

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO
CON LA METODOLOGÍA TPM PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD DE LAS ELECTROBOMBAS
FLYGT 2400 EN EL ÁREA DE DRENAJE DE UNA
EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bachiller Ramos Correa, Antenor

Bachiller Villar Saldaña de Ramos, Heylli Noemi

Asesor:

M.Cs. Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Con amor y cariño a mi amada hija Ariadna, pues ella fue la principal motivación de superación personal y profesional. A mis padres y a todas las personas que me apoyaron en el camino para lograr mi meta de ser Ingeniero Industrial.

Antenor Ramos Correa

Con amor a mi amada hija Ariadna, pues ella es la razón para trascender profesionalmente y ser mejor ser humano cada día, a mi amado esposo, por todo su apoyo, a mi madre, hermanos y todas las personas que me apoyaron para llegar a ser Ingeniero Industrial.

Heylli Noemi Villar Saldaña de Ramos

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por la bendición y protección que me da para seguir adelante, y cumplir con mis planes de vida. Agradezco a mis padres, hermanos, suegros y cuñados por el apoyo brindado y por cuidar a mi amada hija y a nuestro asesor por toda la paciencia y los conocimientos compartidos para poder realizar esta investigación.

Antenor Ramos Correa

Agradecer a Dios por la bendición de la vida y por todas las pruebas que me puso en el camino para ser mejor persona, seguir adelante, y cumplir con mis planes de vida. Agradecer a mi esposo por su apoyo incondicional, a mis padres, especialmente a mi madre, hermanos, suegros y cuñados por cuidar a mi amada hija y a nuestro asesor por toda la paciencia y los conocimientos compartidos para poder realizar esta investigación.

Heylli Noemi Villar Saldaña de Ramos

Tabla de contenidos

	Pag.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Objetivos.....	13
1.4. Hipótesis	14
1.5. Operacionalización de Variables	14
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	15
2.1. Tipo de investigación.....	15
2.2. Población, muestra, materiales, instrumentos y métodos	15
2.3. Procedimiento de análisis de datos	32
2.4. Aspectos éticos	34
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	35
3.1. Diagnóstico de la situación actual.	35
3.2. Propuesta de Estrategia de Mantenimiento con la metodología TPM.....	54
3.3. Evaluación de las mejoras en la disponibilidad	77
3.4. Evaluación Financiera de la implementación de la estrategia propuesta.....	82
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	87
4.1. Discusión	87
4.2. Conclusiones.....	89
REFERENCIAS	90
ANEXOS	93
ANEXO 1. Registro de horas de paradas de equipos de bombeo en el año 2019	93
ANEXO 2. Historial de Fallas de Electrobombas Flygt	94
ANEXO 3. Modos de Falla de la Electro bomba FLYGT 2400	99
ANEXO 4. Clasificación de las paradas de las electrobombas Flygt 2400	100
ACTA DE CONFORMIDAD DE LA TESIS	101
ACTA DE SUSTENTACIÓN	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	14
Tabla 2. Matriz de Técnicas de Instrumentos	16
Tabla 3. Lista de Verificación de Técnicas e Instrumentos	17
Tabla 4. Clasificación de Paradas	20
Tabla 5. Equipo de trabajo para implementar estrategias de mantenimiento	23
Tabla 6. Principios de las 5S.....	24
Tabla 7. Pasos para Implementar la Metodología Kaizen	25
Tabla 8. Plan de entrenamiento al personal de mantenimiento	26
Tabla 9. Propiedades del Elemento propuesto	26
Tabla 10. Comparación de indicadores de mantenimiento	31
Tabla 11. Procedimiento de recolección y análisis de datos.....	33
Tabla 12. Propiedades del sello mecánico de las Electrobombas Flygt	40
Tabla 13. Propiedades de la Grasa utilizada en la Electro bomba Flygt 2400.....	45
Tabla 14. Clasificación de Lubricantes según su Viscosidad.	45
Tabla 15. Resumen de Tipos de Paradas de Electrobombas Flygt	48
Tabla 16. Resumen de Indicadores Actuales	53
Tabla 17. Equipo de trabajo para implementar estrategias de mantenimiento	55
Tabla 18. Implementación de la filosofía Kaizen	58
Tabla 19. Plan de entrenamiento al personal de mantenimiento.	59
Tabla 20. Propiedades del lubricante propuesto	61
Tabla 21. Propiedades del sello mecánico propuesto	62
Tabla 22. Característica de los sellos de diferente material	64
Tabla 23. Criterios de selección de sellos en base al tipo de fluido.....	64
Tabla 24. Procedimiento Estándar de Trabajo	70
Tabla 25. Plan de Mantenimiento de Electrobombas Flygt 2400	76
Tabla 26. Comparación de N° de paradas antes y después (Propuesta).....	77
Tabla 27. Comparación de los Indicadores de Mantenimiento Antes y Después Propuesta...	79
Tabla 28. Matriz de Resultados	81
Tabla 29. Actividades y Costos de a Implementación.....	83
Tabla 30. Gastos de Implementación Mensual	84
Tabla 31. Gastos de Materiales de Trabajo.....	84
Tabla 32. Costos Mensuales de Mantenimiento Programado.....	85
Tabla 33. Cálculo de VAN y TIR	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del diagrama de Ishikawa	19
Figura 2. Esquema del Diagrama de Pareto	20
Figura 3. Tipos de Paradas	21
Figura 4. Pasos para la Implementación de las 5S	24
Figura 5. Formato de Reporte de Falla	27
Figura 6. Check List de Inspección.....	28
Figura 7. Formato de Control de Calidad	28
Figura 8. Check List de Reparación.....	29
Figura 9. Procedimiento Estándar de Trabajo.....	30
Figura 10. Plan de Mantenimiento Preventivo y predictivo	30
Figura 11. Curva de Operación de Electrobomba Flygt 2400	36
Figura 12. Diagrama de Ishikawa de la baja disponibilidad de Electrobombas Flygt 2400....	38
Figura 13. Rotura de Sello Mecánico con presencia de Sedimentos	39
Figura 14. Se encuentra agua en la cámara de aceite.....	40
Figura 15. Identificación de Electrobomba sin protección de temperatura	41
Figura 16. Estator quemado	41
Figura 17. Rotura de Sello Mecánico con presencia de Sedimentos	42
Figura 18. Electrobomba Flygt con altas horas de operación	43
Figura 19.. Electrobomba Flygt para mantenimiento preventivo	43
Figura 20. Aceite mezclado con agua.	44
Figura 21. Accidente en cable de alimentación de electrobomba Flygt	46
Figura 22. Diagrama de Pareto de Modos de Falla de Electrobombas Flygt	47
Figura 23. Porcentaje de Paradas de Electrobombas Flygt.....	49
Figura 24. MTBF mensual de electrobombas Flygt 2400	50
Figura 25. MTTR mensual de electrobombas Flygt 2400	51
Figura 26. Disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 en el año 2019.....	52
Figura 27. Pasos para implementar estrategias de Mantenimiento con la metodología TPM.	54
Figura 28. Pasos para implementar las 5S	56
Figura 29. Modelo de área de trabajo con 5S	57
Figura 30. Selección de Grasa según Aplicación.....	60
Figura 31. Límite de factor PV (presión - velocidad) según material del sello	63
Figura 32. Reporte de Falla de Electrobombas Flygt	66
Figura 33. Check List de Inspección Programada	67

Figura 34. Check list de Control de Calidad en reparaciones	68
Figura 35. Check list de reparación	69
Figura 37. Porcentaje de Paradas aplicando Estrategias de Mantenimiento.....	80
Figura 38. Disponibilidad luego de Diseñar las Estrategias	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de Tareas con Estrategias Correctivas.....	20
Ecuación 2. Porcentaje de Tareas con Estrategias Preventivas	21
Ecuación 3. Porcentaje de Tareas con Estrategias Predictivas	21
Ecuación 4. Tiempo Promedio Entre Fallas	22
Ecuación 5. Tiempo Promedio Para Reparar	22
Ecuación 6. Disponibilidad Operativa	22
Ecuación 7. Costo Promedio de Capital	31
Ecuación 8. Valor Actual Neto	32
Ecuación 9. Tasa Interna de Retorno	32

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad mejorar la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 utilizadas en el área de drenaje de una empresa minera, indicador que se ve afectado por el elevado número de paradas correctivas. Para ello diseñamos estrategias de mantenimiento específicas para este tipo de equipos, las cuales se lograron con el uso de la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y consiste en la elaboración de políticas de mantenimiento, mejoras enfocadas, formatos de reporte de fallas, inspecciones programadas, procedimiento estándar de trabajo y plan de mantenimiento preventivo y predictivo. La investigación fue aplicada, correlacional, cuantitativa y no experimental, en la cual se definió la muestra igual a la población la cuales fueron las 31 electrobombas Flygt que operan en el área de drenaje. Con el diseño de las estrategias de mantenimiento, la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 se incrementaría en 4.9%, pasando de 87.3% a 92.2%. Finalmente, se obtiene un TIR del 61.03%, y un VAN de \$1,591,870.14; por lo tanto, las estrategias propuestas son viables económicamente y representarían ahorro para la empresa minera.

Palabras clave: Estrategias de mantenimiento, disponibilidad, electrobomba Flygt 2400, Mantenimiento Productivo Total (TPM).

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La moderna gestión de mantenimiento se ha convertido en un poderoso factor de competitividad en la industria mundial, pues permite optimizar costos del proceso productivo, asegurar el buen funcionamiento y disponibilidad de los equipos, disminuir al máximo los riesgos con las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente. Es así que, las empresas necesitan alinear su gestión de mantenimiento a los objetivos de producción y las metas estratégicas generales de la compañía. Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo (2013).

Desde el punto de vista de la optimización del proceso de producción de una empresa, las estrategias de mantenimiento cumplen un rol importante. Pistarelli (2017); es por ello que se necesita definir estrategias específicas para solucionar el modo de falla predominante pudiendo ser desde un mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo o reparación total, Torres (2015). Así, la metodología TPM o Mantenimiento Productivo Total engloba todos estos aspectos y tiene como base la filosofía de las 5S y la filosofía Kaizen para una mejora constante del mantenimiento, asegurando así la disponibilidad de los equipos. Lluís Cuatrecasas Arbós y Francesca Torrell Martínez (2010).

En base a lo mencionado por Villena (2017) en su tesis “Propuesta de Implementación de un Plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora”, el Mantenimiento Productivo total debe entenderse como una herramienta para maximizar la efectividad del equipo y aumentar su disponibilidad, lo cual se logra aplicando los cinco pilares básicos: entrenamiento, mantenimiento autónomo,

mantenimiento planificado, mejora enfocada y establecimiento de un programa de gestión del equipo.

El Instituto Americano de petróleo en su norma API 682 4ta Edición (2014) dice que los sellos de carburo de silicio es el más usado en la mayoría de las refinerías y la industria química en los Estados Unidos de Norteamérica debido a su excelente resistencia a la corrosión y las ventajas químicas. Así, Fluid Sealing Association (2005), en su investigación titulada What is the best wear face material for my mechanical seal? concluyó que los sellos de carburo de silicio son los mejores para el uso en condiciones para el uso en condiciones agrestes de bombeo con presencia de solidos abrasivos y aguas ácidas con pH menor a 3. Lo cual es confirmado por Huebner (2005) en su estudio Material Selection For Mechanical Seals, demuestra que el sello mecánico de carburo de silicio se comporta mejor que el carburo de tungsteno en las mismas condiciones.

Morales Zamora (2012) en su investigación denominada Mantenimiento Planificado, determinó que la grasa adecuada para trabajar a temperaturas hasta 110 °C debe tener una viscosidad del aceite base de 200.

Noria (2013) en su artículo 'Los peligros ocultos de la falta de lubricante' determina que el 95% de fallas por inadecuada lubricación puede solucionarse al tener una correcta selección del lubricante y cambio preventivo.

Melchor Cahuaya (2016) en su Tesis “Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la bomba Mars III en la compañía minera Santa Luisa S.A.”, determina la criticidad de los sistemas de bombeo, pues si dejan de funcionar, se paraliza toda la operación minera; lo cual es confirmado por Castañeda (2017), en su trabajo denominado “Gestión de mantenimiento para incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las electrobombas centrífugas en Minera Yanacocha, 2017”, quien

afirma que las electrobombas en el drenaje minero son muy importantes para avanzar con las labores de minado, pues al ir extrayendo el mineral se va profundizando el terreno y al mismo tiempo el nivel freático se acerca más a la superficie, y si no se cumple el plan de bombeo de agua retrasará el minado, generando importantes pérdidas en la producción del mineral.

El área de drenaje de la empresa minera en estudio cuenta con equipos de bombeo, entre electrobombas, motores, bombas centrífugas y bombas tipo turbina; sin embargo, no cuenta con una gestión de mantenimiento, lo que se ve reflejado en las constantes tareas correctivas. Es así que el registro de horas de paradas en el anexo 1, muestra que las electrobombas Flygt 2400, tiene un total de 34,062 horas de paradas, siendo los equipos con mayor impacto en la disponibilidad, por lo cual son los equipos objeto de estudio de la presente investigación. Así la disponibilidad de las electrobombas Flygt es de 87.3%, la cual es menor al target definido por la Gerencia de Mantenimiento en 90%.

Por ello la importancia de diseñar estrategias de mantenimiento específicos para las electrobombas Flygt 2400, con la metodología de Mantenimiento Productivo Total, para aumentar la disponibilidad y por consiguiente reducir los costos de mantenimiento.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM mejora la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para mejorar la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Realizar el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.
- b) Diseñar estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.
- c) Evaluar las mejoras en la disponibilidad después de diseñar estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.
- d) Evaluar la viabilidad económica de la implementación de las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.

1.4. Hipótesis

El diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM mejorará la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.

1.5. Operacionalización de Variables

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Estrategias de mantenimiento (variable independiente)	Una estrategia de mantenimiento es aquella que nos dice qué tareas hacer, con quien y a qué frecuencia, con la finalidad de eliminar modos de falla. Pistarelli (2017).	Estrategias preventivas	% de tareas con estrategias preventivas
		Estrategias predictivas	% de tareas con estrategias predictivas
		Estrategias correctivas	% de tareas con estrategias correctivas
Disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 (variable dependiente)	Disponibilidad es la probabilidad de que un equipo esté funcionando en un determinado instante en el tiempo. Pascual (2008).	Tiempo Operativo	Tiempo medio entre fallas (MTBF).
		Tiempo de Reparación	Tiempo medio para Reparar (MTTR)

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su Propósito: La presente investigación fue aplicada, pues se centró en encontrar estrategias para lograr un objetivo específico, aplicado a un ámbito bien definido, teniendo base en conocimiento existente (gestión de activos y mantenimiento, análisis de falla, indicadores de costos y disponibilidad, entre otros). Oblitas (2018)

Según su profundidad: La investigación fue correlacional, porque se define la relación que existe entre las estrategias de mantenimiento y la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400. Oblitas (2018)

Según la Naturaleza de Datos: La investigación fue cuantitativa, porque analizamos y evaluamos la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 por medio de procedimientos de medición. Oblitas (2018)

Según su manipulación de variable: La investigación fue no experimental, pues no es manipulada la variable independiente, solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos, tal como lo mencionan Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernandez Collado, Pilar Baptista Lucio (2010).

2.2. Población, muestra, materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Población y Muestra

Para nuestro estudio se consideró la población igual a la muestra, porque trabajamos con la totalidad de las electrobombas Flygt 2400, en este caso son 31. Además, la muestra ha sido elegida por conveniencia, porque constituyen las bombas que tienen mayor número de paradas y baja disponibilidad tal como lo señalan Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernandez Collado, Pilar Baptista Lucio (2010).

2.2.2. Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Laptop con sistema operativo 64 bits; memoria RAM 6Gb; tarjeta de video incorporada; core i5; 7ma generación.
- Útiles de escritorio: papel bond, lapiceros, libreta de apuntes, Folder, perforador.
- USB y disco portátil para el almacenamiento de información electrónica.
- Impresora Epson 4160 y cartuchos.

2.2.3. Instrumentos

Tabla 2. *Matriz de Técnicas de Instrumentos*

Objetivo Específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica
Realizar el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.	- Disponibilidad (Ao) - MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) - MTTR (Tiempo Medio para Reparar)	Revisión documental.	Check list y ficha resumen.	El arte de mantener. Pascual (2008)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 2, se muestran las técnicas e instrumentos utilizados para la recopilación de información para la presente investigación, el objetivo específico asociado a su indicador.

En su mayoría la información se encontró en base históricas almacenadas en SAP y hojas de cálculo en Excel, donde se tienen detallados los modos de falla y tiempos de paradas.

Tabla 3. *Lista de Verificación de Técnicas e Instrumentos*

Preguntas Generales	Sí/No	Acciones por tomar
¿Se cuenta con acceso a la información?	Sí	
¿Contamos con la información de los modos de falla y tiempos de reparación de los sistemas de bombeo del drenaje mina?	Sí	
¿La información para el cálculo de los indicadores de disponibilidad está ordenada en la base de datos Excel?	No	Sólo se tiene la información de tiempos de parada, así que fue necesario procesar la información y mostrar resultados en hojas de cálculo
¿La información que se encuentra en los registros es significativa y útil para el desarrollo del trabajo?	Sí	

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 3, nos permitió verificar si contamos con los medios necesarios para recopilar los datos y poder procesarlos posteriormente para el análisis y la propuesta de las estrategias de mantenimiento.

2.2.4. Métodos

En el presente trabajo de investigación se emplearon conocimientos teórico-prácticos de la Ingeniería Industrial, específicamente de la gestión de mantenimiento, donde se determinó diseñar estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para electrobombas Flygt 2400 con el fin de aumentar su disponibilidad.

Se recolectó información de distintas fuentes escritas, visuales y digitales para el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados.

A. Diagnóstico de la situación actual.

Como paso previo a cualquier actividad, se realizó una evaluación de la situación inicial en relación a la gestión del mantenimiento, tal como lo recomienda Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo (2013).

1. Diagrama de Ishikawa: Consiste en una representación gráfica en la cual se visualiza las causas-efectos que dan origen a un problema específico, permitiendo el estudio de los procesos y situaciones. Ishikawa (1943).

Según Pistarelli (2017) existen distintas versiones de categorización de fallas en función a las características del problema, sin embargo, no son excluyentes para que podamos escoger un conjunto particular de factores que representen mejor las necesidades del estudio.

- Categoría A: Método, Máquina, Materiales, Mano de Obra.
- Categoría B: Posición, Procedimiento, Persona, Política.
- Categoría C: Contexto -Proveedor- Sistema-Destreza.

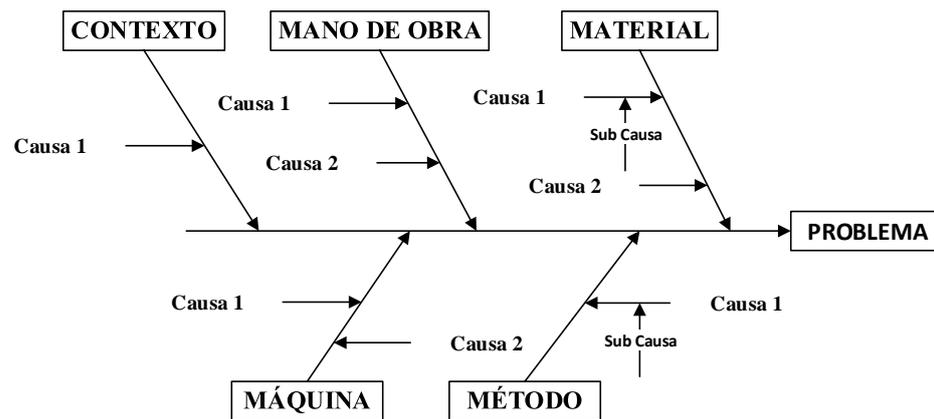


Figura 1. Esquema del diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración Propia

- Máquina: Se estudió cada electrobomba utilizada y su funcionamiento, método de trabajo y programación.
- Método: Se orientó en analizar porque las cosas no salen bien y en buscar formas de mejora constante.
- Materiales: Se estudió los componentes y sus condiciones.
- Mano de Obra: Se determinaron las causas de falla por la mano de obra.
- Contexto: Se identifican casusas externas que limitan la operación del equipo.

Diagrama de Pareto: Es una técnica gráfica que clasifica las causas en orden de mayor a menor ocurrencia, facilitando un orden según sus prioridades, en donde podemos identificar las causas vitales y causas triviales. Izar y Gonzáles (2004).

La figura 2 nos muestra las causas a solucionar que son las pocas vitales encontrándose al lado izquierdo de la intersección entre el 80% de la frecuencia acumulada.

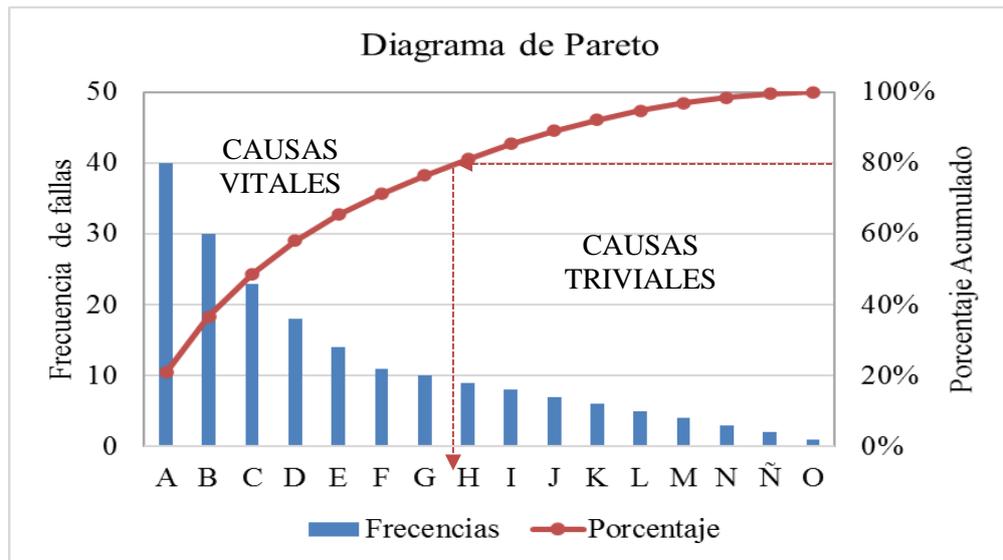


Figura 2. Esquema del Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración Propia

2. Estrategias de Mantenimiento

Con la Tabla 4 Clasificamos a las paradas de electrobombas Flygt 2400 según su origen por estrategias preventivas, estrategias correctivas y estrategias predictivas.

