



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA TPM Y SU INFLUENCIA EN LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE ARENAS DE MOLIENDA EN UNA EMPRESA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bach. Carlos Gastón Guevara Alejabo

Bach. Carlos Alberto Silvera Peña

Asesor:

MBA. Ing. Mylena Karen Vílchez Torres.

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A Grecia, Alessandra y Dana, mis hijas, los motivos
para mi superación.

Gastón Guevara

A toda mi familia, principalmente a mi esposa por estar siempre en esos momentos difíciles brindándome su amor, paciencia y comprensión y por último a mis hijos Dhanna y Dylan por ser el motivo de este logro profesional.

Carlos Silvera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a la vida, al universo por la oportunidad, a mis padres quienes con su amor y sabiduría me alentaron a emprender.

Gastón Guevara.

Quiero expresar un sincero agradecimiento; en primer lugar, a Dios por brindarme salud y fortaleza. A mis Padres quienes con su enseñanza y ejemplo de valores ayudaron a trazar mi camino profesional. A mi esposa y a mis hijos por ser un apoyo incondicional en mi vida, que con su amor y respaldo me ayudaron a alcanzar mis objetivos.

Carlos Silvera.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos	13
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	15
2.1. Tipo de investigación	15
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	15
2.3. Procedimiento	27
2.4. Matriz de consistencia	31
CAPÍTULO III. RESULTADOS	32
3.1. Diagnóstico de la eficiencia operacional e indicadores de equipos del proceso de molienda.	32
3.2. Elección de los pilares del TPM aplicables.....	56
3.3. Diseño de los pilares TPM	58
3.4. Análisis de la mejora con la implementación del TPM.....	95
3.5. Análisis económico	99
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	105
REFERENCIAS	109
ANEXOS	114
Anexo n.º 1. Guía de Entrevista.....	114
Anexo n.º 2. Ficha resumen	116
Anexo n.º 3. Fotografías	117
Anexo n.º 4. Validación de instrumentos.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Técnicas e instrumentos de investigación.	16
Tabla 2 Valoración de la viabilidad y aplicación de técnicas e instrumentos.	16
Tabla 3 Determinación de fallas y paradas de equipos.	18
Tabla 4 Clasificación del OEE.	24
Tabla 5 Objetivo de los pilares del TPM.	26
Tabla 6 Contrastación de resultados.	27
Tabla 7 Ficha resumen de reportes.	29
Tabla 8 Matriz de consistencia.	31
Tabla 9 Determinación de fallas y paradas de equipos.	32
Tabla 10 Plan de mantenimiento de las bombas.	42
Tabla 11 Causas de las paradas de bombeo durante el 2018.	44
Tabla 12 Costo anual generado por el desgaste de los componentes en tren de 4 bombas.	47
Tabla 13 Datos para calcular el OEE de los componentes internos.	52
Tabla 14 Clasificación del OEE.	53
Tabla 15 Diagnostico final del proceso de bombeo.	55
Tabla 16 Elección del pilar del TPM.	57
Tabla 17 Secuencia del mantenimiento autónomo y personal implicado	61
Tabla 18 Ficha de inspección de orden y limpieza.	64
Tabla 19 Clasificación de pérdidas en componentes internos de la bomba.	65
Tabla 20 Seguimiento de actividades para el mantenimiento autónomo de componentes.	66
Tabla 21 Mantenimiento autónomo de los componentes internos de la bomba.	68
Tabla 22 Ficha de mantenimiento autónoma.	69
Tabla 23 Formato de registro de fallas	70
Tabla 24 Actividades de operación y mantenimiento.	71
Tabla 25 Matriz de panorama de riesgo.	71
Tabla 26 Evaluación del riesgo	72
Tabla 27 Clasificación de riesgos.	72
Tabla 28 Controles recomendados.	73
Tabla 29 Chexk list de arenas de molienda.	74

	Pág.
Tabla 30 Calendario de inspección de mantenimiento.....	75
Tabla 31 Proveedores de componentes internos de caucho.	76
Tabla 32 Comparativo detallado de costos por la compra de componentes.....	81
Tabla 33 Procedimiento de cambio y/o mantenimiento de componentes de caucho.	83
Tabla 34 Ficha de mantenimiento de calidad con 3T.....	87
Tabla 35 Plan de capacitación enfocada al TPM.....	89
Tabla 36 Capacitación a operadores sobre mantenimiento autónomo.	90
Tabla 37 Ficha de evaluación al operador.	91
Tabla 38 Nivel de habilidad adquirida por el operador.	91
Tabla 39 Programa de capacitación en mantenimiento planificado.	92
Tabla 40 Capacitación en mantenimiento de calidad.	93
Tabla 41 Ahorro en compra de componentes.....	93
Tabla 42 Ahorro en transporte de componentes.....	94
Tabla 43 Ahorro en almacenamiento de componentes.....	94
Tabla 44 Ahorro en cambio de componentes.	95
Tabla 45 Ahorro total al cambiar el tipo de componentes.....	95
Tabla 46 Datos para calcular el OEE de los componentes internos.	98
Tabla 47 Clasificación del OEE.	98
Tabla 48 Costos de inversión para la implementación del TPM.....	100
Tabla 49 Ingresos por ahorro en dólares.	101
Tabla 50 Flujo saliente en pagos a colaboradores TPM.....	102
Tabla 51 Costos en actualización de fichas en dólares.....	103
Tabla 52 Costos en capacitaciones TPM en dólares.....	103
Tabla 53 Flujos salientes al implementar TPM en dólares.....	103
Tabla 54 Flujo de caja de implementación TPM en dólares.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Diagrama de los métodos aplicados.....	17
Figura 2: Gráfico de JackNife.	19
Figura 3. Esquema del diagrama de Ishikawa.	21
Figura 4: Esquema del diagrama de Pareto.	22
Figura 5: Pilares técnicos del TPM.	25
Figura 6: Diseño e implementación del pilar TPM.	27
Figura 7: Reporte de fallas en el programa SAP.	28
Figura 8. Gráfico de JackNife.	34
Figura 9: Desgaste de estopa al cumplir las 720 horas.....	35
Figura 10. Tren de bombas 3 de la planta minera.	36
Figura 11: Diagrama de Ishikawa por fuga de fluido.....	37
Figura 12. Curva de operación de los componentes internos de octubre del 2018.	38
Figura 13. Reporte de vibraciones.....	39
Figura 14. Características del tanque.....	39
Figura 15. Medidas del tanque.	40
Figura 16. Reporte del nivel del tanque en el 2018.....	40
Figura 17: Curva de operación de la bomba 10/8 Warman AH.	41
Figura 18. Reporte de caudales de bombeo.....	43
Figura 19. Diagrama de Pareto.....	45
Figura 20: Diagrama de funcionamiento del tren 1.....	46
Figura 21. Bomba Warman de la planta.	47
Figura 22. Disponibilidad promedio actual.	48
Figura 23. Rendimiento promedio actual.	49
Figura 24. Rendimiento promedio actual de las 4 bombas del tren 1 en porcentaje.....	50
Figura 25. MTBF promedio actual.	50
Figura 26. MTTR actual promedio actual.	51
Figura 27. Calidad actual del equipo.....	52
Figura 28. OEE actual promedio de las bombas.	53
Figura 29. Organigrama del comité TPM.....	59

	Pág.
Figura 30. Estructura del mantenimiento autónomo.	60
Figura 31. Actividades/responsabilidades del mantenimiento autónomo de componentes. 61	61
Figura 32. Tarjeta roja utilizada para componentes.	63
Figura 33. Diagrama ante de identificación de fallas.	67
Figura 34. Curva de desgaste de disco de succión metálico.....	77
Figura 35. Curva de desgaste del disco de succión de caucho.	78
Figura 36. Comparativo de tiempo de vida del disco de succión metálico y de caucho.	78
Figura 37. Curva de desgaste del revestimiento metálico.	79
Figura 38. Curva de desgaste del revestimiento de caucho.	80
Figura 39. Comparativo de tiempo de vida del revestimiento metálico y de caucho.....	80
Figura 40. Disponibilidad promedio mejorado.	96
Figura 41. Rendimiento promedio mejorado.....	96
Figura 42. Calidad actual del equipo.	97
Figura 43. OEE mejorado de las bombas.	98
Figura 44. Comparativo de OEE.	99
Figura 45. Vista exterior de los componentes internos de la bomba.	117
Figura 46. Actividad de cambio de componentes internos de caucho.....	117

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Fórmula de MTTR	18
Ecuación 2: Fórmula de Disponibilidad	23
Ecuación 3: Fórmula de Rendimiento	23
Ecuación 4: Fórmula de MTBF	23
Ecuación 5: Fórmula de MTTR	24
Ecuación 6: Fórmula de calidad	24
Ecuación 7: Fórmula de OEE	24

RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo determinar la influencia de la implementación de la metodología TPM en la eficiencia operacional del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera. El tipo de investigación fue aplicada, explicativa, cuantitativa y cuasi experimental, como instrumentos se utilizó la entrevista y la ficha resumen. En los resultados se determinó que los equipos fallan constantemente por fuga de solución por carcasa de bomba a causa del desgaste acelerado de los componentes internos. En el mantenimiento autónomo se elaboró fichas de inspección, ficha de orden y limpieza, y un diagrama de actividades; en el mantenimiento planificado se elaboró la ficha de inspección programada; en el pilar mejora del proyecto se cambiaron el material de los componentes incrementando su tiempo de vida, en el mantenimiento de calidad se implementó la ficha 3T, además se realizó capacitaciones; y en el pilar de áreas de apoyo TPM se evidenció ahorros de 863 379.24 dólares anuales con los pilares. La metodología TPM, incrementó la disponibilidad de 82% a 91%, el rendimiento de 47% a 100%, la calidad de 81% a 96% y finalmente el OEE incrementó de 31% a 87%, encontrándose en estado Bueno cuando antes era Inaceptable. La implementación del TPM tiene un VAN de 2 733 278 dólares y un TIR de 4505%.

Palabras clave: Implementación, mantenimiento productivo total, arenas de molienda, eficiencia operacional, bombeo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El mantenimiento productivo total, también conocido como TPM por sus siglas en inglés Total Productive Maintenance, se origina de la fusión del mantenimiento centrado en la confiabilidad (conocido por sus siglas en inglés como RCM), la prevención del mantenimiento basado en el costo del ciclo de vida (LCC) y el mantenimiento del sistema de producción basado en el justo a tiempo (sus siglas en inglés son JIT) (Altamirano, 2017). El TPM influye en la disponibilidad y confiabilidad del equipo que son indicadores operativos, que además sumado al indicador de calidad se obtiene el indicador universal de eficiencia global del equipo (OEE), que a su vez permite cuantificar la eficiencia de los procesos y al incrementarse se mejora la productividad (Ángeles, 2017), (Carhuajulca, 2017), (Salinas, 2017).

