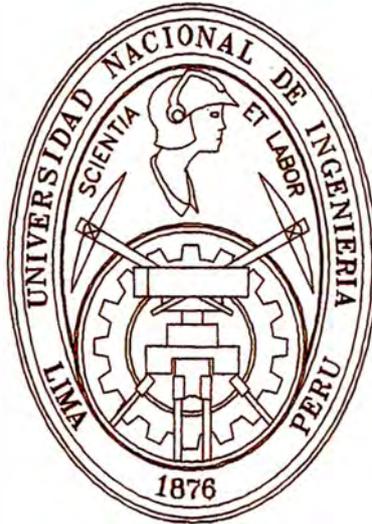


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO DE LAS BOMBAS WARMAN 16/14TU-AH**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**NILTON JOEL MUÑOZ LAGOS  
PROMOCIÓN 2007-II**

**LIMA – PERU  
2012**

***Dedicatoria***

***A mis Padres, hermanos,  
enamorado y amigos con su  
amor e incondicional apoyo  
hicieron posible el término del  
presente informe***

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE CUADROS .....	VIII
PRÓLOGO .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 ANTECEDENTES .....	3
1.2 OBJETIVO .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4 ALCANCE .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b>	
TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN .....	6
2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO .....	6
2.1.1 Historia del Mantenimiento .....	6
2.1.2 Tipos de Mantenimiento .....	9
2.1.2.1 <i>Mantenimiento Correctivo</i> .....	9
2.1.2.2 <i>Mantenimiento Preventivo</i> .....	10
2.1.2.3 <i>Mantenimiento Predictivo</i> .....	11
2.1.2.4 <i>Mantenimiento Proactivo</i> .....	12
2.1.2.5 <i>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad</i> .....	13
2.1.2.6 <i>Mantenimiento Productivo Total</i> .....	14
2.2 FUNCIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	15
2.2.1 Tipos de Intervención en Mantenimiento .....	16
2.2.2 Clases de Actividades .....	17
2.2.3 Gestión de Largo Plazo .....	17
2.2.4 Gestión de Mediano Plazo .....	18

2.2.4.1	<i>Programación de Intervenciones</i> .....	18
2.2.4.2	<i>Control Presupuestario</i> .....	18
2.2.5	Ejecución de Intervenciones.....	19
2.2.5.1	<i>Gestión del Personal de Intervención</i> .....	19
2.2.6	Gestión de Repuestos.....	20
2.2.6.1	<i>Compra de Repuestos</i> .....	20
2.2.6.2	<i>Gestión de Bodega</i> .....	20
2.2.7	Ponderación de las Actividades de Mantenimiento.....	21
2.2.8	Estrategias de Mantenimiento.....	23
2.2.8.1	<i>Mantenimiento Pre-falla</i> .....	24
2.3	<b>ESTRUCTURA DE COSTOS DE MANTENIMIENTO</b> .....	25
2.3.1	Costo Global de Mantenimiento (CGM, $C_g$ ).....	25
2.3.2	Costo de Intervención de Mantenimiento (CIM, $C_i$ ).....	26
2.3.2.1	<i>Costos por Unidad de Tiempo</i> .....	27
2.3.2.2	<i>Costos de Repuestos</i> .....	29
2.3.3	Costo de Fallas de Mantenimiento (CFM, $C_f$ ).....	29
2.3.3.1	<i>Evaluación del Costo de Falla</i> .....	30
2.3.4	Costo de Almacenamiento de Mantenimiento (CAM, $C_a$ ).....	31
2.3.5	Valores Referenciales.....	32
2.3.5.1	<i>Para el Costo de Intervención</i> .....	33
2.3.5.2	<i>Para el Costo de Falla</i> .....	34
2.3.5.3	<i>Para el Costo de Almacenamiento</i> .....	35
<b>CAPÍTULO 3</b>		
<b>SITUACIÓN ACTUAL DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b> .....		36
3.1	<b>PLANTA CONCENTRADORA</b> .....	36
3.2	<b>ÁREA DE REMOLIENDA</b> .....	38
3.3	<b>ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE</b>	
	<b>REMOLIENDA</b> .....	42

<b>3.4</b>	<b>BOMBAS CENTRIFUGAS HORIZONTALES WARMAN MODELO 16/14</b>	
	<b>TU-AH.....</b>	<b>42</b>
3.4.1	Modelo Warman 16/14 TU-AH .....	43
3.4.1.1	<i>Componentes Mecánico.....</i>	<i>45</i>
3.4.1.2	<i>Componentes Eléctricos.....</i>	<i>46</i>
<b>3.5</b>	<b>DISPONIBILIDAD ACTUAL DE LAS BOMBAS EN LA OPERACIÓN.....</b>	<b>47</b>
3.5.1	Fallas en las bombas Warman 16/14 TU-AH.....	48
3.5.1.1	<i>Fallas Primarias.....</i>	<i>49</i>
3.5.1.2	<i>Fallas Secundarias .....</i>	<i>49</i>
3.5.2	Plan de Mantenimiento y Disponibilidad de las Bombas.....	53
3.5.3	Costos Involucrados .....	54
3.5.3.1	<i>Costos de Mantenimiento Preventivos.....</i>	<i>55</i>
3.5.3.2	<i>Costos de Mantenimiento Correctivos.....</i>	<i>56</i>
3.5.3.3	<i>Costo de Global de Mantenimiento de la Bombas Warman 16/14TU-AH .</i>	<i>56</i>
<b>CAPÍTULO 4</b>		
	<b>OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....</b>	<b>58</b>
4.1	<b>ANÁLISIS DE PARETO.....</b>	<b>58</b>
4.2	<b>DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....</b>	<b>63</b>
4.3	<b>ÁRBOL DE FALLAS .....</b>	<b>65</b>
4.4	<b>OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>	<b>79</b>
4.4.1	Optimizacion del Plan de Mantenimiento Preventivo .....	81
4.4.1.1	<i>Partes Húmedas de la Bombas Warman 16/14TU-AH.....</i>	<i>82</i>
4.4.1.2	<i>Sello Mecánico de las Bombas Warman 16/14TU-AH.....</i>	<i>82</i>
4.4.1.3	<i>Reductor Mecánico de las Bombas Warman 16/14TU-AH.....</i>	<i>83</i>
4.4.1.4	<i>Variador de Velocidad de las Bombas Warman 16/14TU-AH.....</i>	<i>84</i>
4.4.2	Nuevo Plan de Mantenimiento Preventivo .....	84
<b>CAPÍTULO 5</b>		
	<b>COSTOS Y BENEFICIOS.....</b>	<b>88</b>

5.1	COSTOS DE LA OPTIMIZACIÓN .....	88
5.2	BENEFICIOS IDENTIFICADOS .....	89
5.3	INDICADORES COSTO - BENEFICIO.....	89
	CONCLUSIONES .....	91
	RECOMENDACIONES.....	93
	BIBLIOGRAFIA.....	94
	APÉNDICES .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolución del Precio del Cobre del año 2000 al año 2010 .....	3
Figura 2.1 Evolución de los Tipos de Mantenimiento .....	9
Figura 2.2 Curva de Costos de Mantenimiento y Fallas .....	23
Figura 2.3 Estrategias de Mantenimiento.....	24
Figura 3.2 Ubicación del Área de Remolienda en la Planta Concentradora .....	39
Figura 3.3 Flow Sheet del Área de Remolienda .....	41
Figura 3.4 Cartilla de selección de Bombas Warman del tipo AH.....	43
Figura 3.5 Bomba Warman modelo 16/14TU-AH.....	44
Figura 3.6 Componentes de la Bomba Warman modelo 16/14TU-AH .....	45
Figura 3.7 Sistema de Bombeo de la Bombas Warman modelo 16/14TU- AH.....	47
Figura 4.1 Representación Gráfica del Análisis de Pareto por Frecuencia de Fallas .....	60
Figura 4.2 Representación Gráfica del Análisis de Pareto por Costos Globales de Mantenimiento .....	62
Figura 4.3 Diagrama de Ishikawa para la falla vital “baja eficiencia de las bombas”64	
Figura 4.4 Sistema DCS de medición de caudal de las Bombas Warman modelo 16/14TU-AH.....	66
Figura 4.5 Mantenimiento Correctivo de las Bomba Warman modelo 16/14TU-AH	67
Figura 4.6 Estado de las partes húmedas de la Bomba Warman modelo 16/14TU- AH .....	68
Figura 4.7 Tipo de desgastes de las partes húmedas de la Bomba Warman modelo 16/14TU-AH.....	69
Figura 4.8 Medición de caudal anual de las Bombas Warman modelo 16/14TU-AH .....	72
Figura 4.10 Programación de las Paradas de Planta de la Planta Concentradora 2012 .....	85

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 2.1 Ejemplo de Ponderación de Las Actividades de Mantenimiento.....	22
Cuadro 2.2 Ejemplo de Mantenimiento Pre-falla para un equipo en general.....	25
Cuadro 2.3 Valores Referenciales Ci / Ve.....	33
Cuadro 3.1 Fallas ocurrida en las Bombas Warman modelo 16/14 TU-AH.....	52
Cuadro 3.2 Plan de Mantenimiento Preventivo de las Bombas Warman modelo 16/14 TU AH.....	53
Cuadro 4.1 Análisis de Pareto por Frecuencia de Fallas.....	60
Cuadro 4.2 Análisis de Pareto por Costos Globales de Mantenimiento.....	61
Cuadro 4.3 Cuadro Resumen de los análisis del Árbol de Fallas y sus soluciones de las fallas vitales ocurridas en las bombas Warman modelo 16/14 TU-AH.....	80
Cuadro 4.4 Nuevo Plan de Mantenimiento Preventivo de las Bombas Modelos Warman 16/14 TU-AH .....	87
Cuadro 5.1 Cuadro Resumen de los indicadores de costo/beneficio de las bombas Warman modelo 16/14 TU-AH.....	90

## **PRÓLOGO**

La especialidad de la Ingeniería Mecánica Eléctrica tiene en uno de sus campos de acción el Mantenimiento de Equipos Mecánicos y Eléctricos, por lo cual es necesidad de las empresas tener profesionales capacitados con la finalidad de tener una disponibilidad de equipos de acuerdo con los objetivos empresariales.

La minería, en su proceso de extracción, concentración y venta, no está exenta de contar con un grupo de profesionales que estén en la capacidad de mantener los equipos mecánicos y eléctricos que permitan procesar la cantidad necesaria, en los tiempos comprometidos y con la calidad a ser aceptada por el cliente.

El presente informe ha sido desarrollado con la finalidad de cumplir lo antes mencionado, específicamente en optimizar el plan de mantenimiento preventivo de las bombas Warman 16/14TU-AH, para lo cual se ha dividido en cinco capítulos que se mencionan a continuación:

En el primer capítulo se menciona los antecedentes que llevan a plantearse nuevos objetivos para desarrollar la optimización del plan de mantenimiento preventivo de las bombas Warman 16/14TU-AH.

En el segundo capítulo describimos el marco teórico utilizado por el ingeniero de mantenimiento que tiene como puntos la evolución del mantenimiento de equipos, las funciones del grupo de mantenimiento y el detalle de los costos globales de mantenimiento aplicados para el desarrollo del presente informe.

En el tercer capítulo se describe en forma detallada la situación actual de las bombas Warman 16/14TU-AH, su responsabilidad en el proceso de recuperación del cobre, las características técnicas del equipo, las fallas presentadas por la nueva configuración de operación, los costos asociados a dichas fallas y el impacto negativo a la disponibilidad de las bombas.

En el cuarto capítulo se utiliza herramientas para analizar las fallas encontradas en las bombas Warman 16/14 TU-AH para determinar las causas latentes o causas raíces que influyeron en que el sistema de bombeo no opere acorde con los objetivos de la gerencia de mantenimiento, planteándose soluciones multidisciplinarias para mejorar el indicador de disponibilidad con la mejor estrategia de mantenimiento cuyo costo será menor que el beneficio que ésta podrá dar.

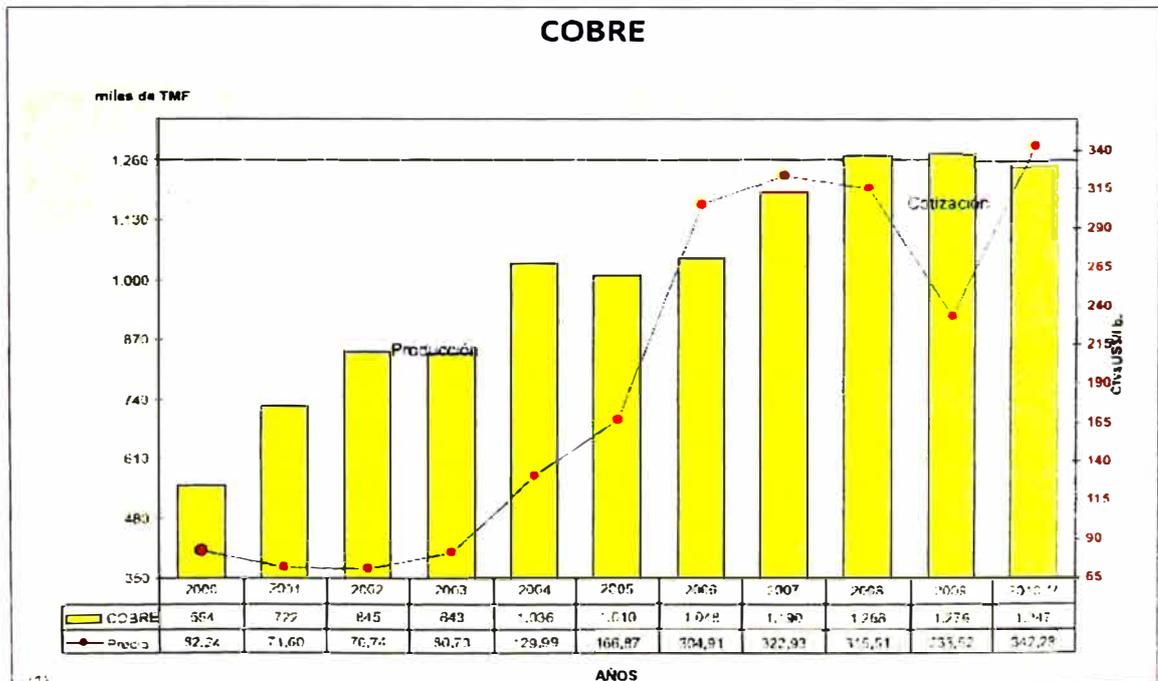
En el quinto y último capítulo presentamos los resultados obtenidos para la optimización del mantenimiento preventivo, donde los indicadores de costo beneficio son positivos dando sustento para aplicar las soluciones planteadas en el capítulo cuatro.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El precio de los metales, en especial el **cobre**, han sufrido un incremento en estos últimos años como se puede apreciar en la Figura 1.1, lo que ha conllevado a una mayor extracción del metal y por ende ampliar las plantas de procesamiento de las principales empresas mineras en el país, como también en la viabilidad de la iniciación de nuevos proyectos mineros.



**Figura 1.1 Evolución del Precio del Cobre del año 2000 al año 2010**

Fuente: Anuario Minero 2010 Ministerio de Energía y Minas (<http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=1&idTitular=3311>)

Por lo visto líneas arriba la empresa tuvo como estrategia aumentar la capacidad de procesamiento de minerales de 108'000,00 TMD (toneladas métricas diarias) a 125'000,00 TMD en promedio, llevando a la capacidad máxima de los equipos de la planta concentradora en la que se presentaron los llamados "cuellos de botella", principalmente en el área de remolienda por lo que la superintendencia de proyectos realizó ampliaciones en la capacidad de los principales equipos de dicha área a fin que el tonelaje esperado sea alcanzado. Finalizado el proyecto la planta concentradora aun no cumplía con el objetivo de cumplir con cantidad de toneladas planteadas esto debido a que la ley de cabeza del cobre fue menor a lo proyectado por la superintendencia de geología, obligando a la superintendencia de operaciones a recuperar la mayor cantidad de cobre por lo que comenzaron a utilizar equipos que tenían stand by para cumplir con el objetivo sin prever el impacto que generaría a la superintendencia de mantenimiento tales cambios.

## **1.2 OBJETIVO**

Optimizar el Plan de Mantenimiento Preventivo de la Bombas Warman modelo 14TU-AH, mediante las herramientas de gestión, con la finalidad de cubrir la disponibilidad de las bombas requerida por Operaciones en el circuito de remolienda debido al aumento en la producción del procesamiento de mineral (cobre) de 108,000 TMD a 125,000 TMD.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Terminado el proyecto de ampliación de capacidades de los principales equipos en la zona de remolienda el área de operaciones aún necesitaba

mayor capacidad de caudal de algunas de sus bombas para cumplir con las metas, por lo que se pusieron en operación bombas en paralelo incrementando la probabilidad de fallas que comprometerían en parar no sólo una línea del circuito de procesamiento sino parar la planta concentradora en general.

Los planes de mantenimientos de dichos equipos no contemplaban lo mencionado líneas arriba por lo que se debía tomar cartas en asunto para impedir que eventos de esa magnitud que pudieran impactar no sólo la disponibilidad de los equipos sino posibles accidentes humanos, de equipos o de medio ambientales por no ser controlado a tiempo.

#### **1.4 ALCANCE**

Este trabajo utilizará las herramientas de gestión obtenidas en el curso de actualización de conocimientos así como la experiencia obtenida hasta la fecha en la especialidad de mantenimiento de equipos de plantas concentradoras de minerales, con la finalidad de optimizar el plan de mantenimiento preventivo de las bombas Warman modelo 16/14TU-AH. Más adelante se verá que dichas bombas tienen un alto índice de criticidad en el área de Remolienda, indicando que la metodología a ser aplicada puede utilizarse para cualquier equipo independiente de su nivel de criticidad.

## CAPÍTULO 2

### TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN

#### 2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Según la norma francesa AFNOR<sup>1</sup> 60.010 se define al mantenimiento en general como: *“El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado”*. Siendo su filosofía principal la de: *“Disponer de un grupo mínimo de recursos humanos de mantenimiento capaz de garantizar optimización de producción, disponibilidad de equipos, y la seguridad en la planta industrial.”*

##### 2.1.1 Historia del Mantenimiento

Desde el principio de los tiempos, el Hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. La mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso y esto sigue sucediendo en la actualidad. Al principio sólo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "Mantenimiento de Ruptura o Reactivo".

<sup>1</sup> AFNOR: (en francés; Association française de Normalisation) es la organización nacional francesa para la estandarización y miembro de la Organización Internacional para la Estandarización.

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipo acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos.

Esta nueva tendencia se llamó "Mantenimiento Preventivo". Como resultado, los gerentes de planta se interesaron en hacer que sus supervisores, mecánicos, electricistas y otros técnicos, desarrollaran programas para lubricar y hacer observaciones clave para prevenir daños al equipo.

Aún cuando ayudó a reducir pérdidas de tiempo, el Mantenimiento Preventivo era una alternativa costosa. La razón: Muchas partes se reemplazaban basándose en el tiempo de operación, mientras podían haber durado más tiempo. También se aplicaban demasiadas horas de labor innecesariamente.

Los tiempos y necesidades cambiaron, en 1960 nuevos conceptos se establecieron, "Mantenimiento Productivo" fue la nueva tendencia que determinaba una perspectiva más profesional. Se asignaron más altas responsabilidades a la gente relacionada con el mantenimiento y se hacían consideraciones acerca de la confiabilidad y el diseño del equipo y de la planta. Fue un cambio profundo y se generó el término de "Ingeniería de la Planta" en vez de "Mantenimiento", las tareas a

realizar incluían un más alto nivel de conocimiento de la confiabilidad de cada elemento de las máquinas y las instalaciones en general.

Diez años después, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevas y más fuertes necesidades de excelencia en todas las actividades. Los estándares de "Clase Mundial" en términos de mantenimiento del equipo se comprendieron y un sistema más dinámico tomó lugar. TPM es un concepto de mejoramiento continuo que ha probado ser efectivo. Primero en Japón y luego de vuelta a América (donde el concepto fue inicialmente concebido, según algunos historiadores). Se trata de participación e involucramiento de todos y cada uno de los miembros de la organización hacia la optimización de cada máquina.

Esta era una filosofía completamente nueva con un planteamiento diferente y que se mantendrá constantemente al día por su propia esencia. Implica un mejoramiento continuo en todos los aspectos y se le denominó TPM.

En la figura 2.1 se muestra la evolución de los tipos de mantenimiento reconocidos hasta nuestros días:

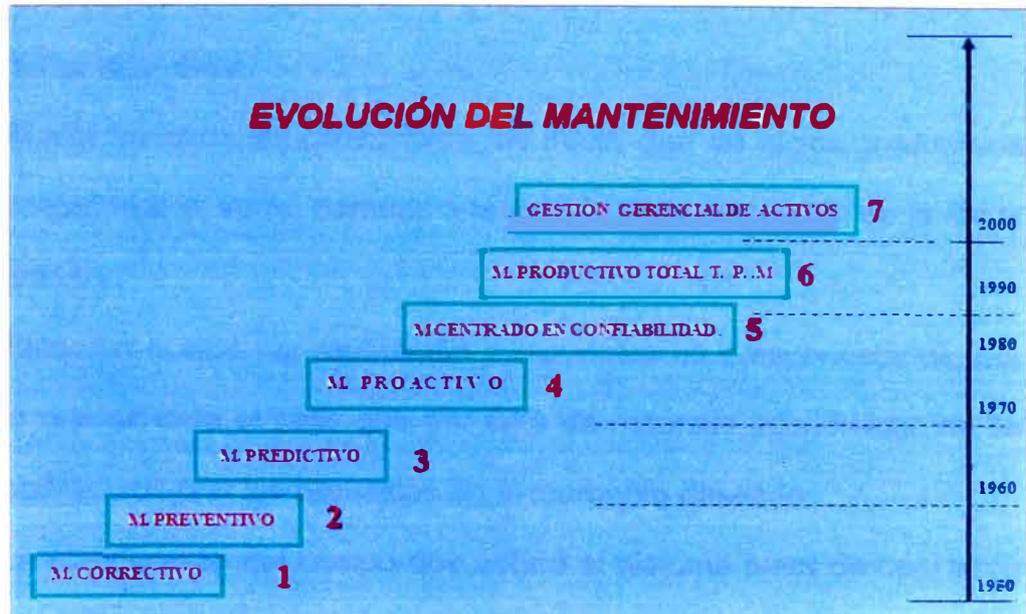


Figura 2.1 Evolución de los Tipos de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

## 2.1.2 Tipos de Mantenimiento

Existen seis tipos reconocidos de operaciones del mantenimiento hasta la fecha, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados, así tenemos:

### 2.1.2.1 Mantenimiento Correctivo

Este mantenimiento también es denominado "mantenimiento reactivo", tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores.

Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

Paradas no planificadas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.

Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.

Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado

La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

#### **2.1.2.2 Mantenimiento Preventivo**

Este mantenimiento también es denominado "mantenimiento planificado", tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también estipula el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

Presenta las siguientes características:

Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.

Se lleva a cabo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios "a la mano".

Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.

Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.

Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.

Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

### 2.1.2.3 Mantenimiento Predictivo

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica, mecánica y eléctrica, real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en las aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo.

Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por

mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, de instrumentos, y en contratación de personal calificado.

Las técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo son:

Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones).

Endoscopia (para poder ver lugares ocultos).

Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros).

Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado).

Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura, etc.).

#### **2.1.2.4 Mantenimiento Proactivo**

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las

operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores, informes, hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

#### **2.1.2.5 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (en inglés RCM, Reliability Centered Maintenance) es uno de los procesos desarrollados con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la Industria Aeronáutica a partir de la década de los 70's.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

#### **2.1.2.6 Mantenimiento Productivo Total**

TPM en su concepto más básico es una filosofía de gestión que enfatiza la sistemática eliminación de pérdidas. Partiendo de las áreas productivas busca identificar y eliminar las pérdidas de toda la compañía. Por medio de su identificación y transformación en oportunidades de mejora, promoverá reducción de costos y asegurará una mayor competitividad.

La metodología del TPM enseña a mirar las “brechas” existentes entre la Condición Ideal (requerida) y la Situación Real en todos los activos de la organización para que sea posible medir la brecha y establecer metas de recuperación, lo que asegurará mayor capacidad al proceso productivo con mínima inversión.

Durante casi 40 años el TPM viene mostrando que en toda compañía existe otra de igual tamaño y capacidad que no produce, que está oculta detrás de los problemas y de las Pérdidas Organizacionales. El TPM es la mejor herramienta para sacar a luz lo que está latente en su organización y ponerlo a funcionar para su beneficio.

Esto se logra a través de las actividades de los Pequeños Grupos Autónomos Traslapados e involucrando paulatinamente a todos los Departamentos (RRHH, Producción, Mantenimiento, Administración, Planificación, etc.) y a TODO el Personal (desde la alta dirección hasta los operarios de planta) en un mismo proyecto: CERO PERDIDAS.

## **2.2 FUNCIÓN DEL MANTENIMIENTO**

La función mantención cubre el conjunto de actividades que deben existir en una planta para obtener un costo global de mantención mínimo durante la vida prevista para los equipos.

Se trata de una función de apoyo tal como las funciones:

Calidad

Seguridad

Recursos humanos, etc.

Para optimizar la función mantención es necesario situar esta función en el marco de una función más global llamada función equipos.

En una planta, para producir se requiere:

Uno o más productos terminados definidos;

materias primas;

proceso de producción;

personal;

equipos.

La función equipos incluye todas las actividades que conciernen los equipos.

Ella se descompone en varias funciones:

Mantenimiento;

Inversiones en renovación,

Inversiones de productividad;

Mejoras de equipos;

Desarrollo de nuevos equipos.

Estas funciones están ligadas unas a otras:

Por su inter-dependencia económica, por ejemplo: “Si no se renuevan los equipos, los costos de mantención aumentan”.

Por ser realizadas por el mismo grupo de personas, por ejemplo “Si el personal de mantención se concentra en actividades de inversión, deja de lado tareas de mantención preventiva”.

La función equipos será bien manejada si hay un presupuesto para cada una de las funciones que la componen, y por tanto se realizan análisis de necesidades para c/u de ellas.

### **2.2.1 Tipos de Intervención en Mantenimiento**

Podemos clasificar las intervenciones en:

A.- Cuando el equipo funciona y la producción continúa:

Rutas de mantención preventiva,

Inspecciones de mantención predictiva;

B.- Cuando el equipo es detenido, la producción continúa:

Equipos redundantes (en Stand by);

C.- Cuando el equipo es detenido, la producción se detiene;

Los dos primeros tipos de intervención son corrientes y dan libertad de planificación. El tercero es conocido como Parada de Planta.

Puede ser programada o no. Las intervenciones deben estar sujetas

a detenciones de producción. Por ejemplo: cambios de series, fin de semana, parada por limpieza, etc.

### **2.2.2 Clases de Actividades**

La función del mantenimiento necesita de las siguientes actividades:

Gestión de mediano y largo plazo<sup>2</sup>;

Análisis técnicos a mediano y largo plazo;

Ejecución de actividades;

Gestión de repuestos.

### **2.2.3 Gestión de Largo Plazo**

Las actividades estratégicas esenciales del largo plazo son:

Definir criterios para recambio de equipos;

Definir indicadores de mantenimiento;

Decidir o no el uso de terceros;

Repartir las actividades de mantenimiento entre los servicios;

Establecer un plan de mejoramiento permanente de la función de mantenimiento (PMPM): nuevos equipos o procesos, mejorar programas preventivos, capacitación, etc.