Tabla 4. *Clasificación de Paradas*

Tipo de Parada	Nº de Paradas
Total de Paradas	

Fuente: Elaboración propia

Tareas con estrategias correctivas: Son tareas que se han ejecutado de forma no programada debido a fallos repentinos Pistarelli (2017).

Para calcular el porcentaje de tareas correctivas se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Tareas con Estrategias Correctivas} = \frac{\text{Nº Tareas con Estrategias Correctivas}}{\text{Nº Total de Tareas}} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de Tareas con Estrategias Correctivas

Tareas con estrategias preventivas: Son tareas que se han ejecutado de forma programada para el cambio de componentes a intervalos fijos Pistarelli (2017).

Para calcular el porcentaje de tareas preventivas se utiliza la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de Tareas con Estrategias Preventivas} \\ & = \frac{N^{\circ} \text{ Tareas con Estrategias Preventivas}}{N^{\circ} \text{ Total de Tareas}} \times 100 \end{aligned}$$

Ecuación 2. Porcentaje de Tareas con Estrategias Preventivas

Tareas con estrategias predictivas: Son tareas que se han ejecutado de forma programada principalmente para el monitoreo de condiciones Pistarelli (2017).

Para calcular el porcentaje de tareas predictivas se utiliza la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de Tareas con Estrategias Predictivas} \\ & = \frac{N^{\circ} \text{ Tareas con Estrategias Predictivas}}{N^{\circ} \text{ Total de Tareas}} \times 100 \end{aligned}$$

Ecuación 3. Porcentaje de Tareas con Estrategias Predictivas

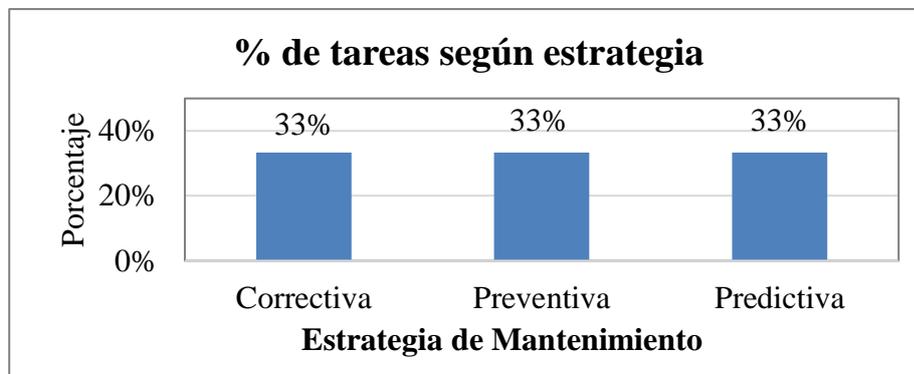


Figura 3. Tipos de Paradas

Fuente: Elaboración Propia

La figura 3 nos permitió identificar la proporción que hay entre tareas según su tipo de estrategia, ya sea correctiva, preventiva o predictiva; dándonos una idea muy general de la gestión de mantenimiento.

- Indicadores claves de Desempeño:** Se consideró analizar la disponibilidad, Tiempo medio entre fallas (MTBF) y Tiempo medio para Reparar (MTTR);

porque estos indicadores son los más significativos para el análisis de mantenimiento Díaz (2016).

Una vez analizadas las diferentes paradas y los tiempos de reparación, se calcularon los indicadores de mantenimiento con las ecuaciones 4, 5 y 6.

- **MTBF (Tiempo Promedio Entre Fallas):**

$$MTBF = \frac{\sum(N^\circ \text{ de horas de operación})}{\sum(N^\circ \text{ de paradas correctivas})}$$

Ecuación 4. Tiempo Promedio Entre Fallas

- **MTTR (Tiempo Promedio Para Reparar):**

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

Ecuación 5. Tiempo Promedio Para Reparar

- **Disponibilidad (Ao)**

La disponibilidad es de utilidad en el control de los mantenimientos correctivos (Mora, 2009).

$$Ao = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Ecuación 6. Disponibilidad Operativa

B. Diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM.

Se utilizó la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), pues es necesario nos centramos en mejorar la disponibilidad que va de la mano con la eficiencia. Así como recomienda Johnston (2018), que las bombas de drenaje necesitan estrategias de mantenimiento específicas, esto porque son distintas a los equipos que puedan encontrarse en una línea de ensamblado automotor, planta de procesos o en el sector de alimentos.

TPM: El Mantenimiento Productivo Total es parte de la mejora continua, lleva a la empresa a la excelencia y tiene como base a las 5S. Se enfoca en disminuir paradas correctivas y aumentar paradas preventivas y predictivas. Así que, conocer el MTTR y MTBF, son fundamentales para que funcione el TPM. El TPM es el resultado de la implantación de diferentes clases de mantenimiento correctivo, preventivo y productivo evolucionando en la filosofía de la mejora continua Kaizen, donde cada etapa se caracteriza por tener su enfoque propio para el desarrollo de la siguiente. Luis Cuatrecasas Arbós y Francesca Torrell Martínez (2010).

Para el diseño de las estrategias de mantenimiento se siguieron los siguientes pasos basados en los pilares del TPM:

En el Paso 1, se definen las políticas del área de mantenimiento alineadas a los objetivos de la empresa.

Establecer un Equipo de trabajo: Conformado con profesionales multidisciplinarios quienes son los que lideran la implementación, comprometidos con su rol en el plan de acción de mantenimiento y con autonomía de toma de decisiones.

Tabla 5. *Equipo de trabajo para implementar estrategias de mantenimiento*

Cargo	Descripción de puesto

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 nos permite designar a los integrantes del equipo que lidera la implementación de las estrategias con la metodología TPM.

Implementación de la metodología de las 5S: Su implementación se enfoca en mejorar las condiciones de trabajo, de seguridad, clima laboral, motivación personal y aumentar la eficiencia. En consecuencia, se busca incrementar la calidad, productividad y competitividad de la empresa. Villena (2017).

Tabla 6. *Principios de las 5S*

<i>Seiri:</i> (Clasificación)	Eliminación de la suciedad y las cosas inútiles, las cosas útiles clasificarlas según la necesidad o frecuencia de uso, para generar más espacio disponible en el lugar de trabajo del drenaje mina.
<i>Seiton</i> (Orden)	Organización del lugar de trabajo de forma eficaz, agrupando las cosas u objetos por tamaño, color, tipo y/o por orden alfabético a los archivos y documentos., asigna y nombra un lugar para cada cosa.
<i>Seiso</i> (Limpieza)	Limpieza más minuciosa de los lugares y facilitar la detección de condiciones inseguras en las inspecciones.
<i>Seiketsu:</i> (Aseo)	Sistematización de las operaciones, estableciendo estándares en el lugar de trabajo para prevenir la aparición de la suciedad y desorden.
<i>Shitsuke</i> (Disciplina)	Disciplina en la ejecución de las operaciones y en el mantener el orden u la limpieza. Todos los miembros del lugar de trabajo deben cumplir las normas establecidas y adopten los principios básicos como hábitos en su forma de ser, los supervisores o jefaturas serán los facilitadores o guías para garantizar el estado de orden y limpieza general.

Fuente: Adolfo Arata Andreani y Luciano Furlanetto (2005).

Los principios de las 5S hacen mención a escritos en japonés, como lo detallamos en la Tabla 6.

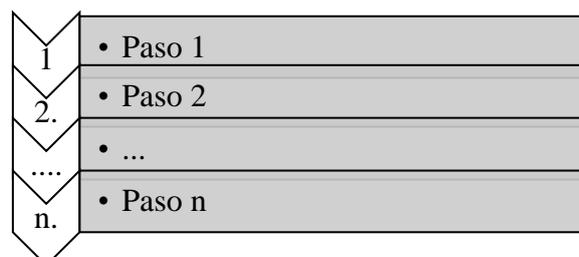


Figura 4. Pasos para la Implementación de las 5S

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 4 se definió el formato para determinar los pasos a seguir para la implementación de las 5S, siguiendo los principios detallados en la tabla 5.

Implementación de Metodología Kaizen (Mejora continua): la implementación de la metodología Kaizen en el Mantenimiento Preventivo Total (TPM) se enfoca principalmente en la mejora continua de los equipos de producción, con el objetivo principal de reducir paradas no programadas, defectos y accidentes. Villena (2017).

Tabla 7. *Pasos para Implementar la Metodología Kaizen*

Paso	Descripción

Fuente: Adolfo Arata Andreani y Luciano Furlanetto (2005).

Los pasos para la aplicación de la Metodología Kaizen los resumimos en la tabla 7.

Plan de entrenamiento del personal: es indispensable la capacitación al personal especialista, tanto en labores técnicas como administrativas, el plan de entrenamiento del personal se enfoca en una capacitación permanente del personal tanto en el propio lugar de trabajo, comúnmente denominado al pie de la máquina, o capacitación externa, teniendo en consideración el talento humano. A demás la enseñanza tiene que ser motivadora por parte del instructor así se eleva el nivel de conocimientos del personal, reduciendo así las fallas humanas. Pistarelli (2017).

Tabla 8. *Plan de entrenamiento al personal de mantenimiento*

Tipos	Clasificación	Finalidad	Medios
XXXX			

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se desarrollará el plan de entrenamiento al personal según el las necesidades del personal de la empresa minera.

En el Paso 2, se definen mejoras enfocadas en base al análisis causa-efecto, priorizando los modos de falla más recurrentes y que impactan más en la disponibilidad.

Mejora enfocada: La mejora enfocada da solución a los modos de falla más recurrentes que se definen en la sección ‘Diagnostico de la Situación Actual’. Para cada mejora enfocada se define una propuesta de cambio de material, repuesto y/o elemento específico.

Tabla 9. *Propiedades del Elemento propuesto*

Propiedad	Valores Propuestos	Elemento Propuesto
XXX	XX	XX

Fuente: Elaboración Propia

Se diseñó la Tabla 9 donde describimos las propiedades y los valores mínimos requeridos de cada repuesto y/o elemento para el uso en la electrobomba Flygt 2400.

Las propiedades y valores definidos en la Tabla 9 para cada mejora enfocada, se basaron en investigaciones y estudios previos los que serán descritos en el capítulo de resultados.

En el Paso 3, se diseñaron formatos de reporte de fallas, check list de inspecciones programadas y check list de control de calidad de reparaciones.

LOGO DE EMPRESA	REPORTE DE FALLA DE ELECTROBOMBAS FLYGT		Código: Página 1 de 1 Versión: 0 Fecha: xx de xxx	
ÁREA				
1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO				
2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA				
3. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO SUMERGIBLE:				
4. HOJA DE INSTALACIÓN				
HOJA DE INSTALACION				POZO NRO:
DATOS DEL POZO				
ACCESORIOS EN DESCARGA				
5. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO EN EL MOMENTO DE LA FALLA:				
6. COMPONENTES DAÑADOS				
CANTIDAD		INSPECCION VISUAL		
7. CAUSA DE FALLA:				
8. REGISTRO FOTOGRÁFICO				
Inserte foto aquí				
Detalle	Elaborado	Revisado	Control	Aprobado
Nombres y Ap.				
Cargo				
Fecha				
Firma				

Figura 5. *Formato de Reporte de Falla*

Fuente: Elaboración Propia

Se diseñó el reporte de fallas, mostrada en la figura 5, para las electrobombas Flygt 2400 donde consideramos toda la información antes y después de la falla, pues esto nos permite recolectar información para futuros análisis.

LOGO DE EMPRESA		CHECK LIST DE INPECCIÓN DE ELECTROBOMBAS FLYGT 2400		
Información Equipo				
Tipo Equipo:	- Motor <input type="checkbox"/>	- Bomba <input type="checkbox"/>	- Electrobomba <input type="checkbox"/>	
Marca:		Modelo:		
# Serie Equipo:				
Lugar de inspección / Destino :				
Fecha / hora :				
Responsables				
Pruebas Mecánicas				
Pruebas Eléctricas				
Inspeccion Visual				
	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica	
	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica	
Otras Observaciones:				

Figura 6. *Check List de Inspección*

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 6, se diseñó el check list de inspecciones a realizar semanalmente. Este check nos permite describir el estado de operatividad del equipo e identificar posibles síntomas de falla antes de que se conviertan en una falla en sí.

		CONTROL DE CALIDAD DE ELECTROBOMBAS FLYGT 2400						Código: xxx	
								Versión/Fecha: xx/xx/xx	
BOMBA: _____		SERIAL: _____		POTENCIA: _____		ALAVES: _____			
MODELO: _____		GPM: _____		TDH: _____		MECANICO: _____			
PLANO 1	DIFUSOR x	DIFUSOR 3	IMPULSOR 1	IMPULSOR 2	VOLUTA	DESCARGA			
	x	x	x	x	x	x			
	x	x	x	x	x	x			
	x	x	x	x	x	x			
Observaciones:									
PLANO 2	EJE		JUEGO EXIAL DE EJE:						
	x							
	x								
FIRMAS _____									
xxx			xxx			xxx			

Figura 7. *Formato de Control de Calidad*

Fuente: Elaboración Propia

Se diseñó el formato de control de calidad en la figura 7, para el proceso de reparación de las electrobombas Flygt, considerando medidas y tolerancias de los componentes internos.

CHEK LIST DE REPARACIÓN ELECTROBOMBAS FLYGT 2400					
DATOS GENERALES					
Técnicos:		Equipo		ORIGEN	
				GIRO	TRABADO
Fecha:		INSPECCION			LIBRE
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO					
Bobinas	Aislamiento	Indice Polaridad	Resistencia Entre bobinas	Resistencia Termocontacto	Resistencia de PT100
Observaciones:					
REALIZADO POR:			RECIBIDO POR:		
INSPECCIÓN MECÁNICA					
Componentes	BUENOS		DESGASTE	Observaciones	
Observaciones:					
REALIZADO POR:			RECIBIDO POR:		
Nombre:			Nombre:		
Cargo:			Cargo:		
Firma:			Firma:		

Figura 8. Check List de Reparación

Fuente: Elaboración Propia

La figura 8 muestra el check list que se usa luego de cada reparación y sirve para dar operativo a la electrobomba Flygt 2400 antes de salir a operar.

En el Paso 4, definimos un procedimiento estándar de trabajo, teniendo como base realizar tareas de forma segura, eficiente, que respete el medio ambiente.

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE TRABAJO			
TAREA	:	MANTENIMIENTO DE ELECTROBOMBAS FLYGT 2400	
Función	:		
Cargo	:		
Departamento	:		
Pre-Requisito de Competencia:		Referencias Relacionadas:	
N°	PASO (QUE)	EXPLICACION (COMO)	
1	Equipos de protección personal		
2	Precauciones de seguridad		
3	Materiales y herramientas		
4	Ejecución de la Tarea por Pasos		
<i>Trabajador Observado:</i>			<i>Fecha:</i>
<i>Competencia verificada por:</i>			<i>Fecha:</i>
Preparado por:	Revisado por:	Revisado por:	Aprobado por:

Figura 9. Procedimiento Estándar de Trabajo

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 9 se diseñó el procedimiento estándar de trabajo considerando lineamientos de calidad, seguridad y cuidado del medio ambiente.

En el Paso 5, definimos planes de mantenimiento preventivo y predictivo.

Actividad	Frecuencia	Condición del Equipo		Duración (Horas)	Tipo de tarea
		Prendido	Apagado		

Figura 10. Plan de Mantenimiento Preventivo y predictivo

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 10 se diseñó el formato para el plan de mantenimiento preventivo y predictivo considerando la actividad a realizar, la frecuencia a llevarse a cabo, la duración en horas y el estado del equipo si está apagado o prendido.

C. Evaluación técnica de la propuesta

Se realizó comparaciones del porcentaje (%) de actividades correctivas, preventivas y predictivas y los indicadores de mantenimiento (MTTR, MTBF y Ao).

Tabla 10. *Comparación de indicadores de mantenimiento*

Antes (Situación Actual)	Después (Propuesta)
% de tareas preventivas	% de tareas preventivas
% de tareas predictivas	% de tareas predictivas
% de tareas correctivas	% de tareas correctivas
N° de paradas	N° de paradas
Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)
Tiempo promedio para reparar (MTTR)	Tiempo promedio para reparar (MTTR)
Disponibilidad (Ao)	Disponibilidad (Ao)

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 10, nos permitió hacer una comparación de indicadores de mantenimiento antes y después del diseño de las Estrategias, para determinar el incremento de la disponibilidad.

D. Evaluación económica de la propuesta

Se realizó mediante los indicadores financieros WACC (Costo promedio de capital), VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno).

- **WACC:** Para determinar la ponderación de los costos de cada una de las fuentes de capital

$$WACC = Kc \frac{C}{(C + D)} + Kd(1 - T) \frac{D}{(C + D)}$$

Ecuación 7. Costo Promedio de Capital

Donde:

Kc: Coste de fondos propios

Kd: Coste de deuda financiera

C: Fondos propios

D: Deuda financiera

T: Tasa impositiva

- **VAN:** Para determinar la rentabilidad del proyecto después de recuperar la inversión inicial.

$$VAN = \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n} - I$$

Ecuación 8. Valor Actual Neto

Donde:

BN_i: Beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo.

I: Inversión inicial

i: Tasa de descuento (costo de oportunidad de capital)

- **TIR:** Para definir la rentabilidad del proyecto en términos porcentuales. Es aquella tasa de descuento que hace el VAN igual a cero.

$$VAN = \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n} - I = 0$$

$$\frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n} = I$$

Ecuación 9. Tasa Interna de Retorno

2.3. Procedimiento de análisis de datos

Realizamos el análisis de datos obtenidos de las electrobombas Flygt 2400 según la matriz de las técnicas e instrumentos indicados en la Tabla 2, considerando además la lista de verificación de la Tabla 3.

En la tabla 11 detallamos los pasos a seguir para el procedimiento de recolección y análisis de datos y con la información recolectada diseñar las estrategias de mantenimiento para los modos de falla más recurrentes.

Tabla 11. *Procedimiento de recolección y análisis de datos*

Pasos	Detalle
Trabajo de gabinete previo	<p>Definimos nuestra población y muestra:</p> <p>Población y muestra: 31 electrobombas Flygt 2400 del área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca.</p>
Trabajo de Campo	<p>Se levantó información de bases de datos que administra el Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) de la empresa minera, y datos de fichas técnicas del equipo para la elaboración de la ficha resumen. Los datos levantados fueron:</p> <ol style="list-style-type: none"> Información de paradas y tiempo de reparación de todos los equipos en el área de drenaje de la empresa minera en estudio. Información de paradas y tiempo de reparación de las electrobombas Flygt 2400. Se ordenó y clasificó los modos de falla de las electrobombas Flygt 2400 en el área de drenaje. Se categorizó las paradas por tipo de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo.
Trabajo de Gabinete Final	<ul style="list-style-type: none"> - Con la información en 'a' determinamos que las electrobombas Flygt son las que tienen mayor impacto en la disponibilidad y por ende en los costos de mantenimiento. - Con la información en 'b y c' y utilizando el diagrama de Ishikawa, determinamos las causas principales del problema en estudio. - Con la información en b, determinamos los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) actuales tales como disponibilidad, MTTR y MTBF, con las ecuaciones 4, 5 y 6. - Con la información en 'd' se analizó el porcentaje de tareas preventivas, predictivas y correctivas con las ecuaciones 1,2 y 3.

-
- Con la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), diseñamos las estrategias de mantenimiento en 5 pasos: Políticas: Alineadas a las 5S, entrenamiento del personal y Kaizen, Mejoras enfocadas: En base al análisis causa efecto, Formatos Estandarizados de Reporte de Fallas e inspecciones programadas, Procedimiento Estándar de Trabajo: Para realizar tareas de forma segura, eficiente y que respete el medio ambiente y Planificación del Mantenimiento: Preventivo y Predictivo.
 - Comparamos el antes y después de implementada las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM, definiendo la viabilidad técnica de la implementación.
 - Calculamos la viabilidad económica de la investigación con las Ecuaciones 7,8 y 9.

Fuente: Elaboración Propia

2.4. Aspectos éticos

El desarrollo de esta investigación se ajustó a los más altos principios éticos los cuales se mencionan a continuación:

- Se protegió la identidad de los sujetos de estudio.
- La información obtenida no será difundida y será utilizada solo con fines académicos
- La investigación es original y no es un plagio.
- Los datos, ideas y planteamientos de otros autores e investigadores utilizados en este trabajo fueron debidamente citados respetando los derechos intelectuales.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico de la situación actual.

La empresa minera en estudio no dispone de planes estructurados en cuanto se refiere al mantenimiento de sus equipos de bombeo, según lo analizado en el historial de fallas de los equipos de bombeo del 2019 (ver anexo 2). Las 31 electrobombas Flygt 2400, son las que tienen más número de paradas no programadas, debido a que son las que más se utilizan, lo que ocasiona la baja disponibilidad de estos equipos y por consiguiente costos elevados de mantenimiento. Es por ello la necesidad de diseñar estrategias de mantenimiento con la metodología TPM adecuadas y específicas para este equipo de bombeo en especial.

La electrobomba Flygt 2400 es una bomba muy robusta adecuada para utilizarse en todos los lugares en los que se precise una gran altura de elevación, ideal para utilizarse en minería, principalmente para bombear líquidos altamente abrasivos. Xylem (2011).