Dentro del análisis teórico, se precisa que el TPM se fundamenta en 5 pilares técnicos y 4 de apoyo (Ribeiro, 2016) pero hay quienes utilizan sólo 3 pilares de apoyo (Roberts, 2013). Sin embargo, Ribeiro (2016) recomienda aplicar los cinco primeros para trabajos en planta, los cuales son mejoras específicas, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejoras en el proyecto y mantenimiento de calidad (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta [JIPM], 2015), (Vargas, 2016), (Toral y Burgos, 2013), estos pilares han sido aplicados en varias industrias obteniendo resultados positivos en la eficiencia operacional.

El pilar de mejoras específicas permite reducir o eliminar desperdicios mediante herramientas como el mapa de cadena de valor, análisis de brechas, teoría de restricciones y metodología Kaizen (Toral y Burgos, 2013), (Jiménez, 2013), (Vidal, 2016). El pilar de mantenimiento autónomo involucra a los operadores en cuidar su

propio equipo, para ello registra resultados de análisis MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y diseña concordantemente contra medidas mediante ajustes de limpieza, y tableros Kaizen (García, 2015), (Sunción, 2017). El pilar de mantenimiento planificado se enfoca en maximizar la disponibilidad del equipo medidos con los indicadores MTTR (Tiempo Medio para Reparar) y MTBF (Camacho, 2016), (De La Cruz, 2013), (González, 2017), (Mansilla, 2013) analizando las órdenes de trabajo, el listado de repuestos y el análisis de confiabilidad (AMEF) (Galván, 2013), (Martínez, 2015), (Silva, 2017), (Aranguren, 2015). El pilar de mejoras del proyecto se enfoca en maximizar la vida del equipo para ello se utilizan indicadores como Pre Uso, LCC, costo basado en la actividad (ABC). El pilar mantenimiento de calidad utiliza herramientas como reporte de causas y efectos en materiales, máquinas y mano de obra (3M), programa de inspección periódico de los factores críticos, matrices de mantenimiento y mejora (Tuarez, 2013). El pilar de áreas administrativas, no produce valor directo como producción, pero facilitan y ofrecen el apoyo para que el proceso funcione eficientemente, a través de un proceso que produce información (Martínez, 2015), (Fonseca, 2015). El pilar de formación y adiestramiento se orienta a incrementar las capacidades del personal mediante el autodesarrollo y la formación sistemática (Avendaño, 2017). El pilar de seguridad y medio ambiente, usa como instrumentos las 5S que son la base de la seguridad y Kaizen para eliminar riesgos en los equipos (Rivera, 2015). El MTBF y MTTR son dos KPI (Indicador clave de desempeño) importantes en el mantenimiento de planta muy utilizados en la metodología TPM, ambos tienen como base estadística el tiempo promedio, de ocurrencia de fallas y de duración de reparaciones (Vidal, 2016).

En la empresa minera en estudio, específicamente en el área arenas de molienda, se presentan constantemente problemas en el rendimiento de las bombas de pulpa, al analizar estos problemas se identificaron que el desgaste de las partes húmedas es constante, generando pérdidas de tiempo y de dinero por reparación o cambio, por ello es necesario evaluar el reemplazo de partes húmedas por caucho ya que su costo es menor y tienen mayor durabilidad, se pretende analizar esta mejora utilizando los pilares del TPM. Sin embargo, esta mejora no ha sido evaluada para entender su impacto, por ello es importante aplicar herramientas de gestión de procesos mediante indicadores operacionales para analizar la mejora.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la implementación de la metodología TPM en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la implementación de la metodología TPM en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la eficiencia operacional (OEE) y los indicadores de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda
- Elegir los pilares del TPM aplicables en función al diagnóstico realizado

- Diseñar e implementar los pilares TPM seleccionados
- Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda.
- Realizar el análisis económico de la implementación del TPM en el proceso de tratamiento de arenas de molienda.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su propósito: La metodología TPM, fue creada a fines de la década de los sesenta, por ello hoy en día se considera como conocimiento ya estudiado, por lo tanto, la investigación fue aplicada.

Según su profundidad: en esta investigación se tiene como propósito evaluar la relación que exista entre las dos variables que son metodología TPM y eficiencia operacional, por lo tanto, la investigación fue correlacional.

Según la naturaleza de datos: La investigación contuvo el análisis de indicadores operativos, los cuales se determinaron mediante procesos de medición, por lo tanto, la investigación fue cuantitativa.

Según su manipulación de la variable: en esta investigación el grado de control de las variables es mínimo, por lo tanto, la investigación fue pre experimental.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales

- Equipo de cómputo.
- Material de escritorio.
- Cámara fotográfica.
- Memoria de almacenamiento externa.
- Impresora.

2.2.2. Instrumentos

En la tabla 1, se detallaron las técnicas e instrumentos relacionados con el primer objetivo específico, ya que sólo en ese objetivo se ha levantado información.

Tabla 1
Técnicas e instrumentos de investigación.

Objetivo específico	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica
Realizar el diagnóstico del proceso de tratamiento de arenas de molienda	Revisión documental	Ficha resumen	(Galván, 2013)
	Entrevista	Guía de entrevista (Ver anexo 1)	(Rivera, 2015)

Luego de determinar los instrumentos que se van a utilizar, se valoró su viabilidad y su aplicación en la Tabla 2.

Tabla 2
Valoración de la viabilidad y aplicación de técnicas e instrumentos.

Preguntas Generales	Sí / No	Acciones por tomar
¿Se tiene acceso para levantar la información de los equipos empleados en el proceso de bombeo de arenas de molienda?	Sí	-

2.2.3. Método

La metodología se ha estructura de acuerdo a los objetivos de la investigación, y se siguió la estructura detallada en la figura 1.

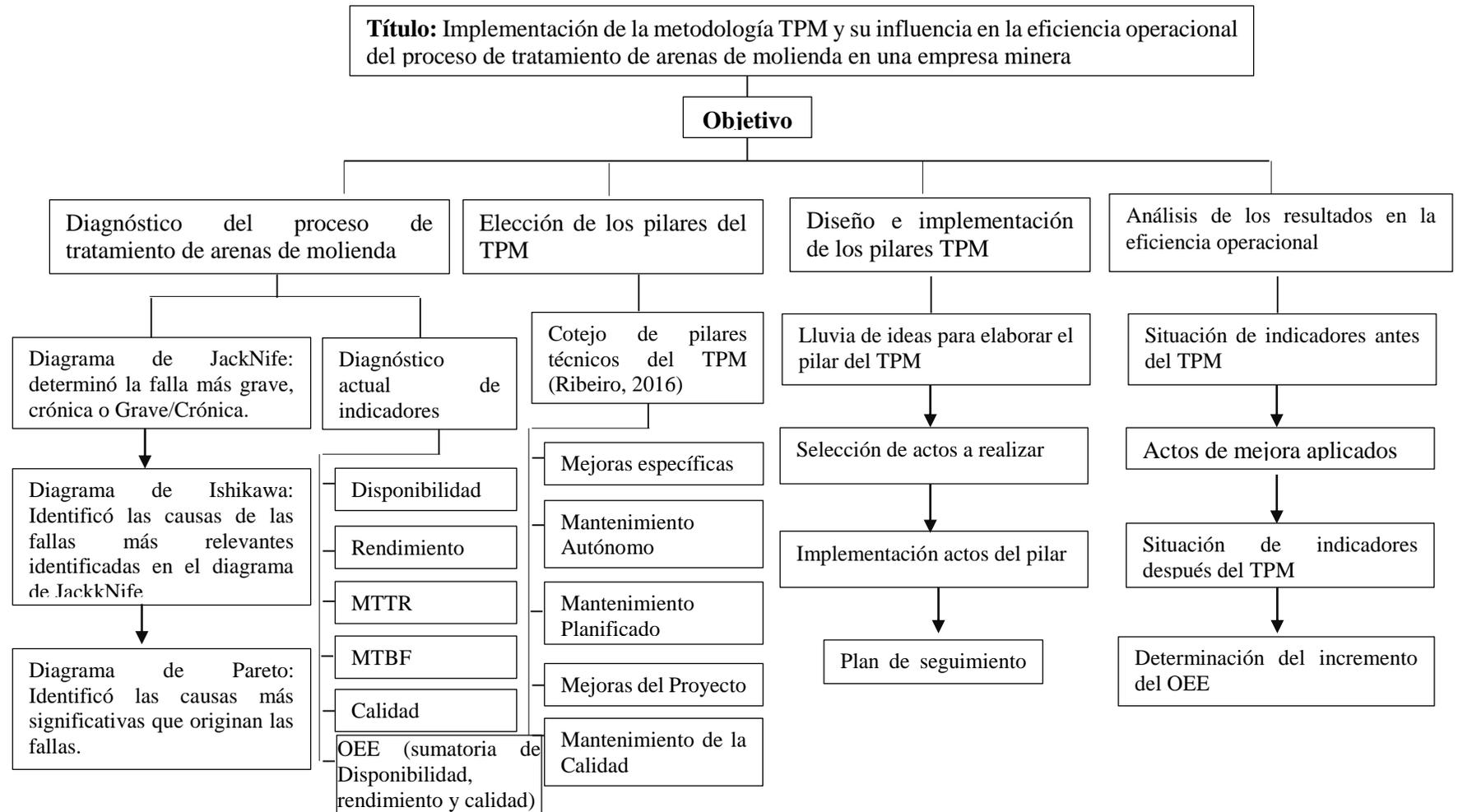


Figura 1: Diagrama de los métodos aplicados.

a. Metodología seguida para el diagnóstico de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda

Gráfico JackNife: Se utilizó ya que según Rivera (2015) explicó que este gráfico permite identificar fácilmente los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos que se están analizando (p.19). Este método analiza el tiempo de indisponibilidad de equipos utilizando diagramas de dispersión (Díaz, 2016, p. 8).

Para la elaboración de este diagrama primero se contabilizaron la cantidad de paradas de equipos mensuales desde enero hasta diciembre del 2018, posteriormente se determinó el MTTR de las fallas utilizando la ecuación 1:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{número de fallas}} \quad (1)$$

Estos datos se organizaron en una tabla como la que se observa en la tabla 3.

Tabla 3
Determinación de fallas y paradas de equipos.

