios, para que el equipo no sufra mayores daños como los que se observan hoy en día y el que conlleva a la ejecución del mantenimiento correctivo desarrollado actualmente en la empresa Proseal Ltda.

Si el mantenimiento predictivo aplicado según la ruta de mantenimiento adecuada, los mantenimientos preventivos propuestos abarcarían las siguientes actividades:

- Fabricación y cambio de bujes y anillos de desgaste.
- Tareas básicas de mantenimiento como desarme de equipo, limpieza química, pulido mecánico, control de calidad, informe técnico, armado y pintura exterior.
- Suministros básicos como kit de o´rings, kit de pernería e instalación de placa de identificación.
- No obstante, se consideraría una inversión inicial necesario para desarrollar el mantenimiento predictivo en terreno por la compra de:
 - 2 Medidores de vibraciones: 107,78 UF.-
 - 2 Medidores de temperatura: 19,84 UF.-
 - Curso de capacitación para 6 personas (03 supervisores y 05 líderes de cuadrilla): 181,17 UF.-
 - Valor total de la inversión: 308,79 UF.-

A continuación, se mostrará el costo de mantención de los equipos en UF (05 equipos) evaluados en los años 2018, 2019 y 2020.

- ✓ Equipo N° 1: a continuación, se expondrá mediante una tabla, el costo de mantención expresando en UF.

Las mantenciones observadas en la Tabla 4-2 se han realizado en base a los años 2018, 2019 y 2020, y el número de mantenciones que se realizarán en los años evaluados se han programado cada 6 meses y éstas parten según la última reparación del equipo en la empresa, dando lo siguiente:

- Primer Mantenimiento: 08 de julio del 2018.

- Segundo Mantenimiento: 11 de enero del 2019.
- Tercer Mantenimiento: 06 de julio del 2019.
- Cuarto Mantenimiento: 04 de enero del 2020.
- Quinto mantenimiento: 08 de julio del 2020.

Tabla 4-2. Costos de mantención equipo N° 1, expresados en UF

COSTO DE MANTENCIÓN POR EQUIPO (UF)						
Actividad	Año 2018		Año 2019		Año 2020	
	Equipo N°1	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°1	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°1	Cantidad de mantenimientos
Equipos y herramientas para la operación	18,67	1	18,67	2	18,67	2
Traslado a faena y regreso a la sucursal	22,39		22,39			
Reparación de componentes	22,13		54,58			
Suministro y fabricación de repuestos	30,87		81,95			
HH Involucradas (Mecánicos, soldadura y mecanizado)	10,34		46,14			
Costo consumo eléctrico mensual	14,93		14,93			
TOTAL DE COSTO ANUAL	119,33		238,66		238,66	
UF al 1 de enero del 2018 : \$ 26.799,01 CLP						

Fuente: Proseal Ltda.

- ✓ Equipo N° 2: a continuación se expondrá mediante una tabla, el costo de mantención expresando en UF.

Las mantenciones observadas en la Tabla 4-3, se han realizado en base a los años 2018, 2019 y 2020, y el número de mantenciones que se realizarán en los años evaluados se han programado cada 6 meses y éstas parten según la última reparación del equipo en la empresa, dando lo siguiente:

- Primer mantenimiento: 13 de marzo del 2018
- Segundo mantenimiento: 11 de septiembre del 2018.
- Tercer mantenimiento: 15 de marzo del 2019.
- Cuarto mantenimiento: 12 de septiembre del 2019.
- Quinto mantenimiento: 08 de marzo del 2020.
- Sexto mantenimiento: 14 de septiembre del 2020.

Tabla 4-3. Costos de mantención equipo N° 2, expresados en UF.

COSTO DE MANTENCIÓN POR EQUIPO (UF)						
Actividad	Año 2018		Año 2019		Año 2020	
	Equipo N°2	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°2	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°2	Cantidad de mantenimientos
Equipos y herramientas para la operación	18,67	2	18,67	2	18,67	2
Traslado a faena y regreso a la sucursal	22,39		22,39		22,39	
Reparación de componentes	54,58		54,58		54,58	
Suministro y fabricación de repuestos	81,95		81,95		81,95	
HH Involucradas (Mecánicos, soldadura y mecanizado)	46,14		46,14		46,14	
Costo consumo eléctrico mensual	14,93		14,93		14,93	
TOTAL DE COSTO ANUAL	238,66		238,66		238,66	
UF al 1 de enero del 2018 :\$ 26.799,01 CLP						

Fuente: Proseal Ltda.

- ✓ Equipo N° 3: a continuación se expondrá mediante una tabla, el costo de mantención expresando en UF.

Las mantenciones observadas en la Tabla 4-4, se han realizado en base a los años 2018, 2019 y 2020, y el número de mantenciones que se realizarán en los años evaluados se han programado cada 6 meses y éstas parten según la última reparación del equipo en la empresa, dando lo siguiente:

- Primer Mantenimiento: 05 de septiembre del 2018.
- Segundo Mantenimiento: 09 de marzo del 2019.
- Tercer Mantenimiento: 05 de septiembre del 2019.
- Cuarto Mantenimiento: 10 de marzo del 2020.
- Quinto mantenimiento: 14 de septiembre del 2020.