Las características de bombeo de las electrobombas Flygt 2400, son:

- Temperatura Máxima de Rodamientos: 110°C
- Tipo de sello mecánico: Carburo de tungsteno
- Temperatura del líquido: Máx. 40° C (105° F).
- Densidad del líquido: Máx. 1.100 kg/m³.
- Valor pH del líquido: 4-10.
- Agujeros del colador (10 x 10 mm, 0.4" x 0.4") las impurezas equivalentes a este tamaño pueden pasar por la bomba.
- Profundidad de inmersión: máx. 75 m (250 ft).
- Potencia: 104 kW (140 HP)
- Velocidad: 3570 rpm
- Tensión 460V y corriente nominal: 150 Amperios

- Peso, sin el cable del motor = 985 kg
- Diámetro de descarga: 100 mm

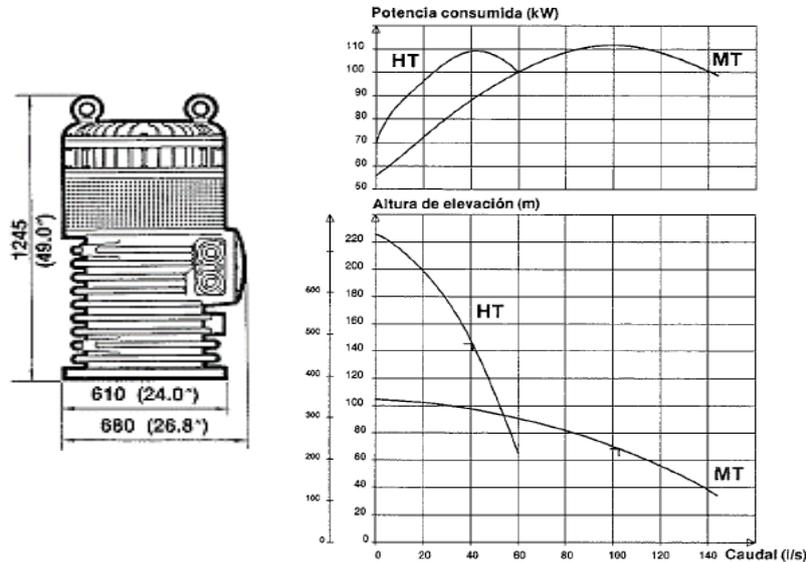


Figura 11. Curva de Operación de Electrobomba Flygt 2400

Fuente: Xylem (2011).

La figura 11 muestra las dimensiones de la electrobomba Flygt 2400 en milímetros y su curva de operación en donde encontramos el caudal de fluido que puede bombear a diferentes alturas.

La empresa que fabrica la electrobomba Flygt 2400 es Xylem Water Solution del país de Suecia, con filial en Perú. Xylem recomienda que se realice un plan de mantenimiento adecuado para evitar los altos costos de reparación. Entre estas recomendaciones tenemos: que los equipos Flygt 2400 solo deben ser intervenidos y/o reparados por personal autorizado y utilizar repuestos originales. Conocer las condiciones de operación a la cual trabaja la bomba como aplicación, altura estática, pH del fluido, longitud de tramo y diámetro de la tubería. Además, sugiere instalar accesorios de protección en el sistema de bombeo para evitar que se produzca el fenómeno de cavitación por efecto del NPSHr (Net positive suction head). Xylem, (2011). Así, la falta de un plan de mantenimiento específico para las electrobombas Flygt 2400, se ve reflejado en el alto número de paradas anuales afectando su disponibilidad.

3.1.1. Análisis Causa-Efecto: Diagrama de Ishikawa

Se realizó una lluvia de ideas del porqué de cada parada, y como resultado determinamos las causas probables de las fallas de la electrobomba Flygt 2400 y para el análisis causa-efecto se utilizó el diagrama de Ishikawa, permitiendo determinar las causas de los problemas que afectan la disponibilidad de la electrobomba Flygt 2400. Basándonos en lo que dice Pistarelli (2017) para nuestro estudio hemos incluido el factor 'contexto' a la categoría 'A', para considerar las causas externas que condicionan la operación de las electrobombas Flygt 2400.

Con los datos del Anexo 3, realizamos el análisis de causa-efecto en el diagrama de Ishikawa, tal como mostramos en la figura 12, donde analizamos los factores Máquina, Método, Materiales, Mano de Obra y Contexto; así, identificamos las causas principales de la baja disponibilidad de la electrobomba Flygt 2400. Además, en las causas relevantes se han considerado sub causas, para hacer más específico el análisis.

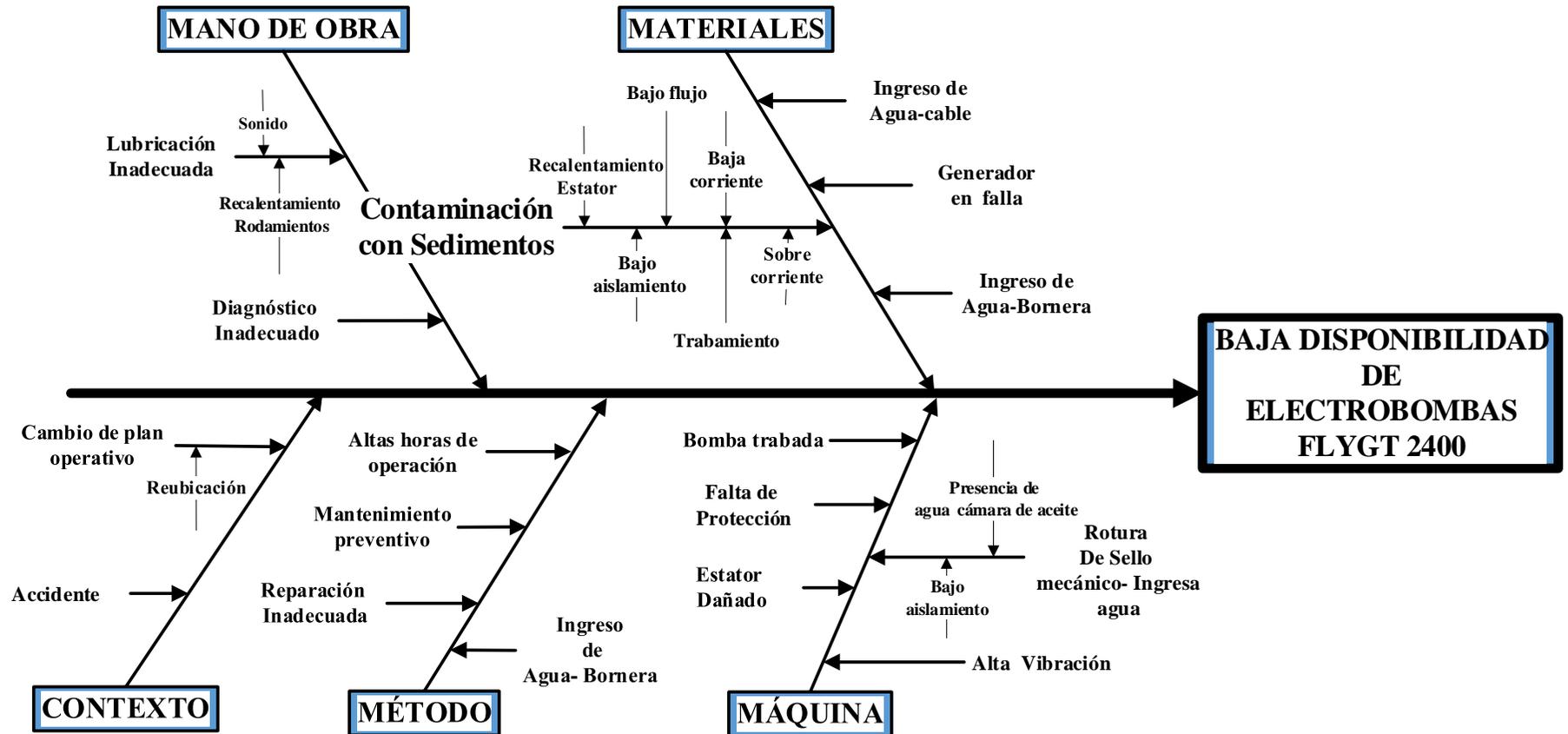


Figura 12. Diagrama de Ishikawa de la baja disponibilidad de Electrobombas Flygt 2400

Fuente: Elaboración Propia

Las causas de la baja disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400, se detallan a continuación:

Máquina: Se enfoca en todas las electrobombas Flygt 2400 con las que cuenta el área de drenaje de la empresa minera, se tomaron en cuenta las siguientes interrogantes: ¿La capacidad que tiene es competente para cumplir su función? ¿Es eficiente? ¿Cómo es su manejo? ¿Se encuentran repuestos? ¿Es apropiado el mantenimiento?

- **Rotura de sello mecánico-Ingresa agua:** Este es uno de los modos de falla que más afecta la disponibilidad de la electrobomba, llegando a sumar un total de 43 paradas y representa el 19% del total.



Figura 13. Rotura de Sello Mecánico con presencia de Sedimentos

Fuente: El Autor

La figura 13, muestra la rotura de sello mecánico con presencia de partículas de sedimentos, su cambio se ha realizado a las 3,795 horas debiendo durar 15,400 horas.

Se identificó que el sello mecánico utilizado actualmente es de material Carburo de tungsteno, el cual según Electric (2014) no es el adecuado para operar en condiciones muy agresivas, es decir rozamiento sin lubricación y con pH menor a 3.

Para ello se elaboró la Tabla 12 con las características del sello mecánico que se utiliza actualmente en las electrobombas Flygt 2400.

Tabla 12. *Propiedades del sello mecánico de las Electrobombas Flygt*

Propiedad	Carburo de Tungsteno
Densidad (gr/cm ³)	14
Dureza [HV3]	1300
Rigidez [GPa]	600
Resistencia a la flexión [MPa]	2600
Condición Termal [W/mK]	100
Límite de pH [pH]	3-14

Fuente Xylem, 2011

Así observamos que la dureza del sello mecánico actual no es el adecuado, es por ello que la electrobomba Flygt presenta muchas fallas de este tipo.



Figura 14. Se encuentra agua en la cámara de aceite

Fuente: El Autor

La figura 14, nos muestra la presencia de agua en cámara de aceite, generando bajo aislamiento y ocasionando una parada inmediata.

- **Falta de protección:** La electrobomba Flygt 2400, cuenta con protección de corriente y temperatura. El consumo de corriente se programa para evitar que la electrobomba exceda los 165 A (sobre corriente) ó por el contrario tampoco baje el consumo de 125 A (baja corriente). Para medir la temperatura, cuenta con sensores llamados termo contacto (protección por temperatura en las bobinas) y un sensor de temperatura resistivo (RTD) en los rodamientos. La temperatura máxima seteada es 100 °C tanto para el

termo contacto y el sensor de temperatura resistivo (RTD). En tanto si la electrobomba no cuenta con el seteo adecuado o estos sensores están malogrados, éstos no medirán la temperatura correcta, generando que la electrobomba llegue a quemarse.



Figura 15. Identificación de Electro bomba sin protección de temperatura

Fuente: El Autor

En la figura 15, se observa que la electrobomba Flygt 2400 presenta falla del termocontacto, esto debido a que la temperatura de la operación de la electrobomba ha llegado a 110°C.

- **Estator dañado:** la causa más común que origina la falla es el bajo aislamiento en la bobina del motor. El estator es el corazón d la electrobomba y debe durar 5 años en la operación (40,000 horas), sin embargo, se identifica que actualmente están durando 9,120 horas, muy por debajo de lo que indica el manual.



Figura 16. Estator quemado

Fuente: El Autor

La Figura 16 muestra un estator dañado, se encuentra corto circuitado (ha hecho cortocircuito) por cruce de fases. El núcleo magnético presenta corte en zona inferior. Lo cual requiere el cambio de este componente para asegurar su operatividad.

- **Bomba Trabada:** Se da principalmente porque el impulsor que gira junto al eje rotor se asienta en una parte fija de la electrobomba, esto se debe por paradas bruscas, o al no cumplirse o respetarse las tolerancias en el armado.



Figura 17. Rotura de Sello Mecánico con presencia de Sedimentos

Fuente: El Autor

En la figura 17 se observa el impulsor de la electrobomba pegado al difusor por las causas antes mencionadas.

- **Alta Vibración:** se manifiesta con sonido que puede ser percibido a distancia. Esto genera desgaste de las partes internas de la electrobomba.

Método: Cuando el área usuaria utiliza la electrobomba Flygt 2400 en lugares o medios para los cuales no se ha diseñado, no se cumplen los planes de manteniendo o no existen tales planes.

- **Altas horas de operación:** el exceso de horas de trabajo provoca en el equipo de bombeo varias fallas como, bajo aislamiento, recalentamiento del estator, bajo flujo y falla por termo contacto, esto por no tener un plan

preventivo adecuado ni monitoreo de condiciones. Como podemos apreciar en la figura 18, la electrobomba Flygt presenta sedimentos pegados en toda su superficie de lo que ha ocasionado que no pueda succionar el agua y genere recalentamiento y desgaste de sus piezas móviles.



Figura 18. Electro bomba Flygt con altas horas de operación

Fuente: El Autor

- **Mantenimiento Preventivo:** Se desísta la bomba para su mantenimiento preventivo luego de 7200 horas de trabajo, mientras tanto la operación en la poza de donde proviene se encuentra inoperativa por el tiempo que duré su mantenimiento y su instalación.
- **Reparación Inadecuada:** Se da por que el personal técnico que repara la electrobomba no ha cumplido a cabalidad el procedimiento, sea por dar tolerancias inadecuadas o por utilizar materiales incorrectos.



Figura 19. Electro bomba Flygt para mantenimiento preventivo

Fuente: El Autor

En la figura 19 se identificó el ajuste inadecuado de una bosina de bronce

del sellado de la electobomba originando que este se suelte y genere trabamiento, así se identifica que es una falla por reparación inadecuada.

Materiales: agrupa a aquellas fallas referidas al uso de materiales inadecuados, no originales o no respetar las tolerancias para ensamblar las electrobombas Flygt 2400.

- Contaminación con sedimentos:
- Ingreso de Agua-cable:
- Generador en falla:
- Ingreso de Agua-Bornera: Como se aprecia en la figura 20, el ingreso de agua a los bornes ha ocasionado bajo aislamiento, los rodamientos presentan un leve desgaste en la pista externa.



Figura 20. Aceite mezclado con agua.

Fuente: El Autor

Mano de obra: Se refiere a la falla en la inspección de parte del recurso humano, en cuanto al aseguramiento de la calidad, calibración, condiciones de trabajo de los equipos de bombeo y determinación de los modos de falla de los mismos.

- **Diagnostico Inadecuado:** Cuando el personal técnico no identifica adecuadamente el síntoma de falla y hace parar al equipo sin alguna condición de falla válida. Esto hace que aumenten el número de paradas y suma al tiempo de reparación, disminuyendo así la disponibilidad.
- **Lubricación Inadecuada:** Se da por falta de lubricación o por el uso de

lubricante que no es adecuado para la operación del equipo. Para ello hemos realizado el análisis del lubricante que actualmente se utiliza.

Tabla 13. *Propiedades de la Grasa utilizada en la Electrobomba Flygt 2400*

Propiedad	Grasa Mobil Polyrex EM
Grado NLGI	2
Viscosidad del aceite base a 40° C, mm ² /s, AMS 1697	115
Viscosidad del aceite base a 100° C, mm ² /s, AMS 1700	12,2
Punto de goteo, °C, ASTM D2265	260
Pérdida de lavado con agua @ 79 C, % en peso, ASTM D1264	1,9

Fuente: Mobil Internacional

En la Tabla 13 mostramos las características de la grasa utilizada actualmente en los rodamientos de la electrobomba Flygt.

Tabla 14. *Clasificación de Lubricantes según su Viscosidad.*

Grado de Viscosidad ISO	Clasificación	Uso
2-10	Viscosidad Baja	Hidráulicos
15-68	Viscosidad Moderada	Usos hidráulicos, bombas de combustible.
100-460	Viscosidad Media	Reductores, motores, electrobombas, engranajes
680-1500	Viscosidad Alta	Sistemas con altas Temperaturas

Fuente: Industrial (2018).

Según Industrial (2018) en la Tabla 14, la grasa adecuada para motores y electrobombas debe tener una viscosidad media es decir entre 100 y 460, identificando en la Tabla 13 que la grasa utilizada actualmente está en el límite inferior de este rango, por tanto, tiene mayor riesgo de falla que una grasa con este parámetro más elevado.

Además, Morales Zamora (2012), recomienda que para equipos que trabajan a 110° C se debe utilizar una grasa cuya viscosidad del aceite base sea 200. Es así que determinamos que la grasa utilizada actualmente, Mobil Polyrex EM, no es la adecuada para las electrobombas Flygt pues estas trabajan hasta 110°C.

Contexto: Esta categoría de fallas se refiere a paradas de las electrobombas Flygt 2400 por causas externas como mostramos en la figura 22 el accidente ocasionado en el cable de alimentación de una electrobomba Flygt 2400.



Figura 21. Accidente en cable de alimentación de electrobomba Flygt

Fuente: El Autor

3.1.2. Diagnóstico con Pareto

El diagrama de Pareto se inició haciendo un listado de las causas del problema principal, identificadas en el diagrama de Ishikawa. Se las agrupó y ordenó de mayor a menor según su ocurrencia, luego se calculó la frecuencia normalizada y la frecuencia acumulada. Así, el diagrama de Pareto nos permitió identificar las causas vitales que causan la baja disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400.

En la figura 22 se identifican las 16 causas determinadas en el diagrama de Ishikawa y se definió las causas vitales y causas triviales.

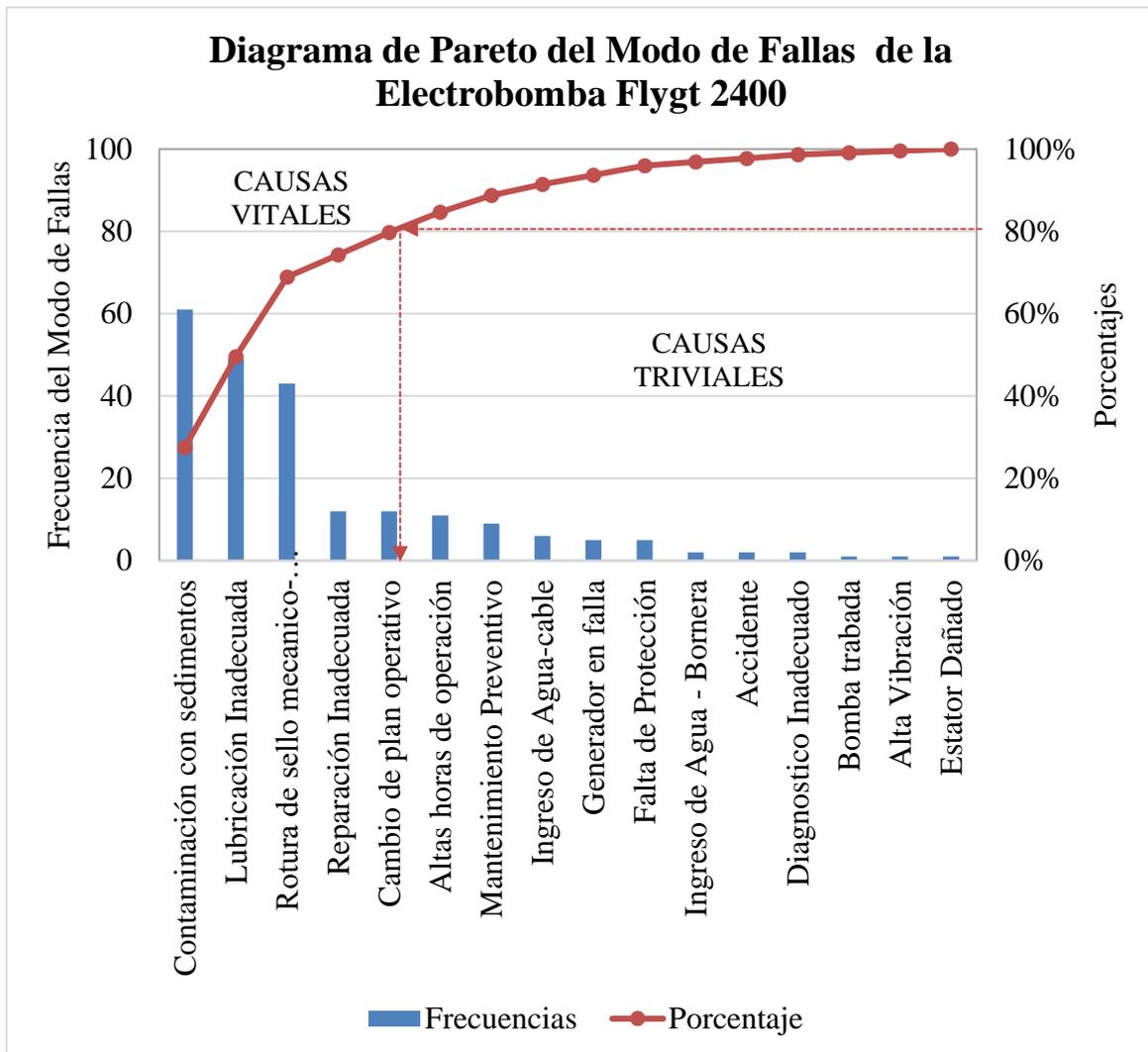


Figura 22. Diagrama de Pareto de Modos de Falla de Electro bombas Flygt

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 22 se aprecia que el 80% de los modos de falla representan las causas vitales y el 20% causas triviales. Entre las causas vitales están la Contaminación con sedimentos (27%), Lubricación Inadecuada (22%), Rotura de sello mecánico – Ingreso de agua (19%), Reparación inadecuada (5%), Cambio de plan operativo (5%); y dentro de las causas triviales se aprecia a las Altas horas de operación (5%), Mantenimiento preventivo (4%), Ingreso de agua-cable (2%), Generador en falla (2%), Falta de Protección (2%), Ingreso de agua-bornera (1%), entre otras que representan el 3.2%.

Para nuestro estudio hemos elegido cuatro causas vitales sobre las cuales se diseñaron las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM: Contaminación con sedimentos, Lubricación Inadecuada, Rotura de sello mecánico y Reparación Inadecuada.

3.1.3. Análisis de las Tareas de Mantenimiento

Entendidas las tareas de mantenimiento como la secuencia de actividades (Pascual, 2008) se analizó y clasificó las paradas según su origen: paradas preventivas, correctivas y predictivas.

En total se tienen 222 paradas de las electrobombas Flygt 2400, las cuales se muestran clasificadas en el anexo 4. Así, en la Tabla 15 observamos la cantidad de paradas por cada tipo, ya sean correctivas, preventivas y predictivas.