SÍNTOMA DE FALLA	Mes 1	Mes 2	...	Mes n	# de fallas	Tiempo MTTR
⋮						
TOTAL DE EVENTOS MENSUALES						

De la tabla 3, se tomaron los datos de número de fallas y MTTR, y con ellos se realizó un cuadro de doble entrada para generar el gráfico de dispersión. En el eje Y, estuvieron los MTTR, y en el Eje X, los números de fallas, y se obtuvo un diagrama como el representado en la figura 2. El diagrama de dispersión fue dividido en cuatro cuadrantes que permitieron que las fallas sean clasificadas en:

- Graves: estas fallas se ubican en el cuadrante superior izquierdo de la figura 2, y son aquellas que tienen un tiempo de paradas extenso, por lo cual la mantenibilidad del equipo es ineficiente.
- Crónico: son las fallas que se encuentran en el cuadrante inferior derecho de la figura 2, y se presentan repetitivamente, por lo cual la confiabilidad del equipo es baja.
- Grave/Crónico: estas fallas se encuentran en el cuadrante superior derecho de la figura 2, en esta zona se encuentran las fallas que involucran la ineficiencia de mantenibilidad, y la reducción de confiabilidad, la cual se refleja en una No Disponibilidad.
- Leve/poco frecuente: son las fallas que se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo de la figura 2, y son aquellas que son cortas y pocas, por lo tanto, son de menos importancia con referencia a las demás.

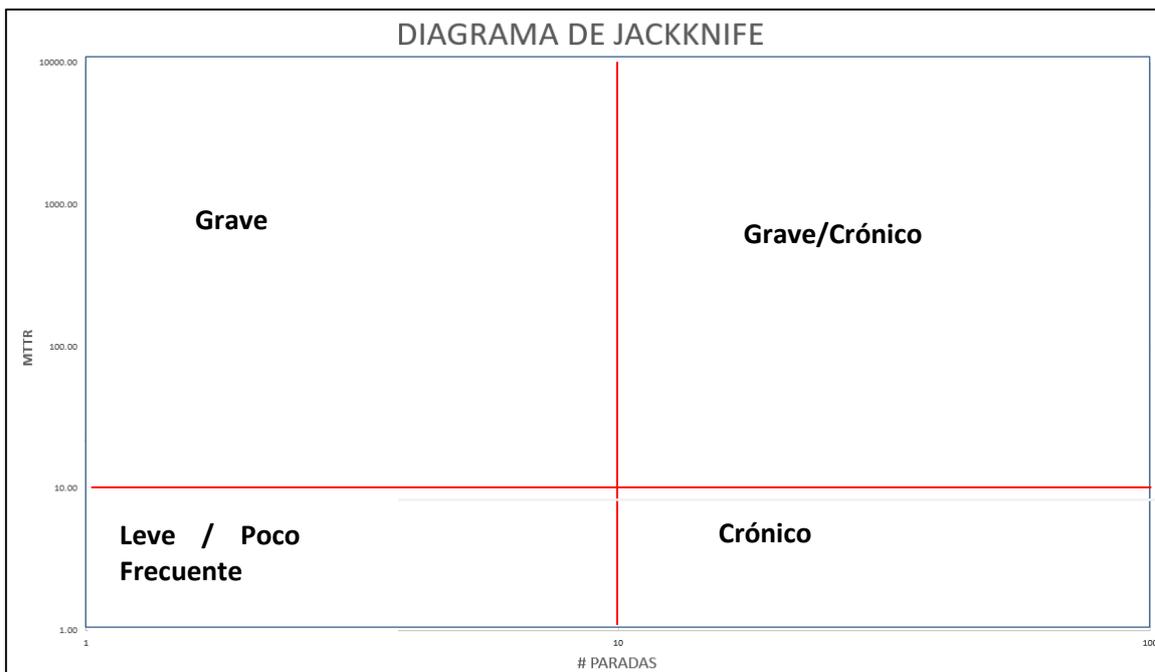


Figura 2: Gráfico de JackNife.

Una vez determinado el grupo de fallas más frecuentes se procedió a analizar cada una de sus causas, mediante el diagrama de Ishikawa el cual permite analizar 5 áreas (Lu, 1997).

Diagrama de Ishikawa: Consiste en una representación gráfica en la cual se visualiza las causas que originan un problema específico (Ishikawa, 1943).

En el diagrama utilizado se diferenciaron 5 ramas de las posibles causas que son:

- Máquina: se analizó cada máquina empleada y su funcionamiento, su metodología de trabajo y su configuración.
- Método: Se enfocó en preguntarse si se están haciendo las cosas bien y si hay alguna forma de mejorarlas.
- Materiales: se analizó las características del material en los repuestos y sus condiciones.
- Mano de obra: se identificaron las fallas causadas por la mano de obra, ya que si bien es cierto que son los procesos los que fallan, éstos se llevan a cabo por trabajadores.
- Medio ambiente: se tomó en cuenta las condiciones ambientales para garantizar que son las más adecuadas para realizar el trabajo.

El diagrama Ishikawa modelo se visualiza en la figura 3.

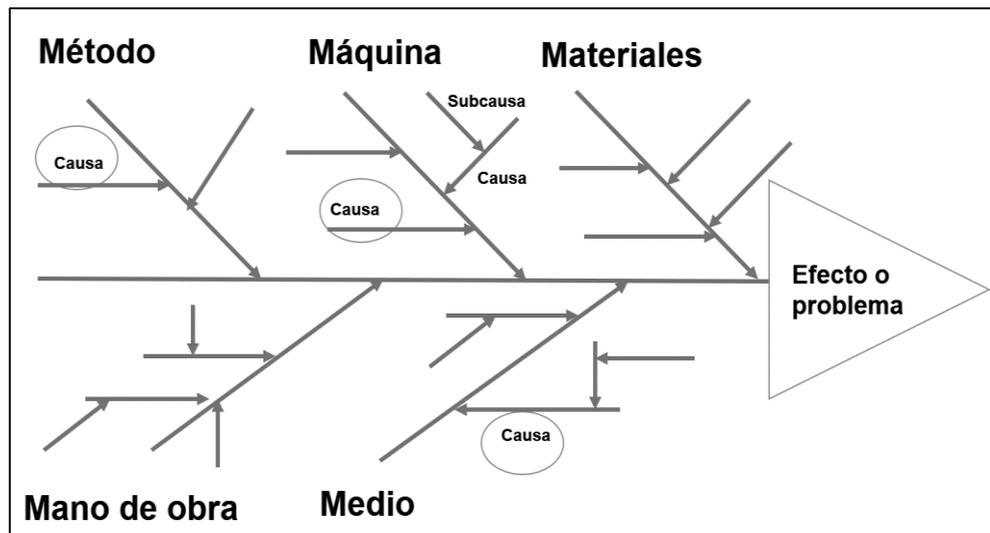


Figura 3. Esquema del diagrama de Ishikawa.

Identificadas las causas, mediante frecuencias de ocurrencia se separó las más relevantes con el principio de Pareto, sugerido por Stachú, (2004).

Diagrama de Pareto: Es una técnica gráfica que clasifica causas en orden de mayor a menor frecuencia y permite asignar un orden de prioridades, manteniendo principios como pocos vitales, muchos triviales (Izar y Gonzáles, 2004).

Se inició listando las causas del problema principal identificado en el diagrama de Ishikawa, se las agrupó y ordenó por su ocurrencia de mayor a menor, luego se calculó la frecuencia normalizada y la frecuencia acumulada; con estos datos se elaboró un gráfico de triple entrada como el que se muestra en la figura 4; en su eje X se encuentran las causas de las fallas, en el eje Y1 se colocó la frecuencia y en el eje Y2 estuvieron las frecuencias acumuladas. Las causas que se van a solucionar son los pocos vitales que se encuentran al lado izquierdo de la intersección entre el 80% de la frecuencia acumulada y la causa (en el caso de la figura 4 los pocos vitales son la causa 1 y 2).

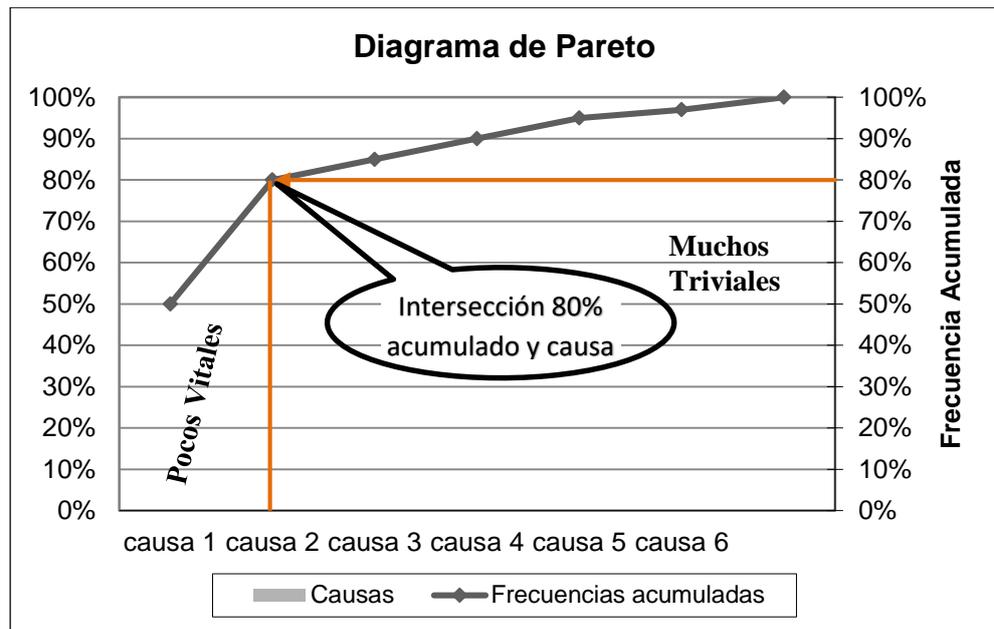


Figura 4: Esquema del diagrama de Pareto.

Con el diagrama de Pareto se finalizó el diagnóstico de la situación actual. Paralelamente, se evaluó la situación actual de los indicadores operacionales del equipo de bombeo:

Metodología seguida para la medición de indicadores operacionales actuales de los equipos: se midió los indicadores operacionales de los equipos utilizados de bombeo como lo son disponibilidad, rendimiento, MTBF, MTTR, calidad y OEE; se definió medir estos indicadores porque son los más significativos para el análisis de mantenimiento (Díaz, 2016), a continuación, se detalla el análisis por cada uno de ellos, las fórmulas se elaboraron tomando como base el estudio de Santillán (2017).

- Disponibilidad

Avendaño (2017), establece una fórmula para calcular la disponibilidad de los equipos, la cual se muestra en la ecuación 2, este indicador se mide

mensualmente, la disponibilidad esperada lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (2)$$

Luego de calcular la disponibilidad por mes, se elaboró el gráfico de frecuencia, en el eje X se colocó su frecuencia mensual y en el eje Y se representó la disponibilidad.