Tabla 4-4. Costos de mantención equipo N° 3, expresados en UF

COSTO DE MANTENCIÓN POR EQUIPO (UF)						
Actividad	Año 2018		Año 2019		Año 2020	
	Equipo N°3	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°3	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°3	Cantidad de mantenimientos
Equipos y herramientas para la operación	18,67	1	18,67	2	18,67	2
Traslado a faena y regreso a la sucursal	22,39		22,39		22,39	
Reparación de componentes	22,13		54,58		54,58	
Suministro y fabricación de repuestos	30,87		81,95		81,95	
HH Involucradas (Mecánicos, soldadura y mecanizado)	10,34		46,14		46,14	
Costo consumo eléctrico mensual	14,93		14,93		14,93	
TOTAL DE COSTO ANUAL	119,33		238,66		238,66	
UF al 1 de enero del 2018 :\$ 26.799,01 CLP						

Fuente: Proseal Ltda.

- ✓ Equipo N° 4: a continuación se expondrá mediante una tabla, el costo de mantención expresando en UF.

Las mantenciones observadas en la Tabla 4-5 se han realizado en base a los años 2018, 2019 y 2020, y el número de mantenciones que se realizarán en los años evaluados se han programado cada 6 meses y éstas parten según la última reparación del equipo en la empresa, dando lo siguiente:

- Primer Mantenimiento: 13 de mayo del 2018.
- Segundo Mantenimiento: 15 de noviembre del 2018.
- Tercer Mantenimiento: 19 de mayo del 2019.
- Cuarto Mantenimiento: 15 de noviembre del 2019.
- Quinto mantenimiento: 13 de mayo del 2020.
- Sexto mantenimiento: 09 de noviembre del 2020.

Tabla 4-5. Costos de mantención equipo N° 4, expresados en UF

COSTO DE MANTENCIÓN POR EQUIPO (UF)						
Actividad	Año 2018		Año 2019		Año 2020	
	Equipo N°4	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°4	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°4	Cantidad de mantenimientos
Equipos y herramientas para la operación	18,67	2	18,67	2	18,67	2
Traslado a faena y regreso a la sucursal	22,39		22,39			
Reparación de componentes	54,58		54,58			
Suministro y fabricación de repuestos	81,95		81,95			
HH Involucradas (Mecánicos, soldadura y mecanizado)	46,14		46,14			
Costo consumo eléctrico mensual	14,93		14,93			
TOTAL DE COSTO ANUAL	238,66		238,66		238,66	
UF al 1 de enero del 2018 :\$ 26.799,01 CLP						

Fuente: Proseal Ltda.

- ✓ Equipo N° 5: a continuación se expondrá mediante una tabla, el costo de mantención expresando en UF.

Las mantenciones observadas en la Tabla 4-6, se han realizado en base a los años 2018, 2019 y 2020, y el número de mantenciones que se realizarán en los años evaluados se han programado cada 6 meses y éstas parten según la última reparación del equipo en la empresa, dando lo siguiente:

- Primer Mantenimiento: 13 de octubre del 2018.
- Segundo Mantenimiento: 15 de abril del 2019.
- Tercer Mantenimiento: 19 de octubre del 2019.
- Cuarto Mantenimiento: 15 de abril del 2020.
- Quinto mantenimiento: 13 de octubre del 2020.

Tabla 4-6. Costos de mantención equipo N° 5, expresados en UF.

COSTO DE MANTENCIÓN POR EQUIPO (UF)						
Actividad	Año 2018		Año 2019		Año 2020	
	Equipo N°5	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°5	Cantidad de mantenimientos	Equipo N°5	Cantidad de mantenimientos
Equipos y herramientas para la operación	18,67	1	18,67	2	18,67	2
Traslado a faena y regreso a la sucursal	22,39		22,39			
Reparación de componentes	22,13		54,58			
Suministro y fabricación de repuestos	30,87		81,95			
HH Involucradas (Mecánicos, soldadura y mecanizado)	10,34		46,14			
Costo consumo eléctrico mensual	14,93		14,93			
TOTAL DE COSTO ANUAL	119,33		238,66		238,66	
UF al 1 de enero del 2018: \$ 26.799,01 CLP						

Fuente: Proseal Ltda.

- ✓ Resumen de los costos totales por año y equipo: a continuación se expondrá mediante una tabla, el costo total de los equipos evaluados por año. Esta tabla corresponde a la suma de todas las mantenciones realizadas hacia los equipos en los años 2018, 2019 y 2020, con lo cual y a partir de este resultado será posible obtener total pero evaluado en los 3 años correspondiente, resultado que será comparado con los costos asociados al mantenimiento de los equipos realizado en los años 2015, 2016 y 2017.

Tabla 4-7. Resumen de costos de mantención expresados, en UF

Resumen de los costos totales anuales (UF)			
Actividad	Año 2018	Año 2019	Año 2020
	TOTAL ANUAL DE COSTOS POR EQUIPO	TOTAL ANUAL DE COSTOS POR EQUIPO	TOTAL ANUAL DE COSTOS POR EQUIPO
Equipo N°1	119,33	238,66	238,66
Equipo N°2	238,66	238,66	238,66
Equipo N°3	119,33	238,66	238,66
Equipo N°4	238,66	238,66	238,66
Equipo N°5	119,33	238,66	238,66
GRAN TOTAL DE COSTO ANUAL	835,31	1.193,30	1.193,30
INVERSIÓN INICIAL : 308,79 UF			
UF al 1 de enero del 2018 : \$ 26.799,01 CLP			

Fuente: Proseal Ltda.

Para tener una mayor información y conocimiento de los costos obtenidos en las tablas anteriormente descritas en este capítulo, se procederá con la exposición de las órdenes de compra realizadas por parte de la empresa para la obtención de los distintos materiales necesarios para la reconstrucción de los equipos de bombeo (Ver Anexo A). Esta situación permitirá tener una mejor noción de los resultados numéricos descritos.