Tabla 15. *Resumen de Tipos de Paradas de Electrobombas Flygt*

Tipo de Parada	Nº de Paradas
Correctiva	191
Preventiva	21
Predictiva	10
Total de Paradas	222

Fuente: Elaboración Propia

i) **Paradas Correctivas (tareas correctivas):** Sabiendo que el porcentaje tareas preventivas es la cantidad de tareas correctivas sobre la totalidad de tareas se aplicó la ecuación 1.

$$\% \text{ Tareas Correctivas} = \frac{191 (\text{Tareas Correctivas})}{222 (\text{Tareas})} \times 100$$

$$\% \text{ Tareas Correctivas} = 86\%$$

ii) **Paradas Preventivas (tareas preventivas):** Calculamos el porcentaje de tareas preventivas con la ecuación 2

$$\% \text{ Tareas Preventivas} = \frac{21 (\text{Tareas Preventivas})}{222 (\text{Tareas})} \times 100$$

$$\% \text{ Tareas Preventivas} = 9\%$$

iii) **Paradas Predictivas (tareas predictivas):** Calculamos el porcentaje de tareas predictivas con la ecuación 3.

$$\% \text{ Tareas Predictivas} = \frac{10 (\text{Tareas Predictivas})}{222 (\text{Tareas})} \times 100$$

$$\% \text{ Tareas Predictivas} = 5\%$$

En la figura 23, observamos el alto porcentaje de paradas correctivas que asciende a 86%, mientras que las paradas preventivas y predictivas representan apenas el 9% y 5% respectivamente.

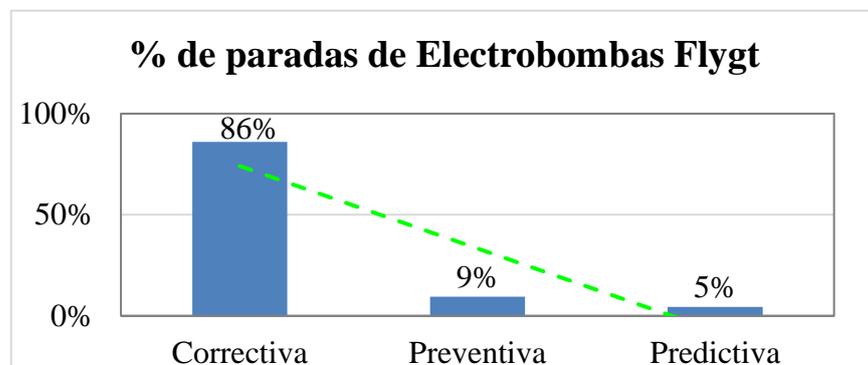


Figura 23. *Porcentaje de Paradas de Electrobombas Flygt*

Fuente: Elaboración Propia

3.1.4. Análisis de la Disponibilidad Actual

La Gerencia de Mantenimiento de la empresa en estudio ha establecido el target de la disponibilidad para los equipos de bombeo en el área de drenaje, la cual es del 90% de disponibilidad.

Considerando que las electrobombas Flygt 2400 trabajan las 24 horas/día por 30 días/mes, se obtuvo:

Horas de operación mensual por electrobomba: $24 \times 30 = 720$ horas

Horas de operación mensual de toda la flota: $720 \times 31 = 22,320$ horas

Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) de las electrobombas Flygt:

Con la ecuación 4 y el reporte de fallas y paradas de las electrobombas Flygt, calculamos el MTBF mensual durante el año 2019.

$$MTBF = \frac{22,320 \text{ h} - 3,135 \text{ h}}{20 \text{ paradas}} = \frac{19,185 \text{ h}}{20 \text{ paradas}}$$

$$MTBF = 959 \text{ h/parada}$$

De esta forma calculamos MTBF para todos los meses del año 2019, obteniendo los resultados en la figura 24.

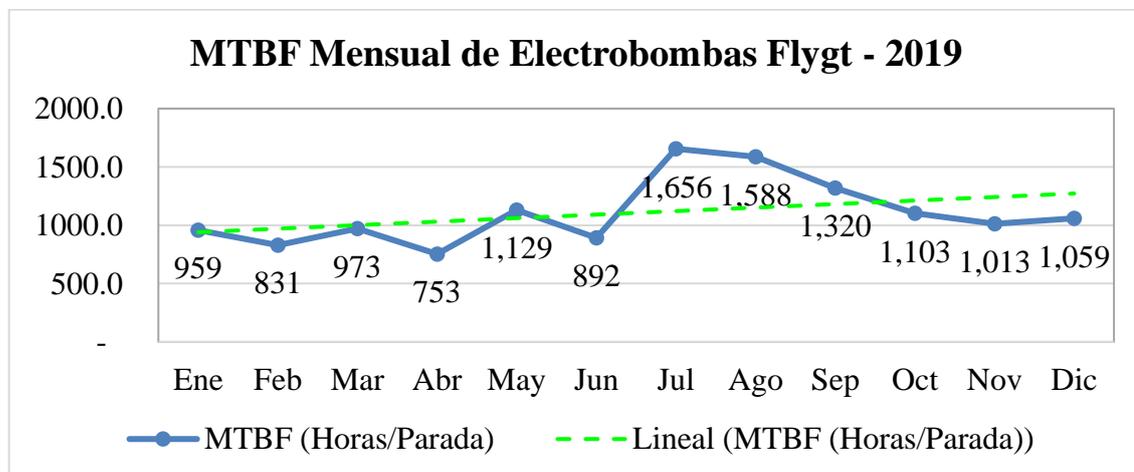


Figura 24. MTBF mensual de electrobombas Flygt 2400

Fuente: Elaboración Propia

La figura 24 nos muestra que el MTBF de las electrobombas Flygt 2400 varía desde 753 horas hasta 1,656 horas.

Tiempo Medio para Reparar (MTTR) de las electrobombas Flygt:

Calculamos el MTTR para cada mes con la ecuación 5.

$$MTTR = \frac{3,135 \text{ h}}{20 \text{ reparación}}$$

$$MTTR = 157 \text{ h/reparación}$$

De esta forma calculamos MTTR para todos los meses del año 2019, obteniendo los resultados en la figura 25.

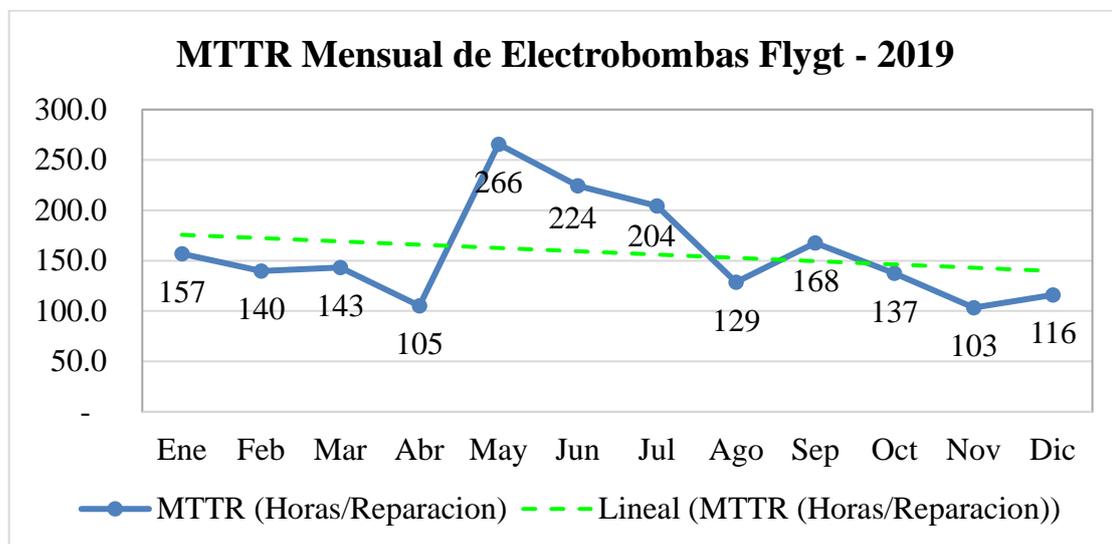


Figura 25. MTTR mensual de electrobombas Flygt 2400

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 25 observamos que el MTTR mensual tiene alta variación, desde 103 horas hasta 266 horas.

Disponibilidad de las electrobombas Flygt

Utilizando la ecuación 6, y con los datos de parada de equipos del Anexo 2, calculamos la disponibilidad mensual para las electrobombas Flygt 2400.

$$Ao = \frac{959}{959 + 157} \times 100$$

$$Ao = 86\%$$

Se calculó la disponibilidad para el mes de enero en 86%, y con el mismo procedimiento calculamos la disponibilidad (Ao) para todos los meses del año 2019, obteniendo los resultados en la figura 26.

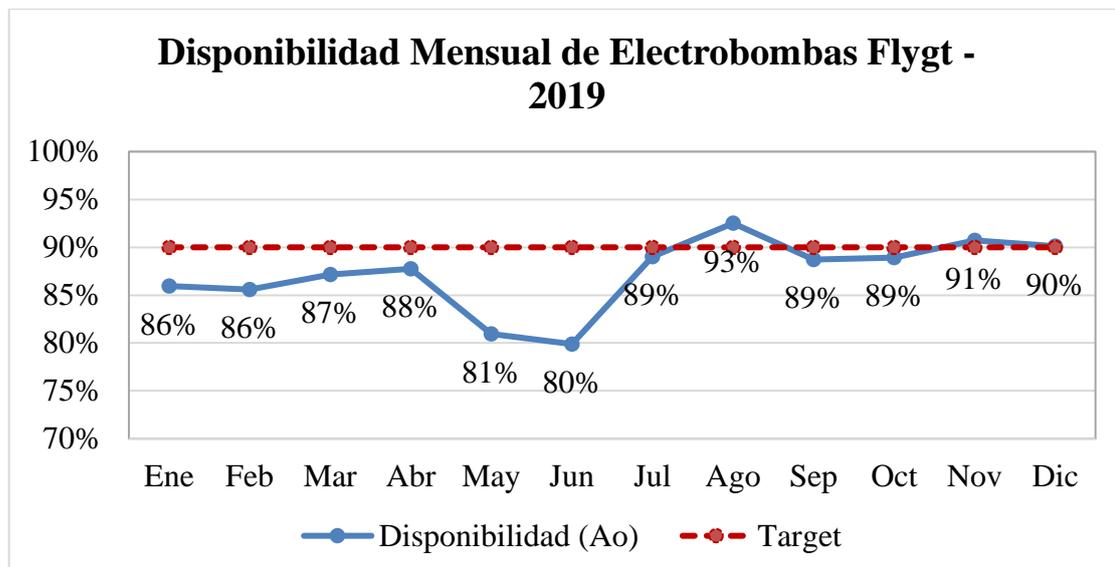


Figura 26. Disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 en el año 2019

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 26 se observa que la disponibilidad no ha cumplido el target de 90% durante nueve meses: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre y octubre; siendo la disponibilidad mínima en el mes de junio con sólo 80%, además la disponibilidad máxima se registra en el mes de agosto con 93%.

3.1.5. Resumen de Indicadores actuales

En la tabla 16, mostramos el resumen de los indicadores calculados: Tiempo medio entre Fallas (MTBF), Tiempo medio para Reparar (MTTR) y Disponibilidad (Ao), además calculamos la disponibilidad promedio anual en 87.3%, lo cual no cumple el target propuesto por la Gerencia de Mantenimiento.

Tabla 16. *Resumen de Indicadores Actuales*

	MTBF	MTTR	Disponibilidad (Ao)	Target
Ene	959	157	86.0%	90%
Feb	831	140	85.6%	90%
Mar	973	143	87.2%	90%
Abr	753	105	87.8%	90%
May	1,129	266	81.0%	90%
Jun	892	224	79.9%	90%
Jul	1,656	204	89.0%	90%
Ago	1,588	129	92.5%	90%
Sep	1,320	168	88.7%	90%
Oct	1,103	137	88.9%	90%
Nov	1,013	103	90.7%	90%
Dic	1,059	116	90.1%	90%
Promedio	1,106	158	87.3%	90%

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Propuesta de Estrategia de Mantenimiento con la metodología TPM.

Para el diseño de las estrategias de mantenimiento para las Electrobombas Flygt 2400 se utilizó la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), el cual procura disminuir las paradas correctivas y aumentar paradas preventivas y predictivas, con el fin de mejorar la disponibilidad.

Para nuestro estudio se definieron 5 pasos para implementar las estrategias:

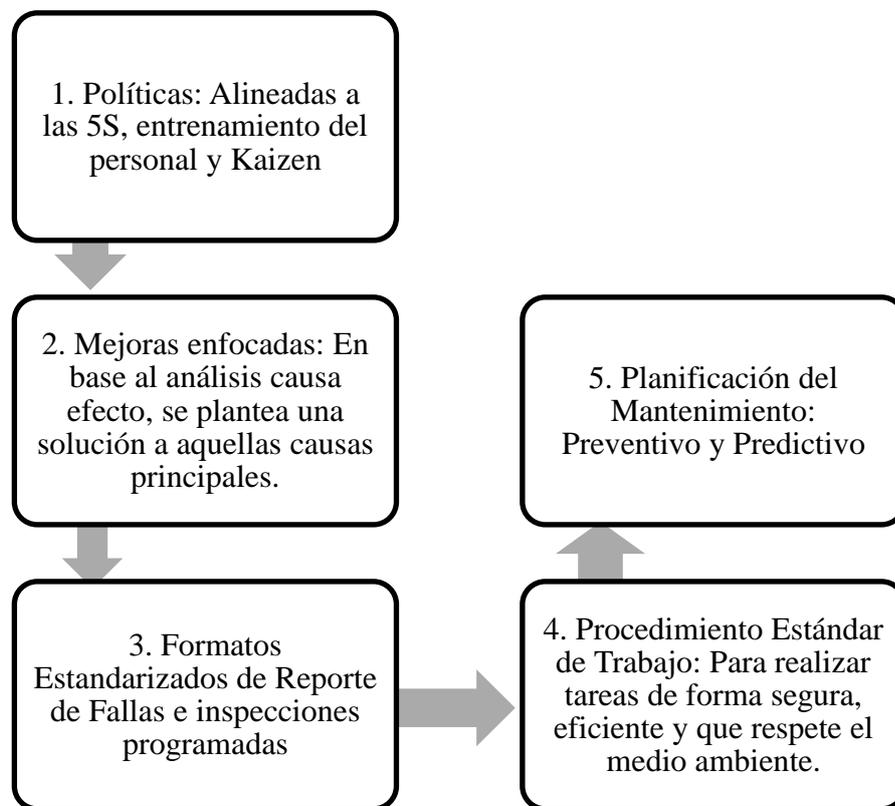


Figura 27. Pasos para implementar estrategias de Mantenimiento con la metodología TPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 27 se detallan los pasos a seguir para la implementación de las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM, que permiten obtener mejores resultados con respecto a la disponibilidad.

3.2.1. Políticas

La gerencia de mantenimiento decide implementar estrategias de mantenimiento basado en la metodología TPM alineado con los objetivos de la empresa.

Equipo de Trabajo: Se inició conformando un equipo de trabajo conformado por los integrantes del área de Mantenimiento de la empresa minera.

Tabla 17. Equipo de trabajo para implementar estrategias de mantenimiento

Cargo	Descripción de puesto
Presidente	Ingeniero especialista y conocedor del área de trabajo y del TPM. Es el líder encargado de dirigir el proceso de implementación de las estrategias de mantenimiento.
Secretario	Técnico/Ingeniero conocedor del área de trabajo.
Vocal 1	Especialista en mantenimiento.
Vocal 2	Asistente de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 17 muestra la conformación del equipo de trabajo, que es el encargado de difundir y dar a conocer la implementación de estrategias a todos los miembros de la empresa.

Este equipo de trabajo ha elaborado las políticas de mantenimiento, alineadas a los objetivos de la empresa minera y con base en las 5S, Kaizen y entrenamiento de personal. Las políticas definidas son:

- Mejorar la efectividad y disponibilidad global de los equipos, involucrando a todos los integrantes de la empresa, logrando que todo el personal se esfuerce en el logro de cero pérdidas y cero defectos.
- Formar equipos de trabajo altamente calificados y lograr trabajos de Calidad.
- Formar personal capaz y poli funcional, aplicando el plan de entrenamiento, para

conseguir la máxima participación en lograr los objetivos de la compañía.

- Lograr la participación de todos los trabajadores en las mejoras, mediante los círculos de Calidad.
- Mantener ambientes de trabajo agradables (cultura de las 5S), pensando siempre en la mejora continua (Kaizen).

Estas Políticas fueron difundidas en toda la empresa y a todos los trabajadores, utilizando medios visuales y audiovisuales en zonas estratégicas para lograr el máximo cumplimiento.

Implementación de 5S:

La implementación de las 5S es fundamental para lograr el Mantenimiento productivo total, según Sampieri (2017) no se podría implementar TPM sin previamente las 5S.

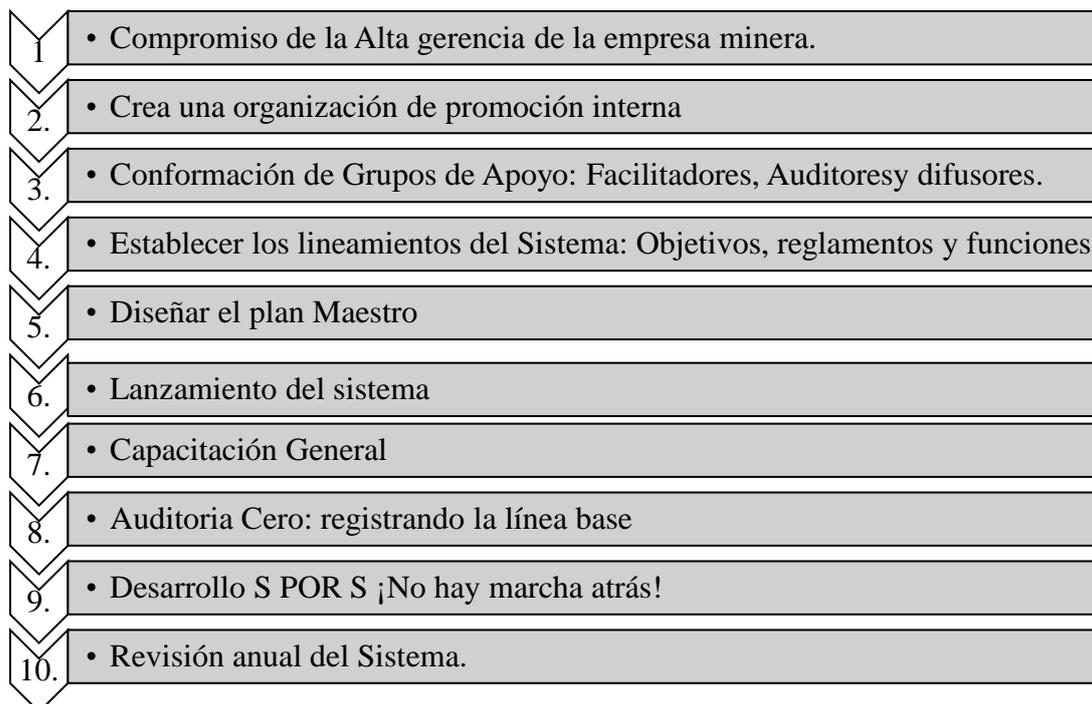


Figura 28. Pasos para implementar las 5S

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 28 hemos definido un procedimiento para la implementación de la metodología de las 5S, la cual permitirá que el lugar de trabajo esté bien organizado,

ordenado y limpio, a fin de mejorar la seguridad, productividad y eficiencia en la realización de las tareas de mantenimiento, así lograremos mejorar la disponibilidad y la productividad, pues se reduce el tiempo de acceso a los materiales, la visualización de los objetos, y mejora el entorno laboral. Jaume Aldavert, Eduard Vidal, Jordi Lorente J., Xavier Aldavert (2016).



Figura 29. Modelo de área de trabajo con 5S

Fuente: El Autor

En la figura 29 mostramos en modelo de cómo se vería el área de trabajo después de aplicar las 5S.

Implementación de Metodología Kaizen (Mejora continua): Permite el mejoramiento en marcha que involucra a todos los integrantes del área de manera gradual y ordenada.

Tabla 18. *Implementación de la filosofía Kaizen*

Paso	Descripción
1. Selección del área de trabajo	Seleccionar el área para implementación de la Metodología Kaizen.
2. Formación de equipos	Tener un líder capacitado y profesionales multidisciplinarios.
3. Recolección y análisis de datos	Identificar y determinar las causas de los problemas del área utilizando una gráfica.
4. Gembutsu y Gemba	Nos permite conocer las variables de los problemas de la empresa. 1.1. Gembutsu: Es el equipo que estamos estudiando. 1.2. Gemba: Área de estudio
5. Plan de Contramedidas	Este plan debe contemplar fechas en la cual se deberá implementar las actividades que resolverán el problema y determinar un responsable de la ejecución.
6. Seguimiento y evaluación de resultados del personal	Se lleva un seguimiento mediante un gráfico en donde se visualice el problema y los procesos de solución.
7. Estandarización y Expansión	Estandarizamos los procesos, teniendo en cuenta las variables controladas.

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando esta filosofía en el área de drenaje de la empresa minera siguiendo los pasos que muestra la tabla 18, daremos pequeños pasos en el corto plazo, para que en mediano y largo plazo se logre el objetivo de mejorar la productividad y aumentar la disponibilidad de la electrobomba Flygt 2400. Ana María Godínez Gonzáles (2018).

Plan de entrenamiento del personal:

Se plantea el entrenamiento del personal como reforzamiento en la cultura de las 5S, en la metodología kaizen y en los conocimientos técnicos para poder desarrollar las tareas de mantenimiento de forma eficiente.

Tabla 19. *Plan de entrenamiento al personal de mantenimiento.*

TIPOS	CLASIFICACIÓN	FINALIDAD	MEDIOS
En cuanto al Uso	1. Entrenamiento orientado al contenido.	Transmitir conocimiento o información	Técnicas de Lectura, recursos individuales, instrucción programada.
	2. Entrenamiento orientado al proceso.	Cambiar actitudes, desarrollar conciencia acerca de sí mismo y desarrollo de habilidades	Role-playing, entrenamiento de grupos, entrenamiento de la sensibilidad.
	3. Entrenamiento mixto.	Trasmitir información, cambiar actitudes y comportamientos.	Conferencias, estudios de casos, simulaciones, juegos, rotación de cargos.
En cuanto al tiempo	1. Entrenamiento de inducción o integración en la empresa.	Adaptación y ambientación inicial para el nuevo empleado	Programa de inducción
	2. Entrenamiento después del ingreso del trabajador	Entrenamiento constante para mejorar el desempeño del empleado.	Entrenamiento en el sitio de trabajo y entrenamiento fuera del sitio de trabajo
En cuanto al lugar de aplicación	1. Entrenamiento en el sitio de trabajo	Transmitir las enseñanzas necesarias a los empleados	Rotación de cargos, entrenamiento de tareas.
	2. Entrenamiento fuera del lugar de trabajo	Transmitir conocimientos y habilidades	Aulas de exposición, estudio de casos, simulaciones, video conferencia, dramatización.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 mostramos el plan de mantenimiento propuesto para al personal de mantenimiento para aumentar la eficiencia del personal.