- Rendimiento

Este indicador se calcula con la fórmula establecida por Caruajulca (2017,) que se muestra en la ecuación 3. El rendimiento esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Capacidad productiva}} \quad (3)$$

- MTBF

Avendaño (2017) establece la fórmula para determinar este indicador y se muestra en la ecuación 4, se obtuvo el MTBF mensualmente; el MTBF esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}} \quad (4)$$

- MTTR

Camacho (2016) establece la fórmula para calcular el MTTR, empleada por Santillán (2017), y se muestra en la ecuación 5, empleando datos mensuales. El MTTR esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Número de fallas}} \quad (5)$$

- Calidad

Toral y Burgos (2013), establecen la fórmula para determinar la calidad del equipo y se muestra en la ecuación 6. La calidad esperada lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Piezas buenas}} \quad (6)$$

- OEE (Eficiencia global del equipo)

Toral y Burgos (2013), establece la fórmula del OEE, la cual ha sido aplicada en el estudio de Santillán (2017), y se muestra en la ecuación 7. El OEE esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 90%.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \quad (7)$$

Luego de determinar el OEE, se lo clasificó de acuerdo a la tabla 4.

Tabla 4
Clasificación del OEE.

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas, baja competitividad.
≥65% - <75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable solo si se está en proceso de mejora.
≥75% - <85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
≥85% - <95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados "World Class".
≥95%	Excelente	Competitividad excelente.

Fuente: Klaus, (2014).

b. Metodología para elección de pilares del TPM

De acuerdo a la problemática identificada, se aplicó la metodología TPM para esta investigación se analizó cinco pilares técnicos del TPM y cuatro pilares de apoyo (Ribeiro, 2016), ya que es la herramienta industrial más adecuada para mejorar procesos en plantas de procesos. Por ello se procedió a elegir los pilares del TPM que se presentan en la figura 5.

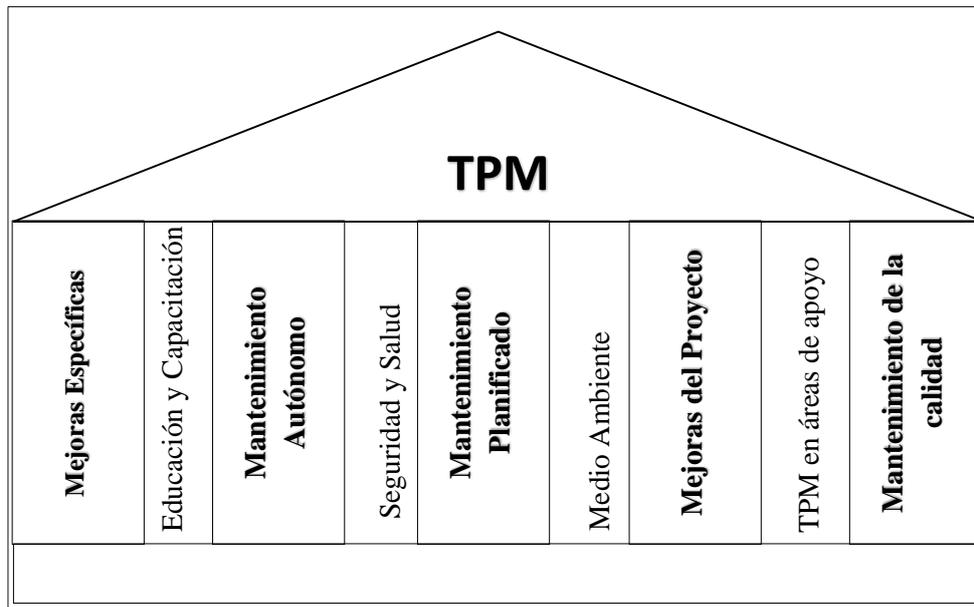


Figura 5: Pilares técnicos del TPM.

Para elegir pilar adecuado se analizaron los objetivos de cada uno de ellos y se cotejaron con los identificados en el diagnóstico, para ello se aplicó la Tabla 5.

Tabla 5
Objetivo de los pilares del TPM.

	TPM	Objetivo	¿Resuelve la problemática identificada? (Sí/No)
Pilares Técnicos	Mejoras específicas	Reducción y eliminación de pérdidas en procesos productivos por medio de formación de grupos de mejora.	
	Mantenimiento autónomo	Concientización y capacitación del operador para cuidar adecuadamente del equipo mediante operaciones correctas, limpiezas, lubricación e inspecciones.	
	Mantenimiento planificado	Maximizar la disponibilidad operacional del equipo o de la planta utilizando RCM.	
	Mejoras en el proyecto	Maximiza el ciclo de vida del equipo, desde el proyecto hasta su desactivación, incluyendo cambios de equipos o cambios de materiales del equipo.	
	Mantenimiento de calidad	Influye directamente en el OEE por medio de la mejora del índice de la calidad.	
Pilares de Apoyo	Educación y Capacitación	Adiestramiento y concientización a todos los profesionales involucrados en el TPM y en sus diversas fases.	
	Seguridad y Salud	Preserva la integridad de los trabajadores en cada operación, equipo o instalación de la organización. El propósito de este pilar consiste en crear un sistema de gestión integral de seguridad y salud con el objetivo de lograr "cero accidentes".	
	Medio Ambiente	Disminuye el impacto ambiental en cada operación, equipo o instalación de la organización. El propósito de este pilar consiste en crear un sistema de gestión ambiental con el objetivo de lograr "cero contaminación".	
	TPM en áreas de apoyo	Aumenta la eficiencia de las áreas indirectas (administrativas).	

c. Metodología para el diseño y aplicación de pilares del TPM

Luego de elegir el pilar adecuado para resolver las fallas identificadas, se diseñó los pilares siguiendo la secuencia de la figura 6.

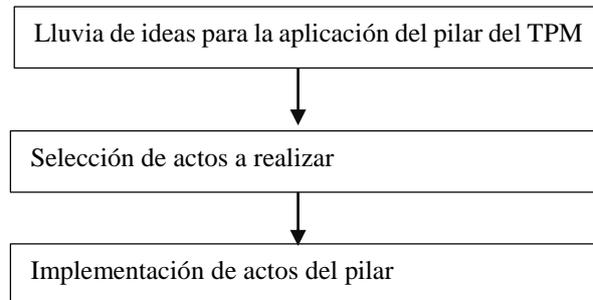


Figura 6: Diseño e implementación del pilar TPM.

d. Metodología para analizar los resultados de la implementación del TPM

Después de diseñar e implementar los pilares adecuados, se analizó los resultados que influyen en el OEE, sin embargo, para determinar el OEE es necesario analizar la disponibilidad, rendimiento y calidad antes y después de la implementación del pilar, para contrastarlos se utilizó la tabla 6.

Tabla 6
Contrastación de resultados.

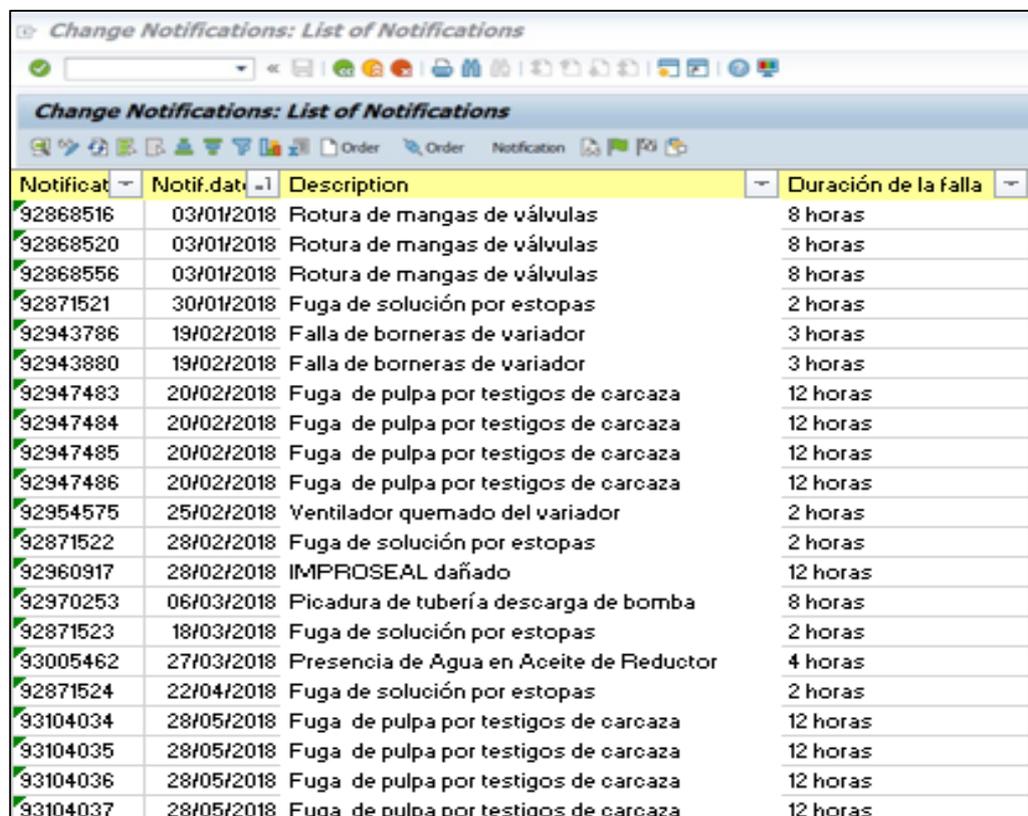
Indicadores	Situación antes del TPM	Situación después del TPM	Actos aplicados para la mejora
.			
.			
.			

2.3. Procedimiento

En la primera etapa se elaboró los instrumentos para poder levantar la información, de acuerdo a la data necesaria para el desarrollo de la investigación fue necesario recurrir a la observación del proceso y a una entrevista con un responsable.

2.3.1. Ficha resumen

El objetivo de la ficha resumen fue seleccionar a los reportes de fallas concernientes a los equipos de bombeo de arenas de molienda. La ficha implicó tres tipos de falla, equipo implicado y duración de la falla que se tienen acceso a 365 reportes durante el 2018 de fallas referentes a todo el proceso de bombeo, de los cuales solo se analizó las del equipo de bombeo, las fallas han sido reportados en el programa SAP (ver reportes en la figura 7).



Notificat	Notif.dat	Description	Duración de la falla
92868516	03/01/2018	Rotura de mangas de válvulas	8 horas
92868520	03/01/2018	Rotura de mangas de válvulas	8 horas
92868556	03/01/2018	Rotura de mangas de válvulas	8 horas
92871521	30/01/2018	Fuga de solución por estopas	2 horas
92943786	19/02/2018	Falla de borneras de variador	3 horas
92943880	19/02/2018	Falla de borneras de variador	3 horas
92947483	20/02/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
92947484	20/02/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
92947485	20/02/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
92947486	20/02/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
92954575	25/02/2018	Ventilador quemado del variador	2 horas
92871522	28/02/2018	Fuga de solución por estopas	2 horas
92960917	28/02/2018	IMPROSEAL dañado	12 horas
92970253	06/03/2018	Picadura de tubería descarga de bomba	8 horas
92871523	18/03/2018	Fuga de solución por estopas	2 horas
93005462	27/03/2018	Presencia de Agua en Aceite de Reductor	4 horas
92871524	22/04/2018	Fuga de solución por estopas	2 horas
93104034	28/05/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
93104035	28/05/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
93104036	28/05/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas
93104037	28/05/2018	Fuga de pulpa por testigos de carcaza	12 horas

Figura 7: Reporte de fallas en el programa SAP.