Luego de dar a conocer los costos de mantenimiento por equipo y una tabla que describe el resumen de estos mismos, se procederá con el cálculo del valor actual de costos en UF asociados a los años 2018, 2019 y 2020 respectivamente.

$$VAC = 308,79 + \frac{835,31}{(1 + 0,1)} + \frac{1.193,30}{(1 + 0,1)^2} + \frac{1.193,30}{(1 + 0,1)^3}$$

$$VAC = 2.950,90 UF$$

En conclusión y modificando el actual mantenimiento que se les realiza a las bombas de la estación de Rebombeo (mantenimiento correctivo) y reemplazándolo por la propuesta de mantenimiento predictivo más el mantenimiento preventivo, se ahorrarán en 3 años la cantidad de 754,12 UF. Es decir, anualmente se tendrá un ahorro promedio de 251,37 UF, lo que corresponde al 20,35 % del total invertido en los años 2015, 2016 y 2017.

Por lo cual y según lo resultado, es posible aplicar esta propuesta de plan de mantenimiento dentro de la empresa, esto ha dado como consecuencia la reducción del costo de mantención, a diferencia de los realizados actualmente en la empresa, además de disminuir los tiempos de reparación producto de la propuesta de mantenimiento sugerida.

Sumado a lo anterior, se debe destacar que propuesta de mantenimiento tendrá un resultado óptimo siempre y cuando esta se lleve a cabo según lo expuesto, es decir y por ejemplo basándose en el mantenimiento preventivo, es necesario seguir las recomendaciones dada por parte del fabricante, en relación a la vida útil de los componentes. Si a esto se agrega la ruta de mantenimiento predictivo adecuada en base a la inspección mediante el uso de los sentidos y mediante el empleo de tecnología, sin duda la propuesta se llevará a cabo tanto desde el punto de vista operacional como el rentable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al desarrollo de este trabajo de título, se ha realizado una evaluación a las bombas centrífugas reparadas por la empresa Proseal Ltda. Estos equipos, son pertenecientes a la empresa minera Anglo American Sur, planta Las Tórtolas, estación de Rebombeo.

Este análisis, se ha desarrollado debido a que al momento de realizar el mantenimiento correctivo a los equipos pertenecientes a la empresa mandante, Proseal Ltda. no cumple con los tiempos de reparación de cada unidad establecidos por el contrato vigente entre estas empresas, provocando multas y pérdidas monetarias, además de los altos costos de mantención que se estaban generando al momento de realizar el mantenimiento correctivo.

Es por esto, que se ha propuesto la creación de un plan de mantenimiento que eviten estos hechos es decir, cumplir con los tiempos de reparación establecidos por contrato y disminuir los costos asociados al mantenimiento por equipo.

Para esto, fue necesario desarrollar ciertos objetivos específicos los que hacen relación con cada uno de los capítulos descritos en este informe y que en conjunto, tienen la facultad de dar a conocer ideas tales en que consiste el equipo involucrado, las fallas más recurrente asociadas a este equipo, el desarrollo de la propuesta de plan de mantenimiento recomendada y una evaluación económica de esta última.

Al desprender cada idea mencionada en el párrafo anterior, se puede llegar a describir el logro de cada objetivo específico, partiendo por el hecho de que al dar a conocer conceptos generales sobre las bombas centrífugas, se está permitiendo instruir al lector, además de contextualizar el desarrollo de la evaluación.

El segundo objetivo, específico el que explica de forma detallada la determinación de las fallas en los elementos internos, de una bomba centrífuga por medio de la información obtenida a través de la empresa y con lo cual se permitió categorizar estas mismas, basándose en la teoría de Pareto e Ishikawa. Esto dio un indicio del enfoque que debe poseer la nueva propuesta de plan de mantenimiento.

El tercer objetivo específico hace referencia al plan de mantenimiento predictivo ejecutado por Proseal Ltda. el que se verificó mediante una entrevista al personal involucrado en terreno, clarificando lo que estaba pasando predictivamente con los equipos en terreno, además se comparó la nueva propuesta de plan de mantenimiento preventivo con la recomendada por el fabricante. En este punto, cabe destacar que predictivamente, si bien las inspecciones son realizadas de forma proactiva, es decir planificadas y programadas hace falta dar mayor hincapié, situación que evitará la llegada al mantenimiento correctivo y facilitará la ejecución del mantenimiento preventivo propuesto.

El cuarto objetivo, involucra todos los mantenimientos tanto el aplicado hoy en día, como los propuestos pero basados en los costos, es decir se aplicó el indicador económico VAC con lo cual se determinó el costo de cada uno de los

mantenimiento y al final se llevó a una comparación, para ver cuál presenta menor costo y así ver su factibilidad para ser aplicado en un futuro.

En base a esto, se puede hacer énfasis a la satisfacción y al cumplimiento del desarrollo de cada parte descrita en este trabajo, ya que en conjunto permiten finalmente hacer una propuesta capaz de ser aplicada, la cual esta argumentada teórica y numéricamente basada en información real y fidedigna otorgada por la empresa Proseal Ltda.