Mejorar procedimientos organizacionales: describir las reglas que aseguren calidad en el servicio; para ello se implementa:

- Gestión a priori: políticas de mantenimiento de equipos, preparación de intervenciones, gestión de almacenes, etc.

---

<sup>2</sup> El largo plazo es un horizonte superior a un año. El mediano plazo considera entre 1 y 12 meses.

- **Gestión a posteriori: informe de intervención, bitácora, análisis técnico -económicos, etc.**

**Programa de capacitación del recurso humano.**

#### **2.2.4 Gestión de Mediano Plazo**

**Las actividades más importantes son:**

**Programación de intervenciones en el mediano plazo;**

**Control del presupuesto.**

##### **2.2.4.1 Programación de Intervenciones**

**Las tareas de programación incluyen:**

**Gestionar las solicitudes de intervención programables;**

**Previsión de cargas por equipos;**

**Determinación de fechas y plazos de intervención (lo que incluye negociar con producción).**

##### **2.2.4.2 Control Presupuestario**

**Análisis de indicadores mensuales de performance;**

**Análisis de diferencias con respecto al presupuesto previsto:**

- **Aumentar el presupuesto si la producción ha crecido con respecto a lo planificado;**
- **Disminución del presupuesto si el uso es menor**

**Definición de acciones para actualizar el plan de mejoramiento permanente del mantenimiento (PMPM).**

### **2.2.5 Ejecución de Intervenciones**

Implica 3 tareas:

Distribución del trabajo:

- Coordinar con producción el momento de intervenir;
- El seguimiento del avance de las intervenciones.

Realización de las intervenciones

- Movilización de recursos,
- Consignación de las instalaciones,
- Medidas de seguridad,
- Intervención misma,
- Transferencia del equipo a producción.
- Rendición de cuentas: el informe debe incluir: causa que originó la intervención, descripción de dificultades encontradas para cumplir los plazos previstos de intervención. La idea es resaltar los puntos que causan la pérdida de eficiencia de la función de mantenimiento.

Gestión de personal

- Datos para el salario (HH, bonificaciones, etc.).
- Motivación del personal.

#### **2.2.5.1 Gestión del Personal de Intervención**

Las actividades esenciales son:

Recopilación de información para el salario (bonos);

La observación de aptitudes y actitudes de cada profesional;

Proposición de acciones de capacitación para alcanzar los niveles necesarios de preparación;

Comunicar a los profesionales de los resultados obtenidos en términos de indicadores; con análisis incluido.

Motivar al personal. Causas de pobre motivación: salarios bajos, falta de reconocimiento, falta de objetivos, procedimientos obsoletos o incongruentes.

### **2.2.6 Gestión de Repuestos**

Las actividades incluyen:

Compra de repuestos;

Gestión de bodegas;

Almacenamiento de repuestos.

#### **2.2.6.1 Compra de Repuestos**

Actividades que incluye:

Definición técnica de la necesidad;

Estimación del plazo de entrega;

Búsqueda del mejor precio a calidad y demora similares;

Coordinación con la planificación a mediano plazo;

Redacción de programa de compras según el programa de gestión de largo plazo;

Evaluación de calidad de los proveedores: costo, calidad, demora.

#### **2.2.6.2 Gestión de Bodega**

Las actividades principales son:

Inscripción del artículo en el catálogo de repuestos;

Determinar localización de los repuestos;

Definición, por artículo, del modo de reaprovisionamiento, y parámetros concernientes;

Análisis de necesidades y emisión de solicitudes asociadas;

Análisis de indicadores de gestión de stock;

Elaboración de un plan de acción para reducir el costo global de mantención.

### **2.2.7 Ponderación de las Actividades de Mantenimiento**

Evidentemente, la importancia de cada actividad en el costo global de mantenimiento (CGM) es relativa. Ello depende de:

Tipo de industria;

Complejidad de equipos a mantener;

Riesgo de costos de falla de mantenimiento (CFM);

Condiciones de utilización de materiales.

Cualquier análisis que busque disminuir el CGM debe ponderar la importancia de las actividades. Siendo esta cualitativa y debe ser discutida y revisada periódicamente.

Cuadro 2.1 Ejemplo de Ponderación de Las Actividades de Mantenimiento

<b>FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>%CGM</b>
<b>Gestión Largo Plazo</b>	<b>10</b>
Elaboración de presupuesto	2
Seguimiento de gastos	2
Redacción reportes de balance	1
Control y análisis de imputaciones	1
Puesta a punto de acciones de mejoramiento	1
Gestión de aprovechamiento de la experiencia	1
Definición de indicadores	1
Análisis de equipos más caros	1
<b>Gestión Mediano Plazo</b>	<b>16</b>
Optimización de plan preventivo / tareas repetitivas	1
Gestión de medidas ante mantenimiento predictivo	1
Gestión de prioridades de actividades	1
Análisis de modos de falla y acciones pertinentes	1
Tratamiento y análisis de los MTTR y MTBF	1
Análisis de costos por:	
Por Planta	1
Por tipo de intervención	1
Por tipo de mantenimiento	1
Por nivel de urgencia	1
Gestión de empleo de recursos	1
Gestión de flexibilidad de medios	1
Elaboración del plan de carga del personal	1
Optimización del plan de carga	1
Definición de puestos	1
Evaluación del personal	1
<b>Análisis Mediano Plazo</b>	<b>6</b>
Uso de historial y aprovechamiento de experiencia	1
Evaluación de tiempos de intervención	1
Determinación de RRHH y materiales para cada interv.	1
Cálculo de disponibilidad de cada equipo	1
Análisis de modos de falla	1
Mejora de procedimientos y rutas	1
<b>Ejecución Corto Plazo</b>	<b>60</b>
Preparación de intervenciones	5
Distribución de trabajos	5
Recolección de solicitudes de trabajo	3
Verificación disponibilidad de recursos	3
Definición de repuestos necesarios	9
Verificación disponibilidad de repuestos	5
Supervisión de trabajos	10
Recepción de trabajos	8
Puesta al día de la documentación técnica	7
Verificación de procedimientos de seguridad	5
<b>Gestión de Repuestos</b>	<b>8</b>
Disponer de stocks en cantidad	1
Disponer del valor de stocks	1
Definición de métodos para conservar los repuestos	0.5
Gestión de reaprovisionamiento	1
Predicción de consumos anuales	1
Programación de compras a largo plazo	0.5
Análisis ABC de consumos	1
Estimar tamaño de lote, frecuencia óptima	1
Disponer de indicadores	1
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

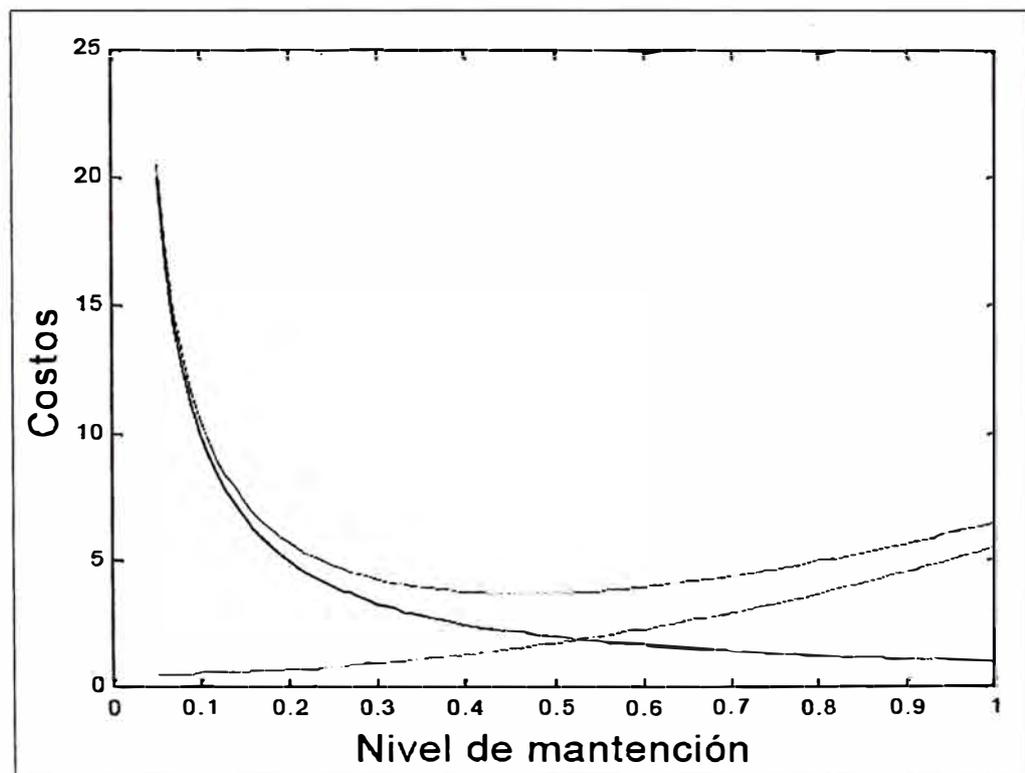
Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.8 Estrategias de Mantenimiento

Es importante fijar objetivos, nuestros primeros objetivos deberían ser:

Mantener los equipos en operación,

Reducir el número de fallas con costo global mínimo. La idea se gráfica en figura 2.2.



**Figura 2.2 Curva de Costos de Mantenimiento y Fallas**  
 Fuente: Maintenance, Replacement and Reliability Theory and Applications, pág. 23

Para llegar al punto óptimo, se debe seleccionar entre las estrategias de mantenimiento<sup>3</sup> disponibles:

Mantenimiento Preventiva, o basada en el tiempo;

Mantenimiento Predictivo o basada en la condición de las máquinas;

Mantenimiento Proactivo para evitar aparición o recurrencia;

<sup>3</sup> La descripción de cada una de las estrategias mencionadas se encuentran en el ítem 2.1.2 del presente informe.

Mantenimiento Reactivo o Correctivo; que se aplica luego de aparecer una falla. Ello no implica que la reacción esté debidamente planeada (ver figura 2.3).



**Figura 2.3 Estrategias de Mantenimiento**

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.2.8.1 Mantenimiento Pre-falla

El mantenimiento no correctivo (preventivo, predictivo y proactivo) se aplica prioritariamente a los componentes críticos de la producción. Luego de seleccionados los equipos para los cuales se realizará es necesario descomponerlos en sub-componentes que se puedan dar mantenimiento, por ejemplo: rodamientos, correas, engranajes, etc.

El mantenimiento preventivo es aplicado en general para componentes cuyo costo de reemplazo no son muy altos. Por su lado el mantenimiento predictivo se realiza cuando el costo de reemplazo es superior y se disponen de técnicas no destructivas capaces de establecer la condición del equipo, por ejemplo: análisis de vibraciones, de aceite, temperatura, corriente, etc.

En caso de seleccionar una mantención preventiva para un equipo, es necesario establecer frecuencias de cambio de piezas,

lubricación, etc. Para ello se realiza un análisis estadístico de los ciclos de vida.

Las tareas a realizar deben ser descritas claramente en procedimientos y su registro debe ser llevado en reportes. Ellos formarán parte de la hoja de vida de cada equipo. Tal registro ayudará en la detección de fallas en la mantención, y la evaluación de costos de mantenimiento.

**Cuadro 2.2 Ejemplo de Mantenimiento Pre-falla para un equipo en general**

CLASE	TIPO	COMPONENTES
MECANICO	Reemplazo	Aceite
		Filtros
		Pieza de desgaste
		Rodamientos
		Juntas
	Regulación	Resortes
		Juegos / Interferencias
		Tensión (correas)
	Chequeo	Presión
		Bloqueos
ELÉCTRICO	Reemplazo	Niveles
		Contactos
		Componentes asociados a fallas térmicas
	Regulación	Capacitación
		Impedancias en circuitos
	Chequeo	Potenciómetros
		Valores de aislación
		Valores de capacitancia

Fuente: Elaboración Propia

## 2.3 ESTRUCTURA DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

La administración y/o gestión del mantenimiento tiene como una de sus principales tareas la de minimizar los costos de mantenimiento. Es entonces muy importante analizar cuáles son los componentes que lo conforman.

### 2.3.1 Costo Global de Mantenimiento (CGM, $C_g$ )

El costo global de mantenimiento es la suma de cuatro componentes:

Costo de intervenciones de mantenimiento ( $C_i$ );

Costo de fallas de mantenimiento ( $C_f$ );

Costo de almacenamiento de mantenimiento ( $C_a$ );

Amortización de inversiones en el mantenimiento ( $A_i$ ).

Por lo tanto:

$$C_g = C_i + C_f + C_a + A_i$$

La experiencia no indica que los sumandos del CGM están relacionados inversamente proporcional, quiere decir que la reducción de un componente del CGM implica el aumento de uno o más de los otros componentes (acción-reacción).

El CGM es medido a nivel de equipo. La suma sobre los equipos es lo que nos importa. Los equipos que mas afecten el CGM serán aquellos que reciban mayor estudio y atención de parte del área de mantenimiento.

### **2.3.2 Costo de Intervención de Mantenimiento (CIM, $C_i$ )**

El CIM incluye los gastos relacionados con los mantenimientos preventivos y correctivos. No incluye gastos de inversión, ni aquellas relacionadas directamente con la producción como ajustes de parámetros de producción, limpieza, etc.

El CIM puede ser descompuesto en:

Mano de obra interna o externa,

Repuestos de bodega, o comprados para una intervención;

Material fungible requerido para la intervención;

El costo de mano de obra interna se calcula con el tiempo gastado en la intervención multiplicado por el costo de H-H. La mano de obra externa se obtiene de la factura, o por las H-H que fueron requeridas.

Tanto el material fungible como la amortización de equipos y herramientas de uso general se consideran en el costo horario de intervención. Este es multiplicado por el tiempo de intervención.

Material fungible y la amortización de equipos y herramientas de uso específico son considerados aparte, tal como si fuesen repuestos.

#### 2.3.2.1 Costos por Unidad de Tiempo

Es importante otorgar un valor realista a los costos horarios de intervención ( $c_i$ ) y de horas-hombre pues influyen directamente en el costo global de mantenimiento, nuestra función objetivo a minimizar.

Es común comparar el costo de la mano de obra interna con el de la externa. Sin embargo, los costos internos son castigados por prorratesos de costos que existen aún si se contrata mano de obra externa. Es necesario definir dos costos:

Costo horario de intervención ( $c_i$ ) , que sólo incluye gastos directos asociados a las intervenciones;

Costo horario de mantenimiento ( $c_{i,t}$ ), considera todos los gastos asociados a mantenimiento.

**El costo horario de intervención es:**

$$c_i = \frac{\text{Gastos Directos (US\$)}}{\text{Total Horas de Intervención (H)}}$$

Los gastos directos sólo incluyen:

Gastos salariales;

Contratación de servicios;

Gastos en material fungible de uso general;

Gastos de energía ligados a la intervención.

**El costo horario de mantenimiento es igual a:**

$$c_{i,t} = \frac{\text{Gastos Totales de Mantenimiento (US\$)}}{\text{Total Horas de Intervención (H)}}$$

Los gastos totales incluyen:

El conjunto de gastos considerados para el costo de intervención;

Los salarios de especialistas requeridos para la gestión, planificación, análisis técnicos de las intervenciones;

El prorrateo de servicios tales como contabilidad, computación, personal, etc.

### **2.3.2.2 Costos de Repuestos**

A fin de realizar un análisis técnico-económico inteligente es necesario distinguir el costo técnico del costo contable:

El costo técnico corresponde al valor de compra de la pieza al día de su utilización. A utilizar en el CIM.

El costo contable corresponde al valor utilizado para valorizar el inventario contable. Por razones financieras este precio puede ser reducido por depreciación.

### **2.3.3 Costo de Fallas de Mantenimiento (CFM, $C_f$ )**

Estos costos corresponden a las pérdidas de margen de explotación (lucro cesante) debidas a un problema de mantenimiento que haya producido una reducción en la tasa de producción de productos en buen estado.

La pérdida de margen de explotación puede incluir aumento de los costos de explotación o una pérdida de negocios.

Los problemas de mantenimiento ocurren por:

Mantenimiento preventivo mal definido;

Mantenimiento preventivo mal ejecutado;

Mantenimiento correctiva efectuado en plazos muy largos, mal ejecutado, realizado con repuestos malos o de baja calidad.

El estudio de la frecuencia de fallas (tasa de fallas o tiempo entre fallas) y del tiempo utilizado en las reparaciones permite calificar la calidad del mantenimiento desde un punto de vista técnico.

No se debe confundir falla de mantenimiento con falla de material:  
Culpa nuestra, culpa del constructor o culpa de producción.

Otros casos de falla de material:

Errores de utilización que implican degradación;

A condiciones ambientales fuera de norma.

Este tipo de costos deben ser cargados a las funciones inversión, fabricación, calidad, etc.; pero no a mantenimiento.

El interés de poner en relieve los costos de falla por función y de no reagruparlos bajo el centro de costos de mantenimiento es de poder sensibilizar al conjunto de responsables de las funciones concernientes a los sobrecostos generados y de permitirles tomar medidas correctivas eficaces.

#### 2.3.3.1 Evaluación del Costo de Falla

El costo de falla puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$C_f = \text{ingresos no percibidos}^4 + \text{gastos extras de producción} + \text{materia prima no utilizada}$

Para explicarlo, evaluemos el  $C_f$  en 3 casos:

El volumen de producción programado puede ser alcanzado;

El volumen de producción programado no puede ser alcanzado dado que la planta opera 24 horas al día;

<sup>4</sup> El lucro cesante es una forma de daño patrimonial que consiste en la pérdida de una ganancia legítima o de una utilidad económica por parte de la empresa como consecuencia del daño, y que ésta se habría producido si el evento dañoso no se hubiera verificado. Es, por tanto, lo que se ha dejado de ganar y que se habría ganado de no haber sucedido un daño.

La producción no se detiene pero su calidad es degradada.

En el primer caso, el costo de falla de mantenimiento corresponde a los gastos necesarios para reatrapar la producción perdida. Estos gastos son esencialmente:

La energía necesaria para la producción;

Las materias primas;

Los fungibles;

Los gastos de servicios tales como calidad, compras, mantenimiento, etc.

Si la producción programada no puede ser alcanzada, el costo de falla de mantenimiento corresponde a la pérdida de ingresos menos el costo de las materias primas y productos consumibles que no fueron utilizados durante la parada.

Si la producción ha perdido calidad, su precio es menor que el nominal. En este caso el costo de falla de mantenimiento corresponde a la pérdida de ingresos asociada.

#### **2.3.4 Costo de Almacenamiento de Mantenimiento (CAM, $C_a$ )**

Este costo representa los gastos incurridos en financiar y manejar el stock de piezas de recambio e insumos necesarios para la función de mantenimiento que incluye:

El interés financiero del capital inmovilizado por el stock;

Los gastos en mano de obra dedicada a la gestión y manejo del stock;

Los costos de explotación de edificios: energía, mantención;

Amortización de sistemas adjuntos: montacargas, sistema informático;

Gastos de seguro por el stock;

La depreciación comercial de repuestos.

Es importante no considerar los salarios del personal de bodega en el costo de intervención de mantenimiento; y si hacerlo en el costo de almacenamiento de mantenimiento.

### **2.3.5 Valores Referenciales**

A nivel de diseño del departamento de mantenimiento y después, a nivel de reingeniería de la organización es importante conocer valores de referencia para las componentes del costo global. Ello dependerá principalmente del tamaño de la planta, el tipo de industria, entre otros criterios.

A fin de establecer valores de referencia para los costos de intervención es necesario comparar nuestra empresa con otras del mismo rubro, pero de clase mundial. Podemos usar diferentes variables de comparación:

Valor de los equipos en planta

Volumen de producción

Valor agregado

### 2.3.5.1 Para el Costo de Intervención

#### **$C_i$ vs valor de lo equipos**

El valor de los equipos ( $V_e$ ) corresponde a los gastos que serían requeridos para comprar equipos que realicen las mismas funciones. No se considera, transporte, instalación, puesta a punto.

El  $C_i / V_e$ <sup>5</sup> es uno de los indicadores más interesantes a fines de comparación. En el cuadro 2.3 muestra algunos valores de referencia.

**Cuadro 2.3 Valores Referenciales  $C_i / V_e$**

Equipo de producción y tipo de uso	$C_i/V_e$ %	Desviación %	Nro de horas anuales
Proceso ligero	3.1	0.9	2500
Proceso pesado	6.9	1.5	7000
Equipos de trabajos públicos	15	2.3	2000
Equipos "auto destructivos"	25	0	5000
Taller de fabricación agroalimentario	4.1	0.7	5500
Taller de procesamiento agroalimentario	8.5	1.3	5000
Máquinas herramientas	9.5	1.7	5000
Herramientas maestranza	13.1	0.9	3000

Fuente: Gestión Moderna del Mantenimiento, pág. 19

#### **$C_i$ vs volumen de producción**

El volumen de producción ( $V_p$ ) es una medida del nivel de uso dado a los equipos, por ejemplo: horas de operación continua en equipos, toneladas en equipos químicos, siderurgia e industrias agroalimentarias.

Este indicador permite:

<sup>5</sup> Para interpretar correctamente el  $C_i/V_e$  se debe tomar en cuenta el número de horas anuales que funciona el equipo. Un equipo funcionando 1000 h/año y otro similar operando 8500 h/año evidentemente no tendrán el mismo  $C_i / V_e$

Comparar equipos o plantas similares tomando en cuenta las horas de utilización de los equipos;

Recalcar que la redundancia de equipos o el sobre-equipamiento eleva los costos de intervención de mantenimiento.

Equipos mostrando  $C_i / V_p$  muy sobre el valor referencial indica vejez del equipo o condiciones de operación difíciles (ambiente, calidad de operadores).

#### **$C_i$ vs valor agregado**

El valor agregado ( $V_a$ ) por el equipo es un indicador muy usado aunque no toma en cuenta las condiciones de operación.

El nivel de automatización puede no influenciar el  $C_i / V_a$  debido a que a mayor cantidad de equipos, mayor productividad (valor agregado) pero también se incrementan el costo de intervención de mantención.

#### **2.3.5.2 Para el Costo de Falla**

En este caso utilizamos como variables de comparación:

Horas de parada / horas de funcionamiento

Producción aceptable / capacidad nominal

etc.

Evitar la existencia del costo de falla es una de las paradojas de la función del mantenimiento debido a que tal esfuerzo implica incrementar el costo de intervención. El control del costo global

de mantenimiento es entonces un proceso iterativo (para niveles estables de utilización del equipo).

### 2.3.5.3 Para el Costo de Almacenamiento

El indicador:

$$\frac{\text{Costo de almacenamiento}}{\text{Valor de inventario}}$$

Tiene un valor referencial en las industrias de 26.2 % con una desviación media de 4.2 %<sup>6</sup>.

Hay que tomar en cuenta que el nivel de repuestos está estrechamente ligado al costo de falla de mantenimiento y al riesgo de que se produzcan fallas.

El valor de referencia medio del inventario de repuestos

$$\frac{\text{Valor del inventario}}{\text{Valor de los equipos}}$$

Varia entre 1.5 % y 2.5 %<sup>7</sup> del valor (nuevo) de los equipos a mantener.

El costo de almacenamiento representa entre 4 % y 6 % del C<sub>i</sub>. Por ello no debe ser una preocupación mayor en la gestión del costo global de mantenimiento<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> Dato tomado del libro de Gestión Moderna del Mantenimiento pág. 20

<sup>7</sup> Dato tomado del libro de Gestión Moderna del Mantenimiento pág. 20

<sup>8</sup> Ver cuadro 2.1 del presente informe

## **CAPÍTULO 3**

### **SITUACIÓN ACTUAL DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

#### **3.1 PLANTA CONCENTRADORA**

La concentradora tiene tres funciones principales: preparar el mineral para su concentración, separar los minerales valiosos para convertirlos en productos comerciables, disponer de los productos del proceso.

La preparación consiste en reducir el tamaño de las rocas en varias etapas hasta un tamaño menor para que las partículas de mineral puedan ser físicamente separadas de la ganga. Las etapas de la preparación incluyen:

Voladura en mina hasta un tamaño máximo de 1 - 2 m. aproximado.

Chancado primario hasta 100% - 280 mm (80% - 165 mm)

Chancado secundario hasta menos de 50 mm.

Chancado terciario hasta menos de 6 mm.

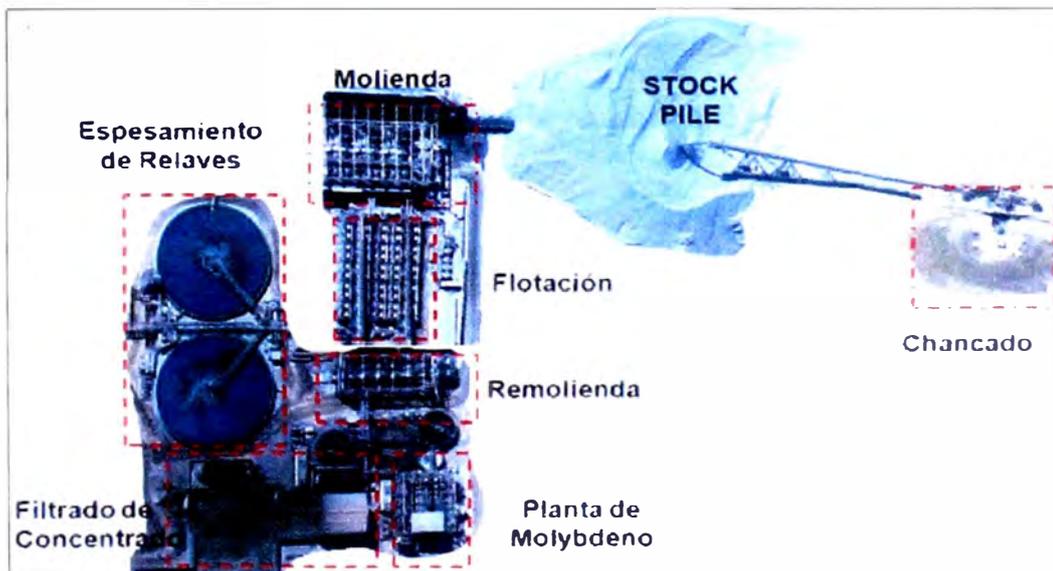
Molienda hasta menos de 0.5mm (80% pasante ó P80 de 115 -150  $\mu\text{m}$  ó 0.115 - 0.15 mm)

Después de una separación inicial, el concentrado es sometido a una remolienda más fina hasta aproximadamente 0.035mm P80.

Los productos finales comerciables vendibles (concentrado de Cu y Mo) provenientes de la concentradora están en la forma de sulfuros, con una ley

aproximada de 45% de Mo, para el concentrado de molibdeno, y 25% de cobre, para el concentrado de cobre.

Las instalaciones del proceso fueron diseñadas para tratar un promedio de 108'000,00 TMD de mineral de sulfuro primario pero por la coyuntura del mercado de metales esta aumentó hasta una capacidad de 125'000,00 TMD para producir concentrados de cobre y de molibdeno por separado, para lo cual se tuvieron que realizar ampliaciones de capacidad en diversas partes de la planta con mayor incidencia en la zona de Remolienda por tratarse de un cuello de botella por los equipos de menor capacidad además que es la zona en donde se recupera la mayor cantidad de cobre y molibdeno que no se obtuvieron de las Celdas de Flotación.