3.2.2. Mejoras enfocadas

Como lo sugiere Pistarelli (2017) las mejoras enfocadas se plantean para los principales problemas, entre ellos, eliminar fallas crónicas y aumentar la eficiencia y disponibilidad.

Las mejoras enfocadas del presente estudio pretenden dar solución a los modos de falla más frecuentes determinados en el diagrama de Pareto (figura 22), en este caso seleccionamos dos modos de falla: ‘Lubricación Inadecuada’ y ‘Rotura de sello mecánico’.

a) Solución a la Lubricación Inadecuada:

Como se describe en la sección 3.1.1. del análisis Causa-Efecto con el Diagrama de Ishikawa, se determinó que la grasa actual no satisface las necesidades técnicas de la electrobomba Flygt 2400.

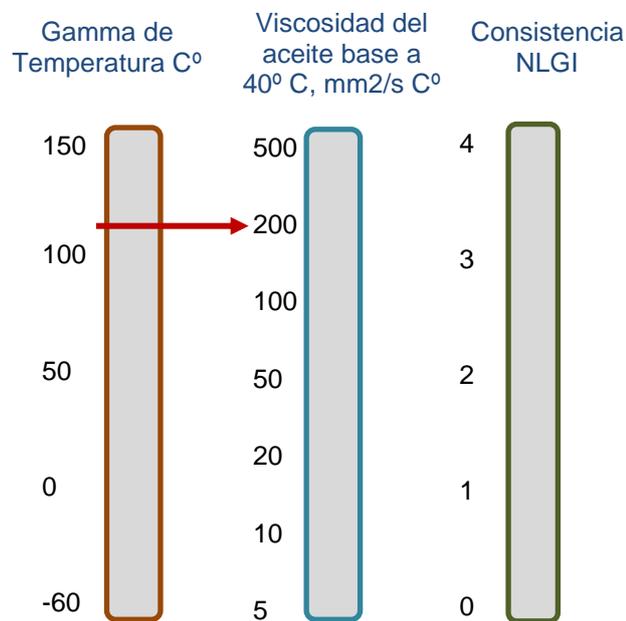


Figura 30. Selección de Grasa según Aplicación

Fuente: Morales Zamora (2012)

Según Morales Zamora (2012) en la figura 30 la grasa adecuada para trabajar con temperatura hasta 110°C debe tener una viscosidad del aceite base de 200, sin embargo, la grasa actual tiene una viscosidad del aceite base de 115 muy por debajo del valor requerido (ver Tabla 13), así que no es la adecuada para trabajar en las electrobombas Flygt 2400, además por ello se encontraba totalmente diluida generando falla por alta temperatura en rodamientos.

Widman (2009) en su boletín ‘La selección y Diagnóstico de la Grasa’, también nos da sugerencias para seleccionar el lubricante adecuado según la aplicación del equipo, y teniendo en cuenta las características de bombeo de la electrobomba Flygt 2400 descrita en la sección 3.1., determinamos las características mínimas para la grasa que necesitamos usar.

Tabla 20. *Propiedades del lubricante propuesto*

Propiedad	Valores Propuestos	Lubricante Propuesto ‘Mobil SHC 460’
Grado NLGI	≥ 2	NLGI 3,5
Viscosidad del aceite base de las grasas a 40° C, mm ² /s, AMS 1697	≥ 200	460
Viscosidad del aceite base de las grasas a 100° C, mm ² /s, AMS 1700	≥ 30	40
Punto de goteo, °C, ASTM D2265	≥ 250	255
Pérdida de lavado con agua @ 79 C, % en peso, ASTM D1264	≤ 10	10

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 20 describe las características mínimas para la grasa que necesitamos usar en la Electrobomba Flygt 2400, las cuales comparando las propiedades de la Grasa utilizada actualmente (Tabla 13), observamos que el lubricante propuesto tiene

mejores propiedades físicas para la exigencia de operación de la electrobomba Flygt. La propiedad principal a tener en cuenta para el cambio de lubricante, es la viscosidad del aceite base de las grasas a 100° C. Pues como vimos en la sección 3.1 del presente estudio, la electrobomba Flygt 2400 puede llegar a operar con temperaturas de 110°C. Así, la viscosidad a 100° de la grasa propuesta, Mobil SHC460, es mucho mayor que la viscosidad de la grasa actual, Mobil Polirex EM, siendo 40 y 12,2 respectivamente. Así, definimos técnicamente que la grasa propuesta satisface la necesidad operativa.

b) Solución a la Rotura de sello mecánico:

En la sección 3.1.1. del análisis Causa-Efecto con el Diagrama de Ishikawa, se identificó que el sello mecánico actual no satisface las necesidades operativas de la electrobomba Flygt 2400, pues presenta abrasión y rayaduras que llevan al desgaste prematuro del sello mecánico. Esto se da porque el medio donde trabajan las electrobombas Flygt 2400 es agua con pH de 2.4 y contiene sólidos abrasivos; siendo la capacidad del sello actual menor a estas exigencias operativas.

Tabla 21. *Propiedades del sello mecánico propuesto*

Propiedad	Valores Propuestos	Sello propuesto 'Carburo de Silicio'
Densidad (gr/cm ³)	>= 3	3.1
Dureza [HV3]	>= 1800	2700
Rigidez [GPa]	>400	420
Resistencia a la flexión [MPa]	>= 350	390
Condición Termal [W/mK]	>=100	100
Límite de pH [pH]	0-14	0-10

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 21 mostramos las características mínimas del sello mecánico apropiado para las electrobombas Flygt 2400 y además el sello mecánico propuesto. Las propiedades principales a tener en cuenta son la Dureza y el límite de pH.

Sello mecánico de carburo de silicio: Según el Instituto Americano de petróleo en su norma API 682 4ta Edición (2014) el carburo de silicio tiene excelente resistencia a la corrosión; aunque es más frágil, las ventajas químicas y tribológicas generalmente superan su sensibilidad a la fractura en comparación con el carburo de tungsteno.

Fluid Sealing Association (2005) determina que el costo del carburo de silicio se ha reducido significativamente a lo largo de los años y hoy en día es más bajo que el Carburo de Tungsteno, lo que proporciona un mayor valor al usuario de la bomba.

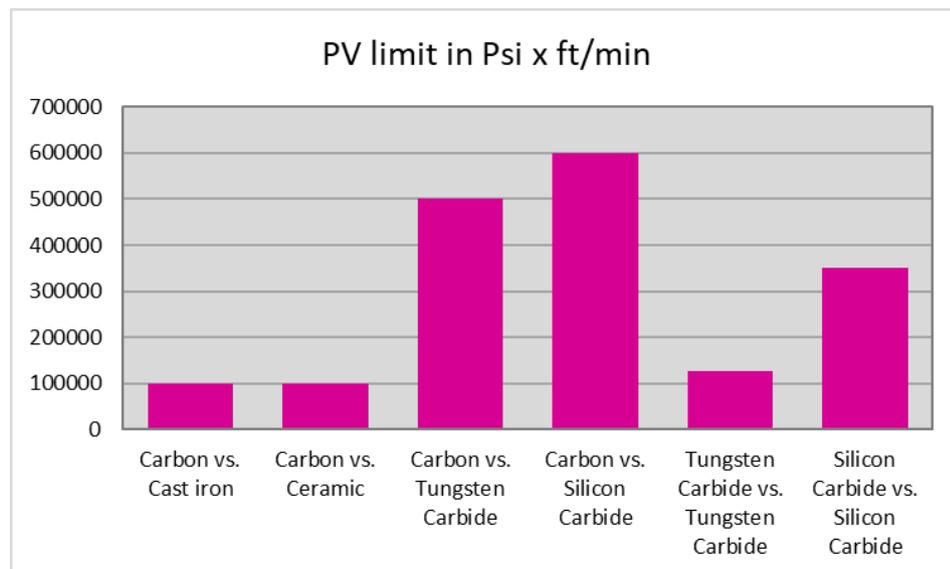


Figura 31. Límite de factor PV (presión - velocidad) según material del sello
Fuente: FSA, 2005

La figura 31 muestra los resultados del estudio realizado por Fluid Sealing Association (2005) en su investigación titulada ‘What is the best wear phase material for my mechanical seal?’ donde demuestra que el carburo de silicio tiene el mayor factor PV (presión - velocidad); permitiendo que estos sellos trabajen en cualquier condición de fluidos. También, Huebner (2005) demuestran el mejor

comportamiento de los sellos mecánicos de carburo de silicio en fluidos con sólidos en suspensión y pH de 0 a 14.

Tabla 22. *Característica de los sellos de diferente material*

	Carbono - Impregnado de resina	Carbono - Impregnado de antimonio	Carbono - funcionamiento en seco	Carbono - Resistente al ácido	Carburo de Silicio	Carburo de Tungsteno	Óxido de alúmina
Aplicación General	****	**	*	*	****	***	**
Funcionamiento en seco	***	*	****	**	***	*	***
Servicio con abrasivos	*	*	*	*	****	****	**
Resistente a formación de burbujas	**	****	**	**	****	**	**
Resistente a químicos	***	**	***	****	****	**	****
Resistencia al impacto	***	****	***	***	**	****	**
Resistente al choque térmico	****	****	****	****	****	***	*

Fuente: Huebner (2005)

Huebner (2005) en su investigación ‘Selección de materiales para sellos mecánicos’, describe en la Tabla 22 el comportamiento de los sellos mecánicos según el material en distintas condiciones de trabajo, en donde determina que el carburo de silicio se comporta mejor en medios abrasivos que los demás materiales.

Tabla 23. *Criterios de selección de sellos en base al tipo de fluido*

	Carbono - Impregnado de resina	Carbono - Impregnado de antimonio	Carbono - funcionamiento en seco	Carbono - Resistente al ácido	Carburo de Silicio	Carburo de Tungsteno	Óxido de alúmina
Hidrocarburos ligeros	**	****	****	****	****	****	****
Hidrocarburos pesados/petróleo	***	**	****	****	****	****	****
Ácidos	***	*	**	****	****	**	****
Bases	***	*	**	****	****	**	****
Resistencia química general	***	**	**	****	****	**	****

Fuente: Huebner (2005)

Huebner (2005) también realizó ensayos en diferentes tipos de fluidos, como se muestra en la Tabla 23, confirmando que el carburo de silicio trabaja mejor en medios ácidos.

De las tablas 22 y 23 se deduce que el sello de Carburo Silicio es el más adecuado para el uso en las electrobombas Flygt 2400 por su alta resistencia a la abrasión que pueden causar los sedimentos, y por su alto desempeño en fluidos con alta acides (pH menor a 3) como son las condiciones que tiene el área de drenaje de la empresa minera en estudio que tiene un agua con pH de 2.4 y con contenido de sólidos abrasivos.

3.2.3. Formatos Estandarizados

Se ha diseñado formatos para inspección, reparación y reporte de fallas de las electrobombas Flygt.

Formato de Reporte de Fallas

Se diseñó un formato de reporte de fallas el cual nos sirve para tener la información completa que será base para futuros análisis de modos de falla y sus causas.

En la figura 32 mostramos la ficha de reporte de fallas, la cual tiene ocho partes. En la primera parte se detallan los datos del equipo. La segunda parte describe a detalle la falla. En la tercera parte se describe las últimas condiciones de operación. En la cuarta parte se especifican las condiciones normales de operación. La quinta parte muestra los síntomas de falla y porque el equipo se detuvo, la sexta parte describe los componentes en falla, la séptima parte nos permite describir las causas de la falla, y finalmente en la octava parte se registran las evidencias mediante fotos.

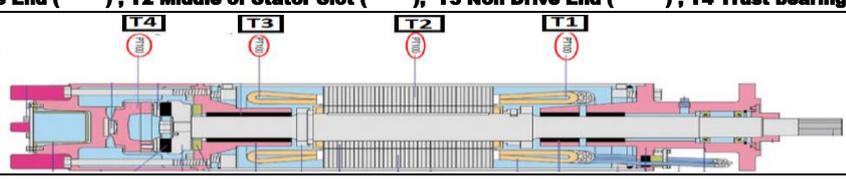
LOGO DE EMPRESA	REPORTE DE FALLA			Código:
ÁREA				Página 1 de 1
				Versión: 0
				Fecha: xx de xxx del 2xxx
1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO				
EQUIPO:		MODELO:		
MARCA :		TIPO:		
SERIE :		NUEVO / REPARADO:		
FECHA DE LA FALLA:		HORA:		
UBICACION:		TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO:		
N° ORDEN :		NRO DE REPARACIONES:		
2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA				
3. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO SUMERGIBLE:				
Caudal (LPS)				
Altura dinámica (M) :				
frecuencia:				
Voltage Nominal:				
Amperaje:				
Aislamiento del motor:				
Temperatura del motor en °C : T1 Drive End (), T2 Middle of Stator Slot (), T3 Non Drive End (), T4 Trust bearing				
referencia:				
Ubicación típica de los sensores:				
PT100 en los motores :				
Calibre del cable:				
Longitud de cable:				
Distancia del tablero de control al motor.				
Cuenta con registro de llenado de Líquido al motor				
Hoja de Instalación (llenar)				
5. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MOTOR EN EL MOMENTO DE LA FALLA:				
Voltage :				
Amperaje:				
frecuencia:				
caudal y altura de la bomba				
Temperatura del motor				
Cuenta con Grupo Red Eléctrica : (si) , (no.....)				
Cuenta con Grupo Electrogenero : (si) , (no.....)				
6. COMPONENTES DAÑADOS				
CANTIDAD	INSPECCION VISUAL			
7. CAUSA DE FALLA:				
8. REGISTRO FOTOGRÁFICO				
Inserte foto aquí				
Detalle	Elaborado	Revisado	Control	Aprobado
Nombres y Ape				
Cargo				
Fecha				
Firma				

Figura 32. Reporte de Falla de Electrobombas Flygt

Fuente: Elaboración Propia

Check List de inspecciones programadas

Con el check list propuesto en la figura 33, se deben realizar las inspecciones programadas a todos los equipos en operación. Estas inspecciones nos permitirán advertir de posibles síntomas de falla y solucionarlos antes que se vuelva una falla.

LOGO DE EMPRESA	CHECK LIST DE INPECCIÓN DE ELECTROBOMBAS FLYGT 2400		
Información Equipo			
Tipo Equipo:	- Motor <input type="checkbox"/>	- Bomba <input type="checkbox"/>	- Electrobomba <input type="checkbox"/>
Marca:		Modelo:	
# Serie Equipo:			
Lugar de inspección / Destino :			
Fecha / hora :			
Responsable Mecánico:			
Responsable Electricista:			
Supervisor Responsable:			
Pruebas Mecánicas			
Giro:			
Juego Axial:			
Pruebas Eléctricas			
Megado:			
PI/DAR:			
Tipo de Sensor	Resistencia	T° Ambiente °C	T° Prueba (60 °C)
Inspeccion Visual			
Soporte:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Embalaje:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Platinas Seguridad:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Acople:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Alojamiento Acople:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Pernos de acople:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Chaveta:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Prisioneros:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Descarga:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Pernos de descarga:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Estado Cable:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Longitud Cable:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Strainer:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Nivel aceite:	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Nivel de glicol	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> No OK	<input type="checkbox"/> No Aplica
Otras Observaciones:			

Figura 33. Check List de Inspección Programada

Fuente: Elaboración Propia

Check List de control de calidad en reparación de electrobombas Flygt 2400

El formato de control de calidad propuesto en la figura 34, se diseñó teniendo en cuenta todos los elementos internos que necesitan tolerancias mínimas para la operación adecuada de las electrobombas Flygt.

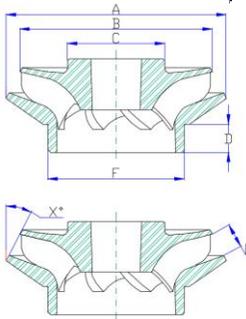
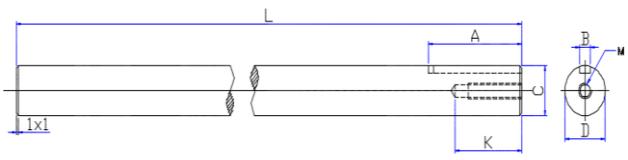
		PROTOCOLO DE CALIDAD DE BOMBAS FLYGT 2400						Código: xxx	
								Versión/Fecha: xx/xx/xx	
BOMBA:	SERIAL:	POTENCIA:				ALAVES:			
MODELO:	GPM:	TDH:	MECANICO:						
	DIFUSOR 1	DIFUSOR 2	DIFUSOR 3	IMPULSOR 1	IMPULSOR 2	VOLUTA	DESCARGA		
	A	A	A	A	A	A	A		
	B	B	B	B	B	B	B		
	C	C	C	C	C	C	C		
	D	D	D	D	D	D	D		
	E	E	E	E	E	E	E		
	F	F	F	F	F	F	F		
	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°		
Observaciones:									
Unid: mm									
				EJE	JUEGO EXIAL DE EJE: Carrera Max: Carrera Min: DIFERENCIA: NOTA: La diferencia debe estar entre 6-10 mm Ø EJE DE BOMBA: DIFERENCIA Ø: Ø COUPLING: NOTA: La diferencia no debe ser mayor a Unid: mm				
				A					
				B					
				C					
				M					
				K					
L									
_____ <i>Tec. Mecanico.</i>			_____ <i>Supervisor.</i>			_____ <i>Control de Calidad.</i>			

Figura 34. Check list de Control de Calidad en reparaciones

Fuente: Elaboración Propia

La figura 34 nos permitió asegurar la calidad del armado y tolerancias requeridas.

Check List de reparación

El Check list de reparaciones en la figura 35, incluye todos los aspectos internos y externos al finalizar la reparación. Nos permite asegurar que el equipo esté operativo.

CHEK LIST DE REPARACIÓN ELECTROBOMBAS FLYGT						
DATOS GENERALES						
Técnicos:			Equipo			
			Marca			
			Modelo			
			Serie			
Fecha:				GIRO	LIBRE TRABADO	
MEDICIONES ELECTRICAS						
Bobinas	Aislamiento	Indice Polaridad		Resistencia Entre bobinas	Resistencia Termocontacto	Resistencia de PT100
L1 - G						
L2 - G						
L3 - G						
Observaciones:.....						
.....						
REALIZADO POR:			RECIBIDO POR:			
Nombre:			Nombre:			
Cargo:			Cargo:			
Firma:			Firma:			
INSPECCIÓN MECÁNICA						
Componentes	BUENOS	CAMBIO	NUEVO	Observaciones		
Descarga						
Cancamos						
Plato Difusor Superior						
Impulsor Superior						
Plato Difusor Intermedio						
Impulsor Inferior						
Difusor Inferior						
Sello Mecanico superior						
Camara de Aceite						
Sello mecanico Inferior						
Rotor						
Estator						
Rodaminetos 7314						
Rodamiento Un 310						
Estator						
Sensor PT100						
Sensero de Termo Contaco						
Tapa de Rodamiento 7314						
Tapa de rodamiento Un 310						
Cable de Fuerza						
Borneras						
Estrainer						
Aceite						
Orrines						
Observaciones:.....						
.....						
REALIZADO POR:			RECIBIDO POR:			
Nombre:			Nombre:			
Cargo:			Cargo:			
Firma:			Firma:			

Figura 35. Check list de reparación

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Procedimiento Estándar de Trabajo

El procedimiento de trabajo se realizó enfocado en la metodología TPM.