Finalizando y en base a lo desarrollado en este estudio, una de las recomendaciones que se puede distinguir después del desarrollo de cada uno de los capítulos, corresponde a la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento recomendado por parte del fabricante, pero con las necesidades que también requiere el cliente, con lo cual en conjunto se podrá obtener en la actualidad una propuesta de solución a los problemas que se obtiene en la actualidad, esto quiere decir aplicar un mantenimiento predictivo periódico y su vez un mantenimiento preventivo cada 6 meses (4500 horas), el que consistiría en cambio de bujes y anillos de desgaste que es lo que recomienda el fabricante, ya que en esa cantidad de tiempo es cuando estos elementos cumplen con la finalización de su vida útil. Con esto se evitará llegar al mantenimiento correctivo, mantenimiento que genera pérdidas a la empresa mediante las multas aplicadas, debido al no cumplimiento de los tiempos establecidos por el contrato acordado por ambas empresas. Entonces cumpliendo esto es posible además, aumentar la disponibilidad del equipo en terreno y consecutivamente se puede llegar a un ahorro de costos según los mantenimientos propuestos, todo para que las bombas centrífugas operen de la forma más óptima posible.

BIBLIOGRAFÍA

ANGLO AMERICAN SUR S.A. Proyectos de inversión. Chile: documento de compañía confidencial. Abril 2008.

BALDI, C. Apuntes de cátedra de Gestión del Mantenimiento Industrial: Gestión del Mantenimiento industrial. [Diapositiva]. Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. 2016.

BOMBAS HIDRÁULICAS Y APLICACIONES. Bombas hidráulicas y aplicaciones [En línea] [Consultado en: Octubre 2017] Disponible en: <<https://es.scribd.com/doc/39167018/01-Bombas-hidraulicas-y-aplicaciones>>

GÓMEZ DE LEÓN CESÁREO, Félix. Tecnología del Mantenimiento Industrial. 2004.

ITT GOULDS PUMPS COMPAÑÍA SUDAMERICANA DE BOMBAS S.A. Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento de bombas centrífugas VIT. 2009.

J. KENNETH. Bombas, selección, usos y mantenimiento. Madrid: McGraw-Hill [S. A.].

SAAVEDRA, P. Análisis de vibraciones en máquinas: Curso análisis de vibraciones, Categoría I. Concepción, Chile: Laboratorio de vibraciones mecánicas, Universidad de Concepción. 2015.

SANTIAGO DIMÍNGUEZ, Xavier. Manual de mantenimiento para bombas centrífugas multipasos para suministro de agua en plantas de proceso (Ingeniero mecánico electricista), Veracruz, México: Universidad de Veracruz. Campus Poza Rica-Tuxpan.

ANEXO A: ÓRDENES DE COMPRA DE INSUMOS Y MATERIAS PRIMAS

	ORDEN DE COMPRA N° 9327	(Ingresar)
--	--	------------

RUT : 77.868.830-1 Señores : MANUFACTURAS DE CAUCHO IMPREVAL LIMITADA Dirección : AVENIDA BRASIL 86 B Ciudad : SANTIAGO CENTRO Comuna : SANTIAGO N° Fax : 6879590 At. Sr. : CRISTIAN VALENZUELA	Fecha O/C : 23/01/2015 Fec. Entrega : 26/01/2015 Condiciones : 30 DÍAS FECHA DE FACTURACION Despachar : Remitir Fact. : Casa Matriz																																
SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">CANT</th> <th style="text-align: left;">UNIDAD</th> <th style="text-align: left;">DESCRIPCION</th> <th style="text-align: left;">VAL.UNITARIO</th> <th style="text-align: left;">SUB-TOTAL</th> <th style="text-align: left;">(-%)</th> <th style="text-align: left;">(-%)</th> <th style="text-align: left;">TOT.LINEA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11,00</td> <td>UN</td> <td>ORING DE NITRILO Ø 260 X 3.5 MM</td> <td>PST=2650</td> <td>6.500,00</td> <td>71.500</td> <td>00</td> <td>71.500</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>UN</td> <td>ORING DE NITRILO Ø 175 X 3.5 MM</td> <td>PST=2650</td> <td>8.500,00</td> <td>8.500</td> <td>00</td> <td>8.500</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>UN</td> <td>ORING DE NITRILO Ø 125 X 3.5 MM</td> <td>PST=2650</td> <td>5.500,00</td> <td>5.500</td> <td>00</td> <td>5.500</td> </tr> </tbody> </table>		CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA	11,00	UN	ORING DE NITRILO Ø 260 X 3.5 MM	PST=2650	6.500,00	71.500	00	71.500	1,00	UN	ORING DE NITRILO Ø 175 X 3.5 MM	PST=2650	8.500,00	8.500	00	8.500	1,00	UN	ORING DE NITRILO Ø 125 X 3.5 MM	PST=2650	5.500,00	5.500	00	5.500
CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA																										
11,00	UN	ORING DE NITRILO Ø 260 X 3.5 MM	PST=2650	6.500,00	71.500	00	71.500																										
1,00	UN	ORING DE NITRILO Ø 175 X 3.5 MM	PST=2650	8.500,00	8.500	00	8.500																										
1,00	UN	ORING DE NITRILO Ø 125 X 3.5 MM	PST=2650	5.500,00	5.500	00	5.500																										
OBSERVACION SEGUN COTIZACION ADJUNTA	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">SUB-TOTAL \$</td> <td style="text-align: right;">85.500</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">DESCUENTO \$</td> <td style="text-align: right;">00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">NETO TOTAL \$</td> <td style="text-align: right;">85.500</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">IVA \$</td> <td style="text-align: right;">16.245</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">O/C TOTAL \$</td> <td style="text-align: right;">101.745</td> </tr> </table>	SUB-TOTAL \$	85.500	DESCUENTO \$	00	NETO TOTAL \$	85.500	IVA \$	16.245	O/C TOTAL \$	101.745																						
SUB-TOTAL \$	85.500																																
DESCUENTO \$	00																																
NETO TOTAL \$	85.500																																
IVA \$	16.245																																
O/C TOTAL \$	101.745																																
IMPORTANTE 1)Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura. 2)Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado). 3)Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal 4)Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio. 5)Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.																																	