**Figura 3.1** Layout de la Planta Concentradora de 125 000 TMD

Fuente: Elaboración propia

En el **Apéndice A** se puede apreciar el diagrama de flujo del proceso mencionado líneas arriba como la vista en perspectiva de la planta concentradora.

### 3.2 ÁREA DE REMOLIENDA

La principal función en esta área es realizar la mayor cantidad de recuperación del mineral (hasta un 90% de recuperación de cobre) provenientes de las Celdas de Flotación (rougher, scavenger y cleaner scavenger). Una alta recuperación produce un mayor contenido metálico para venderse, mientras una alta ley<sup>9</sup> reduce los costos de embarque y de tratamiento aguas abajo. El balance óptimo depende de los precios del metal, tasas de embarque y tasas del tratamiento de concentrados (fundición, refinación y venta).

El objetivo del circuito de remolienda es minimizar esta compensación, o cambiar la curva ley/recuperación, mediante el uso por etapas de las celdas de flotación por agitación, celdas columna de flotación, molinos de remolienda, celdas recleaner, ciclones para la clasificación por tamaños, y adición de reactivos. Se enfatiza más la recuperación y ley del contenido de cobre, ya que este representa un valor total mucho mayor que el de molibdeno.

---

<sup>9</sup> La ley, en minería (en inglés, ore grade), es una medida que describe el grado de concentración de recursos naturales valiosos (como los metales o minerales) disponibles en una mena. Se utiliza para determinar la viabilidad económica de una operación de explotación minera.



**Figura 3.2 Ubicación del Área de Remolienda en la Planta Concentradora**  
Fuente: Vista Satelital con Google Earth

Antes de la ampliación de procesamiento esta área no representaba problemas de criticidad de equipos debido a que estos en su mayoría contaban con pares en stand by, luego de la ampliación a 125'000,00 TMD se realizaron cambios de equipos de mayor capacidad (potencia, caudal, etc.) en la que no se previó el impacto de la ubicación de los equipos en las mismas áreas, además que el porcentaje de la ley de cabeza<sup>10</sup> no fue lo esperado a medida que se explotaba el tajo abierto de acuerdo a los estudios geológicos lo que trajo como consecuencia cumplir con los objetivo meta a cualquier costa volviéndose la zona de remolienda una vez más en un cuello de botella optándose como estrategia que los que tenían stand by pasaron a ser utilizados en paralelo dependiendo del caudal a ser necesitado para cumplir con los objetivos de producción (caso de las

<sup>10</sup> La ley de cabeza de diseño para la ampliación fue en promedio de 0.55% y la ley de cabeza real llegó a un promedio de 0.40%

bombas centrífugas de slurry<sup>11</sup>) cambiando su criticidad para algunos equipos que se mencionarán más adelante.

En la figura 3.3 se muestra el flow sheet del área de remolienda en donde se marcan algunas de las bombas centrífugas operando en paralelo sin un stand by cambiando por completo su criticidad debido a que al hecho de la salida de operación de una de las bombas puede hasta disminuir en un 30% de la producción y si ambas bombas salen de operación ocurrirían paradas de planta general.

<sup>11</sup> Slurry es una mezcla en que la que se tiene sólidos en suspensión en nuestro caso concentrado de cobre y molibdeno suspendidos en agua de procesos

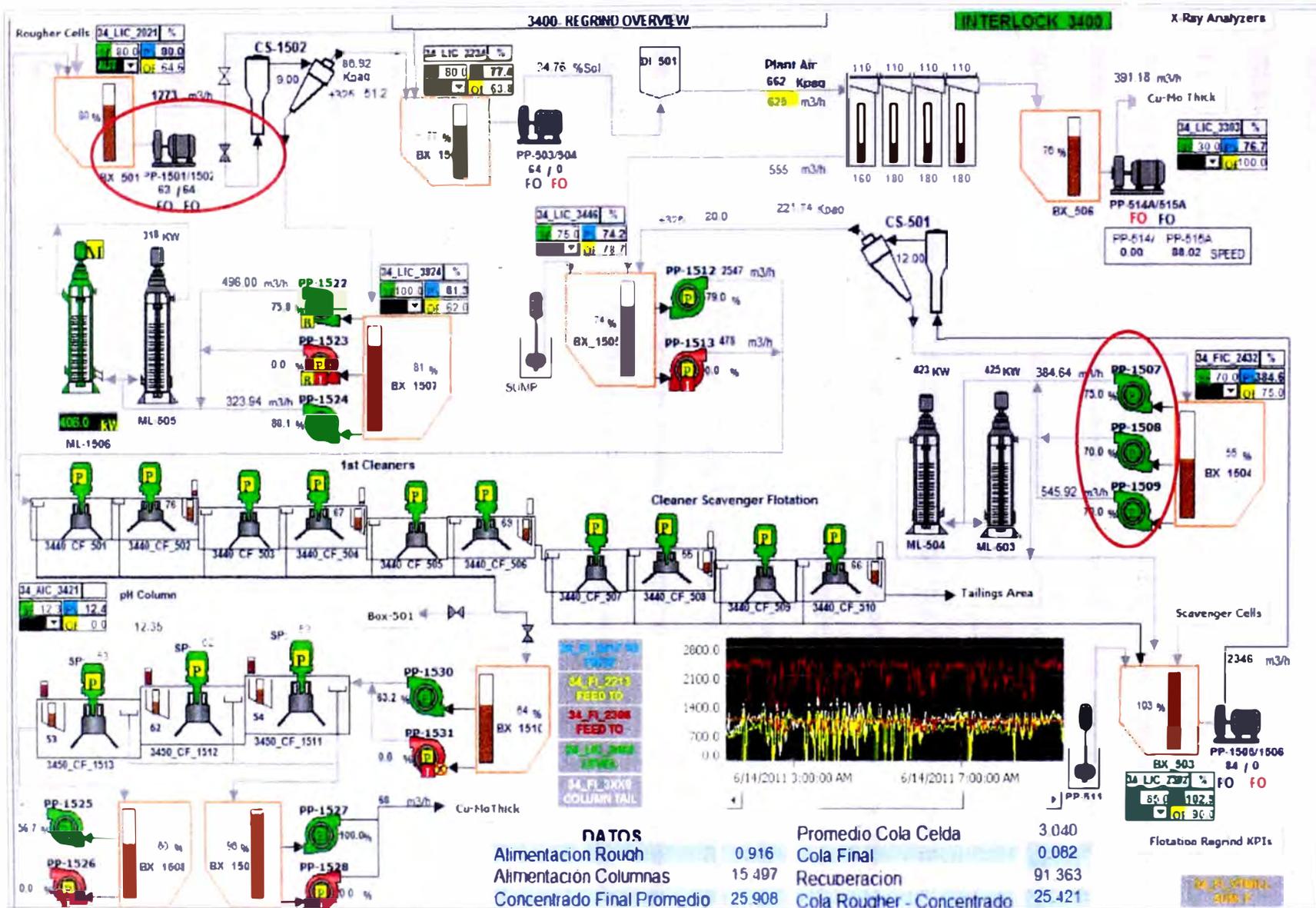


Figura 3.3 Flow Sheet del Area de Remolienda

Fuente: Elaboración Propia

### **3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE REMOLIENDA**

Por lo indicado en el ítem 3.2 se toma previsión de lo acontecido realizándose un estudio de qué equipo(s) deberán merecer mayor atención a fin de no impactar en la seguridad y producción de la concentradora, por lo que se realiza un análisis de criticidad de equipos en el área de Remolienda.

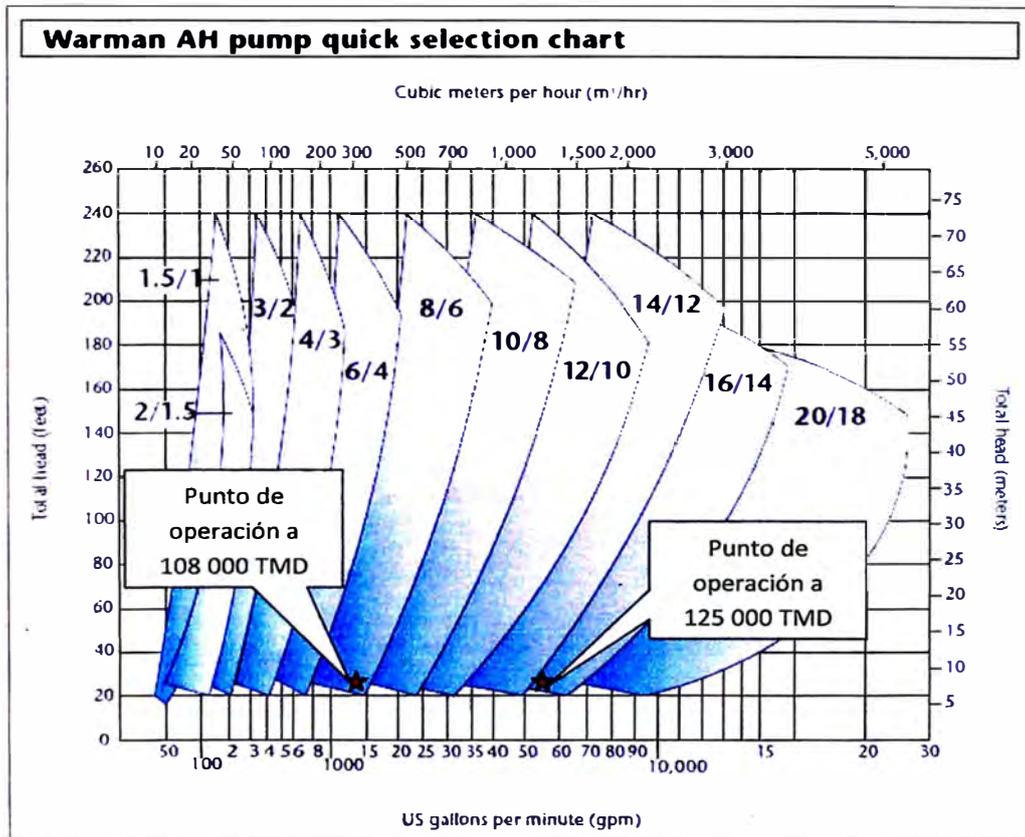
El análisis de criticidad es una manera subjetiva de determinar una lista de equipos a ser estudiados siendo desarrollado en talleres de participación multidisciplinarias (mantenimiento, operaciones, seguridad y medio ambiente) para poder discutir, analizar y dar un resultado en consenso con la finalidad que todos los involucrados estén de acuerdo. En el **Apéndice B** se indica con mayor detalle el análisis desarrollado dando como resultado las bombas con el TAG PP1501 y PP1502 como equipos de alta criticidad.

### **3.4 BOMBAS CENTRIFUGAS HORIZONTALES WARMAN MODELO 16/14 TU-AH**

Los TAG's PP1501 / PP1502 pertenecen a las bombas centrifugas de slurry modelo Warman 16/14 TU AH. Su selección se debió a los parámetros operacionales para las nuevas capacidades a procesar puesto que antes estuvieron bombas del modelo Warman 12X10 F AH y como se puede apreciar en la figura 3.4 hubo un aumento de caudal de hasta un 100% por lo ya mencionado líneas arriba.

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial

requerida. El fluido entra por el centro del impulsor (succión), que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior (descarga).



**Figura 3.4 Cartilla de selección de Bombas Warman del tipo AH**

Fuente: Weir Mineral Brochure Warman tipo AH

### 3.4.1 Modelo Warman 16/14 TU-AH

Este modelo de bomba centrífuga fue diseñado el bombeo continuo de lodos altamente abrasivos y / o corrosivos.

Sus principales características de este modelo son:

Cuentan con una selección de metales tratados que sirven como revestimientos (plato lado succión, plato lado prensa, voluta), impulsores que son intercambiables en la misma carcasa.

Su sistema de sellado húmedo por medio de prensa estopas permite realizar un sellado en operación y realizar cambios en sus empaques de sellado

Menor cantidad de pernos de sujeción.

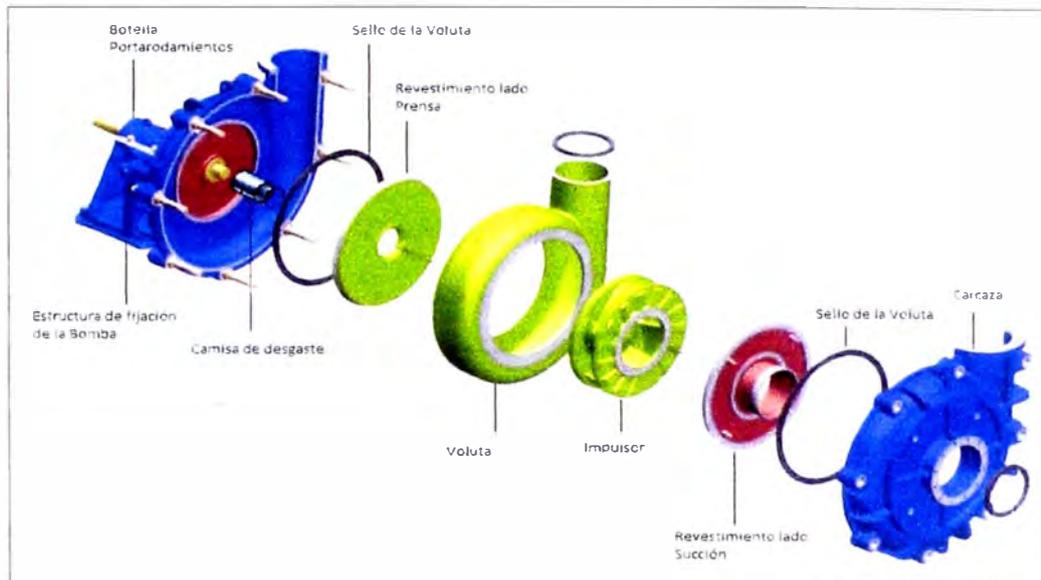
Botella porta rodamiento de fácil ensamble a la bomba y motor

Todas estas características hacen que este modelo sea fácil de mantener disminuyendo los tiempos de cambio de componentes de 18 horas a 10 horas.



**Figura 3.5 Bomba Warman modelo 16/14TU-AH**

Fuente: Weir Mineral Brochure Warman tipo AH



**Figura 3.6 Componentes de la Bomba Warman modelo 16/14TU-AH**

Fuente: Weir Mineral Brochure Warman tipo AH

Para poder poner en operación la(s) bomba(s) se deben incluir otros componentes mecánicos y eléctricos a fin que la combinación del sistema pueda entregar el caudal requerido por la demanda, a continuación se mencionan los componentes más importantes:

#### 3.4.1.1 Componentes Mecánico

Los componentes mecánicos que acompañan a la bomba para formar el sistema de bombeo de slurry son:

**Cajón de Distribución:** Almacena slurry con la finalidad que la bomba tenga una altura de succión neta positiva.

**Línea de Succión:** Tuberías (incluyen acoplamientos, codos, etc.) que conectan al cajón de distribución con la bomba por el lado succión.

**Línea de Descarga:** Tuberías (incluyen acoplamientos, codos, etc.) que conectan a la bomba con el quipo a que se alimenta de slurry (ciclones de remolienda).

**Válvulas Compuerta:** Componentes que permiten o detienen el paso del slurry en la línea de bombeo, están ubicadas antes de la bomba (válvula de succión), después de la bomba (válvula de descarga) y en la línea de succión (válvula de drenaje).

**Reductor de velocidad:** Componente de transmisión cuya función es disminuir la velocidad entregada por el motor eléctrico al valor requerido por la bomba aumentando el torque que ayudará al impulsor transformar la energía cinética en energía potencial.

### **3.4.1.2 Componentes Eléctricos**

Los componentes eléctricos e instrumentales que acompañan a la bomba para formar el sistema de bombeo de slurry son:

**Centro de Control del Motor (MCC):** Tablero eléctrico ubicado en la sala eléctrica que alimenta de energía eléctrica al motor proveniente de la subestación principal de la planta concentradora.

**Líneas Eléctricas de Fuerza:** Cables conductores de energía eléctrica desde el MCC hasta el motor de la bomba.

**Líneas Eléctricas de Mando:** Cables conductores de energía eléctrica desde el MCC hasta los pulsadores de arranque y parada del motor de la bomba.

**Motor Eléctrico:** Máquina que transforma la energía eléctrica en energía cinética por medio de interacciones magnéticas.

**Actuadores:** Componente capaz de transformar energía neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado como es el caso de la apertura y cierre de válvulas compuertas.

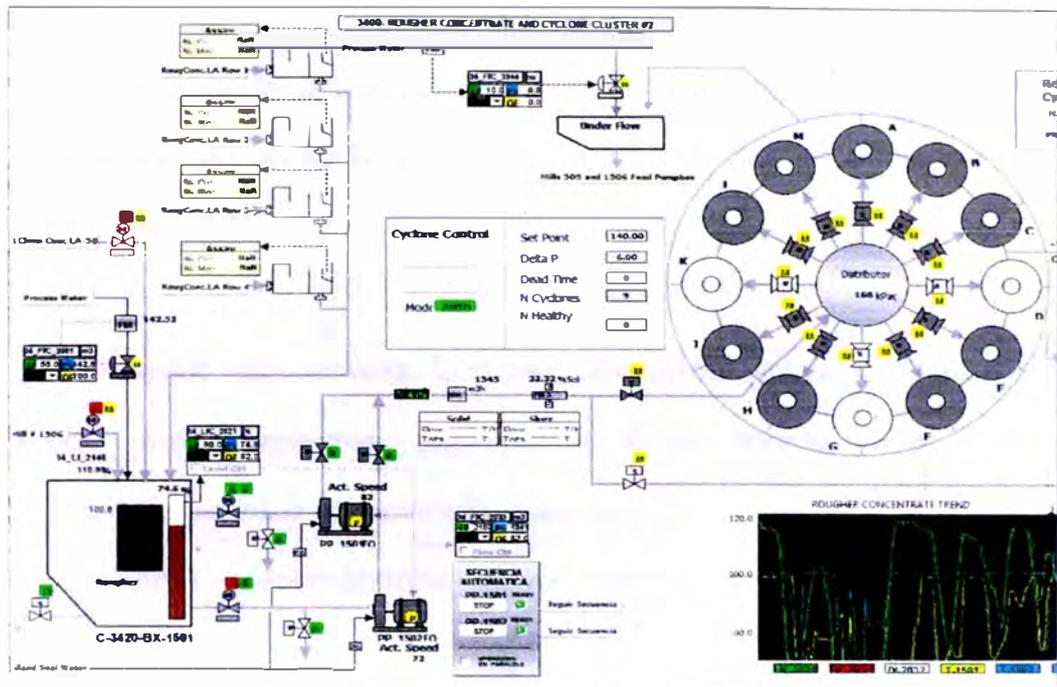


Figura 3.7 Sistema de Bombeo de la Bombas Warman modelo 16/14TU- AH  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.5 DISPONIBILIDAD ACTUAL DE LAS BOMBAS EN LA OPERACIÓN

De acuerdo con la curva de operaciones indicadas en el **Apéndice C**, estas bombas trabajan a un caudal nominal de  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$  para llevar el slurry al nido de ciclones de remolienda que se encuentran a una altura de 24m, estando una en stand by a fin de socorrer al otro ante salidas de operación por posibles fallas operativas o mantenimientos preventivos respectivos.

Por lo descrito en el ítem 3.2 se tuvo la necesidad de pasar un mayor caudal a los ciclones de remolienda con la finalidad recuperar más concentrado de cobre, siendo el caudal necesario para cumplir el objetivo de  $4000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Debido a ello una sola bomba no podía entregar dicho caudal por lo que actualmente se encuentran operando ambas bombas para satisfacer la

demanda dividiéndose los caudales en una proporción de 50% y 50% del caudal total por lo que cada bomba en promedio descarga 2000m<sup>3</sup>/h por lo que su punto de operación actual se encuentra en una nueva posición como se puede observar en el **Apéndice C** de tal forma que la eficiencia no disminuya del 75%.

El hecho de contar con ambas bombas operativas hace que nuestro programa de mantenimientos preventivos haya tenido que variar aprovechando las paradas de plantas para realizarlos ya que las fallas fueron en aumento presentándose mayor cantidad de mantenimientos correctivos.

### **3.5.1 Fallas en las bombas Warman 16/14 TU-AH**

Antes de entrar a hablar de las fallas ocurridas en el sistema de bombeo es conveniente conocer los fenómenos que producen su degradación y falla.

Las fallas pueden ser clasificadas como:

Fallas **catastróficas** que contemplan las fallas repentinas y completas, tales como la ruptura de un componente mecánico o un corto circuito en un sistema eléctrico. Es difícil observar la degradación y por tanto no es posible establecer procedimientos preventivos.

Fallas por **cambios en parámetros** en esta parte se citan fenómenos tales como:

- Desgaste mecánico,

- Fricción,
- Aumentos en la resistencia de componentes electrónicos; la degradación es gradual y puede ser observada directa o indirectamente.

#### 3.5.1.1 Fallas Primarias

Son el resultado de una deficiencia de un componente, cuando ésta ocurre en condiciones de operación dentro del rango nominal. Por ejemplo: ruptura de un diente del piñón del reductor de una bomba cuando la velocidad es operacional.

#### 3.5.1.2 Fallas Secundarias

Son el resultado de causas secundarias en condiciones no nominales de operación. Podría no haber habido falla si las condiciones hubiesen estado en el rango de diseño del componente.

Condiciones que causan fallas secundarias: temperaturas anormales, sobrepresión, sobrecarga, velocidad, vibraciones, corriente, contaminación, corrosión, etc.

Las fallas secundarias pueden ser clasificadas en varias categorías:

##### **Fallas con causa común**

En este caso la falla secundaria induce fallas en más de un componente. Por ejemplo, un terremoto puede producir cargas severas en un número de componentes e inducir su falla. Las catástrofes naturales son causas usuales de este tipo: terremotos, inundaciones, huracanes, explosiones, fuego. Mal funcionamiento de

otros sistemas o componentes también pueden inducir fallas en varios componentes. Por ejemplo: una falla del sistema de aire acondicionado produce incremento en la temperatura y de ahí la falla de un número de componentes electrónicos.

#### **Fallas propagadas**

En este caso la falla de un componente induce la falla de otro. Si la falla del primer componente induce fallas en más de un componente puede ser considerada como falla con causa común.

#### **Fallas por error humano**

Si las fallas son causadas errores humanos en la operación, mantenimiento, inspección. Los errores humanos en la etapa de diseño, construcción e instalación del equipo son considerados como fallas por error humano y no deben ser consideradas como fallas primarias. Si el error conlleva la falla de varios componentes, también se puede hablar de fallas con causa común.

De lo mencionado existe una relación de eventos ocurridos en el sistema de bombeo a lo largo del periodo de estudio (enero 2011 hasta diciembre 2011) que podríamos considerar fallas de acuerdo a lo indicado líneas arriba.

Fallas que alteraron la disponibilidad de las bombas y como se menciona afectan a la disponibilidad de la Planta Concentradora.

En el cuadro 3.1 se detallan las fallas con los tiempos de parada para las bombas Warman 16/14 TU-AH.

**Cuadro 3.1 Fallas ocurrida en las Bombas Warman modelo 16/14TU-AH**

Item	Equipo TAG	Fecha	Falla	Acción Correctiva	Tiempo de Parada (h)
1	PP1501	21/01/2011	Daño en Variador/Arrancador	Cambiar motor	10
2	PP1502	21/01/2011	Fuga de carga por el sello mecánico	Cambio de Empaques	2
3	PP1502	21/01/2011	Daño en Variador/Arrancador	Cambio de variador y arrancador y pruebas electricas	10
4	PP1501	16/02/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
5	PP1502	23/02/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
6	PP1501	04/11/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
7	PP1501	27/04/2011	Desgaste de Partes Húmedas	Cambio de Partes Húmedas Fuera de programa planificado	6
8	PP1501	05/05/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
9	PP1501	22/05/2011	Error Humano apagado del motor	Arranque del motor	2
10	PP1501	02/06/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
11	PP1501	03/06/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
12	PP1502	12/6/2011	Falla en la red ASI-PROFIBUS	Restablecimiento de red ASI-PROFIBUS C1800 PFB R05S05.	3
13	PP1501	17/06/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
14	PP1502	21/06/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
15	PP1501	29/06/2011	medidas de Protección Electrica	Reseteo de Protección Electrica	0.25
16	PP1501	30/06/2011	Falla de reductor	Cambio de reductor	17
17	PP1502	1/7/2011	Fuga de carga por el sello mecánico	Cambio de Empaques	2
18	PP1501	2/7/2011	Fuga de Slurry por el sello mecánico	Cambio de empaques	2
19	PP1502	2/7/2011	Fuga de carga por el sello mecánico	Cambio de Empaques	2
20	PP1502	3/7/2011	Fuga de carga por el sello mecánico	Cambio de Empaques	2
21	PP1501	10/7/2011	Fuga de Slurry por el sello mecánico	Cambio de empaques	2
22	PP1502	18/7/2011	Fuga de carga por testigo carcasa	Reparación de Partes Húmedas	8
23	PP1502	28/7/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Cambio de Partes Húmedas Fuera de programa planificado	7
24	PP1501	31/7/2011	Fuga de Slurry por el sello mecánico	Cambio de empaques	2
25	PP1501	4/8/2011	Oscilación de data de variador y arrancador	Configuración del variador y arrancador	1
26	PP1502	5/8/2011	Falso contacto sensor de apertura	Reparación de sensor de apertura de Valvula de descarga	2
27	PP1502	29/8/2011	Falso contacto sensor de apertura	Cambio de sensor de apertura de Valvula de descarga	11
28	PP1502	30/8/2011	Falso contacto sensor de apertura	Cambio de sensor de apertura de Valvula de succión	12
29	PP1501	9/9/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Cambio de Partes Húmedas Fuera de programa planificado	12
30	PP1502	14/9/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
31	PP1502	10/10/2011	Baja Eficiencia de la Bomba	Reparación de Partes Húmedas	5
32	PP1501	13/11/2011	Desgaste de Spool de Succión	Reparación de Spool de Succión	10
33	PP1501	19/11/2011	Falla en Tablero Electrico	Reparación de tablero electrico	2
<b>TOTAL</b>					<b>177.25</b>

**3.5.2 Plan de Mantenimiento y Disponibilidad de las Bombas**

De acuerdo con el manual de mantenimiento y operación del fabricante y por la experticia del personal de mantenimiento a cargo se presentó como estrategia de mantenimiento preventivos a fin de mantener la disponibilidad de los equipos PP1501 y PP1502. En el cuadro 3.2 se indica la estrategia preventiva para las bombas.