Los datos sirvieron de insumo para el cálculo de los indicadores y para la identificación de las fallas más frecuentes e impactantes. Los reportes del programa SAP, han sido brindados por el área de Mantenimiento de Procesos, y se resumieron utilizando la Tabla 7.

Tabla 7
Ficha resumen de reportes.

Ficha Resumen de Reportes
Área:
Tipo de falla:
Equipo implicado:
Duración de la falla:
Observación:

Fase de aplicación

La ficha resumen se aplicó en doce ocasiones, para determinar las fallas mensuales, analizando los reportes de la empresa.

La aplicación de la ficha resumen duró tres días, se analizaron un total de 364 reportes de fallas.

Fase de procesamiento de datos

De los datos obtenidos en la ficha se seleccionaron las fallas concernientes a los equipos de bombeo en el proceso de arenas de molienda. Las fallas elegidas se han procesado los datos en Excel, y sirvieron para generar el diagrama de Jack Nife.

2.3.1. Guía de entrevista

La entrevista se realizó al Planificador Mayor de Mantenimiento de Procesos, quien es el colaborador que tiene más conocimiento del tema en el área.

La entrevista está compuesta por 17 preguntas abiertas, la primera pregunta se enfocó en conocer la secuencia del proceso del tratamiento de arenas de molienda, la segunda pregunta estuvo orientada en conocer los equipos que se

utilizan en dicho proceso, la tercera pregunta se realizó con la finalidad de conocer el material que es bombeado en el proceso y la cuarta pregunta fue para conocer los parámetros operativos de los equipos de bombeo. La quinta pregunta se enfocó en conocer el estado actual de la eficiencia operacional, la pregunta seis, nueve, doce y quince fueron para conocer los valores esperados de los indicadores OEE, disponibilidad, rendimiento y calidad respectivamente. Las preguntas 7, 8, 9 y 10 sirvieron para conocer el histórico de fallas, sus causas, la frecuencia y la duración de cada una de ellas. Las preguntas 13 y 14 ayudaron a conocer el ciclo de vida y funcionamiento de los equipos de tratamiento de arenas de molienda. Finalmente, las preguntas 16 y 17 ayudaron a identificar los pilares que se deben aplicar en esta investigación y las actividades que se deben seguir para mejorar el OEE.

El lugar de la entrevista fue en el campamento minero, se llevó el material de recolección de datos como la entrevista impresa, un lápiz y un borrador. Se inició la entrevista saludando al entrevistado y agradeciendo por su disposición de tiempo, la conversación no siguió un esquema rígido de desarrollo, razón por la cual fue posible (y a veces) retroceder y retomar temas ya tratados. La entrevista duró 30 minutos, y la relación entrevistador-entrevistado fue amistosa.

Los datos obtenidos en la entrevista se plasmaron en un documento, con esos datos se realizó el diagrama de Ishikawa, diagrama de JackkNife, Diagrama de Pareto y se analizó los indicadores operacionales.

2.4. Matriz de consistencia

Tabla 8
Matriz de consistencia.

Título	Formulación del problema	Objetivos	Variables y = f(x)	Indicadores	Diseño de la investigación
Implementación de la metodología TPM y su influencia en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera	¿Cómo influye la implementación de la metodología TPM en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera?	<p>Determinar la influencia de la metodología TPM en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar un diagnóstico de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda - Elegir los pilares del TPM aplicables utilizando herramientas cualitativas y cuantitativas. - Diseñar e implementar los pilares TPM que se ajusten a los problemas diagnosticados. - Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM en la eficiencia operacional del proceso de tratamiento de arenas de molienda. 	<p>Variable dependiente (y): Eficiencia operacional</p> <p>Variable independiente (x): Metodología TPM</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Y.1. OEE <ul style="list-style-type: none"> Y.1.1. Categoría del OEE actual Y.1.2. Categoría del OEE esperado por la empresa. - Y.2. Disponibilidad y Rendimiento. <ul style="list-style-type: none"> Y.2-3.1. Histórico de fallas. Y.2-3.2. Frecuencia de causas de fallas. Y.2-3.3. Disponibilidad y rendimiento esperada por la empresa. - Y.4. MTTR y Y.5. MTBF <ul style="list-style-type: none"> Y.4-5.1. Frecuencia de fallas. Y.4-5.2. Duración de fallas. Y.4-5.3. MTTR y MTBF esperados por la empresa - Y.6. Calidad <ul style="list-style-type: none"> Y.6.1. Tiempo de vida de componentes. Y.6.2. Capacidad de bombeo. Y.6.3. Calidad esperada por la empresa. 	<p>Según su propósito: la investigación fue aplicada.</p> <p>Según su profundidad: La investigación fue correlacional.</p> <p>Según la naturaleza de datos: La investigación fue cuantitativa.</p> <p>Según su manipulación de la variable: la investigación fue pre experimental.</p>

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico de la eficiencia operacional e indicadores de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda

3.1.1. Diagnóstico de las fallas críticas

En la tabla 9 se muestran las fallas mensuales reportadas y su tiempo de duración.

Tabla 9

Determinación de fallas y paradas de equipos.

FALLA	Ener-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Agost-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	# de paradas	Tiempo	MTTR
Temperatura alta en rodamientos						1							1	00:40:00	00:40:00
Improseal dañado			1										1	01:13:00	01:13:00
Fuga de solución por estopas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	24:00:00	02:00:00
Fuga de solución por testigos de carcaza de bomba		1		1		1		1		1		1	6	72:04:00	12:00:40
Desgaste de acople					1								1	08:00:00	08:00:00
Picadura de tubería descarga de bomba	1							1					2	08:00:00	04:00:00
Picadura de tubería de agua de sello		1									1		2	06:00:00	03:00:00
Rotura de acoplamiento											1		1	10:00:00	05:00:00
Manómetro malogrado					1				1		1		3	06:00:00	02:00:00
Ventilador quemado del reductor						1							1	02:00:00	02:00:00
Rotura de mangas de válvulas	1							1					2	08:00:00	04:00:00

Ventilador quemado del variador	1						1					1	3	06:00:00	02:00:00
Picadura de tubería descarga de bomba		1										1	2	16:00:00	08:00:00
Presencia de Agua en Aceite de Reductor		1											1	04:00:00	04:00:00
Aceite de reductor contaminado						1							1	04:00:00	04:00:00
Rotura de fajas - bomba de agua de sellos									1				1	06:00:00	06:00:00
Desgaste de rodamientos del motor eléctrico									1				1	10:00:00	10:00:00
Fuga de agua sellos por cordón tubería												1	1	08:00:00	08:00:00
Fuga de agua de línea de Flushing												1	1	04:00:00	04:00:00
TOTAL DE EVENTOS MENSUALES	3	3	3	2	2	3	2	5	1	2	6	2	42	205:04:00	91:13:40

Fuente: Elaboración propia, (2019).

En la tabla 9, se encontraron 19 fallas ocurridas 42 veces entre enero y diciembre del 2018, de ellos el más frecuente es la fuga de solución por estopas con una duración de parada de 2 horas por falla; sin embargo, la falla con mayor impacto fue la fuga de solución por testigos de carcasa de bomba ya que su tiempo de parada es 12 horas y ocurrió 6 veces en el lapso de estudio. En la tabla 8 también se aprecia el MTTR de cada falla siendo la mayor, la fuga de solución por testigos de carcasa de bomba con 12 horas, siguiendo el desgaste de rodamientos del motor eléctrico con 10 horas, luego el desgaste de acople con 8 horas. Finalmente, con los datos de la tabla 9 se elaboró la figura 8.

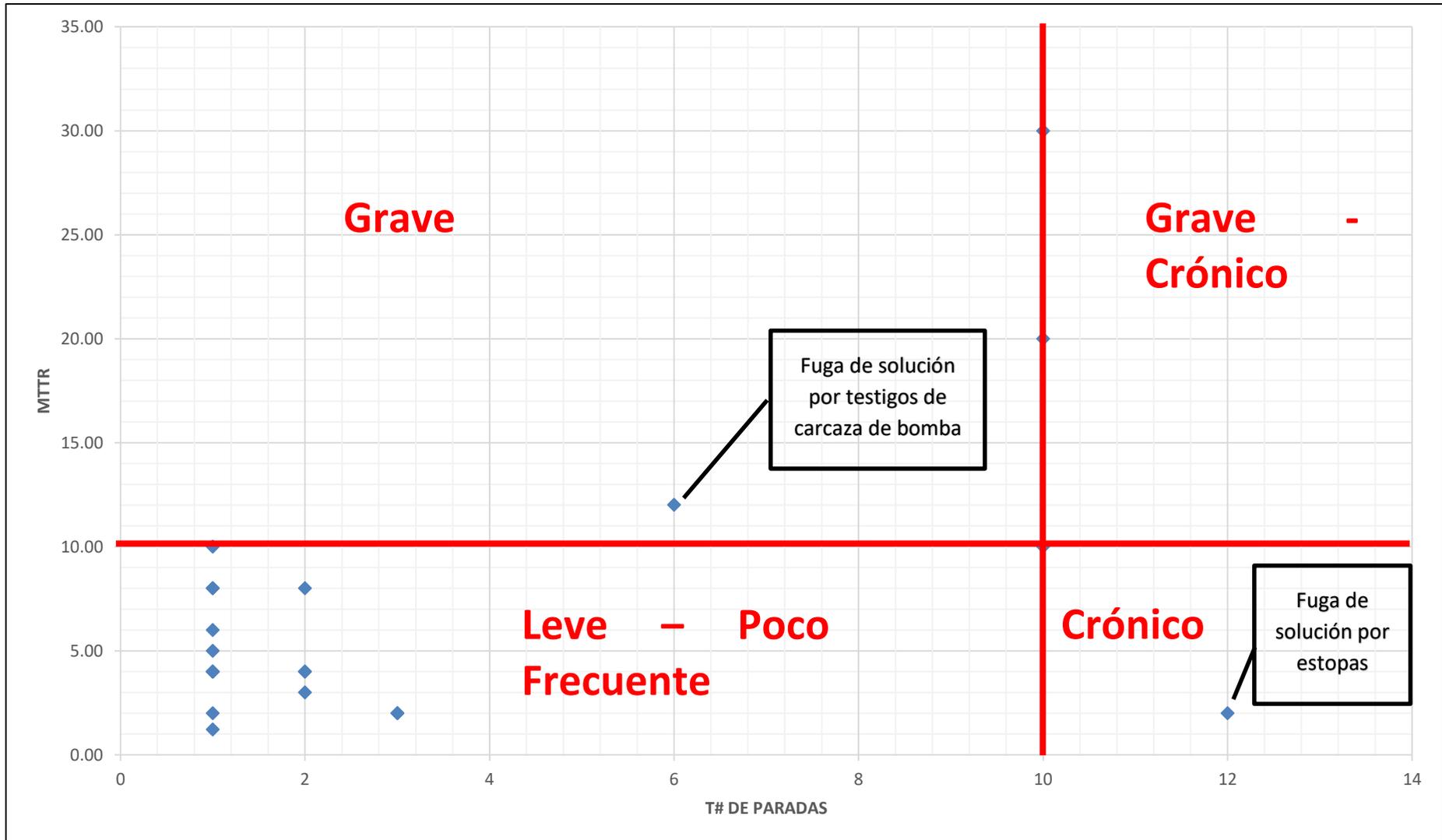


Figura 8. Gráfico de JackNife de los equipos de bombeo del tratamiento de arenas de molienda.