	ORDEN DE COMPRA N° 10263	(Ingresar)
--	---	------------

RUT : 77.998.770-1	Señores : INGENIERIA INDUSTRIAL METALURGICA INIMET LTDA	Fecha O/C : 08/05/2015
Dirección : LAMPA CALLE MARIA JOSEFINA N° 1336	Ciudad :	Fec.Entrega : 25/05/2015
Comuna :	N° Fono :	Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA
At. Sr. : PEDRO FUENTES		Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE
		Remitir Fact. : Casa Matriz

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE								
CANT	UNIDAD	DESCRIPCION		VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA
6,00	UN	FUNDICION DE IMPULSOR	PST=2686	128.000,00	768.000	00	00	768.000
Ref.: 06 Impulsor AHC según modelo N° 99 en Acero INOX. AISI 316								
10,00	UN	FUNDICION DE IMPULSOR	PST=2685	128.000,00	1.280.000	00	00	1.280.000
Ref.: 10 Impulsor AHC según modelo N° 99 en Acero INOX. AISI 316								
10,00	UN	FUNDICION DE IMPULSOR	PST=2689	128.000,00	1.280.000	00	00	1.280.000
Ref.: 10 Impulsor AHC según modelo N° 99 en Acero INOX. AISI 316								

OBSERVACION SEGUN COTIZACIÓN N° 0155-15	SUB-TOTAL \$	3.328.000
	DESCUENTO \$	00
	NETO TOTAL \$	3.328.000
	IVA \$	632.320
	O/C TOTAL \$	3.960.320

IMPORTANTE

- 1)Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura.
- 2)Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado).
- 3)Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal
- 4)Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio.
- 5)Horario Recepcion: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.

	ORDEN DE COMPRA N° 13543	(Ingresar)
--	---	------------

RUT : 94.859.000-K	Fecha O/C : 09/05/2016
Señores : HERNANDEZ MOTORES S A C I	Fec.Entrega : 09/05/2016
Dirección : CAMINO INTERNACIONAL 4043	Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA
Ciudad : VIÑA DEL MAR	Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE
Comuna : VIÑA DEL MAR	Remitir Fact. : Casa Matriz
N° Fono : 32/2151180	
At. Sr. : JAIME PULGAR	

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE

CANT	UNIDAD	DESCRIPCION		VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA
10,00	UN	BALANCEO DINAMICO IMPULSOR	PST=2812	65.000,00	650.000	00	00	650.000
Ref.: 10 Balanceo Dinámico Impulsor								

OBSERVACION
SEGÚN COTIZACIÓN ADJUNTA N° 4527/2016

SUB-TOTAL \$	650.000
DESCUENTO \$	00
NETO TOTAL \$	650.000
IVA \$	123.500
O/C TOTAL \$	773.500

IMPORTANTE

- 1) Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura.
- 2) Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado).
- 3) Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal
- 4) Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio.
- 5) Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.

	ORDEN DE COMPRA N° 10997	(Ingresar)
--	---	------------

RUT : 96.819.390-2 Señores : PRINTEC S.A. Dirección : VOLCAN LASCAR 750 PARQUE INDUSTRIAL LO BOZA Ciudad : SANTIAGO Comuna : PUDAHUEL N° Fono : 56-2-49814 At. Sr. : NESTOR VASQUEZ	Fecha O/C : 31/07/2015 Fec. Entrega : 05/07/2015 Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE Remitir Fact. : Casa Matriz
---	--

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE									
CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA		
1,00	UN	APLICACION CERAMICA PST=2705	480.000,00	480.000	00	00	480.000		
Ref.: Aplicación de ARC858 zonas puntuales y ARC S-2 en 2 capas a 03 columnas, 01 cabezal									
1,00	UN	APLICACION CERAMICA PSG=17	205.000,00	205.000	00	00	205.000		
Ref.: Aplicación de ARC S-2 en 02 capas a 01 cabezal de descarga									
1,00	UN	APLICACION CERAMICA PST=2690	830.000,00	830.000	00	00	830.000		
Ref.: Aplicación de ARC 858 en zona puntuales, ARC S-2 en 02 capas a carcaza partida									
1,00	UN	APLICACION CERAMICA PSP=93	580.000,00	580.000	00	00	580.000		
Ref.: Aplicación de ARC 858 y ARC S-2- en 2 capas a 01 BBA partida, mas flanges de descarga									
1,00	UN	APLICACION CERAMICA PSG=18	470.000,00	470.000	00	00	470.000		
Ref.: Aplicación de ARC S-2 en 02 capas a 02 columnas									
1,00	UN	APLICACION CERAMICA PSP=109	94.000,00	94.000	00	00	94.000		
Ref.: Aplicación de ARC S-2 en 02 capas según lo solicitado a 01 carcaza simple									
OBSERVACION							SUB-TOTAL \$	2.659.000	
SEGUN COTIZACION ADJUNTA N° 150729							DESCUENTO \$	00	
							NETO TOTAL \$	2.659.000	
							IVA \$	505.210	
							O/C TOTAL \$	3.164.210	

IMPORTANTE 1) Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura. 2) Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado). 3) Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal 4) Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio. 5) Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.
--