**Cuadro 3.2 Plan de Mantenimiento Preventivo de las Bombas Warman modelo 16/14TU-AH**

Programa de Mantenimiento Preventivo Anual 2011															
Equipo	Clase	MST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
PP1501	Mecánico	Cambio de Partes Húmedas (PM3M)			8						8				
		Cambio de Partes Húmedas (PM6M)						8						8	
		Cambio de Aceite Reductor (PM1A)				4									
	Eléctrico	Cambio de Capacitores (PM1A)											4		
		Cambio de Reles Térmicos (PM1A)	4												
PP1502	Mecánico	Cambio de Partes Húmedas (PM3M)		8						8					
		Cambio de Partes Húmedas (PM6M)					8						8		
		Cambio de Aceite Reductor (PM1A)										4			
	Eléctrico	Cambio de Capacitores (PM1A)							4						
		Cambio de Reles Térmicos (PM1A)				4									
Horas de Parada Programada por mes			4	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8	
Horas de Parada Programada Anual			88				x				Horas de Parada Programada del equipo				

Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2011 la Gerencia de Mantenimiento se comprometió a mantener la disponibilidad de la Planta en 94%, por lo tanto la disponibilidad de acuerdo a las horas programadas para el sistema de bombeo sería de:

$$\text{Disponibilidad}_{\text{Anual PP1501/PP1502}} = 1 - \frac{\text{Horas totales de parada (h)}}{\text{Horas totales de operación (h)}}$$

Donde:

Horas totales de parada = 88h

Horas totales de operación de planta =  $0.94 \times 24 \times 365 = 8234$  h

Reemplazando:

$$\text{Disponibilidad}_{\text{Anual PP1501/PP1502}} = 98.93\%$$

Lo que quiere decir que 8146 horas nuestras bombas trabajarían sin problemas. Pero dicho valor se modificó por las fallas mencionadas en el cuadro 3.1 por lo que la disponibilidad real del sistema de bombeo disminuyó al valor de:

Horas totales de parada =  $88\text{h} + 177.25\text{ h} = 265.25\text{ h}$

Horas totales de operación =  $0.94 \times 24 \times 365 = 8234$  h

Reemplazando:

$$\text{Disponibilidad}_{\text{Anual PP1501/PP1502}} = 96.77\%$$

Quiere decir que el sistema de bombeo sólo operó 7968 horas.

### **3.5.3 Costos Involucrados**

La disminución de 2.15% en nuestra disponibilidad tiene efectos en la producción por ende en los costos globales de mantenimiento y efectividad de nuestra estrategia de mantenimiento, siendo nuestro objetivo reducir los costos manteniendo una disponibilidad aceptable.

Para darnos cuenta del impacto producido por la cantidad de horas paradas ya sea por mantenimientos preventivos y mantenimientos correctivos, mencionaremos los costos incurridos de acuerdo a lo indicado en el ítem 2.3:1 que divide los costos globales de mantenimiento ( $C_g$ ) en cuatro componentes que son:

Costo de intervenciones de mantenimiento ( $C_i$ );

Costo de fallas de mantenimiento<sup>12</sup> ( $C_f$ );

Costo de almacenamiento de mantenimiento ( $C_a$ );

Amortización de inversiones en el mantenimiento<sup>13</sup> ( $A_i$ ).

Por lo tanto:

$$C_g = C_i + C_f + C_a + A_i$$

En el **Apéndice D** se muestra con mayor detalle los valores obtenidos de acuerdo a las tareas realizadas vistas en los cuadros 3.1 y 3.2 indicando sólo los resultados totales.

### 3.5.3.1 Costos de Mantenimiento Preventivos

Estos costos estuvieron contemplados en el presupuesto anual de mantenimiento para el sistema de bombeo de acuerdo con la estrategia mostrada en el cuadro 3.2, siendo los montos:

<sup>12</sup> El lucro cesante(Luc) calculado por horas se determina de la siguiente manera:

$$\text{Luc} = \frac{\text{Tonelaje Total (TMD)} \times \text{Ley Cabeza (\%)} \times \text{Porcentaje recuperación (\%)} \times \text{Precio Cobre (US\$/TN)}}{24 \text{ (h)}}$$

$$\text{Luc} = \frac{125000 \text{ (TMD)} \times 0.004 \text{ (\%)} \times 0.90 \text{ (\%)} \times 8000 \text{ (US\$/TN)}}{24 \text{ (h)}}$$

Luc = 150 000 (US\$/h), para nuestro caso cuando una bomba paraba sus operaciones la otra entraba a trabajar a su máxima capacidad por lo que solo el cese para: 4000m<sup>3</sup>/h que es el 100% y la máx. caudal por bomba es 3200m<sup>3</sup>, 800m<sup>3</sup>/h se dejaba de bombear lo que representa un aproximadamente 20% Luc = 30 000 US\$/h

<sup>13</sup> No se considerará en el Costo Global de Mantenimiento debido a que la ampliación fue cubierta con las ganancias percibidas los años anteriores por la planta concentradora y los equipos, herramientas son propiedad de la empresa

$$C_i = \text{US\$ } 520,577$$

$C_f = \text{US\$ } 0$  (Esto se debe a que los trabajos son considerados dentro de un plan anual y sus paradas están programadas de acuerdo al plan)

$$C_a = \text{US\$ } 20,823$$

Por lo tanto

$$C_{g\text{Prev}} = \text{US\$ } 541,400$$

### 3.5.3.2 Costos de Mantenimiento Correctivos

Estos son los costos que se incurrieron por fallas mecánicas como eléctricas que se tuvieron que actuar rápidamente con la finalidad de devolver al sistema a las condiciones operativas. Las fallas se mencionan en el cuadro 3.1, cuyos montos son:

$$C_i = \text{US\$ } 255,161$$

$$C_f = \text{US\$ } 3,341,878$$

$$C_a = \text{US\$ } 10,026$$

Por lo tanto

$$C_{g\text{Correc}} = \text{US\$ } 3,607,245$$

### 3.5.3.3 Costo de Global de Mantenimiento de la Bombas Warman 16/14TU-

AH

Los montos totales se mencionan a continuación:

$$C_i = \text{US\$ } 775,738$$

$$C_f = \text{US\$ } 3,341,878$$

$$C_a = \text{US\$ } 31,030$$

Por lo tanto

$$C_g = \text{US\$ } 4,148,645$$

De los costos mostrados se observa que hubo un incremento del costo global de mantenimiento de aproximadamente US\$ 3,650,000 que representa un 900% más del monto considerado en el presupuesto para el sistema de bombeo en estudio, lo que representa una alarma para tomar nuevas estrategias de mantenimiento y mejorar nuestra gestión como mantenedores, cuya acción se verá en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 4**

### **OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Antes de seleccionar una estrategia de mantenimiento para el sistema de bombeo es conveniente conocer los fenómenos que producen su degradación y falla, como se menciona en el capítulo 3, y a partir de ello empezar con su análisis respectivo. Existen muchas formas de analizar las fallas pero por la poca data del sistema de bombeo debido a que es una instalación “nueva”, nos apoyaremos de los siguientes análisis para comenzar con la optimización.

#### **4.1 ANÁLISIS DE PARETO**

En el siglo XIX, Vilefredo Pareto realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza en Milán. Encontró que el 20% de las personas controla el 80% de la riqueza. Esta lógica de que los pocos poseen mucho y los muchos que tienen poco ha sido aplicada en muchas situaciones y es conocida como el **principio de Pareto**.

Por lo tanto, el Análisis de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”. Una gráfica de Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Reducir los problemas más significativos (las barras más largas en

una Gráfica Pareto) servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños. Con frecuencia, un aspecto tendrá el 80% de los problemas. En el resto de los casos, entre 2 y 3 aspectos serán responsables por el 80% de los problemas.

Usando el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves.

La gráfica es útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos.

Para nuestro caso de acuerdo con las fallas ocurridas a lo largo del periodo de estudio se realizaron dos Análisis de Pareto (por Frecuencia de Fallas y por Costos de Mantenimiento) para la determinación de las fallas vitales a ser minimizadas.

Cuadro 4.1 Análisis de Pareto por Frecuencia de Fallas

ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	Tasa de Frecuencia	% Acum.	%	Cg (US\$)
1	BAJA EFICIENCIA DE LA BOMBA	14	38.89	38.89	2214969
2	FUGA DE CARGA POR EL SELLO MECANICO	11	69.44	30.56	343077
3	DAÑO EN VARIADOR DE VELOCIDAD	2	75.00	5.56	392659
4	FALSO CONTACTO SENSOR DE APERTURA	2	80.56	5.56	25422
5	OSCILACIÓN DE DATA DE VARIADOR Y ARRANCADOR	2	86.11	5.56	22822
6	FALLA DE REDUCTOR	1	88.89	2.78	395404
7	DESGASTE DE SPOOL DE SUCCION	1	91.67	2.78	90467
8	ERROR HUMANO APAGADO DEL TABLERO ELECTRICO DEL MOTOR	1	94.44	2.78	60183
9	FALLA EN TABLERO ELECTRICO	1	97.22	2.78	47080
10	FALLA EN LA RED ASI-PROFIBUS C1800_PFB_R05S05.	1	100.00	2.78	15163
	<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Elaboración Propia

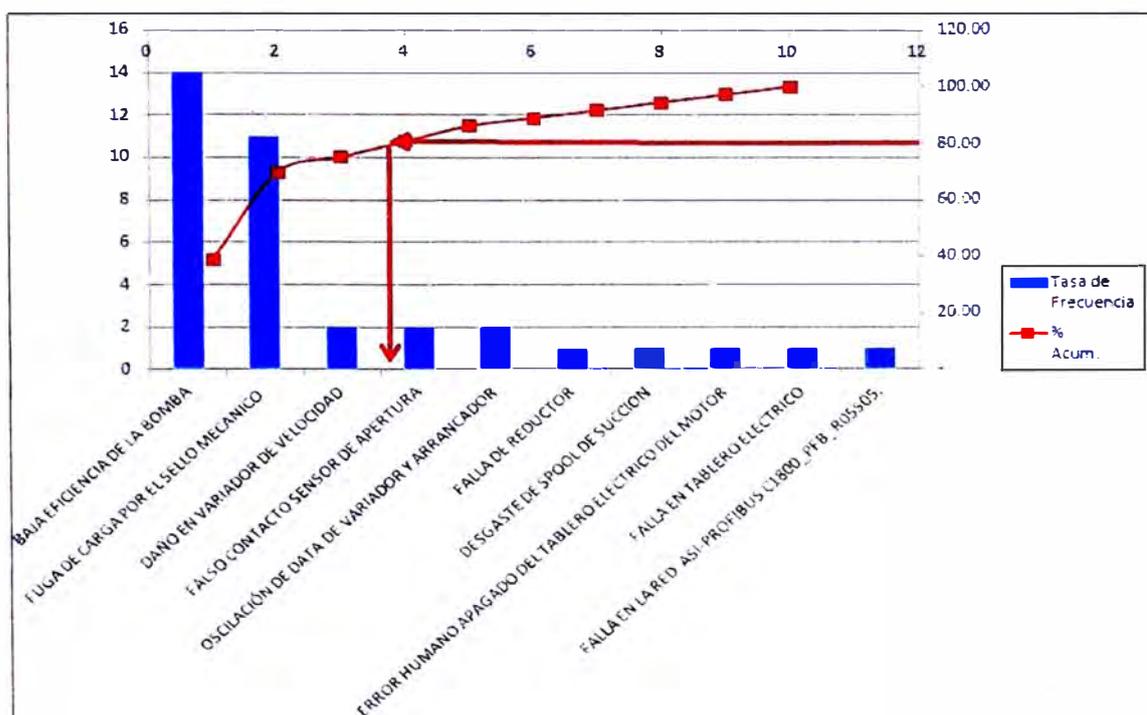


Figura 4.1 Representación Gráfica del Análisis de Pareto por Frecuencia de Fallas

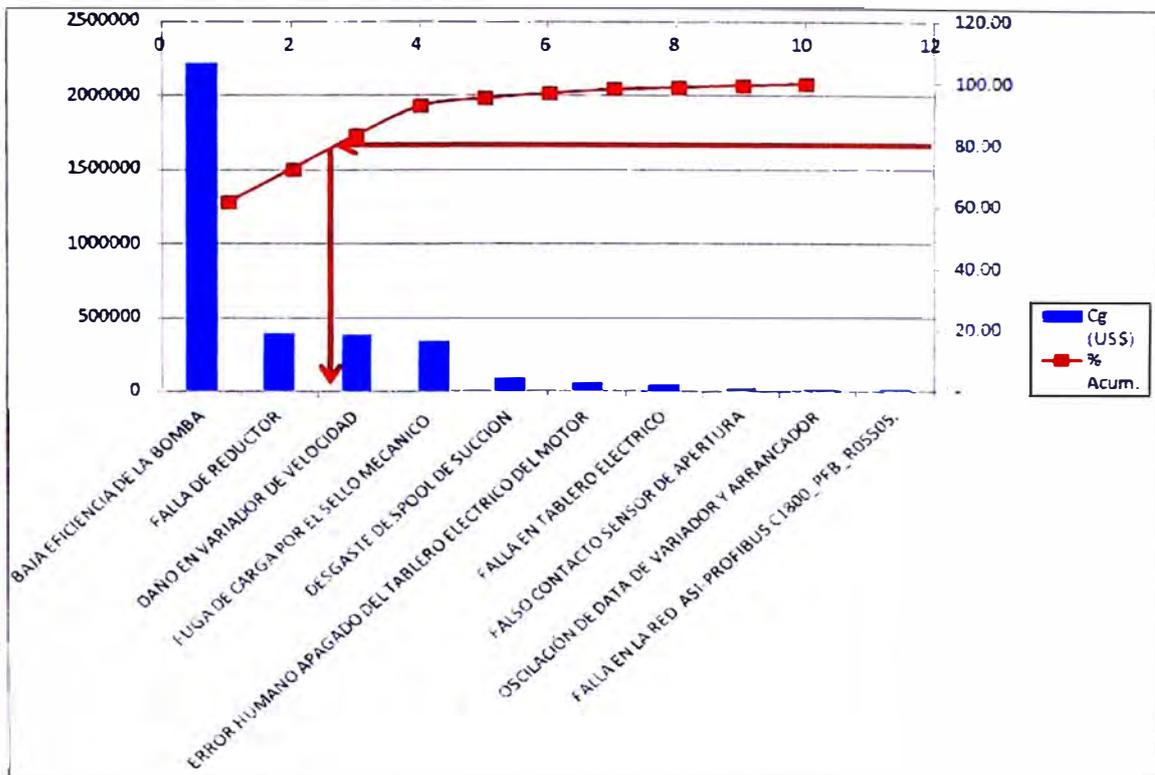
Fuente: Elaboración Propia

El resultado del cuadro 4.1 vista en la figura 4.1 muestra que existen tres fallas que representan el 20% de fallas que producen el 80% de las paradas del sistema de bombeo.

**Cuadro 4.2 Análisis de Pareto por Costos Globales de Mantenimiento**

ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	Cg (US\$)	% Acum.	%	Tasa de Frecuencia
1	BAJA EFICIENCIA DE LA BOMBA	<b>2214969</b>	61.40	61.40	14
2	FALLA DE REDUCTOR	<b>395404</b>	72.36	10.96	1
3	DAÑO EN VARIADOR DE VELOCIDAD	<b>392659</b>	83.25	10.89	2
4	FUGA DE CARGA POR EL SELLO MECANICO	<b>343077</b>	92.76	9.51	11
5	DESGASTE DE SPOOL DE SUCCION	<b>90467</b>	95.27	2.51	1
6	ERROR HUMANO APAGADO DEL TABLERO ELECTRICO DEL MOTOR	<b>60183</b>	96.94	1.67	1
7	FALLA EN TABLERO ELECTRICO	<b>47080</b>	98.24	1.31	1
8	FALSO CONTACTO SENSOR DE APERTURA	<b>25422</b>	98.95	0.70	2
9	OSCILACION DE DATA DE VARIADOR Y ARRANCADOR	<b>22822</b>	99.58	0.63	2
10	FALLA EN LA RED ASI-PROFIBUS C1800_PFB_R05S05	<b>15163</b>	100.00	0.42	1
<b>TOTAL</b>		<b>3607246</b>		100.00	

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.2 Representación Gráfica del Análisis de Pareto por Costos Globales de Mantenimiento**

Fuente: Elaboración Propia

El resultado del cuadro 4.2 vista en la figuras 4.2 muestra que existen dos fallas que representan el 20% de fallas que producen el 80% de los costos globales de mantenimiento del sistema de bombeo.

En los resultados obtenidos la falla **“baja eficiencia de bombas”** es la única que se presenta en ambos casos además de presentar el mayor porcentaje de análisis, por lo tanto será la falla vital que se deberá contrarrestar primero a fin de mejorar nuestros indicadores del área de mantenimiento, siendo las otras tres fallas vitales restantes analizadas con la misma metodología y en el orden indicado por el análisis de Pareto.

## **4.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA**

También denominado Diagrama Causa-Efecto o de espina de pescado, es una representación gráfica de las relaciones lógicas existentes entre las causas que producen un efecto bien definido. Sirve para visualizar, en una sola figura, todas las causas asociadas a una avería y sus posibles relaciones. Ayuda a clasificar las causas dispersas y a organizar las relaciones mutuas. Es, por tanto, una herramienta de análisis aplicable en la fase de determinación de causas.

Tiene el valor de su sencillez, poder contemplar por separado causas físicas y causas latentes (fallos de procedimiento, sistemas de gestión, etc.) y la representación gráfica fácil que ayuda a resumir y presentar las causas asociadas a un efecto concreto.

Los pasos a seguir para su construcción son:

Precisar bien el efecto. Es el problema, avería o fallo que se va a analizar.

Subdividir las causas en familias. Se aconseja el método de las 4M (métodos, máquinas, materiales, mano de obra), para agrupar las distintas causas, aunque según la naturaleza de la avería puede interesar otro tipo de clasificación.

Generar, para cada familia, una lista de todas las posibles causas. Responder sucesivamente, ¿por qué ocurre? hasta considerar agotadas todas las posibilidades.

En la figura 4.3 se puede apreciar el método de diagrama de Ishikawa para la falla vital “baja eficiencia de bombas”.

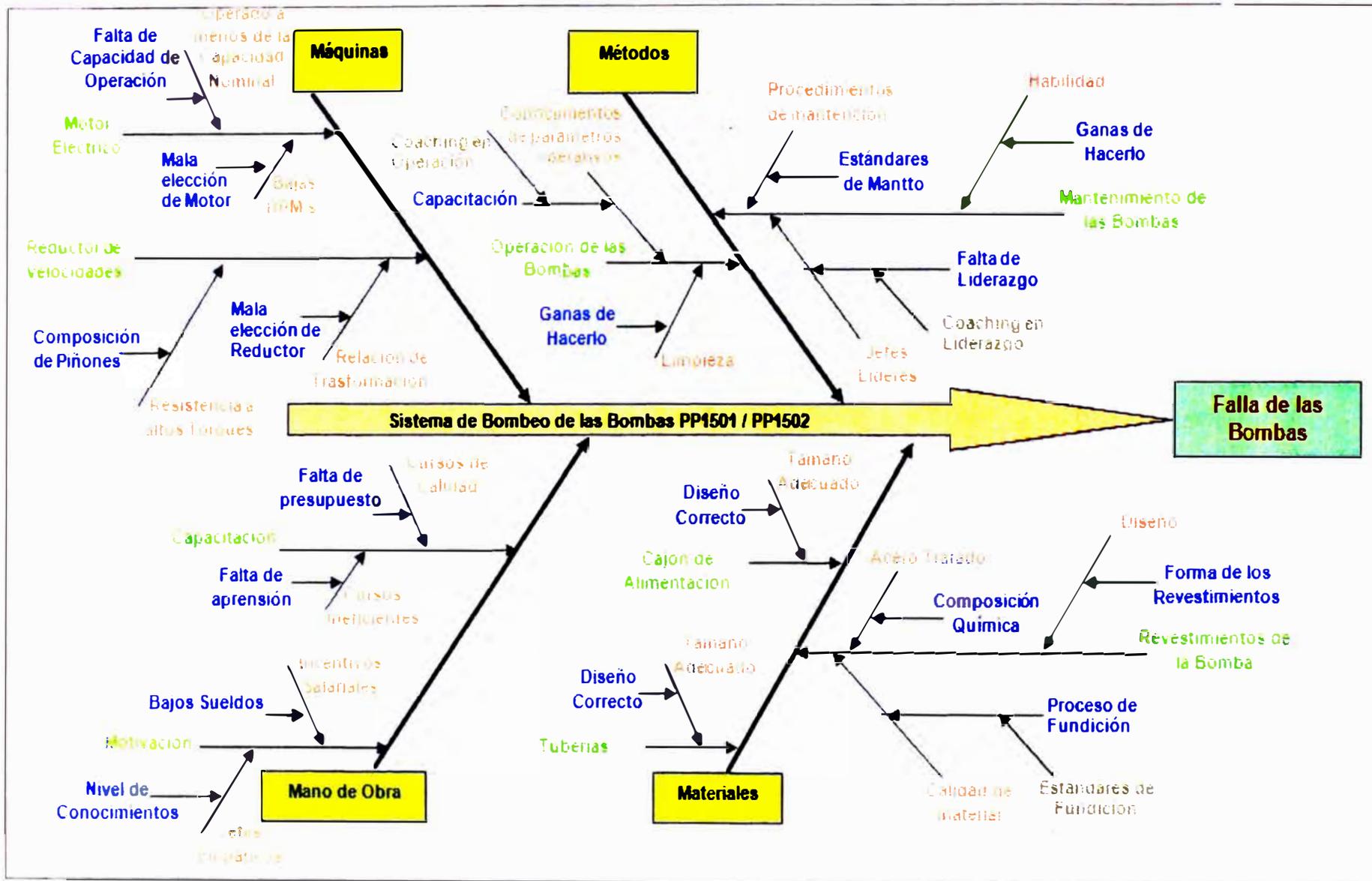


Figura 4.3 Diagrama de Ishikawa para la falla vital “Baja Eficiencia de las Bombas”

Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizada la tormenta de ideas y ordenadas las posibles causas obtenidas del diagrama de Ishikawa podemos generar nuestro árbol de fallas con dicha data a fin de no demorar en obtener las fallas latentes y proponer la(s) soluciones de mantenimiento.

### 4.3 ÁRBOL DE FALLAS

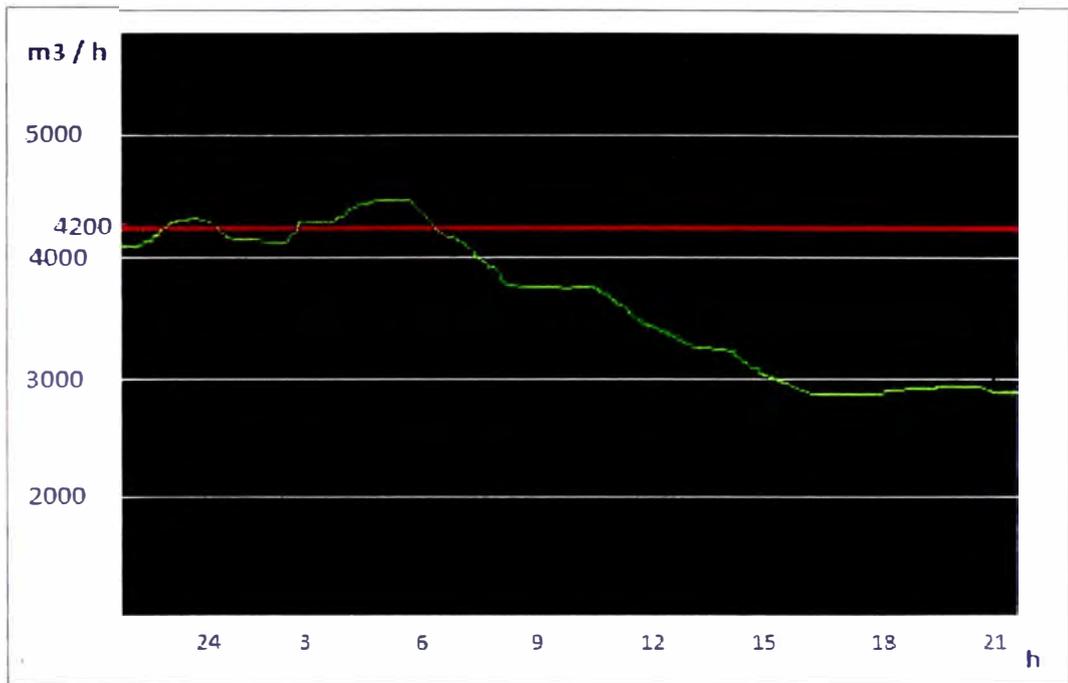
En el método anterior se conformaron grupos de trabajo que participaron en tormentas de ideas en la que las conclusiones fueron resultados de consenso basados en opiniones pero que no hay hechos claros que respalden dichas opiniones.

El método de árbol de fallas usa un proceso disciplinado en donde las hipótesis son desarrolladas para ver exactamente por qué ocurrieron las causas, y luego se verifica para asegurar si es cierta o no para lo cual nos basaremos en las informaciones recabadas en el historial de mantenimiento, imágenes, reportes de órdenes de trabajo, reportes de operaciones, reportes de almacén, reportes de mantenimiento predictivo (vibración, temperatura, análisis de lubricantes, etc.) que nos darán las respuestas sustentadas a fin de encontrar las raíces a las causas que estas suscitaron.

Por lo tanto para nuestro caso de estudio la formación del árbol de fallas se verá de la siguiente manera:

El **evento**: Baja eficiencia de las bombas PP1501 y PP1502 tiene como **hecho** la verificación del DCS mostrado en la figura 4.4 en la que se observa que el flujo disminuyó del valor nominal requerido.

<b>Baja eficiencia de las bombas</b>
--



**Figura 4.4 Sistema DCS de medición de caudal de las Bombas Warman modelo 16/14TU-AH**

Fuente: Elaboración Propia

Una vez paralizada la bomba se procedió a abrirla para intervenirla puesto que el reporte de historia de intervenciones a los equipos indica que esta falla está relacionada con la falla de las partes húmedas por lo que al **modo:** falla en partes húmedas se le atribuye el **hecho:** partes húmedas desgastadas como se aprecian en las figura 4.5 y 4.6 del reporte de mantenimiento; quedando nuestro árbol de la siguiente manera:



**Figura 4.5** Mantenimiento Correctivo de las Bomba Warman modelo 16/14TU-AH  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 4.6 Estado de las partes húmedas de la Bomba Warman modelo 16/14TU-AH**  
Fuente: Elaboración Propia

Continuando nuestra búsqueda en retrospectiva de la causa y relaciones de los efectos, nos hacemos la pregunta: ¿Cómo se puede desgastar una parte húmeda de la bomba?

Debido a que se transporta slurry las hipótesis para la falla pueden ser:

Por abrasión,

Por erosión,

Por corrosión,

Por implosión (cavitación).

De acuerdo al reporte elaborado por la supervisión de mantenimiento, en las fotografías mostradas en la figura 4.7 se pueden apreciar las siguientes tipos de desgaste que causaron de desgaste de las partes húmedas.