Tabla 24. *Procedimiento Estándar de Trabajo*

TAREA :		MANTENIMIENTO DE ELECTROBOMBAS FLYGT 2400
Función :		
Cargo :		
Departamento :		MANTENIMIENTO MINA
Pre-Requisito de Competencia:		Referencias Relacionadas:
Nº	PASO (QUE)	EXPLICACION (COMO)
1	EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL	<ul style="list-style-type: none"> • Casco de Seguridad • Anteojos de Seguridad • Guantes • Botines de Seguridad • Mameluco
2	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar tarjetas (log out) y candado (tag out), coordinar con operador/electricista • Verificar los EPPs • Cierre de válvulas de succión y salida, colocar candados • Eliminar presión hidráulica de la línea de purga
3	MATERIALES Y HERRAMIENTAS	<p>Materiales (Repuestos)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Bocina (334938) • 01 back liner (334946) • 01 boluta liner (334953) • 01 impulsor (334961) • 01 rodamiento de rodillo conico (428961) • 01 rodamiento cilindrico (335109) • 01 tapa portarodamiento (335109) • 01 eje (335083)
<p>3.1 Herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Juego de llaves mixtas (3/8" a 1 1/4" y 10mm a 30mm) • Llave 36 (tuerca superior) • Calibrador de espesores(Gauge) • Juego de dados en mm • Destornillador plano de golpe • Destornilladores planos • Martillo de bola • Palanca ratchet • Martillo de goma • Juego de llaves Allen • Extractor rodamientos de uñas • Cáncamo • Fitting Tool • Pinza extractora de anillos sieger • Alicata mecánico • Pata de cabra • Llave stillson • Vernier • Torquímetro 		<p>3.2 Equipos y Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceite SHC 624 • Grasa SCH 100 • Grasa Polirex EM • Trapos absorbente • Bandeja de contención • Loctite penetrante • Limpia contactos • Grúa-puente • Repuestos (kit de O' ring, rodamientos, sellos) • Equipo de izaje • Inductor magnético de rodamientos • Megohmetro • Prensa hidráulica • Pintura epóxica • Thiner • Brochas • Stoka • SS 25. • Eslinga

No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACION (CÓMO)
4.1	INSPECCIÓN INICIAL	<p>Inspeccionar visualmente la electrobomba en forma minuciosa para detectar alguna fuga o desperfectos superficiales.</p> <p>Retirar el estrainer para inspeccionar drenaje de aceite y el de paso de aire de la electrobomba.</p> <p>Drenar el aceite en un balde y revisar el estado en que se encuentra (suciedad, presencia de agua, etc.).</p>
4.2	RETIRO DE LA DESCARGA	<p>Con la ayuda de una llave mixta de 1-1/4", aflojar y retirar los 08 pernos de sujeción de la descarga con la electrobomba.</p>
4.3	REEMPLAZO DEL IMPULSOR, VERSIÓN HT	<p>Soltar los tornillos que unes los anillos difusores superior e inferior (135 y 139, respectivamente) para el impulsor exterior (131)</p>  <p>Soltar el tornillo del impulsor (9) y quitar la arandela (148) que se encuentra debajo.</p>  <p>Luego puede quitarse el impulsor 131 y la chaveta (1)</p>  <p>Quitar las dos mitades del colador (158 y 159) soltando los tornillos (2). Luego puede sacarse el siguiente anillo difusor (139) después de quitar los tornillos que los unen.</p> <p>En el anillo difusor 139 se encuentra el disco interior de paletas directrices (141). Si hace falta soltar este, deberá desmontarse primeramente el anillo de desgaste (142). La manera más simple de efectuar esto es con un par de destornilladores.</p>

		 <p>Luego se quitará el manguito 156.</p>  <p>Se retira el anillo difusor 31, 38 y luego se sacan las arandelas de ajuste 136 y 137 del impulsor.</p> 
4.4	MONTAJE DEL IMPULSOR.	<p>Empezar montando una chaveta en la ranura más interior del eje. Montar también de ajuste 136 y 137 que pueden necesitarse.</p>  <p>Colocar luego el anillo difusor (138), sujetarlo temporalmente con algunos tornillos (7) de modo que quede en su posición correcta, lo cual es muy importante para continuar el ajuste del impulsor.</p>

		<div data-bbox="799 226 1139 443" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="571 488 943 521">Colocar el impulsor interior (131).</p> <div data-bbox="804 555 1134 795" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="571 842 1382 936">Hacer entrar el manguito (156) en el eje. Montar ahora el disco de paletas directrices (141) en el anillo difusor (139) que ha de quedar en medio de los dos impulsores.</p> <div data-bbox="780 931 1160 1184" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="571 1225 1382 1317">Colocar la herramienta de ajuste en el anillo difusor, tal como muestra la figura. Enroscar de modo que el tornillo de la herramienta apenas toque el disco de paletas directrices (141).</p> <div data-bbox="724 1348 1216 1700" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="571 1749 1382 2020">Colocar el manguito de montaje encima del eje contra el impulsor (131) y apretar con el tornillo (9) del impulsor. El par de apriete es de 200 Nm (147 ft lb). Emplear la llave dinamométrica. El manguito de montaje está destinado a dar a las arandelas de ajuste la precisión correcta. Desplazar ahora la herramienta de ajuste desde el disco de paletas directrices al impulsor al mismo tiempo que se invierte la herramienta 180° sin tocar la posición del tornillo. Colocar la herramienta hacia abajo, tal como muestra la figura y controlar que el juego entre la cabeza del tornillo de la</p>
--	--	--

herramienta y el impulsor sea de 0,1–0,2 mm (0,004"–0,008"). Ajustar con ayuda de las arandelas de ajuste (136 y 137) que están situadas debajo del impulsor.

Desmontar ahora el manguito de montaje.

Montar el anillo difusor (139) con su disco de paletas directrices (141).

Apretar los tornillos (7).

Repetir el mismo procedimiento para el ajuste del impulsor exterior (131).



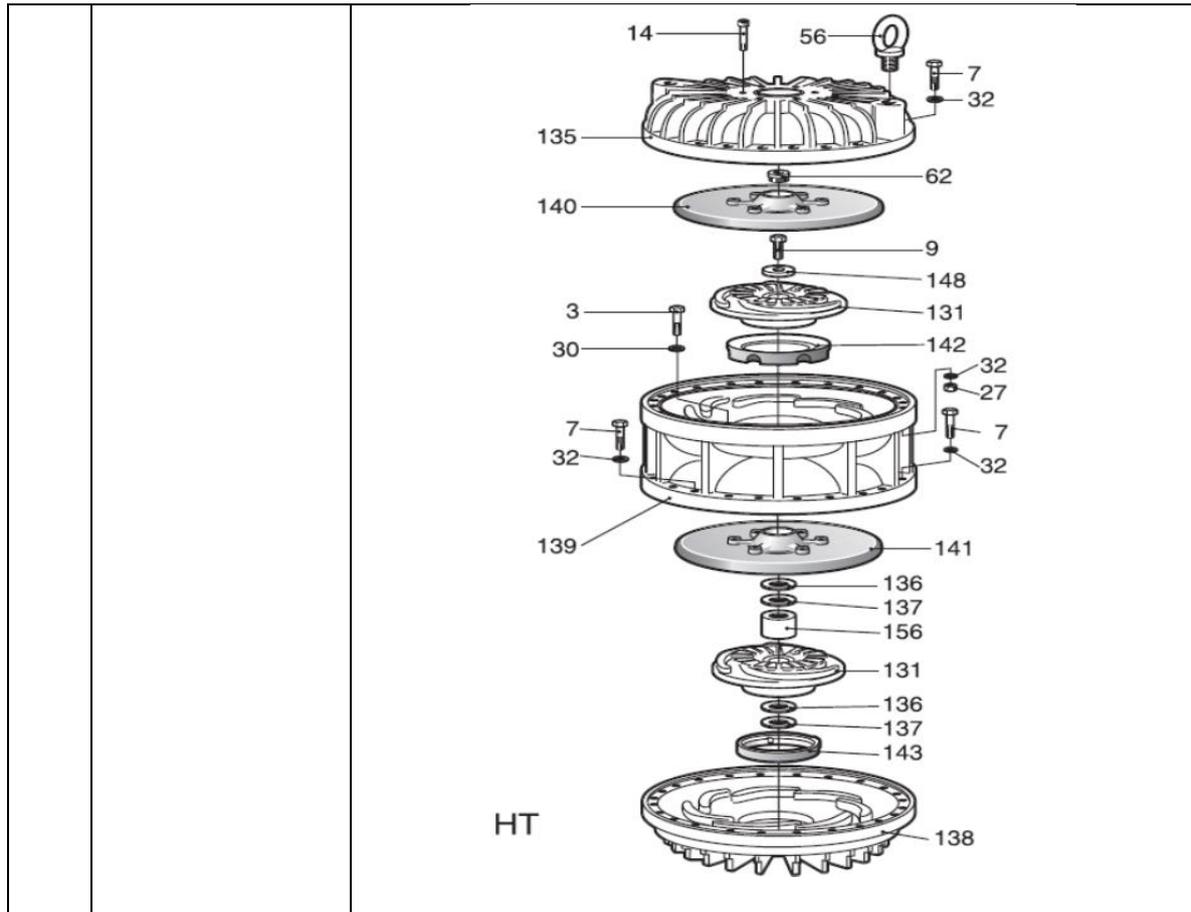
Cuando se termine el ajuste fino, colocar el anillo Difusor superior (135).

Controlar luego al ajuste fino empleando un dado, una barra de extensión y una empuñadura. Colocar el dado en el tornillo del impulsor y girar todo el eje con el impulsor durante algunas vueltas para comprobar que los impulsores no tocan contra los anillos difusores. Luego colocar el tapón del tornillo (62) en el disco de Difusor (140).

Para que la bomba trabaje con la máxima capacidad, el impulsor deberá ajustarse regularmente.

Es particularmente importante mantener la tolerancia entre el difusor inferior y el impulsor al mínimo posible.





4.5 **MONTAJE DE DESCARGA** Con la ayuda de una llave mixta de 1-1/4", colocar y ajustar los 08 pernos de sujeción de la descarga con la electrobomba.

4.6 **AJUSTE DE PERNOS** Los pernos de sujeción de la base de la bomba y del motor deberán ser nuevos, y para el ajuste se debe considerar los datos que se muestran en la tabla siguiente.

TORQUE en (Nm)	GRADO 2		GRADO 5		GRADO 8		INOX. 304	INOX. 316
	LUB.	SECO	LUB.	SECO	LUB.	SECO	SECO	SECO
1/4	6	7.5	9.5	12	13.5	17	8.5	9
5/16	12	15	20	25	28	35	15	16
3/8	22	27	35	44	50	63	27	28
7/16	35	44	55	70	80	100	42	44
1/2	53	67	85	110	120	150	58	61
9/16	75	95	125	155	175	225	77	81
5/8	105	135	170	215	240	300	125	131
3/4	190	240	300	375	425	550	173	169
7/8	190	240	490	625	700	835	263	275
1"	290	360	725	925	1050	1300	389	406
1.1/8	400	510	900	1150	1450	1850	560	586
1.1/4	570	725	1300	1650	2050	2600	709	740
1.1/2	990	1250	2250	2850	3600	4550	1204	1261

Trabajador Observado:	Fecha:
Competencia verificada por:	Fecha:

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Supervisor del área	Jefe del área	Ingeniero HSE	Gerente de operaciones

3.2.5. Planificación del Mantenimiento

Se diseñó un plan de Mantenimiento Preventivo y Predictivo considerando la frecuencia de las tareas, la duración y la condición si se realiza con equipo prendido o apagado.

Tabla 25. *Plan de Mantenimiento de Electrobombas Flygt 2400*

Actividad	Frecuencia	Condición del Equipo		Duración (Horas)	Tipo de tarea
		Prendido	Apagado		
Cambio de equipo para mantenimiento general en taller	Anual		X	3	Preventivo
Inspección de rodamientos/ reemplazarlos si es necesario	Semestral		X	2	Preventivo
Verifique la integridad de la base de la bomba y verifique que los pernos de sujeción que no estén apretados.	Trimestral		X	0.25	Preventivo
sustituir sellos (orrines)	Trimestral		X	1.5	Preventivo
Inspección de sellos mecánicos	Bimensual		X	2	Preventivo
Lubricación de rodamientos	Trimestral		X	2	Preventivo
Limpieza externa de bomba	Trimestral		X	0.5	Preventivo
Chequear nivel de aceite	Trimestral		X	2.5	Preventivo
Inspección visual de corrosión, sedimentos	Semanal	x		0.1	Predictivo
Detectar presencia de fugas del aceite lubricante	Semanal	x		0.1	Preventivo
Monitorizar las temperaturas de los cojinetes	Semanal	x		0.1	Predictivo
Monitorizar los cambios en el nivel de presión,	Semanal	x		0.1	Predictivo
Analizar el Caudal de la bomba centrífuga.	Semanal	x		0.1	Predictivo
Medir vibración de la bomba.	Semanal	x		0.1	Predictivo
Verificar funcionamiento de válvulas, caudalímetro y manómetros	Semanal	x		0.1	Preventivo
Reseteo de parámetros de operación en Tablero de control	Mensual		X	0.05	Preventivo

Fuente: Elaboración propia

El plan de mantenimiento para electrobombas Flygt 2400 mostrado en la Tabla 25 contempla actividades esenciales para asegurar la operatividad de las electrobombas Flygt y que nos permite mejorar su disponibilidad.

3.3. Evaluación de las mejoras en la disponibilidad

Con la propuesta de las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM reforzadas con las políticas planteadas en la sección 3.2.1 y el compromiso del equipo de trabajo del área de drenaje de la empresa minera en estudio se reducirían las paradas correctivas las cuales mostramos en la tabla 26.

Tabla 26. Comparación de N° de paradas antes y después (Propuesta)

Modo de Falla	N° Paradas Antes	N° Paradas Después (Propuesta)
Diagnostico Inadecuado	2	0
Lubricación Inadecuada	49	5
Contaminación con sedimentos	61	61
Alta Vibración	1	1
Bomba trabada	1	1
Estator Dañado	1	1
Falta de Protección	5	0
Rotura de sello mecánico	43	5
Altas horas de operación	11	11
Reparación Inadecuada	12	0
Generador en falla	5	5
Ingreso de Agua – Bornera	2	2
Ingreso de Agua-cable	6	6
Accidente	2	2
Cambio de plan operativo	12	12
TOTAL DE PARADAS	222	112

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 mostramos la comparación de números de paradas antes y después de la propuesta de las estrategias de mantenimiento, donde hemos reducido 110 paradas correctivas, esto equivale al 49.55% de paradas correctivas.

Con la estrategia de mantenimiento enfocado para la ‘Lubricación Inadecuada’ que propone cambiar el uso de la grasa actual Mobil polirex EM a una grasa que trabaje adecuadamente a la temperatura de hasta 110° C con una viscosidad de aceite base de 200 como lo es Mobil SHC 460, esto contrastado con Noria (2013) en su artículo 'Los peligros ocultos de la falta de lubricante' quien determina que el 95% de fallas por inadecuada lubricación puede solucionarse al tener una correcta selección del lubricante y cambio preventivo. Así en nuestro estudio y con base en las políticas planteadas y el compromiso de la empresa se pone como meta disminuir en promedio el 90% de estas fallas. Siendo esta disminución de 49 a 5 fallas por ‘lubricación inadecuada’.

Con la estrategia de mantenimiento enfocado para ‘Rotura de sello mecánico’ sugerimos cambiar el sello mecánico actual de carburo de tungsteno a uno de carburo de silicio, por lo mencionado por el Instituto Americano de petróleo en su norma API 682 4ta Edición, Fluid Sealing Association y Michael Huebner quienes determinan que el sello mecánico de carburo de silicio es excelente resistente a la corrosión, mayor factor PV (presión - velocidad), mejor comportamiento con fluidos sólidos, mayor resistencia a aguas acidas de pH menores de 3 en un rango de 0 a 14 y menor costo. Esto sumado al compromiso de la empresa con las políticas planteadas, se pone como meta disminuir en promedio el 90% de estas fallas. Siendo esta disminución de 43 a 5 fallas por ‘Rotura de sello mecánico’.

Con la estrategia del plan de capacitación del personal, reducimos a cero las paradas por ‘diagnóstico inadecuado’ y ‘reparaciones inadecuadas’. Es decir, se reducirá en un 100% estos modos de fallas.

Con respecto al modo de falla por falta de protección con la estrategia del mantenimiento predictivo, preventivo y el plan de capacitación del personal, se identificará a tiempo este tipo

de síntoma de falla antes que ocurra la falla en sí. Reduciendo así esta falla al 100%, es decir a 0.

Sin embargo, para las fallas por alta vibración, bomba trabada, estator dañado, falta de protección, altas horas de operación, generador en falla, ingreso de agua-cable, accidente y cambio de plan operativo, no se ha propuesto estrategias específicas pues no son causas vitales según Pareto (Figura 22); por tanto, consideramos que el número de fallas se mantienen en promedio iguales. En tanto a la falla por ‘contaminación de sedimentos’ a pesar de ser una causa vital, no se plantean una estrategia específica para solucionarla porque no planteamos controlar el medio donde trabaja la electrobomba Flygt 2400.

Comparación de los indicadores de Mantenimiento

Aplicando las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM, calculamos los nuevos tiempos de parada de las electrobombas Flygt 2400.

Tabla 27. *Comparación de los Indicadores de Mantenimiento Antes y Después Propuesta*

Concepto	Antes	Después (Propuesta)
Horas de operación (Hrs)	267,840	267,840
Número de paradas	222	3,386
Tiempo total de reparaciones (Hrs)	34,076	20,905
Número de reparaciones	222	3,386
MTBF (Horas/Parada)	1,053.0	72.9
MTTR (Horas/Reparación)	153.5	6.2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27, tenemos la comparación de datos de paradas antes y después del diseño de las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM, en donde resalta un MTTR menor en 147.3 Hrs pues ha disminuido de 153.5 Hrs. a 6.2 Hrs. Esto se debe a que el tiempo de paradas y reparaciones es mucho menor (13,171 horas menos) a pesar que han aumentado el número de paradas programadas por mantenimiento preventivo y predictivo (3,164 paradas más).

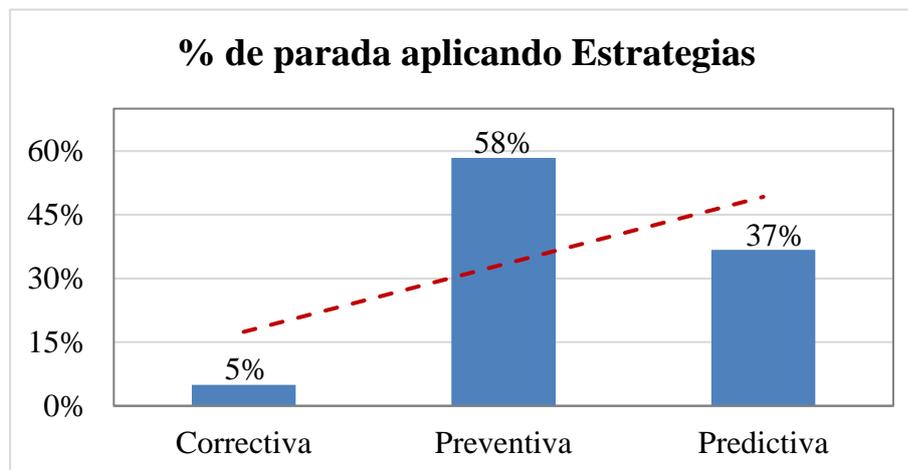


Figura 36. Porcentaje de Paradas aplicando Estrategias de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

Así también calculamos los nuevos porcentajes de tareas representadas en la figura 37, donde identificamos que las tareas preventivas son las que mayor frecuencia tienen, llegando a representar un 58% del total de tareas, además las tareas predictivas representan un 37% mientras que las correctivas ahora son sólo el 5% del total.

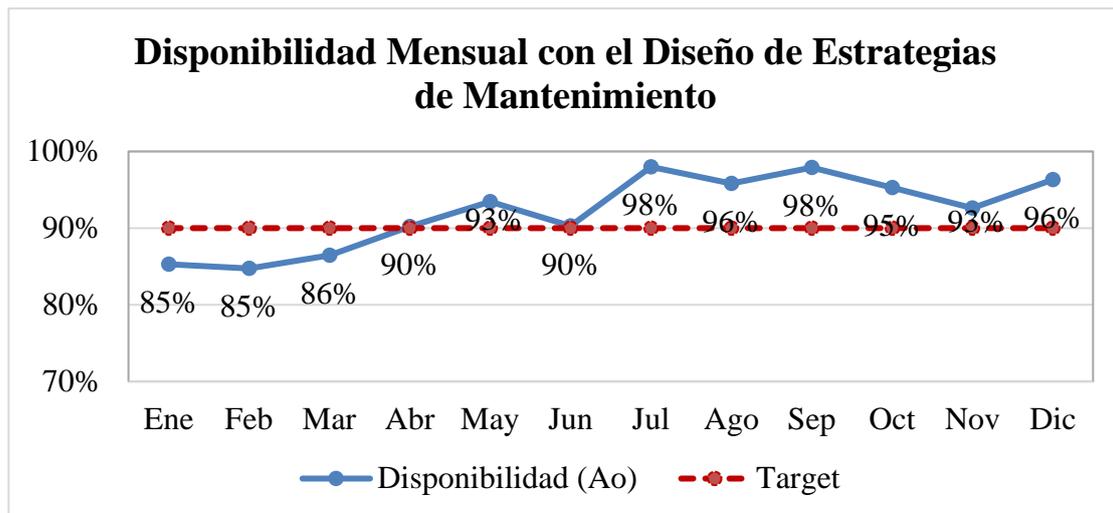


Figura 37. Disponibilidad luego de Diseñar las Estrategias

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la disponibilidad, los nuevos valores mensuales se muestran en la figura 38, donde observamos que durante nueve meses sí cumplimos el target del 90%, y aunque en los meses de enero, febrero y marzo no se puede cumplir dicho target, se obtiene una disponibilidad promedio de 92.2% superando el target propuesto.

Tabla 28. Matriz de Resultados

Variable	Dimensiones	Indicadores	Antes	Después (propuesta)
Estrategias de mantenimiento (variable independiente)	Estrategias Preventivas	% de tareas con estrategias preventivas	9%	58%
	Estrategias Predictivas	% de tareas con estrategias predictivas	5%	37%
	Estrategias Correctivas	% de tareas con estrategias correctivas	86%	5%
Disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400 (variable dependiente)	Tiempo Operativo	Tiempo medio entre fallas MTBF (Horas/Parada).	1,106	1,633
	Tiempo de Reparación	Tiempo medio para Reparar MTTR (Horas/Reparación)	160	180

Fuente: Elaboración propia

En la Matriz de Resultados, tabla 28, comparamos los indicadores del escenario antes y después del diseño de las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM.

3.4. Evaluación Financiera de la implementación de la estrategia propuesta

Técnicamente se comprueba que la estrategia seleccionada es favorable para reducir costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad por la reducción paradas no programadas.

Cálculo del WACC:

Consideramos un monto de Inversión de \$1.10Millones. El 50% puede ser cubierto con capital de la empresa y el otro 50% con endeudamiento financiero. Según el Instituto de Ingenieros de Minas de Perú (IIMP), el costo promedio de fondos propios del sector minero es del 15% y el costo de deuda financiera es del 13%, considerando una tasa impositiva por la SUNAT del 29.5%, según el acuerdo al Impuesto a la Renta del año 2019.

Aplicando la Ecuación 4, tenemos que:

$$WACC = Kc \frac{C}{(C + D)} + Kd(1 - T) \frac{D}{(C + D)}$$

$$Kc = 15\%$$

$$Kd = 13\%$$

$$T = 29.5\%$$

$$C = \$547,925$$

$$D = \$547,925$$

$$WACC = 15\% \frac{534,273}{(534,273 + 534,273)} + 13\%(1 - 0.295) \frac{534,273}{(534,273 + 534,273)}$$

$$WACC = 12.08\%$$

El valor encontrado del WACC, será comparado con los resultados del VAN y TIR. Así, determinamos el flujo de caja con los siguientes conceptos.