	ORDEN DE COMPRA N° 14582	(Ingresar)
--	---	------------

RUT : 88.855.300-2 Señores : OTERO Y DOMINGUEZ LTDA Dirección : SAN IGNACIO 071 Ciudad : SANTIAGO Comuna : QUILICURA N° Fono : At. Sr. : ROBERTO ALVAREZ	Fecha O/C : 31-08-2016 Fec. Entrega : 05-09-2016 Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE Remitir Fact. : Casa Matriz
--	--

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE

CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA
75.00	KG	BARRA INOX 420 Ø 63,5 MM (CC : 1101601) Ref.: 1 largo de 3000 mm (1 unidad)	PST=2846 2,300.00	172,500	00	00	172,500
35.00	KG	BARRA INOX 420 Ø 63,5 MM (CC : 1101601) Ref.: 1 largo de 1400 (1 unidad)	PST=2846 2,300.00	80,500	00	00	80,500
20.00	KG	BARRA INOX 420 Ø 127 MM (CC : 1101601) Ref.: 1 largo de 200 (1 unidad)	PST=2846 2,300.00	46,000	00	00	46,000

OBSERVACION
SEGUN COTIZACION 676555

SUB-TOTAL \$	299,000
DESCUENTO \$	00
NETO TOTAL \$	299,000
IVA \$	56,810
O/C TOTAL \$	355,810

IMPORTANTE

- 1) Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura.
- 2) Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado).
- 3) Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargo de bodega Proseal
- 4) Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio.
- 5) Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.

ORDEN DE COMPRA
N° 14636

(Ingresar)

RUT : 77.998.770-1	Señores : INGENIERIA INDUSTRIAL METALURGICA INIMET LTDA	Fecha O/C : 08-09-2016
Dirección : LAMPA CALLE MARIA JOSEFINA N° 1336	Ciudad : SANTIAGO	Fec.Entrega : 16-09-2016
Comuna : LAMPA	N° Fono : 9-94748889	Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA
At. Sr. : PEDRO FUENTES		Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE
		Remitir Fact. : Casa Matriz

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE

CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA
1.00	UN	BOCINA INOX 316 Ø 170 X 156 X 300 MM PST=2846 (CC : 1101601) Ref.: MODELO 155	175,000.00	175,000	00	00	175,000
1.00	UN	BOCINA INOX 316 Ø 180 X 166 X 300 MM PST=2846 (CC : 1101601) Ref.: MODELO 156	190,000.00	190,000	00	00	190,000

OBSERVACION	SUB-TOTAL \$	365,000
	DESCUENTO \$	00
	NETO TOTAL \$	365,000
	IVA \$	69,350
	O/C TOTAL \$	434,350

IMPORTANTE

- 1) Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura.
- 2) Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado).
- 3) Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal
- 4) Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio.
- 5) Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.

	ORDEN DE COMPRA N° 15104	(Ingresar)
--	---	------------

RUT : 78.304.990-2	Fecha O/C : 08-11-2016
Señores : SOCIEDAD COVARRUBIAS E HIJO LTDA	Fec.Entrega : 08-11-2016
Dirección : INDEPENDENCIA 1923 -	Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA
Ciudad :	Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE
Comuna : VALPARAISO	Remitir Fact. : Casa Matriz
N° Fono : 2450080	
At. Sr. : PABLO MARIN	

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE

CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA	
1.00	MT	FLEXIBLE 08R2AT X 0.60 MT C/08FJX (CC : 3202130) Ref.:	PST=2861	14,276.00	14,276	00	00	14,276
1.00	UN	ADAPTADOR MANGUERA (CC : 3202130) Ref.: 08MJ-08MP	PST=2861	1,408.00	1,408	00	00	1,408
1.00	UN	ADAPTADOR MANGUERA (CC : 3202130) Ref.: 08MJ-06MP	PST=2861	1,290.00	1,290	00	00	1,290

OBSERVACION

SUB-TOTAL \$	16,974
DESCUENTO \$	00
NETO TOTAL \$	16,974
IVA \$	3,225
O/C TOTAL \$	20,199

IMPORTANTE

- 1)Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura.
- 2)Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado).
- 3)Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal
- 4)Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio.
- 5)Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.

	ORDEN DE COMPRA N° 16083	(Ingresar)
--	---	------------

RUT : 79.789.260-2	Fecha O/C : 16/03/2017
Señores : IMPORTADORA ARAYA LIMITADA	Fec.Entrega : 16/03/2017
Dirección : PACIFICO # 4401, TORRE H, DEPARTAMENTO # 904	Condiciones : 30 DÍAS CONTRA FACTURA
Ciudad : VIÑA DEL MAR	Despachar : CALLE 3 #665, BELLOTO, QUILPUE
Comuna : VIÑA DEL MAR	Remitir Fact. : Casa Matriz
N° Fono :	
At. Sr. : JORGE ARAYA	