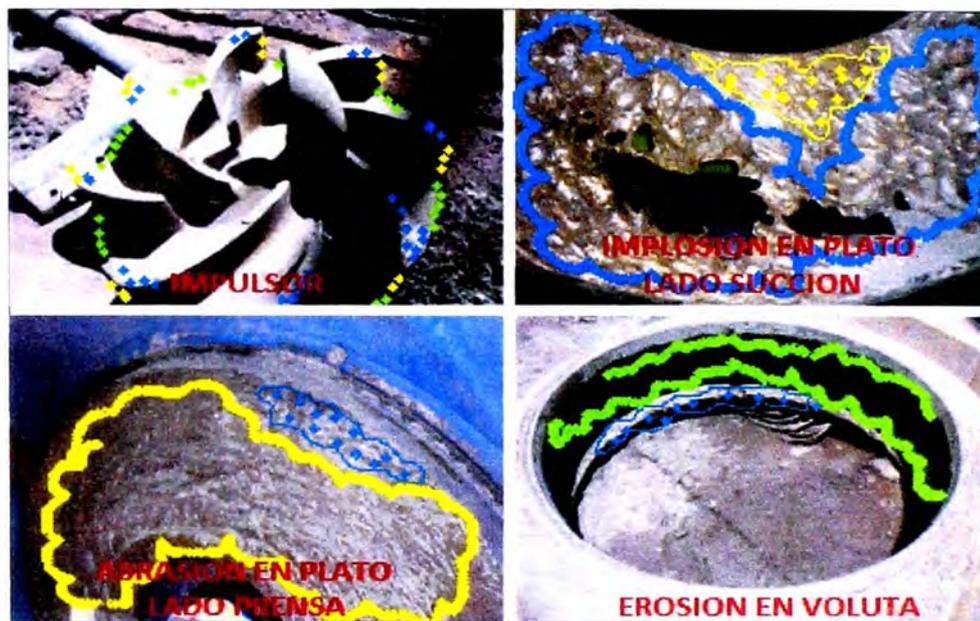


Figura 4.7 Tipo de desgastes de las partes húmedas de la Bomba Warman modelo 16/14TU-AH

Fuente: Elaboración Propia

#### **Abrasión:**

La abrasión ocurre cuando partículas son forzadas contra un movimiento relativo friccionando con los elementos externos que están en su medio como se muestra en el desgaste del plato lado prensa que indica que hubo fricción de las partículas que rotaban por acción del impulsor contra el plato dejando evidencia de desgaste en forma radial.

#### **Implosión:**

La implosión ocurre debido al fenómeno llamado cavitación que es causada por una caída de la presión local por debajo de la presión de vapor de saturación del slurry, a la entrada de la bomba, cambiando de estado líquido a gaseoso generándose "burbujas" que avanzan hacia la descarga de la

bomba. La presión empieza a aumentar haciendo que las burbujas reduzcan su tamaño y llegando a cambiar de fase bruscamente produciendo ondas de choque que impactan como golpeteos en el plato de succión y en las puntas de los impulsores.

**Corrosión:**

La corrosión es el deterioro del metal por una reacción química debido al ambiente al que se encuentra, para nuestro estudio no hubo evidencia que ocurriera de este fenómeno por lo que se descarta del análisis.

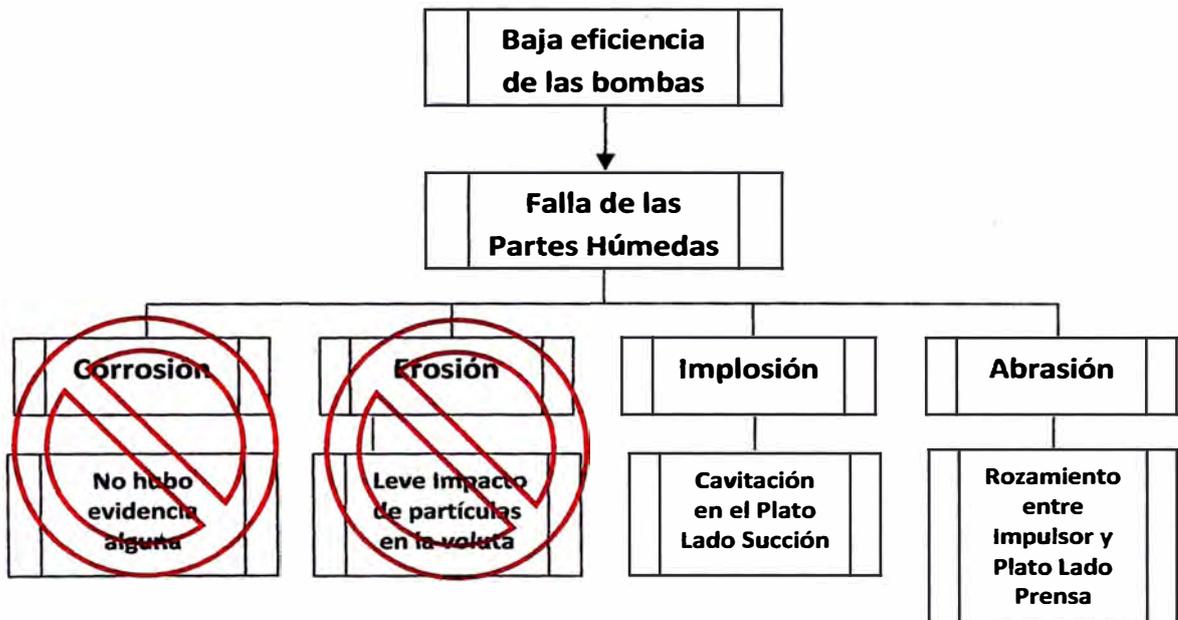
**Erosión:**

La erosión es formada por la transferencia de la energía cinética, entregada por el impulsor a las partículas suspendidas que impactan en las paredes de la voluta, aunque su desgaste no fue en gran proporción.

**Material de las Partes Húmedas**

De acuerdo con el plano general de las bombas Warman 14TU (**Apéndice C**), el material de las partes húmedas son de acero de alto cromo (27%Cr), este tipo de aleación es resistente a niveles bajos de corrosión y una resistencia efectiva de la erosión que se presenta en bombeo de partículas en suspensión (slurry) debido a la presencia de carburos duros en su microestructura, con lo que se sustenta la poca erosión sufrida y la inexistencia de rastros de corrosión en las partes húmedas.

Por lo tanto luego de estudiar cada forma de desgaste y su implicancia dentro de la falla por desgaste de las partes húmedas, el árbol de fallas quedaría de la siguiente manera:



Ahora nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Cómo se produce la cavitación en el plato lado succión?, ¿Cómo se produce mayor rozamiento entre el impulsor y el plato lado prensa?

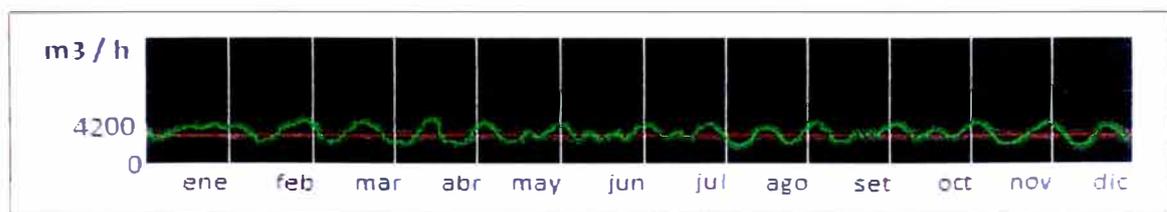
De acuerdo a nuestras definiciones mencionadas líneas arriba las hipótesis que responden a las cuestiones serían las siguientes:

- Cambios bruscos de velocidad,
- Altas velocidades del motor eléctrico,
- Dureza de las partículas,
- Diseño de las Partes Húmedas,
- Montaje de Partes Húmedas,
- Frecuencia de cambios preventivos.

A continuación pasamos a analizar cada una de las hipótesis mencionadas:

### **Cambios bruscos de velocidad**

De acuerdo con los reportes de Operaciones el sistema de bombeo tuvo variaciones de flujo de acuerdo con el escenario requerido puesto que el hecho de entregar más carga al nido de ciclones aumentaba el porcentaje de recuperación siendo los fines de cada mes en su mayoría las alzas de los caudales para cumplir con los objetivos mensuales de la Gerencia de Operaciones. Según la curva de operación se podía hasta elevar a 3200 m<sup>3</sup>/h por bomba. En la figura 4.8 se muestra la medición del caudal del sistema de bombeo anual en la cual se tuvieron caudales por bomba que llegaron hasta 4200m<sup>3</sup>/h, además de no respetar la relación 50% / 50% de utilización de las bombas llegando a relaciones de caudal de 35% / 65% por lo que se generarían los desgastes debido a una mala operación de los equipos de bombeo generándose cavitaciones por el continuo cambio de presiones.



**Figura 4.8 Medición de caudal anual de las Bombas Warman modelo 16/14TU-AH**  
Fuente: Elaboración Propia

### **Altas Velocidades del Motor Eléctrico**

De acuerdo con los datos técnicos del motor eléctrico, indicado en el **Apéndice C**, tiene una velocidad máxima de salida de 1800 RPM y el variador de frecuencia esta "seteada" para variar velocidades cada 50RPM

hasta 12 valores. De acuerdo con la curva de operación de la bomba (**Apéndice C**), la velocidad de operación es de 315 RPM estando acoplada con un reductor de velocidades cuya relación es 1:4 por lo que la velocidad de operación del motor es 1260 RPM (70% RPM<sub>nominal</sub>), de lo indicado en la anterior hipótesis hubo un caudal máximo de 4200m<sup>3</sup>/h, para llegar a ese caudal la bomba operó a 400RPM de acuerdo con la curva de operaciones por lo que el motor eléctrico entregó un velocidad de 1600 RPM (90% RPM<sub>nominal</sub>) por lo que no habría habido excesos en la velocidad, descartando por ende esta hipótesis.

#### **Dureza de las partículas**

De acuerdo con el reporte entregado por el área de geología, en el año 2011 el material extraído del tajo abierto tuvo mayor cantidad de material arcilloso y materiales estériles cuyas durezas fueron mayores a los planificados. En el reporte entregado por Metalurgia se corroboró lo mencionado debido a que las pruebas realizadas en la zona de molienda el material molido tuvo un P80 de 0.23mm – 0.25mm siendo los valores usuales de 0.115mm – 0.15mm como se indica en el ítem 3.1. Por lo tanto la dureza del material tratado incidiría en el desgaste de las partes húmedas por abrasión, y que seguirá durante el año 2012 por lo que habría que cambiar los planes de mantenimiento preventivo.

#### **Diseño de las Partes Húmedas**

De acuerdo con ítem 3.4.1 estas bombas fueron diseñadas para rendimientos exigidos por la industria minera, por lo que esta hipótesis sería descartada.

### **Montaje de las partes Húmedas**

Podemos agregar a lo mencionado líneas arriba que el diseño de este modelo proporciona un tiempo de cambio de componentes menor (de 18 horas a 10 horas), de acuerdo con el historial de cambio de componentes de la bomba el personal mecánico vatio record de montaje disminuyendo de 10 horas a 8 horas, por lo que se diría que esta hipótesis también es rechazada.

### **Frecuencia de Cambios Preventivos**

De acuerdo con el ítem 3.5.2 la cantidad total de horas de operación de nuestro sistema de bombeo fue de 7968 horas y de acuerdo con los cuadros 3.1 y 4.1 para la falla “baja eficiencia de bombas” se presentaron 14 veces con un tiempo de restauración total 92 horas con lo cual se puede calcular los indicadores de mantenimiento, Tiempo promedio entre fallas MTBF (Mean Time between Failure) y Tiempo promedio entre restauraciones MTTR (mean Time to Repair).

$$\text{MTBF} = \text{Tiempo Total de operación} / \text{Número de Fallas}$$

$$\text{MTTR} = \text{Tiempo Total de restauración} / \text{Número de Fallas}$$

Reemplazando tendremos:

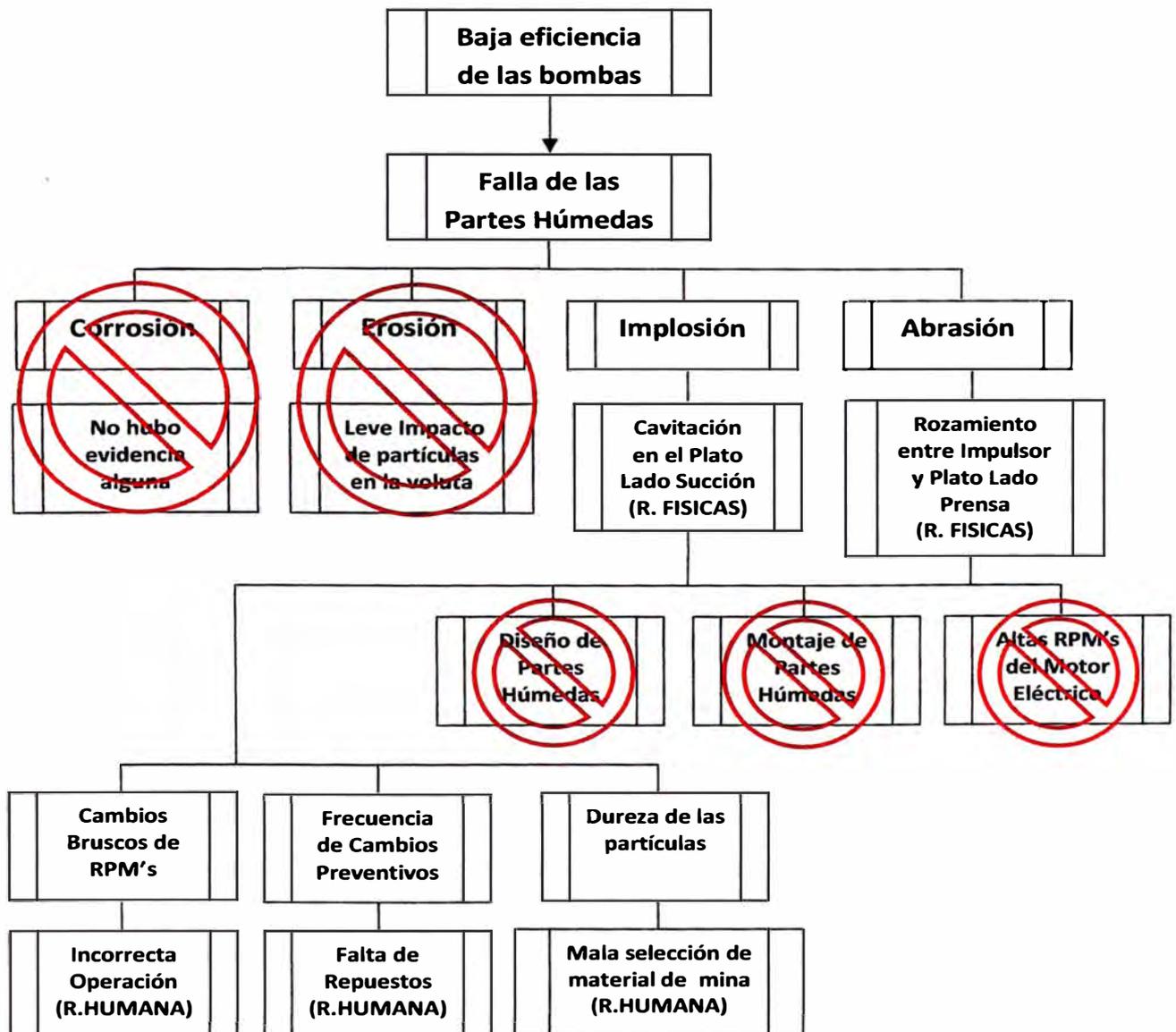
$$\text{MTBF} = 569 \text{ h} = 23.7 \text{ días y}$$

$$\text{MTTR} = 7 \text{ h}$$

De acuerdo con nuestro plan de mantenimiento preventivo indicado en el cuadro 3.2 se debía tener 8 cambios de partes húmedas al año con una disponibilidad de 98.9 % (visto en el ítem 3.5.2) por lo que el MTBF para ese

escenario era de 42.4 días con lo cual se observa que las partes húmedas tuvieron 18.7 días más en operación con mayor desgaste por abrasión, implosión, etc. lo que originó que disminuyera la eficiencia de las bombas además de no contar en stock con los repuestos necesarios por lo que la acción correctiva fue de sólo reparar las partes húmedas disminuyendo así la confiabilidad de mantenerse operativa el sistema de bombeo y fallar continuamente.

De acuerdo a lo descrito nuestro árbol de fallas quedaría de la siguiente manera:



Llegado a este punto es momento de cambiar la pregunta de ¿Cómo? a ¿Por qué? ya que así que encontremos las Raíces Latentes que no son más que las causas raíces de las fallas físicas, por lo tanto procederemos a realizar las preguntas respectivas:

**¿Por qué se realizó una operación incorrecta de las bombas?**

Las razones serían las siguientes:

Falta de capacitación a los técnicos operadores en el funcionamiento de las bombas,

Realizar un nuevo de seteo de valores de velocidades al variador de frecuencia o velocidad para que las bombas trabajen de acuerdo a lo indicado a las curvas de operación y no se pueda realizar cambio alguno por parte del operador.

**¿Por qué no habían repuestos en el almacén?**

Las razones serían las siguientes:

Tiempos de entrega por parte del fabricante muy extensos (8 meses a más),

Rápido consumo debido a las fallas ocurridas en el tiempo,

Las reposiciones automáticas en el software de gestión no están habilitadas.

**¿Por qué se entregó de mina un material con mucha dureza?**

Las razones serían las siguientes:

La zona planificada por la Gerencia de Mina para extraer material tiene esa dureza y seguirá por los siguientes tres años hasta llegar a una zona con mejores condiciones de dureza y ley de cabeza,

Respondidas las preguntas estaremos frente a las causas raíz o causas latentes quedando el árbol de fallas como se muestra en la figura 4.9. Por lo tanto daremos las soluciones debidas a cada respuesta obtenida con la finalidad de que esta falla no vuelva a producirse luego de la optimización.

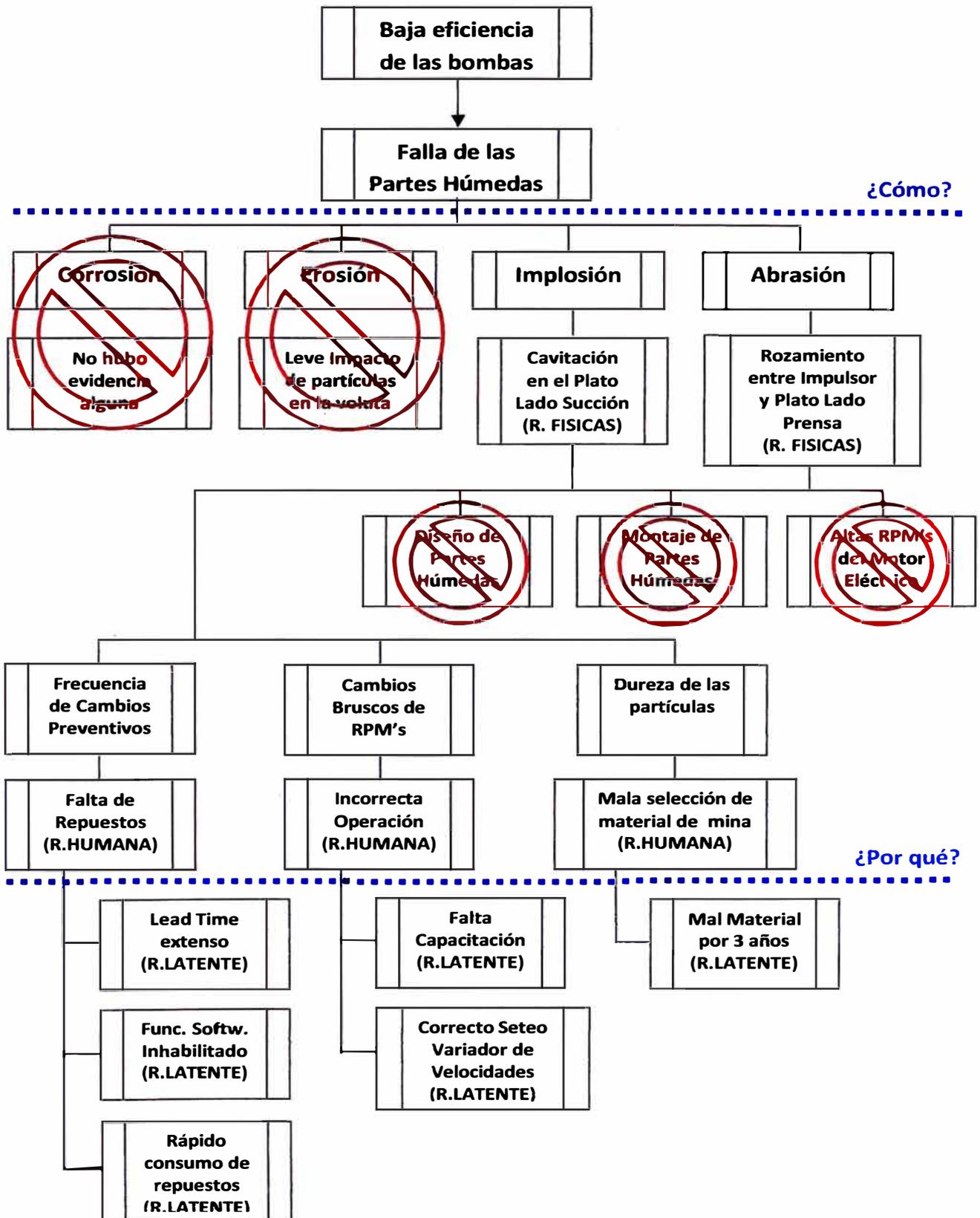


Figura 4.9 Árbol de falla de la falla “Baja Eficiencia de las Bombas modelo 16/14 TU-AH”

#### **4.4 OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La metodología usada para hallar las raíces latentes de la falla “baja eficiencia de las bombas” también fue utilizada para las tres fallas vitales restantes, en el **Apéndice E** se muestra el desarrollo de cada falla hasta llegar a un árbol de fallas con sus respectivas raíces latentes resumiendo en el cuadro 4.3 la lista de los tipos de fallas ocurridas en el sistema de bombeo con sus respectivas raíces latentes, las soluciones a efectuar y los responsables de la optimización.

**Cuadro 4.3 Cuadro Resumen de los análisis del Árbol de Fallas y sus soluciones de las fallas vitales ocurridas en las bombas Warman modelo 16/14TU-AH**

Falla Vital	Causa Raíz	Solución	Responsable
Baja eficiencia de las bombas	Tiempos de entrega por parte del fabricante muy extensos (8 meses a más).	Compras de todos los repuestos requeridos con vales de almacén a futuro, para no tener problemas con la reposición automática.	MANTENIMIENTO
	Rápido consumo de repuestos debido a las fallas ocurridas en el tiempo.	Mantenimientos preventivos de acuerdo a la nueva frecuencia de cambios PM1M y PM2M y que coincidan con las paradas de planta general.	MANTENIMIENTO
	Las reposiciones automáticas de los repuestos en el software de gestión no están habilitadas.	Activación del módulo de ELLPSE MSO131 que repone la cantidad requerida una vez es retirada del almacén.	LOGISTICA
	Falta de capacitación a los técnicos operadores en el funcionamiento de las bombas.	Programación de cursos dictados por Ingenieros Mecánicos y Eléctricos sobre el funcionamiento del sistema de bombeo indicando los parámetros de operación a respetar.	OPERACIONES / MANTENIMIENTO
	Falta realizar un nuevo de seteo de valores de velocidades al variador de velocidad.	De acuerdo a las condiciones de operación de las bombas sus velocidades estarán seteadas al 50% o sea 2000 m <sup>3</sup> /h como velocidades nominales con un máximo de velocidad hasta 2400 m <sup>3</sup> /h por cada bomba, siendo monitorado por un técnico predictivo para que vigile cualquier variación al nuevo procedimiento de uso de las bombas.	MANTENIMIENTO
	La zona planificada por la Gerencia de Mina para extraer material tiene esa dureza y seguirá por los siguientes tres años hasta llegar a una zona con mejores condiciones de dureza y ley de cabeza.	Tratar de realizar un balance de zonas con materiales duros y no, para que la planta concentradora no sufra mayores impacces	MINA
Fuga de carga por el sello mecánico	Falta de capacitación a los técnicos operadores en el funcionamiento de las bombas.	Programación de cursos dictados por Ingenieros Mecánicos y Eléctricos sobre el funcionamiento del sistema de bombeo indicando los parámetros de operación a respetar.	OPERACIONES / MANTENIMIENTO
	Falta realizar un nuevo de seteo de valores de velocidades al variador de velocidad.	De acuerdo a las condiciones de operación de las bombas sus velocidades estarán seteadas al 50% o sea 2000 m <sup>3</sup> /h como velocidades nominales con un máximo de velocidad hasta 2400 m <sup>3</sup> /h por cada bomba, siendo monitorado por un técnico predictivo para que vigile cualquier variación al nuevo procedimiento de uso de las bombas.	MANTENIMIENTO
	No se tenían empaques correctamente cortados a medida en el tiempo requerido.	Generar órdenes de trabajo para que los técnicos mecanicos realicen el correcto cortado de los empaque en el taller a fin de utilizarlos cuando se requieran.	MANTENIMIENTO
	Presión de la supervisión por concluir rápidamente el trabajo.	Cumplir con los procedimientos de cambio de empaques que demandan un tiempo prudente explicando a Operaciones a fin que no estrechen al personal encargado del cambio de empaques.	MANTENIMIENTO
	Falta del empaque correcto instalando una menor tamaño existente en almacén.	De acuerdo con la tasa de cambios ocurridos generar vales a futuro para tener en almacén la cantidad de empaques necesaria.	MANTENIMIENTO
	Las reposiciones automáticas en el software de gestión no están habilitadas.	Activación del módulo de ELLPSE MSO131 que repone la cantidad requerida una vez es retirada del almacén.	LOGISTICA
Falta del Reductor Mecánico	La zona planificada por la Gerencia de Mina para extraer material tiene esa dureza y seguirá por los siguientes tres años hasta llegar a una zona con mejores condiciones de dureza y ley de cabeza.	Tratar de realizar un balance de zonas con materiales duros y no, para que la planta concentradora no sufra mayores impacces.	MINA
	Falta de capacitación a los técnicos operadores en el funcionamiento de las bombas.	Programación de cursos dictados por Ingenieros Mecánicos y Eléctricos sobre el funcionamiento del sistema de bombeo indicando los parámetros de operación a respetar.	OPERACIONES / MANTENIMIENTO
	Falta realizar un nuevo de seteo de valores de velocidades al variador de velocidad.	De acuerdo a las condiciones de operación de las bombas sus velocidades estarán seteadas al 50% o sea 2000 m <sup>3</sup> /h como velocidades nominales con un máximo de velocidad hasta 2400 m <sup>3</sup> /h por cada bomba, siendo monitorado por un técnico predictivo para que vigile cualquier variación al nuevo procedimiento de uso de las bombas.	MANTENIMIENTO
Daño en Vanador de Velocidades	No eran considerados equipos críticos y trabaja sólo un equipo en el proceso (tenia un stand by).	Considerar tener en stand by dos reductores mecánico reparados o nuevos para atender un evento similar y considerar muestreo de aceite de lubricación de piñones cada 15 días para descartar la formación de partículas extrañas.	MANTENIMIENTO
	No eran considerados equipos críticos y trabaja sólo un equipo en el proceso (tenia un stand by).	Considerar tener en stand by dos variadores de velocidad nuevos para atender un evento similar y considerar realizar el seteo de acuerdo a las condiciones de operación de las bombas.	MANTENIMIENTO

#### **4.4.1 Optimización del Plan de Mantenimiento Preventivo**

Hemos podido notar que el mantenimiento de los equipos es vital y ha llegado a ser un sector clave de la producción. La estrategia debe estar acorde con los objetivos planteados por la gerencia a fin de tener vistos buenos a los planteamientos a llevar a cabo. Nuestro sistema de bombeo en estudio tuvo como estrategia un plan de mantenimientos preventivos mostrados en ítem 3.5.2.

El escenario actual aun no nos permite realizar mantenimientos modernos debido a que no contamos con mucha data del sistema de bombeo por ser "casi nuevo" (menos de año y medio de instalado), además tenemos una causa raíz totalmente externa a nosotros como lo es la dureza con la que está viniendo el mineral a la planta concentradora lo cual es un indicador que muchos equipos fallarán por desgastes y nuestro sistema no es ajeno como se vio en el análisis de árbol de fallas. También cabe resaltar que el costo por falla de un equipo crítico es alto valorándose más que los recursos utilizados para volver a su condición de operación como se vio en el ítem 3.5.3.