En la figura 8, se evidencia que hay un punto en estado grave y un punto crónico, al contrastar con la tabla 8 se observa que la falla más grave es la fuga de solución por testigos de carcaza de bomba con un MTTR de 12 horas y la falla más crónica es la fuga por solución por estopas con MTTR de 2 horas.

Sin embargo, la falla crónica que es la fuga por estopas no se puede mejorar ya que están cumpliendo con su ciclo de uso, es decir las estopas según el manual del equipo debe tener un rendimiento de 720 horas y en la planta que se está estudiando sí cumple con esas horas.



Figura 9: Desgaste de estopa al cumplir las 720 horas.

Por esta razón la investigación se centró en reducir las fallas graves la cual es la fuga de solución por testigos de carcaza ya que su tiempo de reparación implica una parada de planta de 12 horas impactando en la disponibilidad del sistema de bombeo.

Para conocer el proceso de bombeo de arenas de molienda se muestra la figura 10.

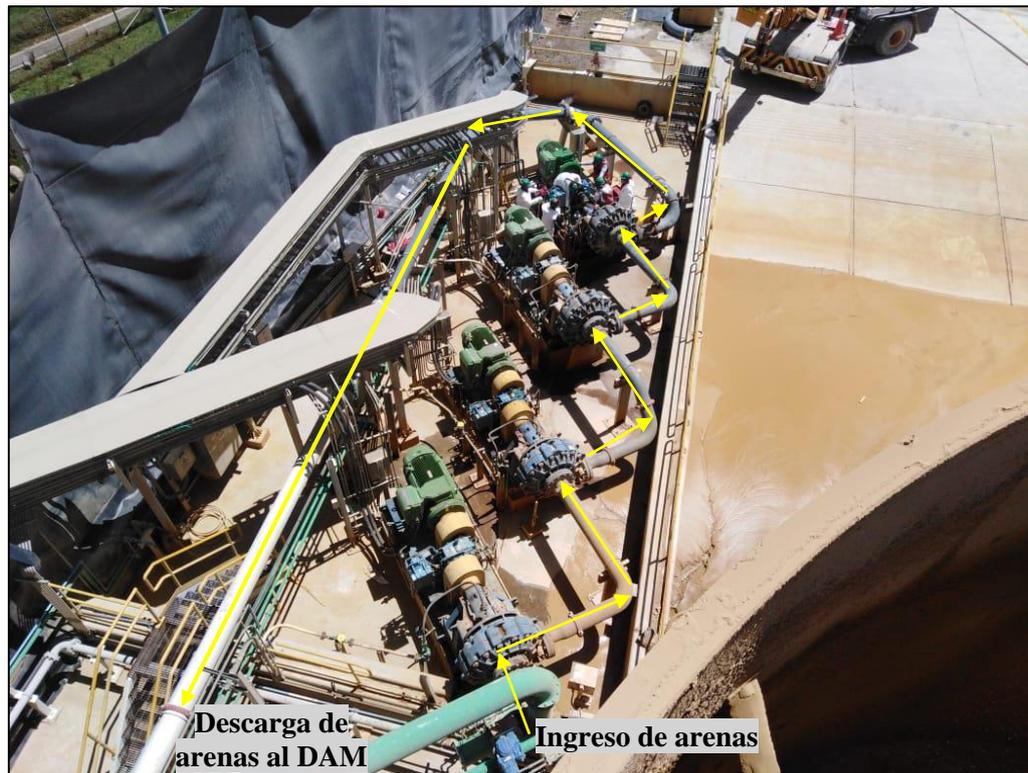


Figura 10. Tren de bombas 3 de la planta minera.

Con la línea amarilla se muestra la dirección del flujo de bombeo de arenas de molienda.

3.1.2. Diagnóstico de las causas de fallas

En el análisis del gráfico Jack Nife se determinó la falla más grave, que es la fuga de solución por testigos de carcaza de bomba, para determinar las causas de esta falla se utilizó el diagrama de Ishikawa.

A continuación, en la figura 11 mediante el diagrama de Ishikawa, se detallan sus causas:

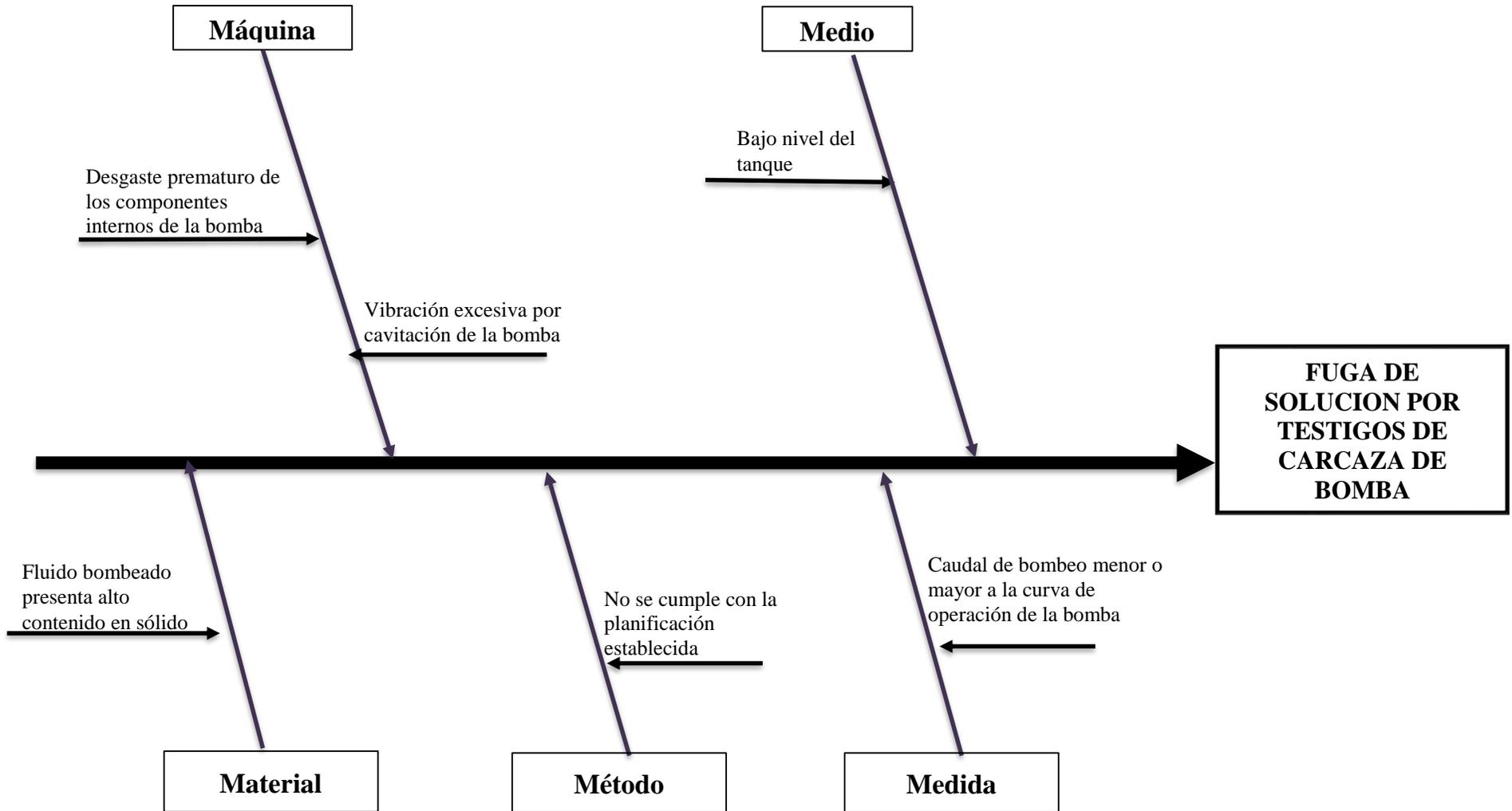


Figura 11: Diagrama de Ishikawa por fuga de fluido.

- Máquina: se encontró que una de las causas que origina la falla es que los componentes internos de la bomba se desgastan prematuramente, es decir que deben durar 3000 horas según el manual de la bomba 10/8ST-AHP (Weir Minerals, 2012), pero en este caso solo llega 1400 horas. El espesor del disco es de 50 mm y la de la voluta en 55 mm. En la figura 12 se adjunta los dos últimos reportes operación de los componentes internos de la bomba.

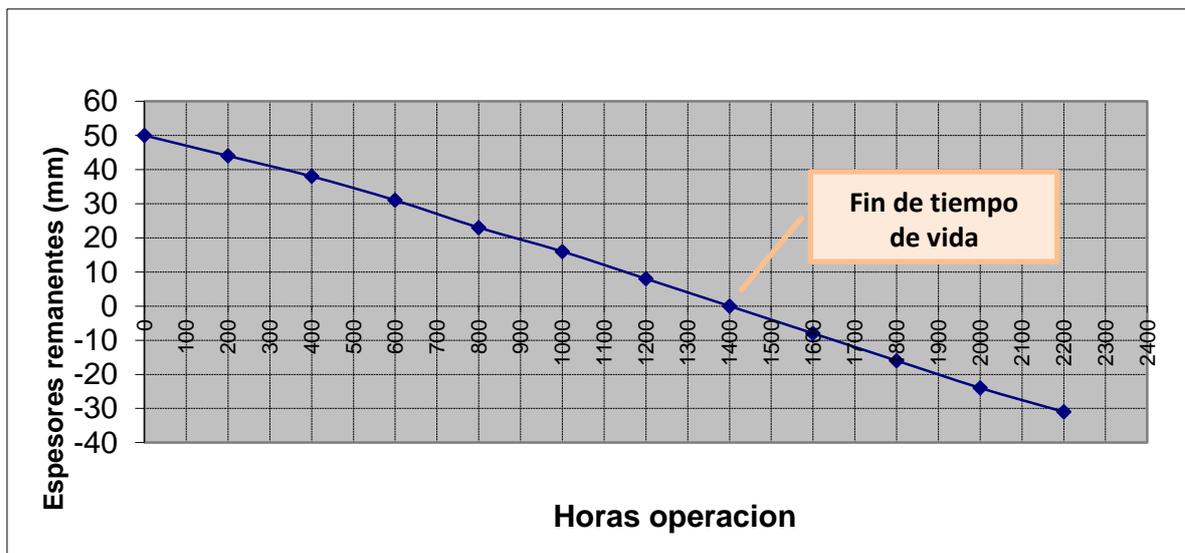


Figura 12. Curva de operación de los componentes internos de octubre del 2018.