SOLICITAMOS DESPACHAR LO SIGUIENTE

CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	VAL.UNITARIO	SUB-TOTAL	(-%)	(-%)	TOT.LINEA
3,00	UN	ESPARRAGO AC 3/4 IN	PST=2900	5.086,00	15.258	30 00	10.681
(CC : 1101601) Ref.:							
32,00	UN	TUERCA HEX AC Ø 3/4IN	PST=2900	390,00	12.480	30 00	8.736
(CC : 1101601) Ref.:							
32,00	UN	ARANDELA PRESION AC Ø 3/4 IN	PST=2900	159,00	5.088	30 00	3.562
(CC : 1101601) Ref.:							
16,00	UN	TUERCA HEX AC Ø 1IN	PST=2900	597,00	9.552	30 00	6.686
(CC : 1101601) Ref.:							
8,00	UN	PERNO HEX INOX 316 Ø 3/4 X 4 IN	PST=2900	9.800,00	78.400	30 00	54.880
(CC : 1101601) Ref.:							
8,00	UN	ARANDELA PLANA INOX 316 Ø 3/4 IN	PST=2900	627,00	5.016	30 00	3.511
(CC : 1101601) Ref.:							
8,00	UN	PERNO PARKER INOX 316 Ø 5/8 X 2 1/2 IN	PST=2900	11.400,00	91.200	30 00	63.840
(CC : 1101601) Ref.:							

OBSERVACION
SEGÚN FACTURA ELECTRONICA N° 467

SUB-TOTAL \$	151.896
DESCUENTO \$	00
NETO TOTAL \$	151.896
IVA \$	28.860
O/C TOTAL \$	180.756

IMPORTANTE

- 1) Indicar N° Orden de Compra en la Guía de Despacho y Factura.
- 2) Factura debe venir en tres ejemplares (Original, Triplicado y Cuadruplicado).
- 3) Factura debe venir con copia de Orden de Compra y copia de Guía de Despacho timbrada por encargado de bodega Proseal
- 4) Se deberá entregar la Factura con posterioridad a conformidad de entrega de producto o servicio.
- 5) Horario Recepción: 10:00 a 12:30 Mañana; 15:00 a 18:00 Tarde.

ANEXO B: CATÁLOGO RESOLUCION DE PROBLEMAS PARA BOMBAS
CENTRÍFUGAS VIT

Síntoma	Causa	Solución
La bomba no se pone en marcha.	El circuito eléctrico está abierto o incompleto.	Verifique el circuito y realice las correcciones necesarias.
	Los impulsores se adhieren contra los tazones.	Restablezca el ajuste del impulsor. Consulte Instalación para obtener detalles.
	El elemento conductor eléctrico no recibe voltaje suficiente.	Asegúrese de que el elemento conductor esté cableado correctamente y reciba voltaje total.
	El motor está defectuoso.	Consulte con un representante de ITT.
La bomba no distribuye líquido.	El ensamble del tazón no está sumergido lo suficiente.	Ajuste el nivel del líquido en el sumidero si es necesario.
	El filtro de succión está obstruido.	Quite las obstrucciones.
	Existe una obstrucción en el pasaje del líquido.	Retire la bomba e inspeccione el impulsor y el tazón.
	El cabezal de descarga no está ventilado correctamente.	Abra la ventilación.
La bomba no produce la carga o el flujo nominal.	Los impulsores no rotan lo suficientemente rápido.	Asegúrese de que el elemento conductor esté cableado correctamente y reciba voltaje total.
	Los impulsores rotan en la dirección incorrecta.	Asegúrese de que los impulsores giren en sentido contrario a las agujas del reloj vistos desde arriba. Verifique los engranajes del acoplamiento del motor.
	La altura total de la bomba es demasiada.	Verifique las pérdidas por fricción en las tuberías. Utilice tuberías de descarga más grandes.
	Los pasajes de líquido están parcialmente obstruidos.	Inspeccione los impulsores y los tazones, y extraiga las obstrucciones.
	Existe cavitación.	No se dispone de NPSH suficiente.
	Los impulsores están muy altos (sólo en construcciones semiabiertas).	Restablezca el ajuste del impulsor. Consulte Instalación para obtener detalles.
No hay suficiente presión.	Los impulsores no rotan lo suficientemente rápido.	Asegúrese de que la turbina reciba presión de vapor total.
	El pasaje del líquido está obstruido.	Inspeccione los impulsores y los tazones, y extraiga las obstrucciones.
	Los impulsores rotan en la dirección incorrecta.	Asegúrese de que los impulsores giren en sentido contrario a las agujas del reloj vistos desde arriba. Verifique los engranajes del acoplamiento del motor.
	Los impulsores están muy altos (sólo en construcciones semiabiertas).	Restablezca el ajuste del impulsor. Consulte Instalación para obtener detalles.