Por lo tanto la estrategia a utilizar para el sistema de bombeo en estudio seguirá siendo en Mantenimiento Preventivo Optimizado. Sabemos que su implantación es más costosa que el mantenimiento predictivo por la cantidad de repuestos que serán cambiados aún antes del fin de su vida útil además de los recursos a ser utilizados pero nos apoyaremos del mantenimiento predictivo para monitorear y

documentar toma de las datos importantes nos permitirán evaluar lo ejecutado para desarrollar una nueva estrategia para el siguiente año.

A continuación se presentan los mantenimientos preventivos a efectuarse por cada componente cuya aplicación contemplará las soluciones a las fallas vitales que se tuvieron del análisis de árbol de fallas.

#### **4.4.1.1 Partes Húmedas de las Bombas Warman 16/14TU-AH**

De acuerdo con el cálculo del indicador MTBF (Tiempo promedio entre fallas) tomado del ítem 4.3 el valor calculado fue de 23.7 días por lo que los mantenimientos preventivos de cambio de partes húmedas se realizarán una vez por mes siendo los trabajos a realizar:

Mantenimiento preventivo de 1 mes (PM1M): Cambio de Plato Lado Succión y Voluta,

Mantenimiento Preventivo de 2 meses (PM2M): Cambio de Plato Lado Succión, Voluta, Plato Lado Prensa e Impulsor.

#### **4.4.1.2 Sello Mecánico de las Bombas Warman 16/14TU-AH**

De acuerdo con el ítem 3.5.2 la cantidad total de horas de operación de nuestro sistema de bombeo fue de 7968 horas y de acuerdo con los cuadros 3.1 y 4.1 para la falla "fuga de carga por el sello mecánico" se presentaron 11 veces con lo cual el MTBF será.

$MTBF = \text{Tiempo Total de operación} / \text{Número de Fallas}$

Reemplazando tendremos:

**MTBF = 724 h = 30.2días**

Por lo cual los mantenimientos preventivos en el sistema de sello mecánico serán como sigue:

**Mantenimiento preventivo de 1 mes (PM1M): Cambio de Empaques del sello mecánico,**

**Mantenimiento Preventivo de 4 meses (PM4M): Cambio de camisa de desgaste y Anillo Hidráulico.**

#### **4.4.1.3 Reductor Mecánico de las Bombas Warman 16/14TU-AH**

Como la causa latente es que las bombas son críticas el reductor pasa a ser un componente crítico cuyo promedio de cambio preventivo según el fabricante es de aproximadamente 4 años, razón por la cual solo deberá tener un reductor operativo en stand by por cada bomba. Por lo tanto los mantenimientos preventivos a realizar serán:

**Mantenimiento Preventivo de 15 días (PM15D): Toma de muestra de aceite del reductor mecánico,**

**Mantenimiento Preventivo de 6 meses (PM6M): Cambio de aceite del reductor mecánico.**

**Mantenimiento Preventivo de 4 años (PM4A)<sup>14</sup>: Cambio de reductor mecánico.**

<sup>14</sup> No se considerará en los costos de optimización ya que el análisis se hará para un periodo de un año para poder comparar con lo global de mantenimiento indicado en el ítem 3.5.3

#### **4.4.1.4 Variador de Velocidad de las Bombas Warman 16/14TU-AH**

Podríamos decir que este componente fue el más crítico del sistema de bombeo debido a que los valores seteados permitieron a los técnicos operadores poder variar velocidades de acuerdo a su criterio sin percatarse que esa acción generó muchas de las fallas que mencionamos en el capítulo 3. Este componente no tiene frecuencia de cambio debido a que como componente eléctrico debe ser cambiado por condición por lo que preventivamente se comprará dos variadores a fin que estén en espera ante cualquier falla que se pueda dar.

Lo que si se tendrá que realizar será la modificación de los parámetros de operación que tendrán las bombas a partir de la fecha siendo estas seteadas para que cada bomba bombee 2000 m<sup>3</sup>/h como velocidades nominales con un máximo de caudal hasta 2400 m<sup>3</sup>/h por cada bomba, con la finalidad de no perjudicar la operación ni degradar los equipos.

Con respecto a los otros componentes eléctricos no habrá modificación en cuanto a sus mantenimientos preventivos ya que no presentaron falla alguna.

#### **4.4.2 Nuevo Plan de Mantenimiento Preventivo**

Con el nuevo plan de mantenimiento y con los cambios de procedimientos de utilización que tendrá el sistema de bombeo en

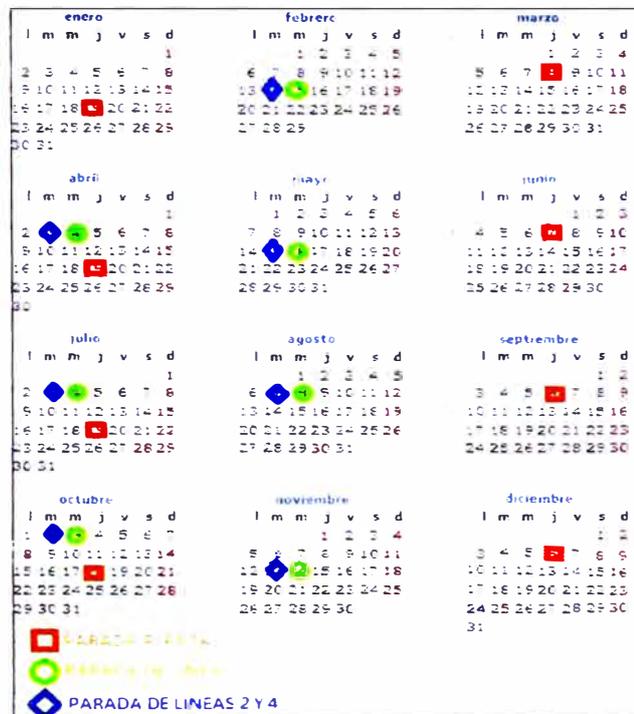
estudio las únicas fechas en la que se podrán dar los mantenimientos planteados serán en paradas de planta.

El cronograma de paradas de planta para el presente año se ha basado en el objetivo meta de tener el 95% de disponibilidad de planta con lo cual se tendrían 438 horas para poder realizar mantenimientos con equipos parados siendo estos divididos de la siguiente manera:

8 Paradas de Planta de 36 horas. (parada de las 4 líneas de producción)

6 Paradas de dos líneas de producción por 12 horas.

6 Paradas de dos líneas de producción por 12 horas.



**Figura 4.10 Programación de las Paradas de Planta de la Planta Concentradora 2012**

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar en la figura 4.10 que la programación de paradas de planta y parada de líneas tienen en promedio 1 mes de separación entre parada y parada salvo en los meses abril, julio y octubre en la que la separación es de aproximadamente 15 días.

De acuerdo con nuestra estrategia planteada las fechas de ejecución de nuestros planes de mantenimiento preventivo se realizarán de la siguiente manera:

En paradas de planta general se realizarán a ambas bombas los mantenimientos respectivos.

En paradas de línea se realizará a una sola bomba los mantenimientos respectivos puesto que la otra estará pasando la mitad de carga entregada por las dos líneas en operación.

Por lo tanto nuestro programa de mantenimientos preventivos anual para el sistema de bombeo en estudio será como se muestra en el cuadro 4.4:

**Cuadro 4.4 Nuevo Plan de Mantenimiento Preventivo de las Bombas Modelos Warman 14TU-AH**

Programa de Mantenimiento Preventivo Anual 2012															
Equipo	Clase	MST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
PP1501	Mecánico	Cambio de Partes Húmedas (PM1M)	8		8		8		8		8		8		
		Cambio de Partes Húmedas (PM2M)		8		8		8		8		8		8	
		Cambio de Empaques (PM1M)	1	1	1		1	1	1		1	1	1		
		Cambio de Camisa desgaste y Anillo Hidráulico (PM4M)				2					2				2
		Cambio de Aceite Reductor (PM6M)							3						3
	Eléctrico	Cambio de Capacitores (PM1A)											4		
		Cambio de Reles Térmicos (PM1A)	4												
PP1502	Mecánico	Cambio de Partes Húmedas (PM1M)	8		8		8		8		8		8		
		Cambio de Partes Húmedas (PM2M)		8		8		8		8		8		8	
		Cambio de Empaques (PM1M)	1	1	1		1	1	1		1	1	1		
		Cambio de Camisa desgaste y Anillo Hidráulico (PM4M)				2					2				2
		Cambio de Aceite Reductor (PM6M)							3						3
	Eléctrico	Cambio de Capacitores (PM1A)											4		
		Cambio de Reles Térmicos (PM1A)	4												
Horas de Parada Programada por mes			13	9	9	10	9	12	9	10	9	13	9	13	
Horas de Parada Programada Anual			125				x				Horas de Parada Programada del equipo				

Fuente: Elaboración Propia

Quedando de esta manera optimizado el plan de mantenimiento preventivo de las bombas modelo Warman 16/14 TU-AH.

## **CAPÍTULO 5**

### **COSTOS Y BENEFICIOS**

#### **5.1 COSTOS DE LA OPTIMIZACIÓN**

De acuerdo con el cuadro 4.4 los costos de la optimización de los mantenimientos preventivos se pueden apreciar en el **Apéndice F**, mostrándose en este punto el resumen del costo global de mantenimiento obtenido, siendo:

$$C_i = \text{US\$ } 1,559,806$$

$C_f = \text{US\$ } 0$  (Esto se debe a que los trabajos son considerados dentro de un plan anual y sus paradas están programadas de acuerdo al plan)

$$C_a = \text{US\$ } 62,392$$

Por lo tanto

$$C_{g\text{Opt Prev}} = \text{US\$ } 1,622,198$$

Comparando contra el costo global de mantenimiento del año 2011 se observa que la optimización requerirá de aproximadamente US\$ 1,000,000 más a lo presupuestado en aquella oportunidad poder mitigar cualquier falla estudiada en el capítulo 4 del presente informe .

## **5.2 BENEFICIOS IDENTIFICADOS**

La presente optimización del plan de mantenimiento preventivo tiene como principal objetivo reducir las fallas en operación con lo cual el primer beneficio a obtener será una disponibilidad mayor a la planificada llegando a una meta de 100% de disponibilidad de las bombas debido a que las paradas para su mantenimiento estarán dentro de las horas que parará la planta concentradora haciendo que nuestra gestión sea más eficiente para este sistema de bombeo.

A partir de esta optimización otro beneficio será el tener un mejor control del sistema de bombeo solicitando cada vez que se requiera a operaciones información acerca del uso de las bombas a fin de verificar su correcto funcionamiento en caso contrario realizar un reclamo inmediato.

Por último el beneficio que interesa más a la gerencia hablando desde un punto de vista técnico – económico, será el ahorro de costos que se generará al disminuir sustancialmente las fallas que paren la operación de las bombas cuyo efecto será la paralización o disminución de la capacidad de procesamiento de la planta concentradora cuya recuperación es nula debido a que la planta trabaja las 24 horas al día.

## **5.3 INDICADORES COSTO - BENEFICIO**

De acuerdo a lo mencionado en el ítem 5.2 a continuación se presenta el cuadro resumen 5.1 con los indicadores de costos y de disponibilidad de equipo que muestran la relación costo / beneficio de manera positiva luego de la optimización de los planes de mantenimiento preventivo de las bombas Warman modelo 16/14 TU-AH.

**Cuadro 5.1 Cuadro Resumen de los indicadores de costo/beneficio de las bombas Warman modelo 16/14TU-AH**

Indicador	Descripción	2011		2012	
		Plan de Mantenimiento Preventivo	Fallas en Sistema de Bombas Warman 14TU-AH	Optimización del Plan de Mantenimiento Preventivo	Relación Costo / Beneficio
Costos	Costo de Intervención de Mantenimiento (Ci) [US\$]	520,577	255,161	1,559,806	
	Costo de Falla de Mantenimiento (Cf) [US\$]	0	3,341,878	0	
	Costo de Almacenamiento de Mantenimiento (Ca) [US\$]	20,823	10,026	62,392	
	<b>Costo Global de Mantenimiento (Cg) [US\$]</b>		<b>4,148,465</b>	<b>1,622,198</b>	<b>2,526,267</b>
Disponibilidad	Tiempo de Paradas de Equipos por Mantenimiento [h]	88	177.5	125	
	Disponibilidad [h/h]		96.77%	100%	<b>3.23%</b>

Fuente: Elaboración Propia

## **CONCLUSIONES**

- 1. Se pudo demostrar que las bombas Warman 16/14TU-AH son equipos críticos, obteniendo un puntaje de 224 en un rango de 200 a 400 para equipos críticos de acuerdo con el análisis de criticidad, cuyo impacto operacional se mostró en los costos globales de mantenimiento al final del año. No se habló de los impactos a la seguridad, ambiente y salud ya que este sistema de bombeo provoca daños menores que con una buena cultura de seguridad y supervisión continua puede ser superada.**
- 2. La falla vital que en mayor porcentaje minimizó la disponibilidad (de 98.93% a 96.77%) y maximizó el costo global de mantenimiento (de US\$ 541,400 a US\$ 4,148,645) de las bombas Warman 16/14 TU-AH fue “la baja eficiencia de las bombas”, debido al desgaste de sus partes húmedas o revestimientos metálicos cuyas causas latentes o raíces fueron: Tiempo de reposición de partes húmedas extensas, rápido consumo de las partes húmedas, falta de capacitación al personal de operaciones, falta de actualización de los parámetros correctos de operación del variador de velocidad del motor eléctrico y la dureza del material a procesar proveniente de mina.**
- 3. La optimización del plan de mantenimiento preventivo de las bombas Warman 16/14 TU-AH elaborada en el presente informe de suficiencia, tendrá un costo de US\$ 1,622,198 (US\$ 1,080,798 más que el anterior**

presupuesto), pero que permitirá a la Gerencia de Mantenimiento tener un ahorro de US\$ 2,526,447. Además se maximizará la disponibilidad de las bombas de un 96.77% a un 100% debido a que todos los mantenimientos preventivos se realizarán dentro de las paradas de planta general ya que existen equipos con mayores tiempos de paralización.

## **RECOMENDACIONES**

- 1 La metodología aplicada para este modelo de bomba, puede ser aplicado a cualquier equipo en general con lo cual se puede hacer cálculos para la ruta crítica de procesos y de esa forma calcular la disponibilidad total real de una planta y lo impactos por zonas que nos indicarán la gestión a llevar para que nuestra operación cumpla con los objetivos de la empresa.**
- 2 El cumplimiento total de las soluciones planteadas por todos los responsables marcarán la diferencia del trabajo en equipo que es la manera de hacer las cosas bien y los beneficios para todos sus involucrados.**
- 3 Sabemos que no existe la certeza de controlar en la totalidad las fallas que pueden ocurrir en nuestras instalaciones obligándonos a parar equipos y salir de nuestro plan de mantenimientos, pero el constante el control y medición de nuestro proceso nos puede dar herramientas que no permitan plantear una solución antes de que la falla con potencial alta se presente y estar listos a mejorar los tiempos de paralización.**

## **BIBLIOGRAFIA**

(Autor) Ministerio de Energía y Minas, (Título) Anuario Minero 2010, (Editorial) Ministerio de Energía, (Edición) Minas, (Año) 2010.

(Autor) Weir Mineral & Warman, (Título) Slurry Pump Handbook, (Editorial) Weir Slurry Group, Inc, (Edición) 5ta, (Año) 2009.

(Autor) Andrew K.S. Jardine / Albert H.C Tsang, (Título) Maintenance, Replacement and Reliability Theory and Applicatios, (Editorial) Taylor & Francis, (Edición) 1era, (Año) 2006.

(Autor) Dr. Ing. Rodrigo Pascual, (Título) Gestión Moderna del Mantenimiento, (Editorial) U. Católica de Chile, (Edición) Versión 2.0, (Año) 2002.

(Autor) Warman International Ltd., (Título) Warman Pump Assembly and Maintenance Instructions, (Editorial) Warman International Ltd., (Edición) March. 2000, (Año) 2000.

(Autor) Ing. Juan Diaz Navarro., (Título) Paper, Análisis de Averías, (Editorial) CEPESA, (Edición) Noviembre, (Año) 1999.

### **(DIRECCIONES WEB)**

**Historia del Mantenimiento**

[http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles\\_on\\_total\\_productive\\_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm](http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm)

**Wikipedia**

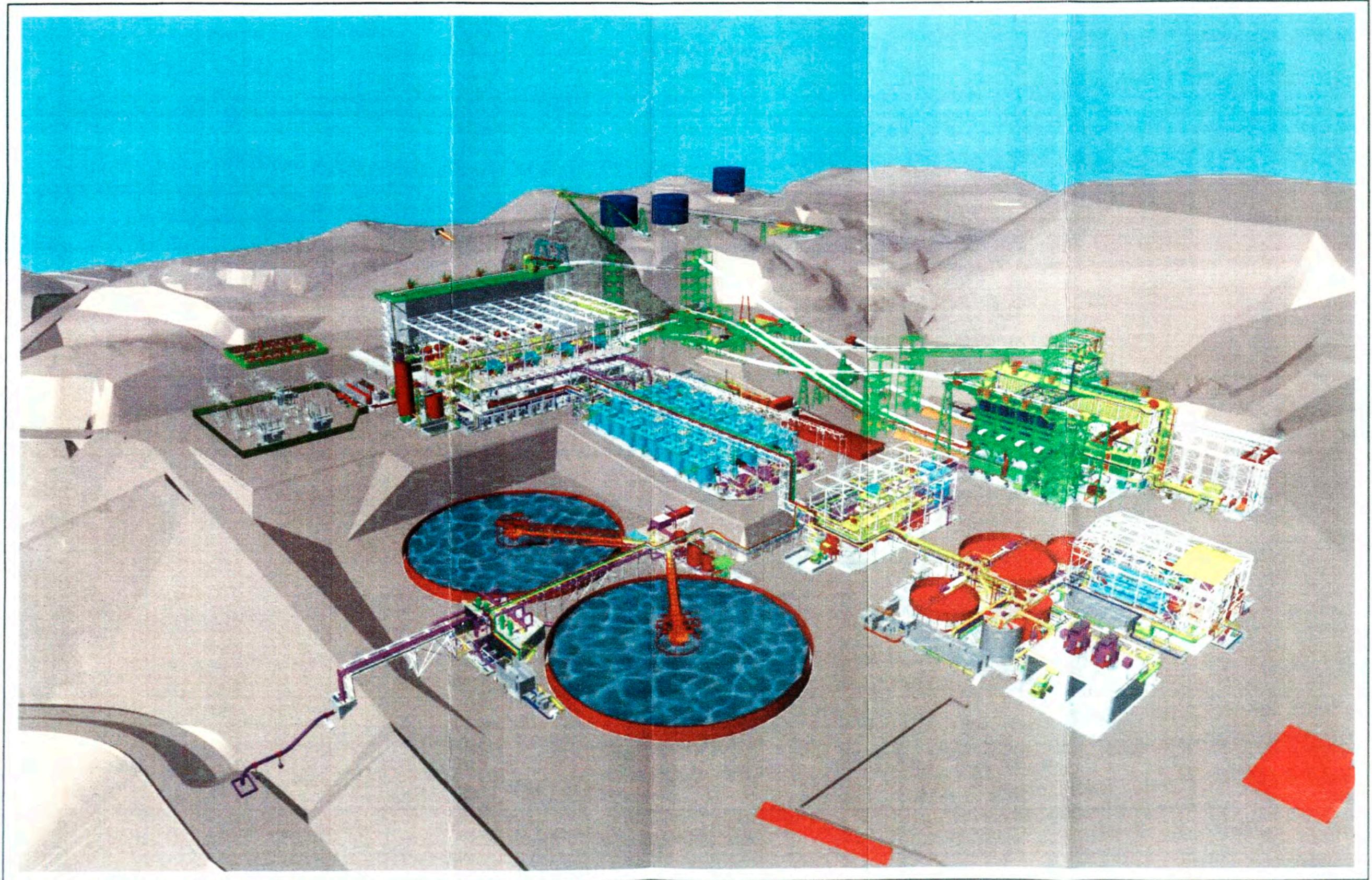
[es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org)

**Vistas satelitales**

[earth.google.es](http://earth.google.es)

## **APÉNDICES**

## **APÉNDICE A**



Vista en Perspectiva de la Planta Concentradora de Cobre y Molibdeno

## **APÉNDICE B**

## ¿Qué es el Analisis de Criticidad?

Es una Metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

### EVALUACION



8	80	160	240	320	400
6	60	120	180	240	300
4	40	80	120	160	200
2	20	40	60	80	100
	10	20	30	40	50

### CONSECUENCIA

Criticidad Total : Frecuencia de Falla x Consecuencia  
 Valor Máximo : 400

Jerarquizacion	Codigo	Descripcion	Valor
3	C	Critico	200 - 400
2	SC	Semi Critico	100 - 160
1	NC	No Critico	20 - 80

### EVALUACION - MATRIZ DE RIESGO



4	NC	SC	C	C	C
3	NC	SC	SC	C	C
2	NC	NC	SC	SC	C
1	NC	NC	NC	NC	SC
	10	20	30	40	50

### CONSECUENCIA



## ANÁLISIS DE CRITICIDAD

**EQUIPO DE TRABAJO**

William Agurto / Mantenimiento  
Jack Contreras / Operaciones  
Iván Arcajo / Seguridad

Frecuencia : Número de fallas por año

Consecuencia = ((Imp Operacional x Flexibilidad) + Costo Mto + Imp SAS)

Criticidad Total : Frecuencia x Consecuencia

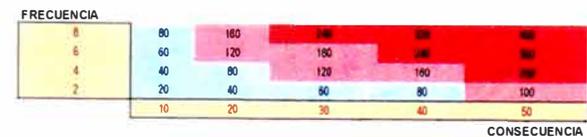
C : Crítico

SC : Semi Crítico

NC : No Crítico

(100 - 180)
(20 - 80)

AREA : REMOLIENDA	EQUIPOS	Frecuencia	Impec. Operac.	Flexib.	Costo Manto	S.A.S.	Consec	Criticidad Frec x Cons	Jerarquización	Matriz Riesgo
	BX501 CAJON DE BOMBAS PP1501/PP1502	2	2	1	2	2	6	12	1	No Crítico
	PP1501 BOMBA CENTRIFUGA PP1501	8	6	4	2	2	28	224	3	Crítico
	PP1502 BOMBA CENTRIFUGA PP1502	8	6	4	2	2	28	224	3	Crítico
	CS1502 NIDO DE CICLONES CS1502	6	3	2	2	4	12	72	2	No Crítico
	BX1502 CAJON DE BOMBAS PP503/PP504	2	2	1	2	4	8	16	1	No Crítico
	PP503 BOMBA CENTRIFUGA PP503	6	4	2	2	3	13	78	2	No Crítico
	PP504 BOMBA CENTRIFUGA PP504	6	4	2	2	3	13	78	2	No Crítico
	CM501 CELDA COLUMNA No 1	1	1	2	1	2	5	5	1	No Crítico
	CM502 CELDA COLUMNA No 2	1	1	2	1	2	5	5	1	No Crítico
	CM503 CELDA COLUMNA No 3	1	1	2	1	2	5	5	1	No Crítico
	CM504 CELDA COLUMNA No 4	1	1	2	1	2	5	5	1	No Crítico
	BX506 CAJON DE BOMBAS PP514A/PP515A	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP514A BOMBA CENTRIFUGA PP514A	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP515A BOMBA CENTRIFUGA PP515A	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	BX1507 CAJON DE BOMBAS PP1522/PP1523/PP1524	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1522 BOMBA CENTRIFUGA PP1522	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1523 BOMBA CENTRIFUGA PP1523	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1524 BOMBA CENTRIFUGA PP1524	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	ML505 MOLINO VERTICAL ML505	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	ML1506 MOLINO VERTICAL ML506	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	BX1505 CAJON DE BOMBAS PP1522/PP1512/PP1513	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1512 BOMBA CENTRIFUGA PP1512	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1513 BOMBA CENTRIFUGA PP1513	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP516 BOMBA SUMIDERO PP516	10	1	2	1	1	4	40	1	No Crítico
	CF501@506 CELDAS DE PRIMERA LIMPIEZA	7	2	1	2	2	6	42	2	No Crítico
	CF507@510 CELDAS SCAVENGER LIMPIEZA	7	2	1	2	2	6	42	2	No Crítico
	BX1510 CAJON DE BOMBAS PP1530/PP1531	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1530 BOMBA CENTRIFUGA PP1530	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1531 BOMBA CENTRIFUGA PP1531	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	CF1511@1513 CELDAS DE RE - LIMPIEZA	7	2	1	2	2	6	42	2	No Crítico
	BX1508 CAJON DE BOMBAS PP1528/PP1527	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1525 BOMBA CENTRIFUGA PP1525	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1526 BOMBA CENTRIFUGA PP1527	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	BX1509 CAJON DE BOMBAS PP1527/PP1528	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1527 BOMBA CENTRIFUGA PP1527	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1528 BOMBA CENTRIFUGA PP1528	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	PP1529 BOMBA SUMIDERO PP1529	10	1	2	1	1	4	40	1	No Crítico
	CF507@510 CELDAS SCAVENGER LIMPIEZA	7	2	1	2	2	6	42	2	No Crítico
	BX503 CAJON DE BOMBAS PP1505/PP1506	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1505 BOMBA CENTRIFUGA PP1505	8	3	2	2	3	11	88	2	Semi Crítico
	PP1506 BOMBA CENTRIFUGA PP1506	8	3	2	2	3	11	88	2	Semi Crítico
	PP511 BOMBA SUMIDERO PP511	10	1	2	1	1	4	40	1	No Crítico
	PP1511 BOMBA SUMERGIBLE PP1511	10	1	2	1	1	4	40	1	No Crítico
	CS501 NIDO DE CICLONES CS501	6	3	2	2	4	12	72	2	No Crítico
	BX1504 CAJON DE BOMBAS PP1507/PP1508/PP1509	4	2	1	2	4	8	32	1	No Crítico
	PP1507 BOMBA CENTRIFUGA PP1507	8	3	2	2	3	11	88	2	Semi Crítico
	PP1508 BOMBA CENTRIFUGA PP1508	8	3	2	2	3	11	88	2	Semi Crítico
	PP1509 BOMBA CENTRIFUGA PP1509	8	3	2	2	3	11	88	2	Semi Crítico
	ML503 MOLINO VERTICAL ML503	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico
	ML504 MOLINO VERTICAL ML504	5	3	2	2	3	11	55	2	No Crítico