Tabla 29. *Actividades y Costos de a Implementación*

Actividades	Duración (Días)	Recursos	Costo S/.	Costo \$
1 Evaluación de proceso de drenaje mina.	15	1 ingeniero	S/4,000.00	\$1,176.47
2 Análisis del actual proceso de mantenimiento.	10	1 ingeniero	S/5,333.33	\$1,568.63
3 Creación de órdenes de trabajo en ERP y actualización de fechas de instalación.	3	1 ingeniero	S/800.00	\$235.29
4 Transporte de equipo de bombeo de almacén a la Poza específica	63	1 Operador + camión grúa	S/63,000.00	\$18,529.41
5 Cambio de Equipo de bombeo en cada poza de agua, pruebas de funcionamiento.	63	2 Técnicos mecánicos+ 1 grúa Grove+ 1 operador de bombas	S/113,400.00	\$33,352.94
6 Reparación de componentes en taller especializado	63	2 Técnicos mecánicos+ 1 supervisor+ 1 taller	S/2,855,790.00	\$839,938.24
7 Transporte de equipo de bombeo de almacén a taller especializado de reparaciones	63	1 Operador camión+ 1 supervisor+ 1 Almacén	S/36,540.00	\$10,747.06
Costo Total:			S/ 3,078,863.33	\$ 905,548.04
		IGV 18%	S/ 554,195.40	\$ 162,998.65
		TOTAL, INCLUIDO IGV	S/ 3,633,058.73	\$1,068,546.69

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 29, observamos las actividades necesarias para implementar la estrategia de mantenimiento, con tiempos, recursos necesarios y costos.

Tabla 30. *Gastos de Implementación Mensual*

Item	Cant.	DESCRIPCIÓN	UND	P. UNIT	TOTAL S/.	TOTAL \$
1	31	Procesamiento de retiro de equipos de bombeo de almacén	Unid	S/ 6.25	S/ 125.00	\$ 36.76
2	31	Reportes de parada en cada equipo de bombeo para cambio	Unid	S/ 6.25	S/ 125.00	\$ 36.76
5	1	Misceláneos (trapo industrial, solventes)	Unid	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00	\$ 735.29
6	1	Alojamiento	Unid	S/ 15,000.00	S/ 15,000.00	\$ 4,411.76
7	1	Alquiler de camioneta para servicio de operaciones	Unid	S/ 6,000.00	S/ 6,000.00	\$ 1,764.71
8	1	Combustible	Unid	S/ 4,500.00	S/ 4,500.00	\$ 1,323.53
9	1	Alimentación	Unid	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	\$ 1,176.47
10	10	Equipo de protección personal (EPP)	Kit	S/ 500.00	S/ 5,000.00	\$ 1,470.59
11	1	Prevencionista a tiempo completo	Unid	S/ 7,000.00	S/ 7,000.00	\$ 2,058.82
				Total	S/ 44,250.00	\$ 13,014.71
				IGV 18%	S/ 7,965.00	\$ 2,342.65
				TOTAL INCLUIDO IGV	S/ 52,215.00	\$ 15,357.35

* Gastos Mensuales de Implementación (tres meses)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31. *Gastos de Materiales de Trabajo*

ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	UND	P. UNIT	TOTAL S/.	TOTAL \$
1	1	Laptop.	unid	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00	\$ 882.35
2	1	Útiles de escritorio: papel bond, lapiceros, libreta de apuntes, Folder, perforador, papel bond A4.	Unid	S/ 750.00	S/ 750.00	\$ 220.59
3	1	USB y disco portátil.		S/ 350.00	S/ 350.00	\$ 102.94
4	1	Impresora Epson 4160 y cartuchos.	unid	S/ 1,100.00	S/ 1,100.00	\$ 323.53
				Total	S/ 5,200.00	\$ 1,529.41
				IGV 18%	S/ 936.00	\$ 275.29
				TOTAL INCLUIDO IGV	S/ 6,136.00	\$ 1,804.71

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32. *Costos Mensuales de Mantenimiento Programado*

Concepto	Cantidad	P. UNIT	TOTAL S/.	TOTAL \$
Cambio de o-rines	31	S/ 60.00	S/ 1,920.00	\$ 564.71
Lubricación	31	S/ 100.00	S/ 1,440.00	\$ 423.53
Inspección de parámetros	31	S/ 200.00	S/ 5,166.00	\$ 1,519.41
Misceláneos (trapo industrial, solventes)	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00	\$ 735.29
TOTAL			S/ 11,026.00	\$ 3,242.94
IGV 18%			S/ 1,984.68	\$ 583.73
TOTAL INCLUIDO IGV			S/ 13,010.68	\$ 3,826.67

Fuente: Elaboración Propia

Con la aplicación de la estrategia a implementar, se seguirá cumpliendo con el plan de mantenimiento programados, descrito en la Tabla 32. Además, en la tarea de Inspección de parámetros, incluye métodos predictivos como termografía, vibraciones, corrientes; estos parámetros nos van a permitir identificar a tiempo condiciones para evitar fallos inesperados.

Para calcular los ingresos mensuales, dividimos el costo de mantenimiento anual del 2019 (\$ 2,149,970.73) en doce meses, siendo un monto trimestral de \$ \$537,492.68.

Tabla 33. Cálculo de VAN y TIR

	Año 0	Año 1		Año 2					
	Trimestre 0	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 5	Trimestre 6	Trimestre 7	Trimestre 8
Inversión y Mantto	\$845,526.69	\$19,184.02	\$3,826.67	\$3,826.67	\$3,826.67	\$3,826.67	\$3,826.67	\$3,826.67	\$3,826.67
Ahorro en Costos		\$537,492.68	\$537,492.68	\$537,492.68	\$537,492.68	\$537,492.68	\$537,492.68	\$537,492.68	\$537,492.68
SALDOS (\$)	-\$845,526.69	\$518,308.66	\$533,666.01	\$533,666.01	\$533,666.01	\$533,666.01	\$533,666.01	\$533,666.01	\$533,666.01

PARÁMETRO	VALOR
TIR	61.03%
VAN	\$1,591,870.14
WACC	12.08%

Fuente: Elaboración Propia

Observamos en la tabla 33 un TIR del 61% en el periodo de 2 años con un VAN de \$1.5Millones. El TIR representa 5 veces el WACC en el periodo de 2 años, es así que la estrategia de mantenimiento implementada es viable económicamente.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La permanencia de producción es vital para toda operación minera, por lo que uno de las tareas clave es el mantenimiento de sus equipos. En el presente estudio se determinó la mejora de la disponibilidad de electrobombas Flygt 2400 gracias al diseño de estrategias de mantenimiento mediante la metodología del TPM pues como lo menciona Villena (2017) el TPM tiene como objetivo la maximización de la eficiencia global del equipo en los sistemas de producción, eliminando las averías, los defectos y los accidentes con la participación de todos los miembros de la empresa Lluís Cuatrecasas Arbós y Francesca Torrell Martínez (2010). Es así que, definimos cinco pasos para diseñar nuestras estrategias de mantenimiento con la metodología TPM: Primero definimos Políticas alineadas a las 5S, al entrenamiento del personal y la filosofía Kaizen. Segundo, definimos mejoras enfocadas en base al análisis causa efecto, dando una solución a aquellas causas principales. Tercero, implementamos Formatos Estandarizados de reporte de fallas e inspecciones programadas. Cuarto, estandarizamos un Procedimiento de Trabajo y como quinto paso implementamos un plan de Mantenimiento Preventivo y Predictivo.

Tras el diagnóstico de la situación actual se determinó que la disponibilidad de la electrobomba Flygt 2400 era de 87.3% y con el diseño de las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM se espera llegar a 92.2%; es decir, se espera un aumento del 4.9%. Estos resultados guardan relación con lo proyectado por Castañeda (2017) en su trabajo de investigación denominado “Gestión de mantenimiento para incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las electrobombas centrífugas en Minera Yanacocha, 2017”, quien espera aumentar la disponibilidad de la electrobomba Flygt 2400 en un 5.14% solo con un plan de reparación; sin embargo, no plantea estrategias específicas para este tipo de electrobomba. Además, en nuestro estudio, analizamos el porcentaje de tareas preventivas, predictivas y

correctivas, pasando de tener 86% de correctivas a solo 5% de éstas; mientras que las tareas preventivas pasan de 9% a 58% y las tareas predictivas pasan de 5% a 37%. Así, con nuestro diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM, aseguramos el incremento de la disponibilidad disminuyendo significativamente el MTTR.

Por el contrario, Jiménez (2012) en su trabajo de investigación implementó un plan de mantenimiento preventivo enfocada en la productividad de sus trabajadores con lo cual aumentó su disponibilidad de 80% a 93%; es decir un 13%. Esto lo logró, implementando fichas por equipos, también incluyó fichas Kaizen y 5S, todo ello utilizando la metodología Lean Manufacturing. Esto nos da una idea que nuestro trabajo tiene la oportunidad de mejorar aún más la disponibilidad si utilizamos la metodología Lean Manufacturing, pues nos tenemos un incremento menor que nuestro antecedente.

Los resultados en el análisis económico nos indican que se podría obtener una utilidad en relación de 5 a 1, con un TIR de 61.03% frente a un WACC de 12.08%, y un VAN de \$1,591,870.14 a lo largo de 2 años de operación de las electrobombas Flygt 2400. Este análisis económico es respaldado por Torres (2015), quien dice que las mejoras realizadas en las empresas mineras con el fin de aumentar tiempos de operación de los equipos, aumenta la utilidad de la empresa.

4.2. Conclusiones

El diagnóstico nos permitió identificar los principales factores que afectan la disponibilidad de las electrobombas Flygt 2400, debido a falta de mantenimiento específico, elevado número de fallas de sellos mecánicos, lubricación inadecuada y contaminación con sedimentos. Obteniendo una disponibilidad promedio mensual de 87.1%, 3% menos que el target establecido por la gerencia de mantenimiento en 90%.

El diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para las electrobombas Flygt 2400, se realizó teniendo como base a la metodología del Mantenimiento Productivo Total, en donde definimos cinco pasos a seguir. El establecimiento de Políticas alineadas a las 5S, el entrenamiento de personal y la filosofía Kaizen. Se definieron mejoras enfocadas, para dar solución a las causas principales de la baja disponibilidad; se diseñó formatos de Reporte de Fallas e inspecciones programadas, se estandarizó un procedimiento de trabajo para asegurar la eficiencia del mantenimiento y finalmente definimos un plan de mantenimiento preventivo y predictivo.

Una vez diseñadas las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM calculamos y comparamos los nuevos indicadores con una antes y después, demostrando que con la aplicación de nuestras estrategias mejoraríamos la disponibilidad en un 4.9%; es decir pasaríamos de 87.3% a 92.2%; esto se logra con la disminución del MTTR y con la reducción de las paradas correctivas de un 86% al 5%, mientras que las paradas preventivas aumentan de 9% al 58% y las tareas predictivas pasan de 5% a 37%.

Finalmente, se determina que las estrategias de mantenimiento con la metodología TPM propuestas son viables económicamente, pues se calculó un TIR del 61.03% y un VAN de \$1,591,870.14 a lo largo de 2 años de operación de los equipos de bombeo, frente a un WACC de 12.08% asumiendo un 50% de inversión propia y de financiamiento.

REFERENCIAS

- (Jaume Aldavert, Eduard Vidal, Jordi Lorente J., Xavier Aldavert, 2016). (2016). *5S Para la mejora Continua*. Editorial Cims.
- Adolfo Arata Andreani y Luciano Furlanetto. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento*. Santiago de Chile, Chile: RIL editores.
- American Petroleum Institute. (1 de Mayo de 2014). *American Petroleum Institute*, 4. Obtenido de API Org: <https://www.api.org/products-and-services/standards/standards-plan>
- Ana María Godínez Gonzáles, G. H. (2018). *Poder KAIZEN: El método preferido de Mejora Continua para maximizar los resultados de toda organización*. México, Guanajuato: Inglus Media Innovation.
- Boero, C. (2009). *Mantenimiento industrial*. Argentina: Jorge Sarmiento Editor.
- Castañeda, Y. A. (2017). Gestión de mantenimiento para incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las electrobombas centrífugas en minera yanacocha, 2017. (*Tesis Pregrado*). Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32402/casta%
cy.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32402/casta%c3%b1eda_cy.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Electric, F. (31 de Octubre de 2014). *Cómo seleccionar el material de su sello mecánico*. Obtenido de <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2014/10/31/material-de-los-sellos-mecanicos/>
- FSA, F. (1 de Diciembre de 2005). *Fluid Sealing Association*. Obtenido de FSA: <https://www.fluidsealing.com/publications>
- García Garrido, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- García Palencia, O. (17 de Octubre de 2017). *Reliability Web*. Obtenido de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/>
- Huebner, M. (2005). Selección de Material para Sellos Mecánicos. Deer Park, Texas, EEUU. doi:<https://doi.org/10.21423/R1NT1T>
- Industrial, E. (15 de Abril de 2018). *Grado de viscosidad en lubricantes*. Obtenido de Electromecánica industrial y mas: <https://www.youtube.com/watch?v=4lA9VpCG3LM>
- Jaume Aldavert, Eduard Vidal, Jordi Lorente J., Xavier Aldavert. (2016). *5S Para la mejora continua*. Editorial Cims.
- Jimenez N, A. J. (9 de Abril de 2012). *Mantenimiento LA*. Obtenido de Mantenimiento Latino Americano: <https://maintenancela.blogspot.com/2012/04/costo-del-ciclo-de-vida-de-un-activo.html>
- Jímenez, Y. R. (2012). Propuesta de mejora bajo la filosofía TPM para la Empresa Cummins de los Andes S.A. (*Tesis Posgrado*). Antioquia, Caldas, Colombia: Corporación Universitaria Llasallista. Obtenido de http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/726/1/PROPUESTAS_MEJORA_BAJO_FILOSOFIA_TPM_EMPRESA_CUMMINS.pdf

- Johnston, M. (11 de Junio de 2018). *Reliability Web*. Obtenido de Como seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>
- Lluis Cuatrecasas Arbós y Francesca Torrell Martínez. (2010). *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva*. Barcelona- España: Profit Editorial I.,S.L. .
- Lopera Echavarría, J. D., Ramírez Gomez, C. A., Zuluaga Aristizábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). El Método Analítico como Método Natural. *Nómadas*, 28.
- Luis Cuatrecasas Arbós y Francesca Torrell Martínez. (2010). *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva*. Barcelona, España: Profit Editorial I., S.L. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=n5qUDVbPA6wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Martín, D. (30 de Abril de 2017). *Estrategia Practica*. Obtenido de Matriz de prioridades – Guía práctica y ejemplo: <https://www.estrategiapractica.com/matriz-prioridades-guia-practica/>
- Melchor Cahuaya, R. N. (1 de Enero de 2016). Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la bomba Mars III en la Compañía Minera Santa Luisa S.A. *Tesis de Pregrado*. Huancayo, Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1580/TESIS03.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales Zamora, J. F. (1 de Abril de 2012). *Mantenimiento Planificado*. Obtenido de Manual Lubricación: <http://www.mantenimientoplanificado.com/>
- Moreno Robayo, Hugo Fernando Y Ramírez Ortiz Julio Cesar. (2017). Elaboración de un análisis de Criticidad y disponibilidad de máquinas refernciado en las normas SAE JA1011 Y SAE JA1012. (*Tesis Posgrado*). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7854/1/MorenoRobayoHugoFernando2018.pdf>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. North Carolina: Edwards Brothers.
- Noria Corporation. (6 de noviembre de 2013). *Los peligros ocultos de la falta de lubricante*. Obtenido de Noria Latín América: <https://noria.mx/lublearn/los-peligros-ocultos-de-la-falta-de-lubricante/>
- Oblitas, J. (2018). *GUÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA 2018*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated Reliability: Condition Monitoring and Maintenance Equipment*. USA: CRC Press.
- Pascual, R. (2008). *EL Arte de Mantener*. Santiago: Universidad de Chile.
- Pistarelli , A. J. (2017). *Manual de Mantenimiento. Ingeniería, Gestión y Organización*. AJ Pistarelli.

- Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernandez Collado, Pilar Baptista Lucio. (2010). *Metodología de la Investigación Quinta Edición*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V. .
- Torres, L. (2015). *Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento*. Córdoba: Alfaomega.
- Villena, A. O. (2017). Propuesta de Implementación de un Plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora. (*Tesis pregrado*). Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622200>
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 125-138.
- Widman, R. (1 de Marzo de 2009). *Widman International SRL*. Obtenido de <https://www.widman.biz/boletines/67.php>
- Xylem. (2011). *Especificaciones Técnicas*.
- Zimmermann, J. S. (24 de Agosto de 2017). *Alpha Manufacturas*. Obtenido de www.alphamanufacturas.com: https://www.youtube.com/watch?v=IP_4h-0jFds&t=2s

ANEXOS

ANEXO 1. Registro de horas de paradas de equipos de bombeo en el año 2019

Equipo de Bombeo	Horas de Parada
FLYGT 2400	34,062
HYDROFLO/9HL-8STG	22,378
HIDROSTAL-B14C	16,049
SULZER/8M-700/200HP	15,768
GOULDS 3700 MX	10,289
VOGEL-125.2/6X	9,259
GRINDEX/MAGNUM N	7,121
GRINDEX-MAXI-H	4,428
HYDROFLO/14LH-6STG	4,414
SULZER/8H-1000/200HP	3,974
HYDROFLO/7LL-9STG	3,384
VOGEL-40.2/4X	2,714
GRINDEX/MASTER-H	2,376
GRUNDFOS/ LAPICERO	864
DURCO-MK3-STD	684
TSURUMI-2HP	173
Total general	137,936

ANEXO 2. Historial de Fallas de Electrobombas Flygt

Fecha	Lugar	Tarea	Tiempo de Parada (Hras)
1-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó desconexión de tablero TAB-152 y se	51.8
1-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Verificación de falla en tablero TAB-104, la elect	33.5
1-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Se verificó funcionamiento de electrobomba Flyght,	33.5
8-Ene	Taller Mecánico	Conexión de cable de fuerza en caja de borneras y	237.6
9-Ene	Poza Sump Sur Gravas	Inspección de falla en tablero TAB-066. Se tiene f	33.5
13-Ene	Poza Yesenia	Prueba de giro de electrobomba Flyght quedando ope	42.1
13-Ene	Poza Sump Sur Gravas	Se dejó operativa la electrobomba Flyght NS: SS201	37.3
13-Ene	Taller Mecánico	Se realizó el armado de electro bomba FLYGT con se	712.8
14-Ene	Poza Sump TO	Pruebas eléctricas a bomba flygt que se va a insta	33.5
15-Ene	Poza Sump Sur Gravas	Se realizó un empalme de baja tensión. Conexión de	27.0
16-Ene	Poza Sump TO	Se realizó empalme de cable de baja tensión con ca	37.3
17-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó empalme entre cable de BT y bomba Flygt	37.8
18-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Inspección de tablero: TAB-054 (POS 01), se encont	37.3
18-Ene	Poza Sump TO	Se conectó el cable RTD al tablero TAB 020, luego	41.9
19-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Desconexión de EBBA Flygt 2400HT (Serie: SS2016007	32.4
19-Ene	Poza Sump Chaquicocha	Del tablero TAB-146 se desconectó bomba turbina B1	54.0
21-Ene	Poza Chugurana	Realización de empalme de cable de baja tensión de	37.3
21-Ene	Taller Mecánico	Desarmado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: 1230052SS	691.2
22-Ene	Poza Otiliza	Habilitación de 4 puntas de cable AL-240mm2	27.0
28-Ene	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flyght NS: 1180051SS que	896.4
6-Feb	Taller Mecánico	Armado de electrobomba Flyght NS: 1230059SS quedan	336
7-Feb	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flyght NS: 2130058SS dej	588
8-Feb	Poza Sump TO	Se realizaron pruebas eléctricas a la bomba Flygt,	18.6
9-Feb	Poza Sump TO	Se realizó empalme de cables de aluminio con la bo	20.7
9-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó 01 empalme de cable de fuerza, 02 empal	18
10-Feb	Taller Mecánico	Se terminó con el desarmado de la EBBA Flygt 2400H	576
11-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se monitoreo de funcionamiento de la EBBA Flygt 24	18.6
12-Feb	Poza Yesenia	Se desconecto el puente que habia entre el tablero	20.7
13-Feb	Poza Sump Sur Gravas	Empalme de cables de fuerza y RTD de EBBA Flygt 24	18.6
14-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se monitoreo el funcionamiento de la EBBA Flygt 24	18.6
14-Feb	Poza Chugurana 2	Apoyo en el lanzamiento de las bombas turbinas POS	15
15-Feb	Poza Sump Sur Gravas	Se desconecto el tablero arrancador Benshaw TAB 06	15
16-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó corte de cable en balsa de la electrobo	20.7
17-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó empalme de cable RTD y fuerza en balsa	15
18-Feb	Poza Sump Chaquicocha	La bomba POS01 (TAB-054) presentaba falla en cable	10.5
19-Feb	Taller Mecánico	Lavado de estator de EBBA Flygt 2400HT (Serie: 118	324
20-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Empalme de cable RTD y cable de fuerza de BT en ba	21
21-Feb	Taller Mecánico	Desarmado al 100% de la parte mecánica de la EBBA	264
22-Feb	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flygt 2400HT, Serie:	576
23-Feb	Poza Rosita - NSJ01	Desconexión de tablero TAB #080 de la bomba fly	20.7