Otra de las causas es la vibración excesiva de bomba que según Zepeda (2006) es causada por su cavitación, que internamente desgasta a los componentes o partes húmedas. La vibración debe ser menor a 0.5 mm/s (gE) según el manual del equipo, sin embargo, se han reportado niveles superiores a 0.8653 mm/s (gE). En la figura 13 se muestra el reporte de vibración de la bomba donde se evidencia que supera el límite máximo 11 veces en un día, lo cual contribuye al desgaste acelerado de los componentes.

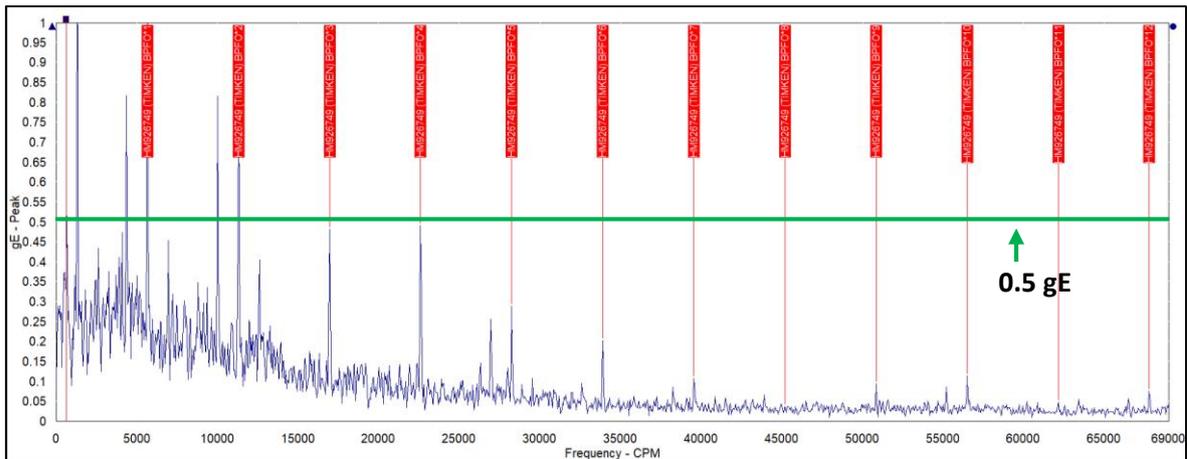


Figura 13. Reporte de vibraciones.

- Medio: La causa es el bajo nivel del tanque, lo cual origina cavitación lo cual genera vibración. El sistema de bombeo debe trabajar con un nivel mínimo de solución del 55% del tanque. La figura 14 muestra las características que tiene el tanque.



Figura 14. Características del tanque.



Figura 15. Medidas del tanque.

De acuerdo a la figura 15, el tanque no debe bajar su nivel de 5.79 metros que es igual a 55%, si baja este parámetro la bomba cavita tal como lo muestra la figura 16.

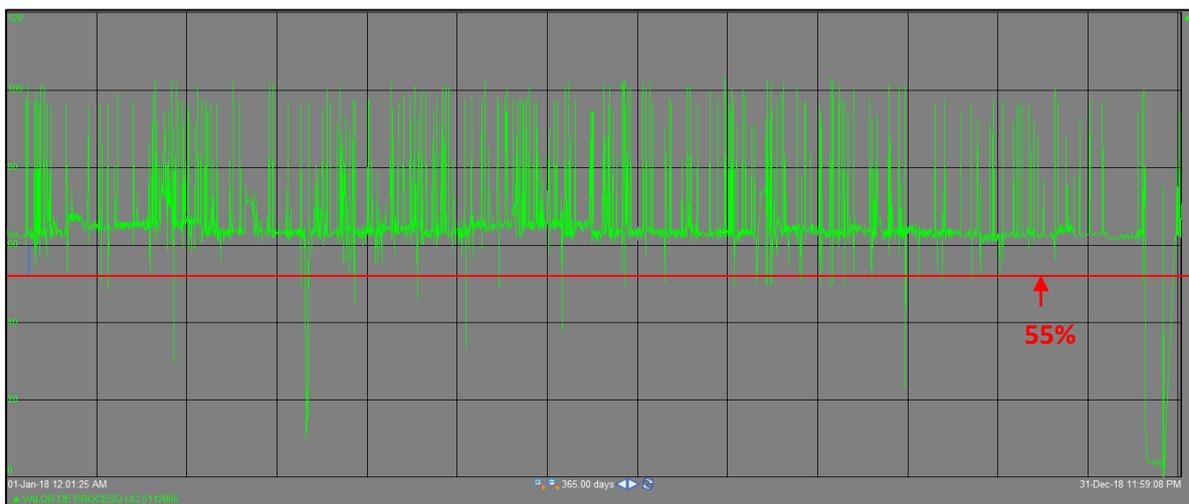


Figura 16. Reporte del nivel del tanque en el 2018.

En la figura 16 se evidencia que durante el 2018 las bombas han paralizado 42 veces por haber bajado su nivel.

- Material: el material bombeado son lodos, este fluido presenta alto contenido en sólidos y esto a su vez desgasta rápidamente los componentes internos de la bomba, el porcentaje de sólidos según el manual del equipo debe ser máximo 69%, sin embargo, en este caso pasa el 72%.

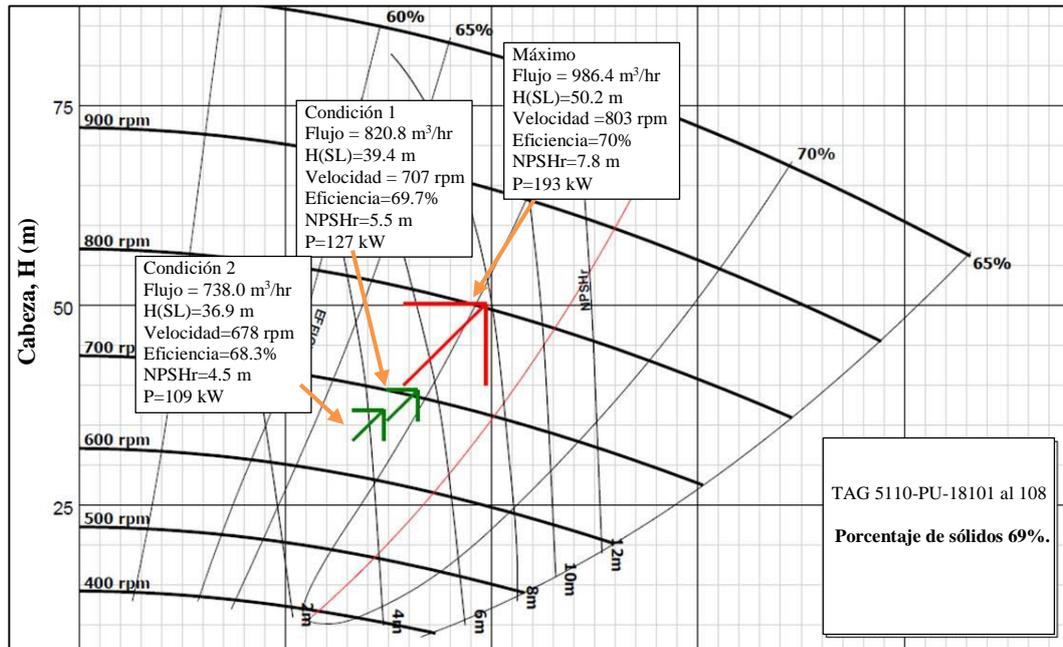


Figura 17: Curva de operación de la bomba 10/8 Warman AH.

La figura 17 muestra los parámetros de diseño de la bomba 10/8 Warman AH, en ella se corrobora que el porcentaje máximo debe ser 69%.

- Método: en la planta minera en estudio se cuenta con un plan de mantenimiento, sin embargo, este no se está cumpliendo porque los componentes internos de la bomba fallan antes de lo programado, es decir, su mantenimiento está programado al alcanzar las 3000 horas de funcionamiento sin embargo no se cumple porque fallan incluso antes de las 1400 horas. En la tabla 10 se muestra el plan de mantenimiento de las bombas, en ella se observa que el cambio de componentes internos o partes húmedas debe ser a las 3000 horas.

Tabla 10
Plan de mantenimiento de las bombas.

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL BOMBAS 10 ST - AHP MILL SAND				
TAG	Componente	Tarea	Frecuencia (horas)	Especialidad
5110PU18101-18108	Caja porta rodamientos	Lubricación de rodamientos	1440	Mecánica
		Monitoreo de vibraciones	720	Ingeniería
		Cambio de rodamientos -retenes	17280	Mecánica
	Partes húmedas	Inspección intrusiva de componentes	720	Mecánica
		Cambio de componentes húmedos (impulsor, voluta, discos, bocina, estopas)	3000	Mecánica
	Acoplamiento	Inspección de acoplamientos	720	Mecánica
		Lubricación de acoplamientos	720	Mecánica
		Alineamiento de ejes	8640	Mecánica
	Motor eléctrico	Lubricación de rodamientos	1440	Mecánica
		Monitoreo de vibraciones	720	Ingeniería
		Cambio de rodamientos	12960	Mecánica
		Megado de motor	8640	Eléctrica
Cambio de aceite		4320	Mecánica	
Reductor	Monitoreo de vibraciones	720	Ingeniería	
	Cambio de rodamientos –retenes	25920	Mecánica	

Los componentes internos de las bombas se han programado a las 3000 horas sin embargo por las fallas recurrentes se cambió a las 1400 horas en promedio.

- Medida: la causa es que el caudal de bombeo es menor o mayor a la curva de operación de la bomba, en la planta en estudio las bombas están diseñadas para bombear desde 800 metros cúbicos por hora hasta 1100, según los reportes de caudal baja hasta 750 m³/hora y sube hasta 1200 m³/hora, lo cual desgasta a los componentes.