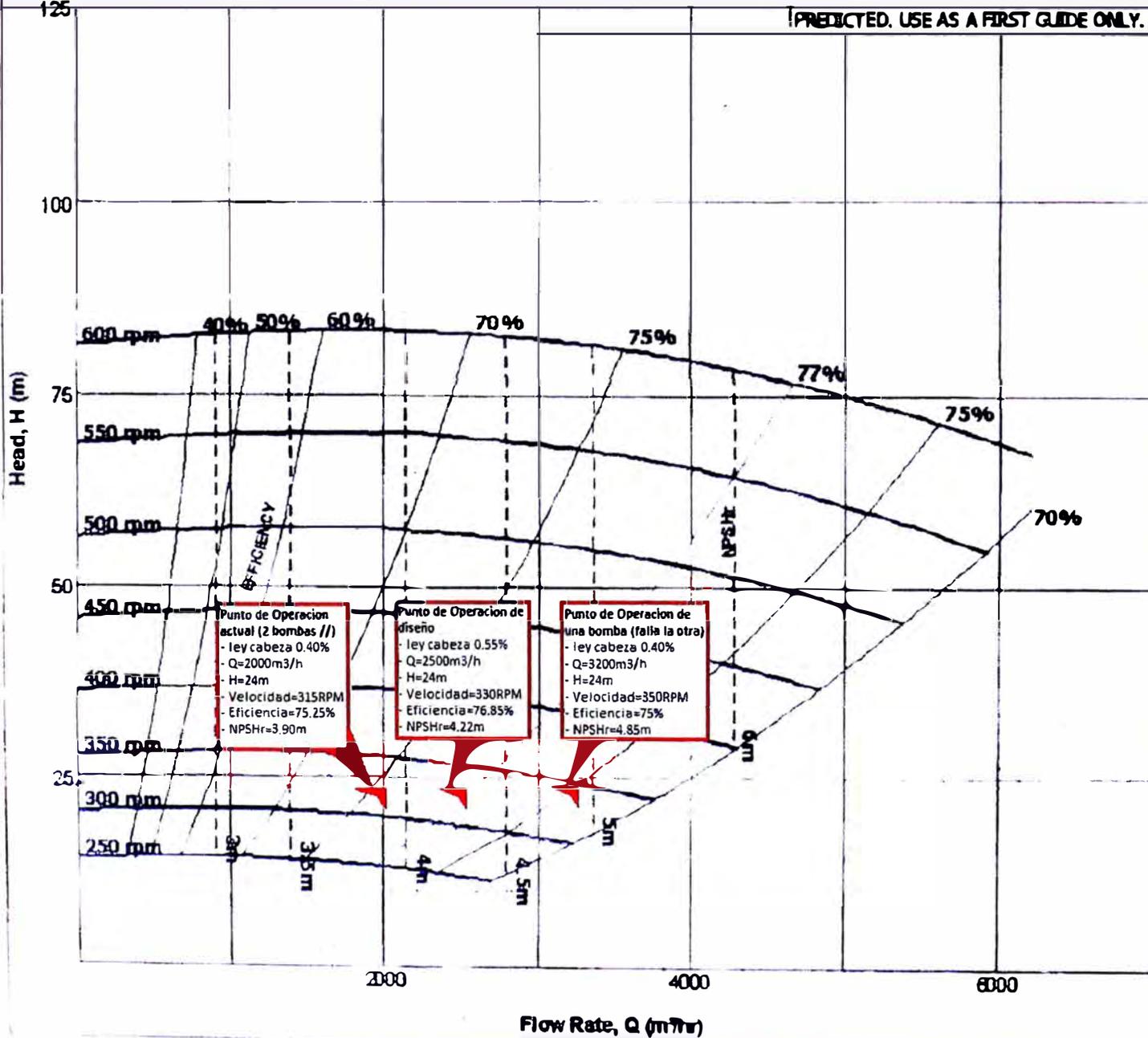
## **APÉNDICE C**

# Horizontal Pump 14 AHF

Slurry  
Equipment  
Solutions



CURVE SHOWS APPROXIMATE PERFORMANCE FOR CLEAR WATER (International Test Standard ISO9906:1999 - Grade 2 unless otherwise specified). For media other than water, corrections must be made for density, viscosity and/or other effects of solids. WER MINERALS reserves the right to change pump performance and/or details impellers without notice. Frame suitability must be checked for each duty and drive arrangement. Not all frame alternatives are necessarily available from each manufacturing centre

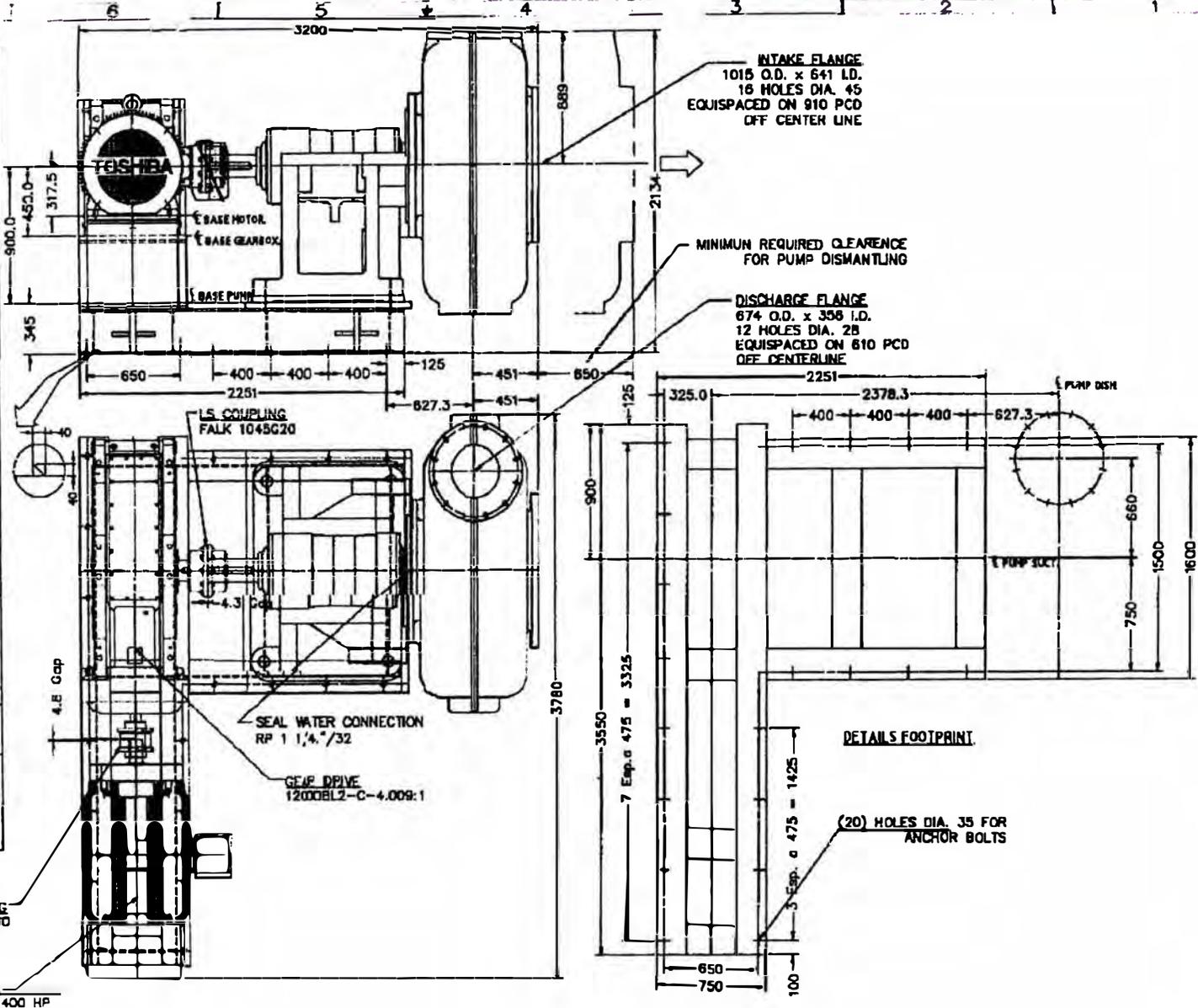


<b>Pump</b>	
Suction	641mm
Discharge	356mm
<b>Impeller</b>	
Vanes	8
Vane ø	1129mm
Type	Open
Part No	Material
GAMA-F14053Q	Metal
HA-F14053Q	Metal
<b>Frame (Rating - KW)</b>	
G	600
GG	900
TU	1200
H	1400
<b>Seal</b>	
Gland Sealed Pump	
<b>Uner (Norm Max r/min)</b>	
Metal	600
<b>Curve</b>	
Revision	5
Revision Notes	
CURVE DATA UPDATED AND IMPELLER DIA WAS 1100mm.	
Reference	
US TESTS IN OCT 2006	
Last Issued	Nov 06
Issued	Dec 06

© 2003 WER Minerals Australia  
All Rights Reserved

ESY8602/5

CUSTOMER		CER
PROJECT NAME	DEBOTTLENECKING PROJECT	
PROJECT NUMBER	1	
ITEM	1	
O.F.	56636	
N° REQUIREMENT	1	
SERIE NUMBER	1	
P/O	CLS-036-2010	
EQUIPMENT NAME	REGIND PUMP	
PUMP	14 TU-AHF	
MARK	WARMAN-ASH	
TAG	3420-PP-502	
LINER	METAL LINERS A05	
LINER IMPELLER	METAL FROTH (FLOW INDUCER)	
GEAR DRIVE	FALK	
MODEL	1200DBL2-C-4.009:1	
MOTOR COUPLING	FALK 1100T10	
PUMP COUPLING	FALK 1045G20	
MOTOR	TOSHIBA	
HP Grvl	400 HP	
V/PH/Hz	460 V/ 3Ph/ 60 Hz	
ALTITUDE	2700 m.a.s.l.	
FRAME MOTOR	5010US	
RPM	1800	
ENCLOSURE	TEFC	
INSULATION CLASS	F	
SERVE FACTOR	1.15	
STARTING	AFD	
MOUNTING	HORIZONTAL	
MAXIMUM CASING PRESSURE (PSI)	72	
PUMP WEIGHT (kg)	8300	
MOTOR WEIGHT (kg)	2162	
GEAR DRIVE WEIGHT (kg)	980	
SKID WEIGHT (kg)	1180	
TOTAL WEIGHT (kg)	12622	
REQUIREMENT FOR SEAL WATER		
FLOW (m3/N)	1.6 - 2.6	
PRESS (OPa)	314	
CERTIFIED FOR	JOSE A. GHIVARELLO	
SIGNATURE		
DATE	DECEMBER 2009	



**PRELIMINARY DRAWING**

THIS DRAWING CONTAINS CONFIDENTIAL INFORMATION AND IS THE SOLE PROPERTY OF VULCO S.A. NO PART OF THIS DRAWING OR INFORMATION HEREIN MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN AUTHORITY OF VULCO S.A.		SALVO INGERACION CONTINUA CERRADO EN SU INELASTICIDAD		<b>VULCO</b> A MEMBER OF THE VULCO GROUP S.A.	
TOLERANCIAS X ±1.6 Y ±0.8 Z ±0.5		ANGULAR 30'-30"		GENERAL ARRANGEMENT PUMP WARMAN 14 TU-AHF MOUNTING DC MOTOR LEFT ASSEMBLY	
V. RODRIGUEZ A. 01.12.09		V. RODRIGUEZ A. 01.12.09		1:15	
V. RODRIGUEZ A. 01.12.09		V. RODRIGUEZ A. 01.12.09		D-VP-1X-551	

REV	DATE	BY	CHKD	DESCRIPTION
1	200910	VRA	CANBA	MOTOR 14TU-AHF 400 HP Y BASE BOMBA

D-VP-1X-551

GHIVARELLO, J. A.

D-VP-1X-551

**COSTO GLOBAL DE LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS BOMBAS PP1501 / PP1502**

ITEM	MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS (MP) - MECANICOS Y ELECTRICOS						COSTOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO C <sub>1</sub>							COSTOS DE FALLAS DE MANTENIMIENTO C <sub>2</sub>					COSTOS DE ALMACENAMIENTO DE MANTENIMIENTO C <sub>3</sub>				C <sub>5</sub>			
	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	ACCIÓN	ACTIVIDAD	FRECUENC.	TIEMPO DE EJECUCIÓN (H)	Mano de Obra (US\$)			Supervisión (US\$)	Respuestas (US\$)	Materiales (US\$)	Equipos Auxiliares (US\$) C <sub>1</sub>		Costo de Lucro Costeado (US\$/H)	Número Horas de Falla (H)	Costo Energía Eléctrica (US\$/KW/H)	Potencia Instalada (KW)	Costo Energía no consumida por Falla (US\$)	C <sub>2</sub>	Almacenamiento Respuestas (US\$)	Almacenamiento de Materiales (US\$)		Gastos por Gestión de Almacenes (US\$)	C <sub>3</sub>	
							Costo Técnico (US\$/H)	Número de Técnicos (P)	Núm. Horas Mano de Obra (H)				Equipos Auxiliares (US\$/H)	Núm. Horas Equip. Aux. (H-M)												
1	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
2	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
3	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
4	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
5	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
6	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
7	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
8	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
9	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
10	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
11	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
12	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
13	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
14	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
15	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
16	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
17	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
18	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
19	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
20	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
21	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
22	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE CAMISA Y ANILLO (PM4M)	PREVENTIVA	CUATRIMESTRAL	4	15	2	2	0	7884.92	1125	0	0	8879	30000	0	0.08	350	0	0	307.3868	45	2.4	368	8225
23	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE CAMISA Y ANILLO (PM4M)	PREVENTIVA	CUATRIMESTRAL	4	15	2	2	0	7884.92	1125	0	0	8879	30000	0	0.08	350	0	0	307.3868	45	2.4	368	8225
24	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE CAMISA Y ANILLO (PM4M)	PREVENTIVA	CUATRIMESTRAL	4	15	2	2	0	7884.92	1125	0	0	8879	30000	0	0.08	350	0	0	307.3868	45	2.4	368	8225
25	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE ACEITE (PM8A)	PREVENTIVA	SEMESTRAL	5	15	2	4	0	500	145	80	1	885	30000	0	0.08	350	0	0	20	5.8	8	34	879
26	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE ACEITE (PM8A)	PREVENTIVA	SEMESTRAL	5	15	2	4	0	500	145	80	1	885	30000	0	0.08	350	0	0	20	5.8	8	34	879
27	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE CAPACITORES	PREVENTIVA	ANUAL	5	20	2	4	0	9000	125	0	0	9286	30000	0	0.08	350	0	0	380	5	8.4	371	8896
28	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE RELES TERMICOS	PREVENTIVA	ANUAL	5	20	2	4	0	6000	125	0	0	6286	30000	0	0.08	350	0	0	240	5	8.4	381	8636
29	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	REDUCTOR EN ESPERA	PREVENTIVA	-	0	0	0	0	0	30000	0	0	0	30000	30000	0	0.08	350	0	0	1200	0	0	1388	31388
30	PP1501	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	VARIADOR DE VELOCIDAD EN ESPERA	PREVENTIVA	-	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	10000	30000	0	0.08	350	0	0	400	0	0	488	10488
31	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
32	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
33	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
34	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
35	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
36	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
37	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
38	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
39	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
40	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
41	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	11	15	5	8	100	38542	1125	280	5	41867	30000	0	0.08	350	0	0	1545.68	45	84	1675	43642
42	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE PARTES HUMEDAS (PM2M)	PREVENTIVA	BI-MENSUAL	12	15	6	8	100	68798	1125	280	6	72421	30000	0	0.08	350	0	0	2751.84	45	100	2887	76316
43	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
44	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
45	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
46	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
47	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
48	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
49	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
50	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
51	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE EMPAQUES (PM1M)	PREVENTIVA	MENSUAL	2	15	2	1	0	1000	125	0	0	1188	30000	0	0.08	350	0	0	40	5	1.2	48	1301
52	PP1502	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	CAMBIO DE CAMISA Y ANILLO (PM4M)	PREVENTIVA	CUATRIMESTRAL	4	15	2	2	0	7884.92	1125	0	0	8879	30000	0	0.08	350	0	0	307.3868	45	2.4	368	8225
53	PP150																									

## **APÉNDICE D**

## Descripción de Costos Unitarios

<b>Personal Técnico</b>	<b>Costo (H-H)</b>
PERSONAL MECÁNICO	\$15.00
PERSONAL ELÉCTRICO	\$20.00

<b>Equipos Auxiliares</b>	<b>Costo (H-M)</b>
GRUA 75TN	\$200.00
CAMION GRUA 15TN	\$80.00
MAQUINA SOLDAR	\$40.00

<b>Partes Húmedas</b>	<b>Costo</b>
REVESTIMIENTO DE DESGASTE METALICO, LADO SUCCIÓN	\$13,522.00
VOLUTA	\$25,120.00
REVESTIMIENTO DE DESGASTE METALICO, LADO PRENSA	\$12,532.00
IMPULSOR METÁLICO	\$17,622.00
CAMISA DESGASTE EJE, CAMIZA DE EJE, SHAFT SLEEVE	\$5,298.92
ANILLO LINTERNA, LANTERN RESTRICTOR,	\$2,386.00

<b>Componentes Mecánicos</b>	<b>Costo</b>
REDUCTOR	\$30,000.00
ACEITE DE LUBRICACION DEL REDUCTOR	\$500.00

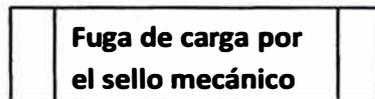
<b>Componentes Eléctricos</b>	<b>Costo</b>
MOTOR ELECTRICO	\$35,000.00
CAPACITORES	\$500.00
RELES TERMICOS	\$300.00
VARIADOR DE VELOCIDAD	\$10,000.00
ARRANCADOR	\$12,000.00
SENSOR DE APERTUVA VALVULA CUCHILLA	\$2,500.00

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
EMPAQUES DE SELLO MECANICO	\$1,000.00
MASILLAS DE REPARACION EN FRIO	\$400.00
HERRAMIENTAS MECANICAS	\$5,000.00
HERRAMIENTAS ELECTRICAS	\$10,000.00
TRAPO INDUSTRIAL	\$20.00
ELECTRODOS	\$5.00

## **APÉNDICE E**

## Árbol de Fallas "Fuga de carga por el sello mecánico"

El evento: Fuga de carga por el sello mecánico tiene como hecho la verificación en el campo de la fuga del slurry por el sello inundando el piso del área de remolienda



Se procedió a ajustar las empaques con el prensa estopas pero el problema continuaba por lo que se tuvo que paralizar la bomba para intervenirla puesto que el reporte de historia de intervenciones de la bomba indica que esta falla está relacionada con el desgaste de los empaques del sello mecánico, por lo que al modo: fuga de carga por el sello mecánico se le atribuye el hecho: empaquetaduras de teflón desgastadas; quedando nuestro árbol de la siguiente manera:



Continuando nuestra búsqueda en retrospectiva de la causa y relaciones de los efectos, nos hacemos la pregunta: ¿Cómo se puede desgastar un empaque?

Debido a que contiene el paso de slurry por el sello mecánico las hipótesis de la falla pueden ser:

Por abrasión,

Por erosión,

Por corrosión,

**Abrasión:**

La abrasión ocurre cuando partículas son forzadas contra un movimiento relativo friccionando con los elementos externos que están en su medio. Esta definición es correcta ya que el slurry fricciona el empaque y la camisa de desgaste ocasionando su desgaste.

**Corrosión:**

La corrosión es el deterioro del metal por una reacción química debido al ambiente al que se encuentra, para nuestro caso los empaques son de material teflón grafitado cuya resistencia a la corrosión es buena por lo que esta hipótesis se descarta.

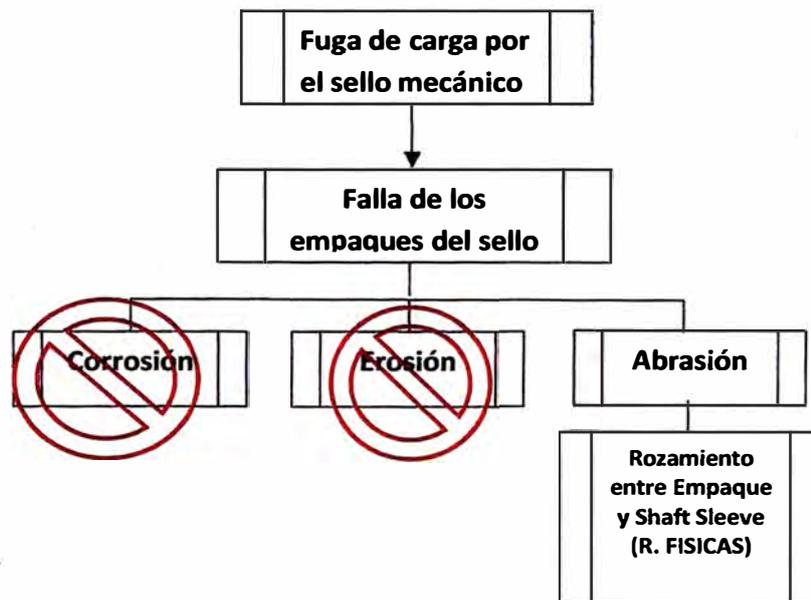
**Erosión:**

La erosión es formada por la transferencia de la energía cinética que choca contra otro material, en nuestro caso no habría dicha transferencia puesto que la esta sellada sin intersticios, por lo que dicha hipótesis se descarta.

**Material del empaque**

La características del empaque son: Limite de Temperatura: 540°F; Rango de pH: 0-14; Velocidad del Eje: 4900 RPM. Con esta data podemos decir que es resistente a la corrosión a altas temperaturas por fricción y resistente a altas velocidades.

Por lo tanto luego de estudiar cada forma de desgaste y su implicancia dentro de la falla por desgaste de las partes húmedas, el árbol de fallas quedaría de la siguiente manera:



Ahora nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Cómo se desgasta por abrasión el empaque?,

Las hipótesis para responder la pregunta las siguientes:

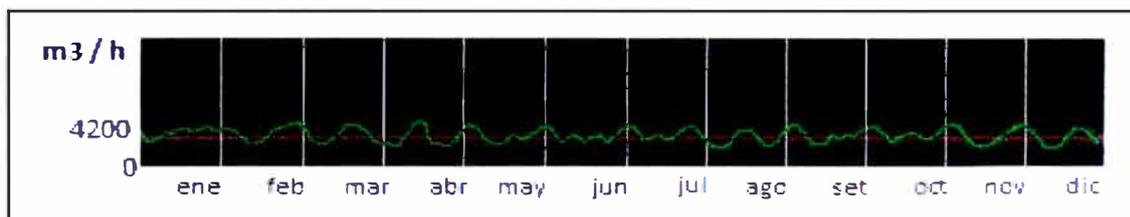
- Cambios bruscos de velocidad,
- Altas velocidades del motor eléctrico,
- Dureza de las partículas,
- Montaje de los empaques,

A continuación pasamos a analizar cada una de las hipótesis mencionadas:

#### **Cambios bruscos de velocidad**

De acuerdo con los reportes de Operaciones el sistema de bombeo tuvo variaciones de flujo de acuerdo con el escenario requerido puesto que el hecho de entregar más

carga al nido de ciclones aumentaba el porcentaje de recuperación siendo los fines de cada mes en su mayoría las alzas de los caudales para cumplir con los objetivos mensuales de la Gerencia de Operaciones. Según la curva de operación se podía hasta elevar a 3200 m<sup>3</sup>/h por bomba. En la figura 4.8 se muestra la medición del caudal del sistema de bombeo anual en la cual se tuvieron caudales por bomba que llegaron hasta 4200m<sup>3</sup>/h, además de no respetar la relación 50% / 50% de utilización de las bombas llegando a relaciones de caudal de 35% / 65% por lo que se generarían los desgastes debido a una mala operación de los equipos generándose intersticios que poco a poco el movimiento rotacional del eje de la bomba desgataría a los empaques.



### Altas Velocidades del Motor Eléctrico

De acuerdo con los datos técnicos del motor eléctrico, indicado en el Anexo C, tiene una velocidad máxima de salida de 1800 RPM y el variador de frecuencia está "seteada" para variar velocidades cada 50RPM hasta 12 valores. De acuerdo con la curva de operación de la bomba (Anexo C), la velocidad de operación es de 315 RPM estando acoplada con un reductor de velocidades cuya relación es 1:4 por lo que la velocidad de operación del motor es 1260 RPM (70% RPM<sub>nominal</sub>), de lo indicado en la anterior hipótesis hubo un caudal máximo de 4200m<sup>3</sup>/h, para llegar a ese caudal la bomba operó a 400RPM de acuerdo con la curva de operaciones por lo que el motor

eléctrico entregó un velocidad de 1600 RPM (90% RPM<sub>nominal</sub>) por lo que no habría habido excesos en la velocidad, descartando por ende esta hipótesis.

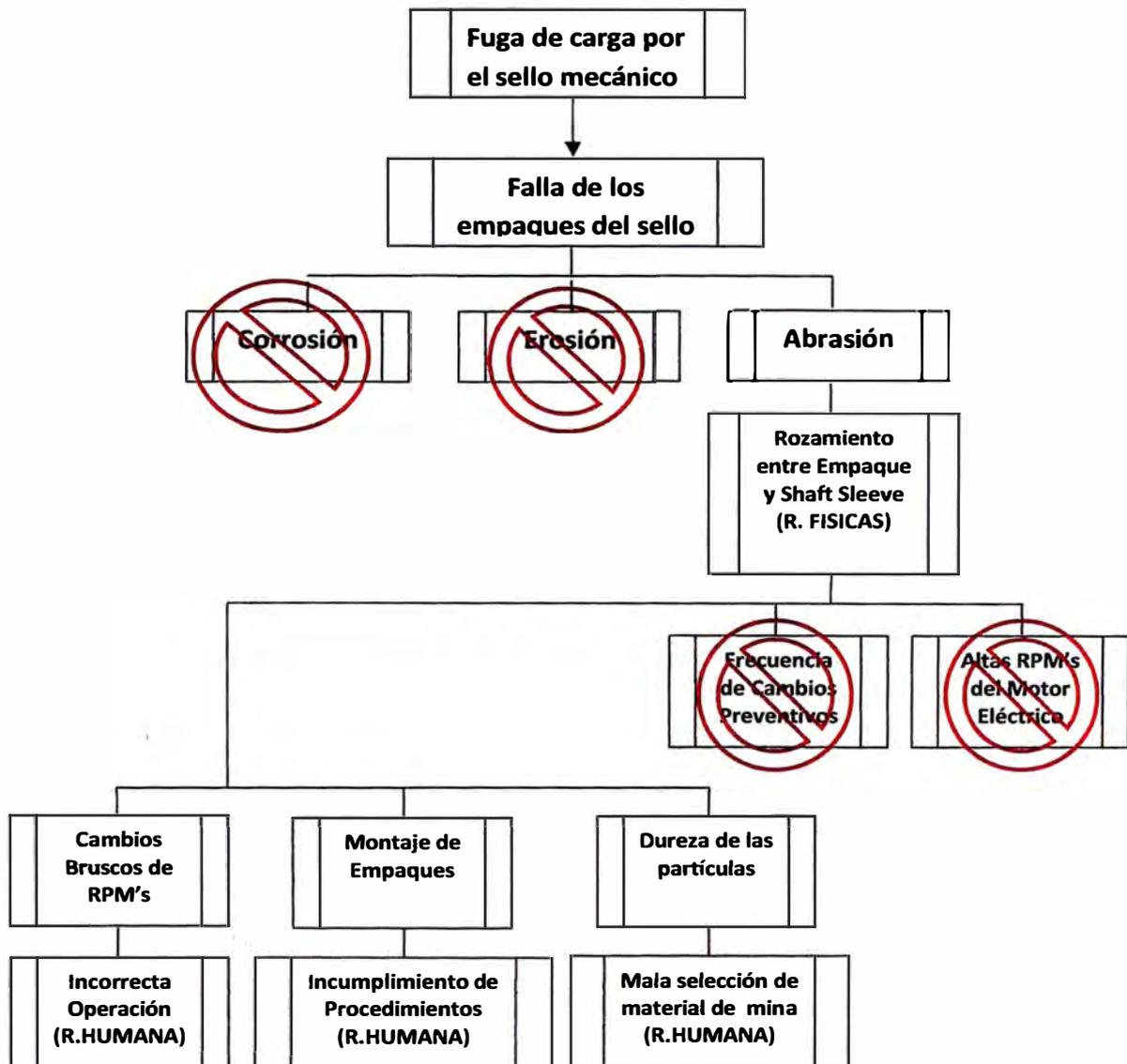
### **Dureza de las partículas**

De acuerdo con el reporte entregado por el área de geología, en el año 2011 el material extraído del tajo abierto tuvo mayor cantidad de material arcilloso y materiales estériles cuyas durezas fueron mayores a los planificados. En el reporte entregado por Metalurgia se corroboró lo mencionado debido a que las pruebas realizadas en la zona de molienda el material molido tuvo un P80 de 0.23mm – 0.25mm siendo los valores usuales de 0.115mm – 0.15mm como se indica en el ítem 3.1. Por lo tanto la dureza del material tratado incidiría en el desgaste de los empaques por abrasión, y que seguirá durante el año 2012.