23-Feb	Taller Mecánico	Se realizó el conexionado de la EBBA Flygt 2400HT	264
26-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se verificó falla en bomba FLYGT de la posición 4,	15
28-Feb	Poza Sump Chaquicocha	Se apoyó con la desenergización y energización de	20.7
9-Mar	NSJ02	Reseteo de PLC, dejando operativo tablero TAB # 08	33.5
12-Mar	Taller Mecánico	Desarmado de EBBA Flygt 2400HT. Se avanzó con el	864.0
13-Mar	Poza Sump Chaquicocha	Se aumentó la frecuencia del tablero de la bomba t	37.3
14-Mar	Poza Sump Chaquicocha	Se puso en funcionamiento electrobomba flygt conec	38.9
14-Mar	Poza Chugurana	Se realizó verificación con la parte mecánica en e	33.5
22-Mar	Poza Sump Chaquicocha	Reseteo de EBBA Flygt 2400HT por falla por tempera	33.5
22-Mar	Poza Chugurana	Se inspecciono la bomba flygt que presentaba sonid	37.3
22-Mar	Poza Sump Chaquicocha	Realización de 01 empalme de cable de fuerza de la	27.0
22-Mar	Poza Chugurana	Se realizó desconexión de la bomba flygt que prese	27.0
22-Mar	Poza Sump Chaquicocha	Inspección del giro libre del eje y montaje de la	37.8
23-Mar	Poza Yesenia	La actividad programada era conectar generador GND	38.9
23-Mar	Poza Sump Chaquicocha	Se reseteo la EBBA Flygt 2400HT (POS05) del tabler	33.5
26-Mar	Poza Chugurana 2	Realización de 01 empalme de BT al 100% y se avanz	27.0
26-Mar	Poza Sump Sur Gravas	Se realizó megado de 2 tramos de cable de 240 mm ² ;	37.8
26-Mar	Taller Mecánico	Armado de electrobomba Flygt NS: Se montaron r	237.6
27-Mar	Poza Chugurana 2	Se realizó 02 empalmes de cable 240 mm ² de flygt a	32.4
29-Mar	Poza Sump Sur Gravas	Se colocó terminales en ambas puntas del puente en	24.3
30-Mar	Taller Mecánico	Se retiró los rodamientos del rotor, verificación	540.0
30-Mar	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT para mantenimiento may	691.2
31-Mar	Poza Sump Sur Gravas	Pruebas de funcionamiento de las EBBA Flygt 2400HT	33.5
1-Abr	SE Sump Chaquicocha	Se verifico falla externa en el tablero TAB 104 qu	23.4
1-Abr	SE Sump Chaquicocha	Se verifico falla S5 del tablero TAB 146 que alime	18.6
1-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó cambio de bomba flygt posición 04, para	21
2-Abr	SE Sump Chaquicocha	Se verifico falla externa del tablero TAB 054 que	18.6
2-Abr	Taller Mecánico	Se terminó con el armado de la EBBA Flygt 2400HT (180
2-Abr	Taller Mecánico	Se culminó con el armado de la bomba 9HL - serie T	498
4-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Desconexión de la EBBA Flygt POS01 del tablero TAB	23.25
5-Abr	Poza Chugurana	En el tablero TAB-129 se realizó desconexión de l	12
6-Abr	Taller Mecánico	Armado de Ebba Flygt 2400; s/n: 1420017SS	588
7-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Verificación de falla en el tablero TAB # 054, pre	20.7
8-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Se desconectó bomba flygt posición 01, por falla,	30
9-Abr	Taller Mecánico	Se inició mantenimiento de la bomba Flygt cuya ser	210
10-Abr	Quecher Main	Realización de 01 empalme de cable RTD y 01 empalm	30
10-Abr	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT, S/N: 1420017SS	396
11-Abr	Poza Yesenia	Inspección de tableros por ingreso de agua con lod	10.5
11-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Verificación de falla de la EBBA Flygt 2400HT POS0	10.5
21-Abr	Taller Mecánico	Continuación con el desarmado de electrobomba Flyg	300
23-Abr	Poza Mily	Se retiró bomba Maxi H con N° Serie: 167053 y se i	15
24-Abr	Poza Mily	Empalme de cable de termocontacto y cable de Fuerz	18
25-Abr	TR Mily	Reparación de fuga de agua en Mini Flygt.	20.7

25-Abr	Poza Cajón	Empalme de cable de baja tensión en la bomba Grind	15
26-Abr	Taller Mecánico	Armado de electrobomba Flygt 2400HT, Serie: 123006	204
27-Abr	Poza Cajón	Se realizó conexionado de la bomba flygt al tabler	18.6
29-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Se verifico falla de módulo RTD en el tablero TAB	20.7
30-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Corte de cable por posible trabamiento de eje de E	15
30-Abr	Poza Sump Chaquicocha	Empalme de cable RTD y de fuerza en balsa de EBBA	15
2-May	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flygt, número de serie 4	210
5-May	Taller Mecánico	Se realizó desarmado de electrobomba Flyght 2400.4	324
6-May	Poza Sump Chaquicocha	Desconexión y corte de empalme de electrobomba fly	12
6-May	Taller Mecánico	Armado de electrobomba Flygt 2400HT, Serie: 400-40	264
7-May	Taller Mecánico	Armado de electrobomba Flygt 2400HT, Serie: 400-40	264
8-May	Taller Mecánico	Se culminó con el desmontaje de la electrobomba fl	240
9-May	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flygt 2400HT, Serie: 123	360
10-May	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flygt 2400HT, Serie: 123	240
15-May	Taller Eléctrico / Mecánico	Conexión de cables de fuerza en la caja de bornera	60
21-May	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: 1230065	60
22-May	Taller Mecánico	Lavado de componente electrobomba flygt al 100 %,	456
26-May	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: SS201600015-2	456
27-May	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: SS201600015-2	420
28-May	Poza Sump Chaquicocha	Inspección de bombas Flygt para montar en posición	21
28-May	Taller Mecánico	Desarmado y limpieza de componentes de EBBA Flygt	432
29-May	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: 1230052SS	432
4-Jun	Taller Mecánico	Se realizó desarmado de electrobomba Flyght NS:123	432
5-Jun	Poza Sump Sur Gravas	Se realizó el tendido de cable RTD para las 02 EBB	15
5-Jun	Taller Mecánico	Armado de Motor SME de 350HP (Serie: 1512DP4289),	120
7-Jun	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó monitoreo de amperaje de entrada y sali	18
11-Jun	Taller Mecánico	Se culmino con armado de EBBA Flygt (Serie: 2400.4	372
12-Jun	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó empalme de cable RTD y fuerza de la EBB	13.5
13-Jun	Taller Mecánico	Se terminó con el armado de la electrobomba Flygt	420
16-Jun	Taller Mecánico	Desarmado y limpieza de componentes de EBBA Flygt	192
17-Jun	Taller Mecánico	Desarmado y limpieza de componentes de EBBA Flygt	360
18-Jun	Taller Mecánico	Desarmado por completo de componentes de EBBA Flyg	120
19-Jun	Taller Mecánico	Colocación de rodamientos en el rotor de bomba fly	432
20-Jun	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: 1230063SS (Que	240
21-Jun	Poza Yesenia	Desconexión del Generador GNDP006, que alimentaba	20.7
21-Jun	Poza Sump Sur Gravas	Se conectó el puente entre el generador GNDP003 y	12
22-Jun	Taller Mecánico	Culminación del desarmado de bomba flygt al 100 %	432
26-Jun	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flyght NS:2017-01051-2-S	342
27-Jun	Taller Mecánico	Se terminó con el armado de la EBBA Flygt (Serie:	432
28-Jun	Taller Mecánico	Se culmino con el desarmado de electrobomba flygt	120
28-Jun	Taller Mecánico	Desarmado de EBBA Flygt 2400HT, Serie: SS201600360	276
29-Jun	Taller Mecánico	Se inicio el armado de electrobomba flygt, teniend	120
4-Jul	Taller Mecánico	Armado de electrobomba Flyght NS: SS201600360-1 qu	204
5-Jul	Talleres YN	Armado de Electroboomba Flygt 2400HT, para mantenim	480

8-Jul	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó megado de motor de la EBBA Flygt posici	18.6
12-Jul	Taller Mecánico	Se terminó con el armado de la parte mecánica de	360
13-Jul	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó el cambio de empaque de la descarga de	15
14-Jul	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó el corte de cable de fuerza de la elect	24
22-Jul	Poza Sump Sur Gravas	Desconexión de la alimentación de la electrobombas	12
25-Jul	Poza Sump Sur Gravas	Se realizó el conexionado de cable de la EBBA Flyg	18.6
25-Jul	Taller Mecánico	Se culminó con el desmontaje de la EBBA Flygt (ser	240
1-Ago	Poza Cajón	Desconexión de la electrobomba Flygt 240HT del tab	33.5
8-Ago	Poza Sump Sur Gravas	Se desconectó la bomba flygt del tablero TAB 075.	33.5
9-Ago	Poza Sump Sur Gravas	Se conectó cable de la bomba flygt en el tablero T	37.3
10-Ago	Poza Sump Chaquicocha	Inspección de EBBA Flygt POS01 (Tablero TAB-054),	42.1
10-Ago	Poza Encajón	Se inspeccionó la poza Encajón para realizar prueb	42.1
12-Ago	Poza Chugurana	Desconexión de EBBA Flygt 2400HT y conexión de bom	37.3
12-Ago	Taller Mecánico	Se terminó con la conexión en la caja de borneras	345.6
13-Ago	Taller Mecánico	Se avanzó con el 30% del desarmado de la EBBA Flyg	367.2
14-Ago	Taller Mecánico	Desarmado de electrobomba Flygt serie 1420017SS q	604.8
15-Ago	Poza Sump TO	Desconexión de tablero TAB # 015 de la bomba flygt	33.5
20-Ago	Poza Sump Sur Gravas	Se desconecto el puente entre el generador GNDP 0	21.6
24-Ago	Poza Sump Chaquicocha	Desconexión y conexión de la EBBA Flygt POS03 (TAB	38.9
28-Ago	Poza Sump Sur Gravas	Se conectó el tablero TAB 058, el cual esta alime	33.5
5-Set	Taller Mecánico	Se desarmó la electrobomba Flygt 2400HT (Serie: 12	360
6-Set	Poza Sump Sur Gravas	Se desconectó el puente entre el generador GNDP 00	12
8-Set	Poza Sump Sur Gravas	Se desconectó el cable del motor (bomba flygt) en	18
8-Set	Taller Mecánico	Lavado y barnizado a los rebobinados de los estato	120
9-Set	Poza Sump Chaquicocha	En el tablero de la Electro bomba Flygt POS03 (TAB-	16.5
10-Set	Taller Mecánico	Se terminó con el desarmado de la EBBA Flygt 2400H	240
20-Set	Taller Mecánico	Se terminó con el desarmado de la EBBA Flygt 2400H	204
24-Set	Poza Sump Sur Gravas	Se Cortó el cable del motor aurora en la balsa, se	18
25-Set	Taller Mecánico	Armado de electrobomba flygt al 100% parte mecánic	480
26-Set	Poza Sump Chaquicocha	Se instalo 2 bombas flygt, posición 03 y 05, se re	30
28-Set	Nueva Poza Sur Gravas	Se realizó pruebas de funcionamiento de bomba flyg	18.6
29-Set	Taller Mecánico	Se montó los rodamientos y tapas en el rotor de la	360
5-Oct	Poza Cajón	Se puso en funcionamiento de la bomba flygt, se in	42.1
7-Oct	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó inspección por falla en el tablero TAB	21.6
8-Oct	Poza Sump Chaquicocha	Desconexión de la EBBA Flygt 2400HT, POS04 (Serie:	54.0
14-Oct	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó cambio de bomba flygt, realizando empal	54.0
15-Oct	Poza Sump Chaquicocha	Se verifico el funcionamiento de la bomba posición	54.0
15-Oct	Taller Eléctrico	Se realizó inspección y conexión de cables de fue	324.0
17-Oct	Poza Sump Chaquicocha	Desconexión de electrobomba flygt del tablero TAB	32.4
21-Oct	Taller Mecánico	Se terminó con el desarmado de la EBBA Flygt 2400H	734.4
22-Oct	Talleres YN	Se realizó la conexión eléctrica en caja de borner	356.4
22-Oct	Taller Mecánico	Se culminó con el desmontaje de la electrobomba fl	432.0
23-Oct	Poza Nueva Sur Gravas	Se realizó empalme de electrobomba Flygt y conexio	27.0
24-Oct	Poza Nueva Sur Gravas	Instalación de electrobomba Flygt S/N 1230053SS: S	33.5

24-Oct	Poza Patricia	Instalación de electrobomba Flygt S/N 1230036: Se	21.6
25-Oct	Carachugo 14	Conexión del generador de 460 kw. Puente entre gen	37.3
27-Oct	Poza Patricia	Se realizó pruebas de funcionamiento de la bomba f	33.5
28-Oct	Taller Eléctrico	Conexión de cables de BT en caja de borneras de la	108.0
30-Oct	Poza Sur Gravas	Conexión de la EBBA Flygt 2400HT al tablero TAB-00	33.5
31-Oct	Taller Eléctrico	Pruebas de funcionamiento de la EBBA Flygt 2400HT	75.6
2-Nov	Poza Rosita - NSJ01	Se verificó tablero de TAB # 080 donde no encendía	37.3
4-Nov	NSJ 01 - Poza Rosita	Instalación de descarga en bomba flygt, inspección	33.5
4-Nov	NSJ 01 - Poza Rosita	Se desconectó la bomba flygt serie SS201600646-1,	43.2
5-Nov	Poza Patricia	Se desconectó bomba flygt del tablero TAB 155, par	62.1
5-Nov	Poza Chugurana 2	Se cambió bomba Flygt, dentro de balsa, se corta c	62.1
5-Nov	NSJ 01 - Poza Rosita	Se conectó bomba Flygt dentro de balsa, se realizó	62.1
6-Nov	Poza Patricia	Se desconectó bomba master H, del tablero TAB 155,	62.1
7-Nov	Poza Sump Chaquicocha	Se verifico en el fondo del tajo la electrobomba f	54.0
7-Nov	Poza Patricia	Se desconectó bomba flygt del tablero TAB 155, par	49.7
7-Nov	Taller Mecánico	Se inició mantenimiento de la bomba Flygt cuya ser	378.0
8-Nov	Talleres YN	Armado de EBBA Flygt 2400HT, S/N: 1420017SS	864.0
8-Nov	Poza Yesenia	Se conectó bomba flygt de 140 HP dentro de balsa,	37.3
12-Nov	Poza Sump TO	Se desconectó cables del motor (bomba flygt) del t	42.1
12-Nov	Poza Patricia	Conexión de generador GNDP 0009 a tablero TAB #155	33.5
13-Nov	Poza Chugurana	Se reseteo tablero TAB# 129 por falla de baja pote	33.5
14-Nov	Poza Sump Chaquicocha	Se indicó realizar el desmontaje de una bomba flyg	43.2
15-Nov	Poza Patricia	Se conectó en el tablero TAB 195 cables de aliment	37.3
17-Nov	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó empalme de cable de fuerza y RTD de EBB	62.1
19-Nov	Poza Chugurana	Reseteo del tablero eléctrico de la EBBA Flygt 240	33.5
27-Nov	Poza Yesenia	Conexión del puente del generador Baldor N°03 hac	37.3
1-Dic	Poza Sump Sur Gravas	Inspección auditiva de la bomba flygt, presenta so	23.4
1-Dic	Poza Sump Sur Gravas	Se realizó la conexión de la bomba flygt y quedó f	21
2-Dic	Poza Sump Chaquicocha	Por la mañana se inspeccionó la fuga de agua en la	21
2-Dic	Poza Nueva Gravas Sur	Desconexión de 02 electrobombas flygt en el genera	21.6
2-Dic	Poza Rosita NSJ1	Se corrigió el problema del lanzamiento de bombeo	18.6
2-Dic	Taller Mecánico	Se desarmó la electrobomba Flygt 2400HT (Serie: 12	360
3-Dic	Taller Mecánico	Inspección de electrobomba flygt al 100 %, Con ser	360
4-Dic	Taller Mecánico	Se empezó armado de electrobomba Flyght, se realiz	180
4-Dic	Poza Patricia	Se desconectó cable de fuerza de la bomba flygt qu	18.6
4-Dic	Poza Nueva Sur Gravas	Se conectó el puente entre el tablero TAB 023 y el	20.7
5-Dic	Poza Patricia	Se realizó 2 empalmes de cables de B, se realizó 2	21
8-Dic	Poza Sump Sur Gravas	Se subió de 55 a 58HZ la frecuencia del tablero TA	26.91
18-Dic	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT (Serie: 1230036SS)	120
19-Dic	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT (Serie: 1230036SS)Cone	348
20-Dic	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó la desconexión de la alimentación de la	12
21-Dic	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó empalme de cable RTD y cable de fuerza	18
22-Dic	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt 2400HT (Serie: SS201500987-2)	360
23-Dic	Taller Mecánico	Armado de EBBA Flygt (Serie: 2400.402-SS201500987-	240
24-Dic	Poza Sump Chaquicocha	Se realizó pruebas eléctricas a la bomba posición	15

ANEXO 3. Modos de Falla de la Electrobomba FLYGT 2400

Categoría de Falla	Modo de Falla	Horas de Parada
Mano de obra	Diagnostico Inadecuado	732
	Lubricación Inadecuada	2,230
Material	Contaminación con sedimentos	11,684
Máquina	Alta Vibración	576
	Bomba trabada	76
	Estator Dañado	120
	Falta de Protección	432
	Rotura de sello mecánico	8,602
Métodos	Altas horas de operación	2,726
	Mantenimiento Preventivo	750
	Reparación Inadecuada	2,009
Materiales	Generador en falla	192
	Ingreso de Agua - Bornera	1,224
	Ingreso de Agua-cable	1,113
Contexto	Accidente	324
	Cambio de plan operativo	1,285
Total		34,076

ANEXO 4. Clasificación de las paradas de las electrobombas Flygt 2400

Clasificación	Modo de Falla	Total
Correctiva	Accidente	2
	Altas horas de operación	10
	Bomba trabada	1
	Contaminación con sedimentos	61
	Diagnostico Inadecuado	2
	Estator Dañado	1
	Falta de Protección	5
	Generador en falla	5
	Ingreso de Agua - Bornera	2
	Ingreso de Agua-cable	6
	Lubricación Inadecuada	43
	Reparación Inadecuada	12
	Rotura de sello mecánico	43
Predictiva	Alta Vibración	1
	Altas horas de operación	1
	Lubricación Inadecuada	6
Preventiva	Cambio de plan operativo	12
	Mantenimiento Preventivo	9
Total general		222

ACTA DE CONFORMIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, TESIS O
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El Asesor completa las líneas puntuadas, marca con una "X" en los paréntesis "()" según corresponda.

El Asesor LUIS ROBERTO QUISPE VÁSQUEZ

docente de la (X)carrera o (...)programa de Elija un elemento. de INGENIERÍA INDUSTRIAL

.....; ha realizado el
seguimiento del proceso de formulación, desarrollo, revisión y verificación en programa de anti plagio del
(...)Trabajo de Investigación, (X) Tesis o (...) Trabajo de Suficiencia Profesional de:

- ANTENOR RAMOS CORREA
(Nombre completo del egresado/bachiller)
- HEYLLI NOEMI VILLAR SALDAÑA DE RAMOS
(Nombre completo del egresado/bachiller)

Por cuanto, **CONSIDERA** que el (...)Trabajo de Investigación, (X)Tesis o el (...) Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: "DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA TPM PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS ELECTROBOMBAS FLYGT 2400 EN EL ÁREA DE DRENAJE DE UNA EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA" , para aspirar al Grado Académico o Título Profesional de: INGENIERO INDUSTRIAL por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA**, al o los interesados para su presentación/sustentación. Con respecto al uso de la información de la empresa; el Asesor declara, según los criterios definidos por la universidad, lo siguiente:

- Este trabajo Requiere la autorización de uso de información de la empresa.
 Este trabajo No requiere autorización de uso de información de la empresa.

Cajamarca, 19/10/2020



Ing./Lic./Mg./Dr LUIS ROBERTO QUISPE VÁSQUEZ

(Nombre completo del Asesor)

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El Jurado Evaluador de la Tesis/Trabajo de investigación titulado:

DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA TPM
PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS ELECTROBOMBAS FLYGT 2400 EN
EL ÁREA DE DRENAJE DE UNA EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA

Que ha sustentado el(los) (...)Egresado(os) / (x)Bachiller(es):

ANTENOR RAMOS CORREA

Acuerda por: Unanimidad, Aprobar

Otorgando la calificación de:

Aprobado*

Excelente

Sobresaliente

Bueno

Aprobado

Desaprobado

*Nota: En el caso este formato se use como regularización o continuidad de trámite y no se cuente con la nota específica del evaluado; durante la coyuntura de emergencia – Covid19, se debe de omitir las opciones de aprobado.

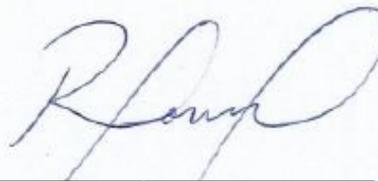
Este acuerdo se hizo de conocimiento del interesado (a) y del público presente.

Presidente (a) del Jurado	Ricardo Fernando Ortega Mestanza	40508943
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Miembro del Jurado	Karla Rossemary Sisniegas Noriega	46071719
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Miembro del Jurado	Mylena Karen Vilchez Torres	26707148
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Cajamarca, sábado, 7 de Noviembre de 2020



Firma del Presidente(a) del Jurado

CÓDIGO DE DOCUMENTO	COR-F-REC-VAC-05.20	NÚMERO VERSIÓN	05	PÁGINA	Página 1 de 2
FECHA DE VIGENCIA	20/05/2020				

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El Jurado Evaluador de la Tesis/Trabajo de investigación titulado:

DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA TPM
PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS ELECTROBOMBAS FLYGT 2400 EN
EL ÁREA DE DRENAJE DE UNA EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA

Que ha sustentado el(los) (...)Egresado(os) / (x)Bachiller(es):

HEYLLI NOEMI VILLAR SALDAÑA DE RAMOS

Acuerda por: Unanimidad, Aprobar

Otorgando la calificación de:

Aprobado*

Excelente

Sobresaliente

Bueno

Aprobado

Desaprobado

*Nota: En el caso este formato se use como regularización o continuidad de trámite y no se cuente con la nota específica del evaluado; durante la coyuntura de emergencia – Covid19, se debe de omitir las opciones de aprobado.

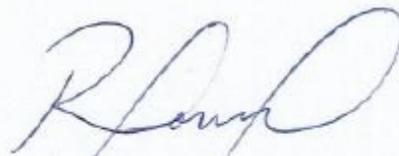
Este acuerdo se hizo de conocimiento del interesado (a) y del público presente.

Presidente (a) del Jurado	Ricardo Fernando Ortega Mestanza	40508943
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Miembro del Jurado	Karla Rossemary Sisniegas Noriega	46071719
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Miembro del Jurado	Mylena Karen Vilchez Torres	26707148
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Cajamarca, sábado, 7 de Noviembre de 2020



Firma del Presidente(a) del Jurado

CÓDIGO DE DOCUMENTO	COR-F-REC-VAC-05.20	NÚMERO VERSIÓN	05	PÁGINA	Página 1 de 2
FECHA DE VIGENCIA	20/05/2020				