Síntoma	Causa	Solución
La bomba arranca y luego se detiene y deja de bombear.	Se requiere potencia excesiva.	Utilice un elemento conductor más grande. Consulte con un representante de ITT.
	La bomba opera con un líquido de más alta viscosidad o de gravedad específica distintas de aquellas para las que fue diseñada.	Pruebe la viscosidad y la gravedad específica del líquido. Consulte con un representante de ITT.
	Algunas partes críticas experimentaron fallas mecánicas.	Verifique los rodamientos, los anillos de desgaste y los impulsores en busca de daños. Cualquier irregularidad en estas partes puede provocar un obstáculo en el eje. Reemplace las partes dañadas si es necesario.
	Los impulsores rotan demasiado rápido.	Verifique la frecuencia del motor.
	La bomba y el elemento conductor no están alineados.	Vuelva a alinear la bomba y el elemento conductor.
	El cabezal de descarga no está ventilado correctamente.	Abra la ventilación.
El motor requiere una potencia excesiva.	Los impulsores están dañados.	Verifique si el impulsor está dañado y reemplácelo si es necesario.
	Hay un objeto extraño atascado entre el impulsor y el tazón.	Quite el objeto.
	El líquido es más pesado de lo esperado.	Controle la gravedad y la viscosidad específicas.
	La viscosidad del líquido es demasiado alta o el fluido bombeado está parcialmente congelado.	Verifique ambas condiciones. Pueden provocar obstáculos en el impulsor. Consulte con un representante de ITT.
	Los cojinetes están defectuosos.	Reemplace los cojinetes y verifique el eje o el manguito del eje en busca de rayas.
	La empaquetadura de la caja de empaquetadura está demasiado ajustada.	Afloje la presión del casquillo y vuelva a ajustar. Mantenga la fuga fluyendo. Si no hay fugas, verifique la empaquetadura, el manguito o el eje. Consulte Mantenimiento para obtener detalles.
La bomba hace ruido.	Se produce cavitación en la bomba.	Aumente el nivel de líquido del sumidero.
	El eje está doblado.	Enderézelo según sea necesario.
	Las partes rotativas están dobladas, sueltas o quebradas.	Reemplace las partes según sea necesario.
	Los cojinetes están desgastados.	Reemplace los cojinetes.
	El cabezal de descarga no está ventilado correctamente.	Abra la ventilación.
La bomba vibra en forma excesiva.	Puede darse una de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> • El acoplamiento no está alineado. • El eje está doblado. • Los impulsores no están balanceados. • Los cojinetes están desgastados. • Existe cavitación. • Hay tensión en la tubería de descarga. • Existe resonancia. 	Determine la causa utilizando un analizador de frecuencias de vibración o desmontando la bomba. Un problema complejo puede requerir la asistencia de un representante de ITT.
	El eje del elemento conductor no está ajustado de manera correcta.	Vuelva a ajustar el elemento conductor. Consulte Instalación para obtener detalles.

Síntoma	Causa	Solución
Hay una pérdida excesiva de la caja de empaque.	La empaquetadura está defectuosa.	Reemplace las empaquetaduras desgastadas o dañadas.
	Se utilizó el tipo de empaquetadura equivocado.	Consulte con un representante de ITT.
La caja de empaque se sobrecalienta.	La empaquetadura está demasiado ajustada.	Afioje la presión del casquillo y vuelva a ajustar. Mantenga la fuga fluyendo. Si no hay fugas, verifique la empaquetadura, el manguito o el eje. Consulte Mantenimiento para obtener detalles.
	La empaquetadura no está lubricada.	Alivie la presión del casquillo y reemplace las empaquetaduras quemadas o dañadas. Vuelva a engrasar la empaquetadura según sea necesario.
	Se utilizó el grado de empaquetadura equivocado.	Consulte con un representante de ITT.
	La caja de empaque no se empacó adecuadamente.	Vuelva a empacar la caja de empaque.
La empaquetadura se desgasta demasiado rápido.	El eje o el manguito del eje están desgastados o rayados.	Vuelva a maquinarse o reemplace las partes según sea necesario.
	Existe fuga insuficiente en la empaquetadura.	Vuelva a empacar la caja de empaque y asegúrese de que la empaquetadura esté lo suficientemente suelta para permitir cierta fuga.
	La caja de empaque no se empacó adecuadamente.	Vuelva a empacar la caja de empaque adecuadamente, asegurándose de que se extraiga la empaquetadura vieja y de que la caja de empaque esté limpia.
	Se utilizó el grado de empaquetadura equivocado.	Consulte con un representante de ITT.
Existen fugas en el sello mecánico.	Las caras del sello no son planas debido a que los pernos del casquillo están demasiado ajustados, lo que produce deformaciones en el casquillo y la inserción.	Extraiga los pernos del casquillo y vuelva a instalarlos adecuadamente.
	La empaquetadura del eje se astilló durante la instalación.	Reemplace la empaquetadura.
	Se presenta una de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> La inserción de carbón está agrietada. La cara de la inserción o el anillo del sello se astillaron durante la instalación. 	Extraiga el sello mecánico, inspecciónelo y reemplácelo de ser necesario.
	Las caras del sello presentan rayas debido a partículas extrañas entre las caras.	Instale un filtro y luego, filtre o extraiga el polvo del separador según sea necesario para filtrar las partículas extrañas.
El sello produce un chillido durante la operación.	Existe una cantidad de líquido inadecuada en las caras del sello.	Es necesaria una línea de lavado de desvío. Si ya se usa una línea de desvío, alárquela para generar más caudal.
Se acumula polvo de carbón en el exterior del anillo del casquillo.	Existe una cantidad de líquido inadecuada en las caras del sello.	Desvíe la línea de lavado. Si ya se usa una línea de desvío, alárquela para generar más caudal.
	La película líquida se evapora rápidamente entre las caras del sello y deja residuos, lo que produce que se titure el carbón.	Consulte con un representante de ITT.
El sello presenta fugas, pero todo parece funcionar bien.	Las caras del sello no son planas.	Vuelva a pulir o reemplace las caras del sello.

Síntoma	Causa	Solución
El sello se desgasta demasiado rápido.	El producto es abrasivo, lo que produce desgaste excesivo de la cara del sello.	Determine el origen de los abrasivos e instale una línea de lavado de desvío para evitar que se acumulen abrasivos en el área del sello. Instale un separador extractor de polvo si fuera necesario.
	Los abrasivos se forman debido al enfriamiento del líquido del proceso y a la cristalización o solidificación parcial del área del sello.	Instale una línea de lavado de desvío para mantener la temperatura del líquido alrededor del sello por encima del punto de cristalización.
	El sello se calienta demasiado.	Verifique si existe fricción entre los componentes del sello. Puede ser necesaria la recirculación o una línea de desvío.
	Se utilizó el tipo de sello equivocado.	Consulte con un representante de ITT.