### **Montaje de los empaques**

Como este tipo de montaje se debe hacer lo más rápido posible (máx. 1 hora) los técnicos mecánicos cortan los empaques que serán instalados tomando medidas referentes de los empaques salidos o midiendo el eje sin ninguna precisión, por lo que dejarían intersticios que permitirían ingresar carga y desgastar por abrasión, faltando a los procedimientos para hacerlo correctamente.

De acuerdo a lo descrito nuestro árbol de fallas quedaría de la siguiente manera:



Llegado a este punto es momento de cambiar la pregunta de ¿Cómo? a ¿Por qué? ya que así que encontremos las Raíces Latentes que no son más que las causas raíces de las fallas físicas, por lo tanto procederemos a realizar las preguntas respectivas:

**¿Por qué se realizó una operación incorrecta de las bombas?**

Las razones serían las siguientes:

Falta de capacitación a los técnicos operadores en el funcionamiento de las bombas,

Realizar un nuevo de seteo de valores de velocidades al variador de frecuencia o velocidad para que las bombas trabajen de acuerdo a lo indicado a las curvas de operación y no se pueda realizar cambio alguno por parte del operador.

**¿Por qué no se cumplieron con los procedimientos?**

Las razones serían las siguientes:

No se tenían empaques correctamente cortados a medida en el tiempo requerido,

Presión de la supervisión por concluir rápidamente el trabajo,

Falta del empaque correcto instalando una menor tamaño existente en almacén.

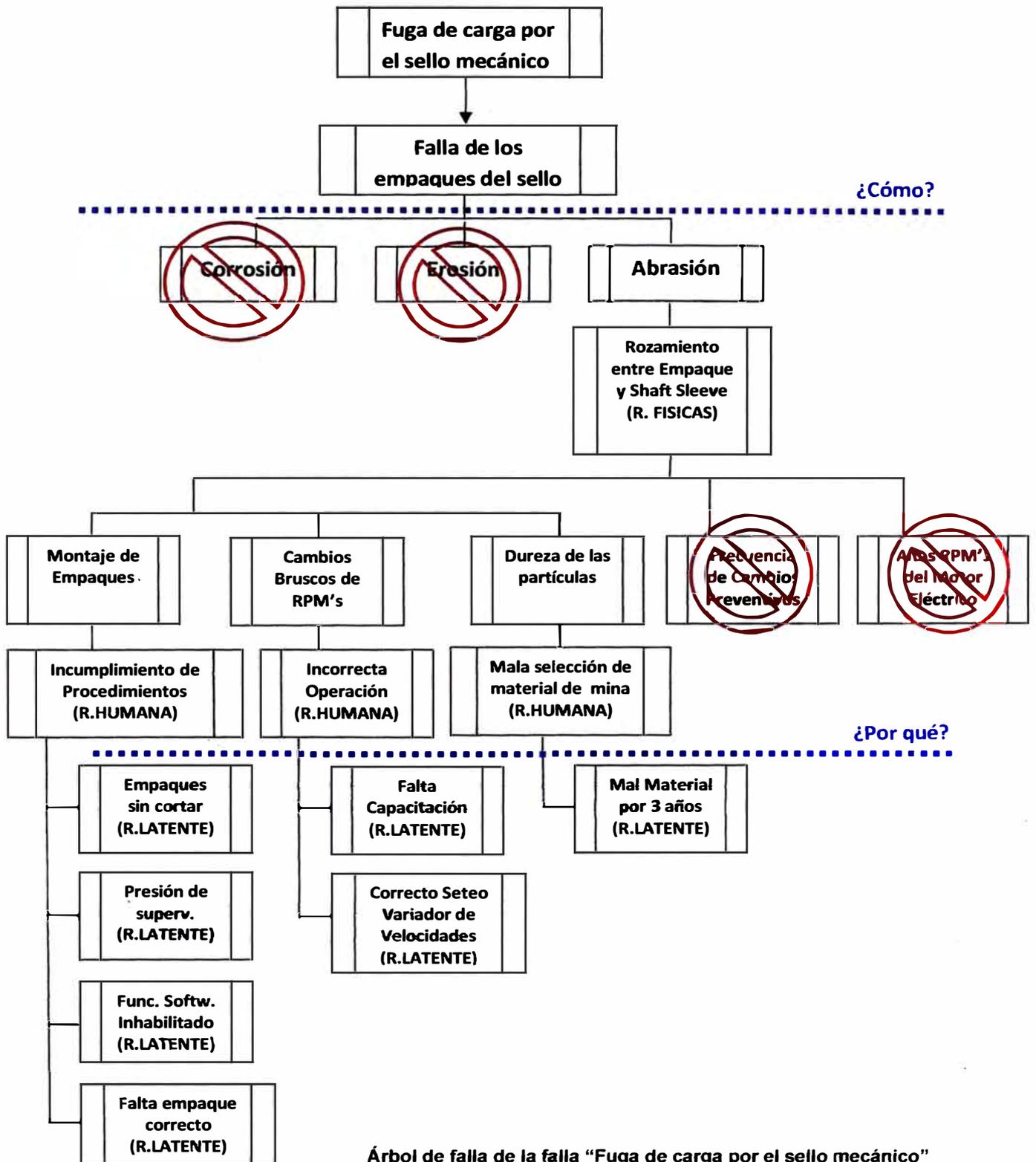
Las reposiciones automáticas en el software de gestión no están habilitadas.

**¿Por qué se entregó de mina un material con mucha dureza?**

Las razones serían las siguientes:

La zona planificada por la Gerencia de Mina para extraer material tiene esa dureza y seguirá por los siguientes tres años hasta llegar a una zona con mejores condiciones de dureza y ley de cabeza,

El árbol de fallas quedaría finalmente así:

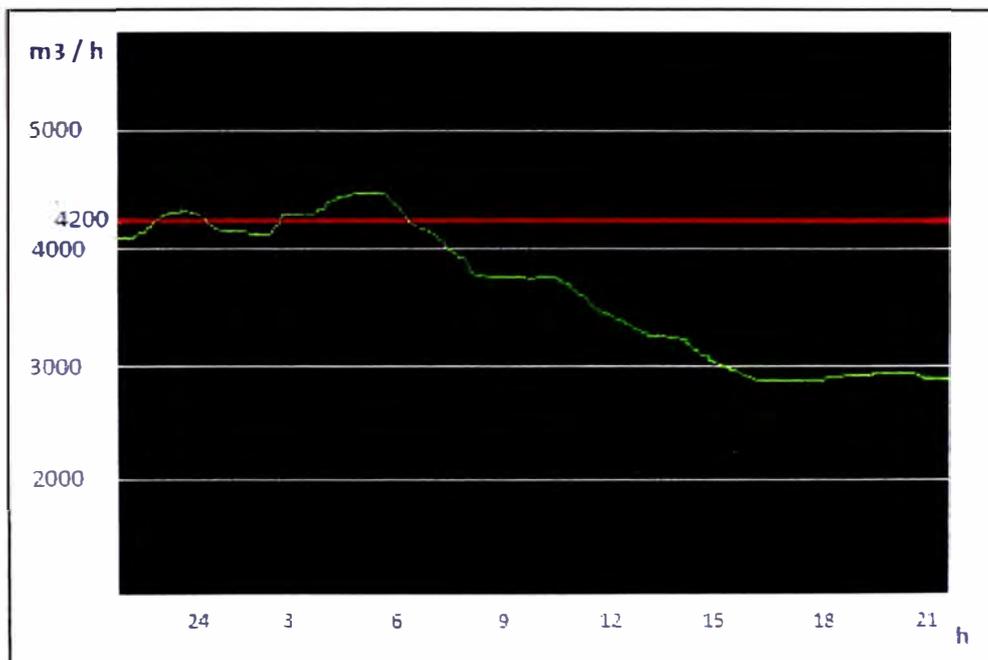


Árbol de falla de la falla "Fuga de carga por el sello mecánico"

## Árbol de Fallas “Falla del Reductor Mecánico”

El **evento**: Falla del reductor mecánico de la PP1501 tiene como **hecho** la verificación del DCS mostrado en la figura siguiente en la que se observa que el flujo disminuyó del valor nominal requerido y la corriente del motor eléctrico no había disminuido.

<b>Falla del reductor mecánico</b>
--

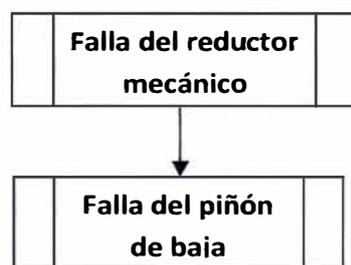


**Sistema DCS de medición de caudal de las Bombas Warman modelo 16/14TU AH**

Fuente: Elaboración Propia

Se fue a revisar al sitio notándose que efectivamente el motor de la bomba rotaba pero no el eje de salida del reductor por lo que se abrió la tapa del reductor observándose desgaste en los sientes del piñón de baja (lado bomba)

por lo que la falla en el reductor se le atribuye **hecho**: desgaste de los dientes del piñón de baja, quedando nuestro árbol de la siguiente manera:



Continuando nuestra búsqueda en retrospectiva de la causa y relaciones de los efectos, nos hacemos la pregunta: ¿Cómo se puede desgastar el piñón de lado bomba del reductor?

Las hipótesis para la falla podrían ser:

- Por abrasión,
- Por erosión,
- Por corrosión.

**Abrasión:**

La abrasión ocurre cuando partículas son forzadas contra un movimiento relativo friccionando con los elementos externos que están en su medio. Esta definición es correcta con nuestro caso ya que la fricción entre los dientes de los piñones de alta y baja ocasionan desgaste.

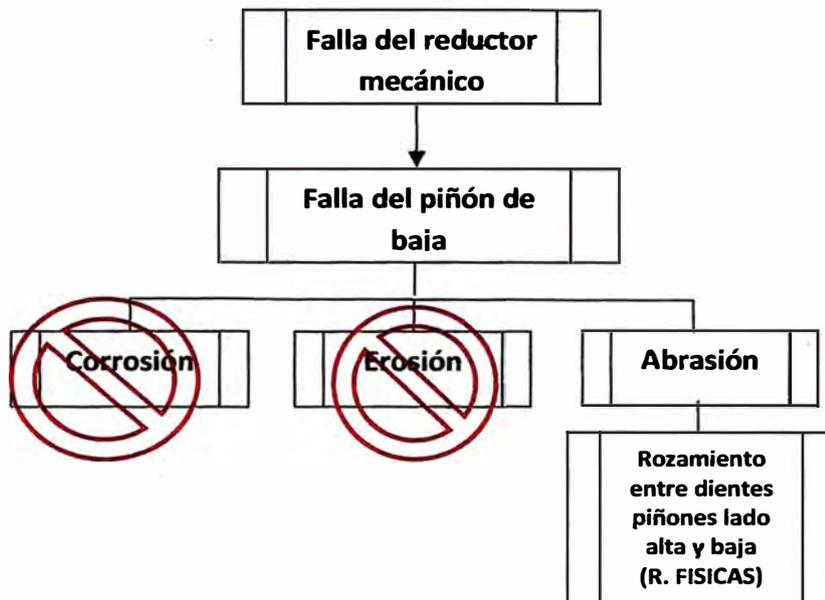
**Corrosión:**

La corrosión es el deterioro del metal por una reacción química debido al ambiente al que se encuentra, para nuestro caso los dientes son aceros aleados con cromo y molibdeno cuya resistencia a la corrosión es buena por lo que esta hipótesis se descarta.

**Erosión:**

La erosión es formada por la transferencia de la energía cinética que choca contra otro material, para nuestro caso los dientes son aceros aleados con cromo y molibdeno cuya resistencia a la corrosión es buena por lo que esta hipótesis se descarta.

Por lo tanto luego de estudiar cada forma de desgaste y su implicancia dentro de la falla por desgaste de las dientes del piñon de baja, el árbol de fallas quedaría de la siguiente manera:



Ahora nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Cómo se desgasta por abrasión los dientes del piñón lado baja?,

Las hipótesis para responder la pregunta las siguientes:

Cambios bruscos de velocidad,

Altas velocidades del motor eléctrico,

Diferencia de dureza de los dientes de los piñones del reductor,

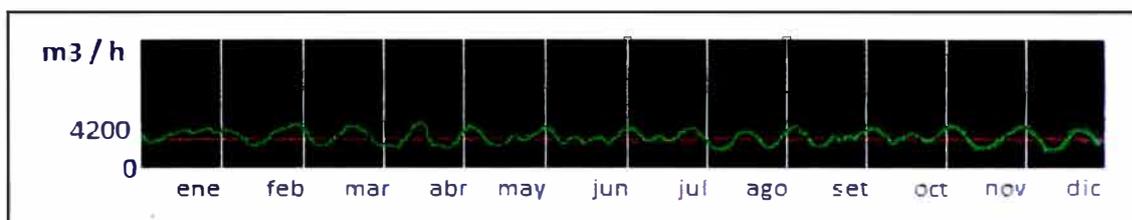
Frecuencia de mantenimientos predictivos,

A continuación pasamos a analizar cada una de las hipótesis mencionadas:

### **Cambios bruscos de velocidad**

De acuerdo con los reportes de Operaciones el sistema de bombeo tuvo variaciones de flujo de acuerdo con el escenario requerido puesto que el hecho de entregar más carga al nido de ciclones aumentaba el porcentaje de recuperación siendo los fines de cada mes en su mayoría las alzas de los caudales para cumplir con los objetivos

mensuales de la Gerencia de Operaciones. Según la curva de operación se podía hasta elevar a 3200 m<sup>3</sup>/h por bomba. En la figura 4.8 se muestra la medición del caudal del sistema de bombeo anual en la cual se tuvieron caudales por bomba que llegaron hasta 4200m<sup>3</sup>/h, además de no respetar la relación 50% / 50% de utilización de las bombas llegando a relaciones de caudal de 35% / 65% por lo que se generarían los desgastes debido a una mala operación de los equipos generándose pares de torques variables que aumentan y disminuyen la fricción entre los dientes de los piñones de alta y baja del reductor.



### Altas Velocidades del Motor Eléctrico

De acuerdo con los datos técnicos del motor eléctrico, indicado en el Anexo C, tiene una velocidad máxima de salida de 1800 RPM y el variador de frecuencia está "seteada" para variar velocidades cada 50RPM hasta 12 valores. De acuerdo con la curva de operación de la bomba (Anexo C), la velocidad de operación es de 315 RPM estando acoplada con un reductor de velocidades cuya relación es 1:4 por lo que la velocidad de operación del motor es 1260 RPM (70% RPM<sub>nominal</sub>), de lo indicado en la anterior hipótesis hubo un caudal máximo de 4200m<sup>3</sup>/h, para llegar a ese caudal la bomba operó a 400RPM de acuerdo con la curva de operaciones por lo que el motor eléctrico entregó un velocidad de 1600 RPM (90% RPM<sub>nominal</sub>) por lo que no habría habido excesos en la velocidad, descartando por ende esta hipótesis.

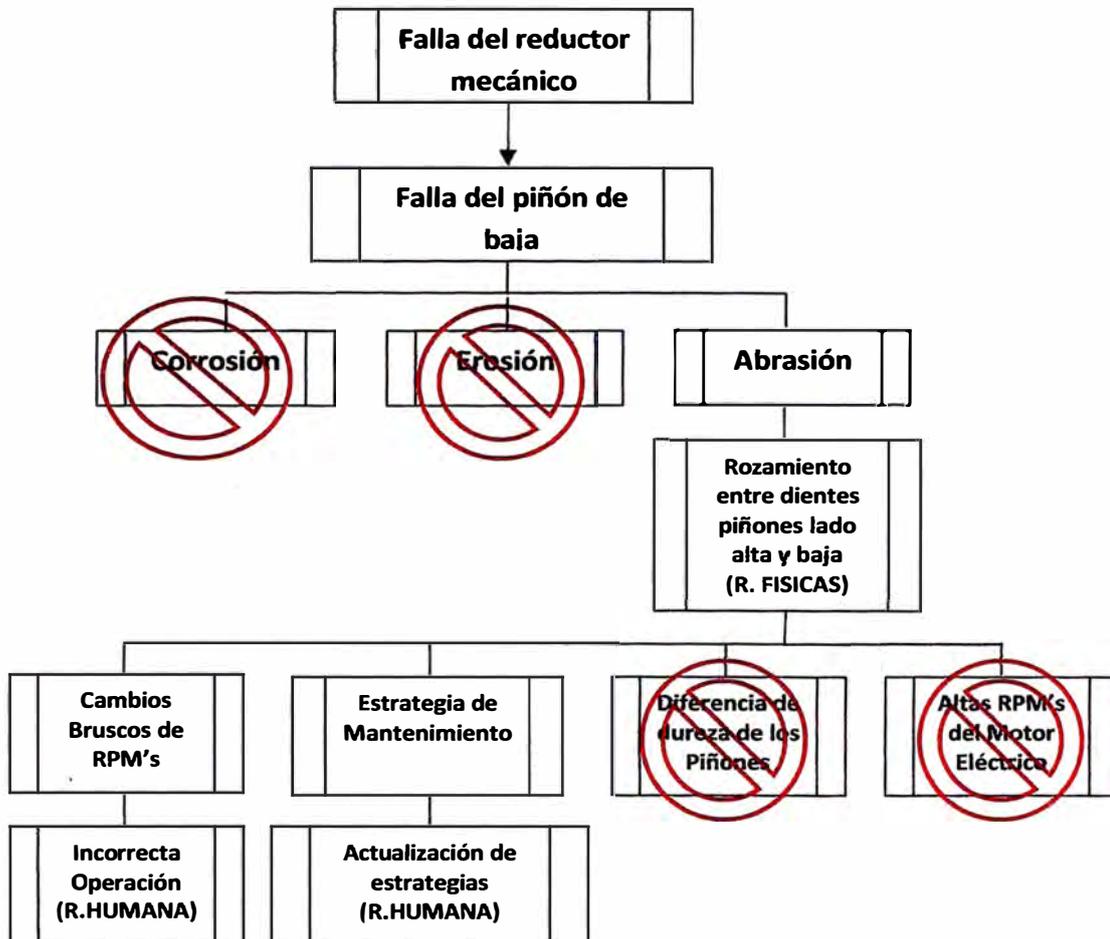
### **Diferencia de dureza de los dientes de los piñones del reductor**

De acuerdo con el reporte entregado por el fabricante en este se indica que ambos piñones presentan la misma composición química y las durezas están en promedio de 160HB para el piñón de alta y 158HB para el piñón de baja por lo q se descartaría esta hipótesis.

### **Estrategia de mantenimiento al reductor**

De acuerdo con nuestra estrategia de mantenimiento aplicado para el reductor sólo se hacia un cambio de aceite anual al reductor, y cada 6 meses se tomarían las muestras de aceite para ver su estado, lo que se puede concluir es que no se hizo pruebas en frecuencias más cortas lo que conllevó a la generación de partículas que habría desgastado los dientes de los piñones. Además no se contempló tener un reductor en stand by debido que no trabajan juntos teniendo solo a la mano los repuestos necesaria para su reparación

De acuerdo a lo descrito nuestro árbol de fallas quedaría de la siguiente manera:



Llegado a este punto es momento de cambiar la pregunta de ¿Cómo? a ¿Por qué? ya que así que encontremos las Raíces Latentes que no son más que las causas raíces de las fallas físicas, por lo tanto procederemos a realizar las preguntas respectivas:

**¿Por qué se realizó una operación incorrecta de las bombas?**

Las razones serían las siguientes:

Falta de capacitación a los técnicos operadores en el funcionamiento de las bombas,

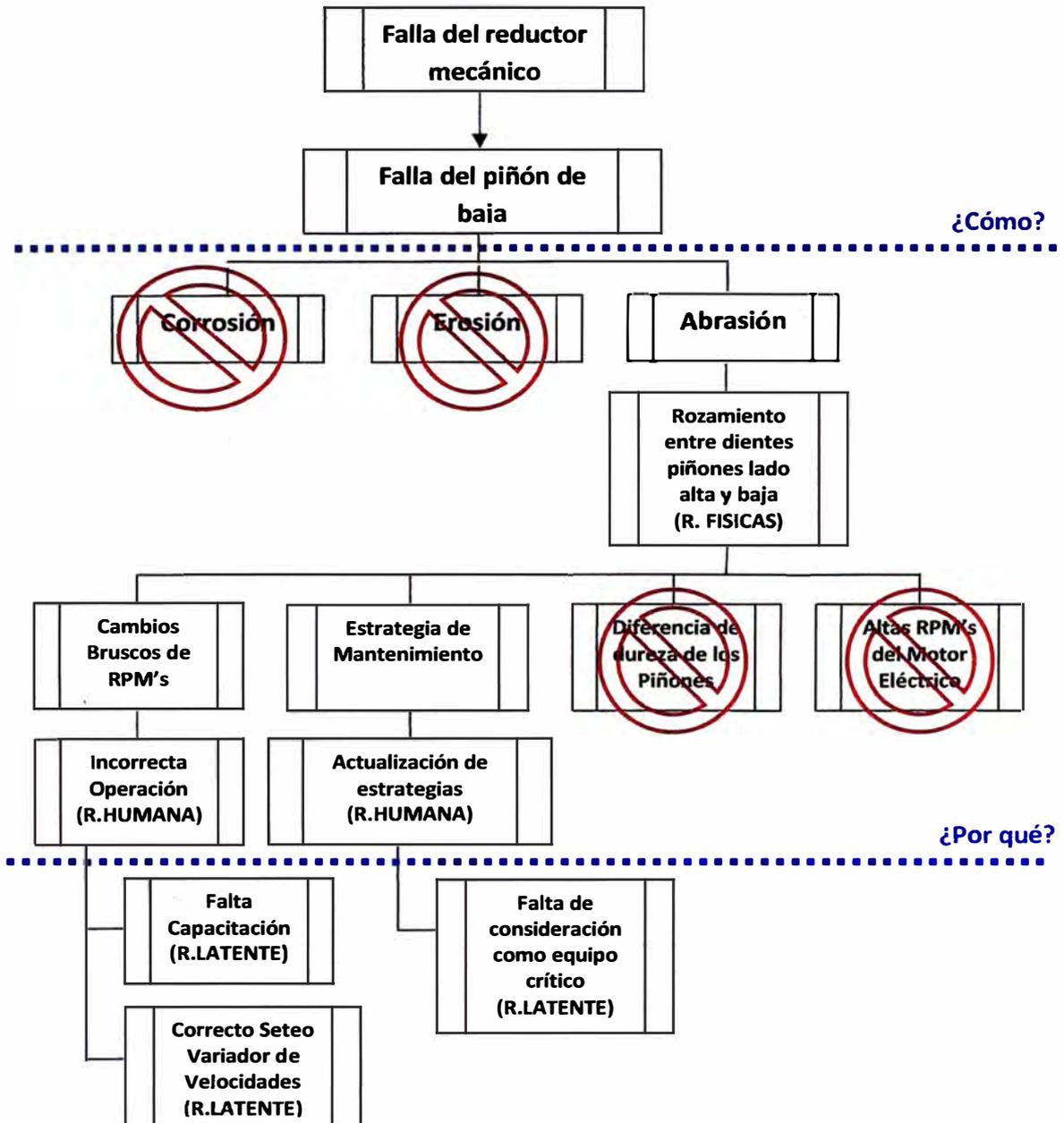
Realizar un nuevo de seteo de valores de velocidades al variador de frecuencia o velocidad para que las bombas trabajen de acuerdo a lo indicado a las curvas de operación y no se pueda realizar cambio alguno por parte del operador.

**¿Por qué no se actualizó la estrategia de mantenimientos?**

Las razones serían las siguientes:

No eran considerados equipos críticos y trabaja sólo un equipo en el proceso (tenía un stand by),

Respondidas las preguntas estaremos frente a las causas raíz o causas latentes quedando el árbol de fallas como sigue:



Árbol de falla de la falla "Falla en el Reductor"

## **APÉNDICE F**

Cg Total \$ 4,148,645

Cg Total \$ 3,907,245

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

Table with columns: TIPO DE EQUIPO, DESCRIPCION, ACCION, FRECUENCIA, TIEMPO DE EJECUCION, and detailed maintenance tasks for pumps.

COSTO GLOBAL DE MANTENIMIENTO PARA LAS BOMBAS PP1501 / PP1502

Cg Control Total \$ 1,807,245

Cg Control Total \$ 18,208

Cg Control Total \$ 3,341,878

Cg Control Total \$ 288,161

Cg Prev Total \$ 561,400

Cg Prev Total \$ 29,823

Cg Prev Total \$ -

Cg Prev Total \$ 529,577

## Descripción de Costos Unitarios

<b>Personal Técnico</b>	<b>Costo (H-H)</b>
PERSONAL MECÁNICO	\$15.00
PERSONAL ELÉCTRICO	\$20.00

<b>Equipos Auxiliares</b>	<b>Costo (H-M)</b>
GRUA 75TN	\$200.00
CAMION GRUA 15TN	\$80.00
MAQUINA SOLDAR	\$40.00

<b>Partes Húmedas</b>	<b>Costo</b>
REVESTIMIENTO DE DESGASTE METALICO, LADO SUCCIÓN	\$13,522.00
VOLUTA	\$25,120.00
REVESTIMIENTO DE DESGASTE METALICO, LADO PRENSA	\$12,532.00
IMPULSOR METÁLICO	\$17,622.00
CAMISA DESGASTE EJE, CAMIZA DE EJE, SHAFT SLEEVE	\$5,298.92
ANILLO LINTERNA, LANTERN RESTRICTOR,	\$2,386.00

<b>Componentes Mecánicos</b>	<b>Costo</b>
REDUCTOR	\$30,000.00
ACEITE DE LUBRICACION DEL REDUCTOR	\$500.00

<b>Componentes Eléctricos</b>	<b>Costo</b>
MOTOR ELECTRICO	\$35,000.00
CAPACITORES	\$500.00
RELES TERMICOS	\$300.00
VARIADOR DE VELOCIDAD	\$10,000.00
ARRANCADOR	\$12,000.00
SENSOR DE APERTUVA VALVULA CUCHILLA	\$2,500.00

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
EMPAQUES DE SELLO MECANICO	\$1,000.00
MASILLAS DE REPARACION EN FRIO	\$400.00
HERRAMIENTAS MECANICAS	\$5,000.00
HERRAMIENTAS ELECTRICAS	\$10,000.00
TRAPO INDUSTRIAL	\$20.00
ELECTRODOS	\$5.00