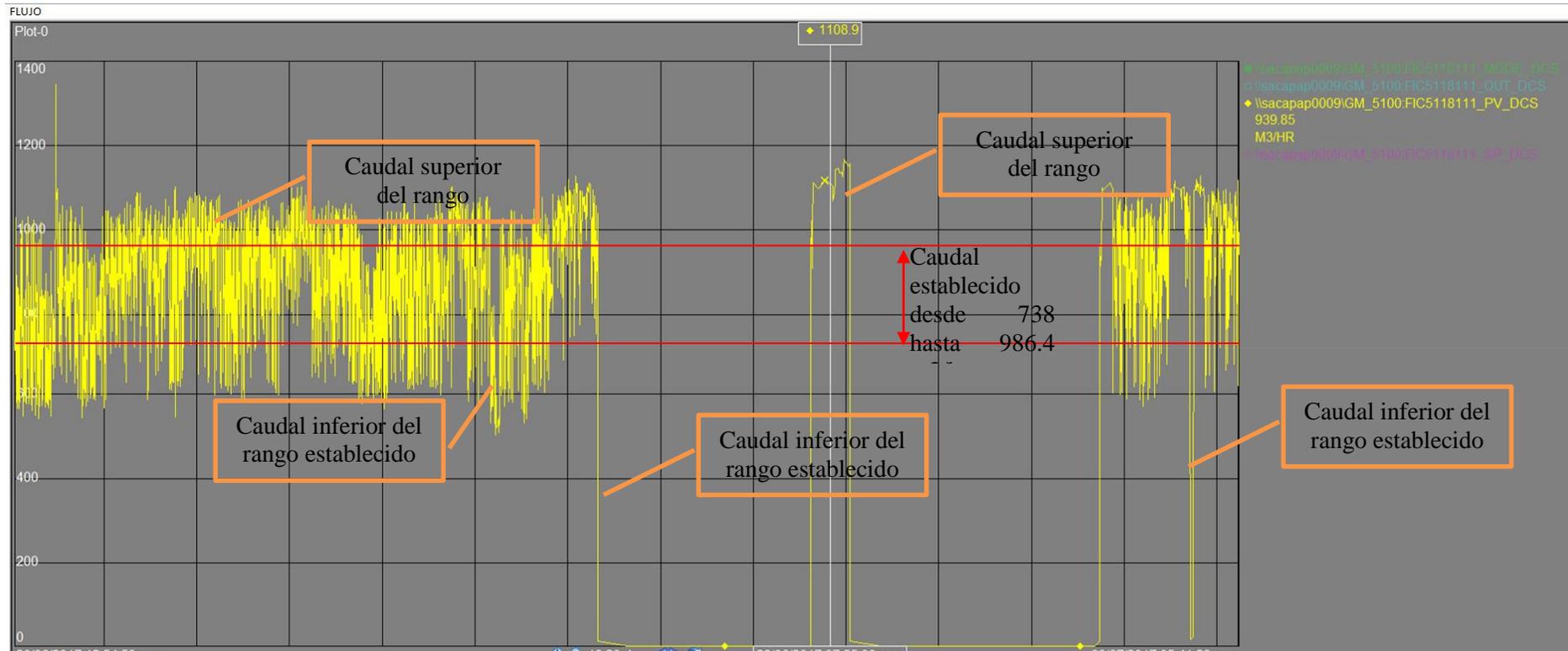


Figura 18. Reporte de caudales de bombeo.

La figura 18, muestra que los caudales operativos presentan anomalías inferiores y superiores al parámetro establecido, lo cual contribuye a un desgaste prematuro de los componentes internos de la bomba.

3.1.3. Diagnóstico de la frecuencia de las causas de fallas

Después de identificarse las causas de fuga de solución por testigos de carcaza de bomba se cuantificó de acuerdo a su frecuencia de ocurrencia. En la tabla 11, se muestra las causas identificadas, frecuencia, frecuencia normalizada y frecuencia acumulada.

Tabla 11
Causas de las paradas de bombeo durante el 2018.

6M	CAUSAS	Frecuencia	Frec. Normaliz	Frec. Acumulada
Máquina	Desgaste prematuro de los componentes internos de la bomba	14	38%	38%
	Vibración excesiva de bomba	8	22%	59%
Medio	Fluido bombeado presenta alto contenido en sólido	6	16%	76%
Material	Bajo nivel del tanque	4	11%	86%
Método	Caudal de bombeo menor o mayor a la curva de operación de la bomba	3	8%	95%
Medida	No se cumple con la planificación establecida	2	5%	100%
Total			0%	100%

Luego de ordenar la ocurrencia de causas de fallas se construyó el diagrama de Pareto.

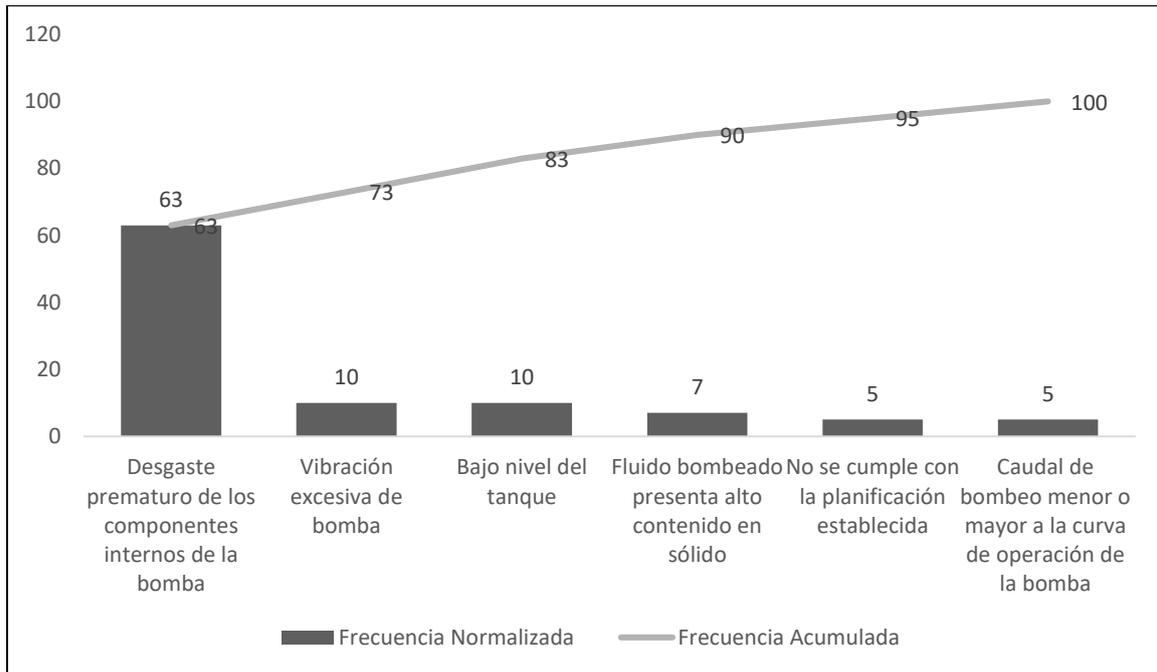


Figura 19. Diagrama de Pareto.

En la figura 19 se muestra que la causa con mayor frecuencia e impacto es el desgaste prematuro de los componentes internos de la bomba, estos componentes son metálicos y no están cumpliendo con su ciclo de vida.

Se analizó el tren 1 de la planta compuesta por 4 bombas, el diagrama de su funcionamiento se muestra en la figura 20.

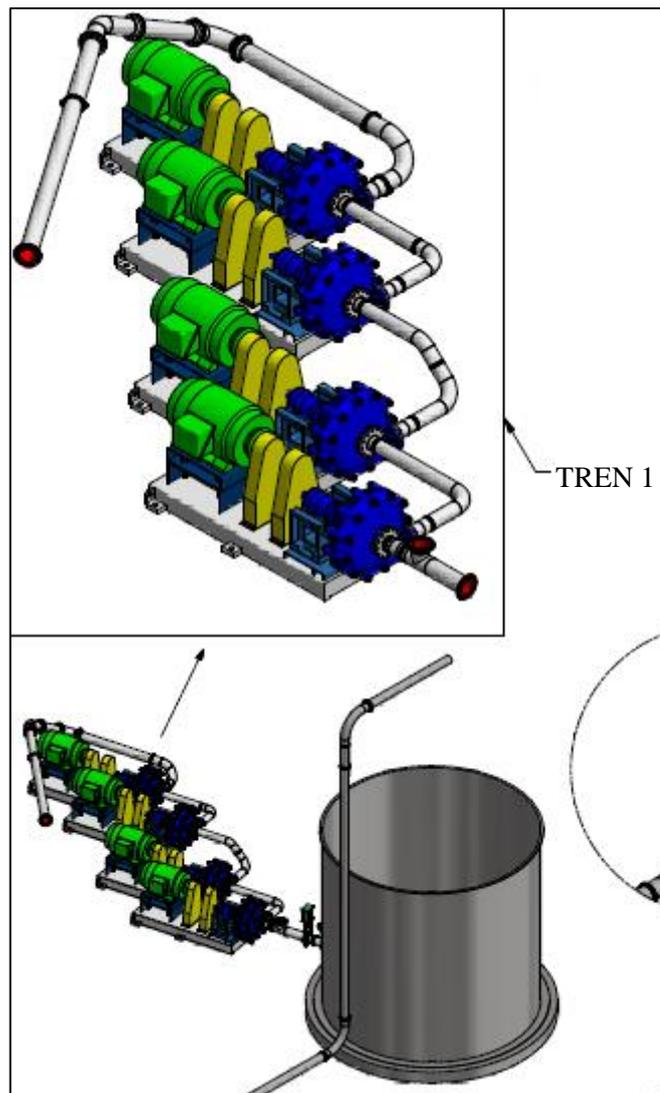


Figura 20: Diagrama de funcionamiento del tren 1.

De las bombas mostradas en la figura 20, los componentes internos se desgastan prematuramente, en la figura 21 se muestra los componentes.



Figura 21. Bomba Warman de la planta.

El costo que a la empresa le está generando el cambio frecuente de componentes internos se detallan en la Tabla 12, para el tren 1 conformada de 4 bombas.

Tabla 12

Costo anual generado por el desgaste de los componentes en un tren de 4 bombas.

Descripción de material	Numero de parte	Último Precio Unitario metal	Cantidades x año de la bomba estándar	Costo total anual de componentes metálicos (dólares)
Disco de succión; de la bomba Warman 10/8F	G8083MA05	7,831.00	24	187,944.00
Disco prensa	G8041MA05	4,025.33	24	94,595.26
Junta de descarga	GP8132S01	525.00	24	12,600.00
Impulsor de 5 álabes	G8147A05	11,015.93	24	264,382.32
Voluta	GP8110A05	14,257.20	24	335,044.20
Total				894 565.78

Según la tabla 12, la empresa gasta 894 565.78 dólares al año al cambiar los componentes internos de las 4 bombas del tren 1, y son 6 cambios por año.

3.1.4. Diagnóstico con indicadores operacionales de la bomba

Según la encuesta aplicada al Planificador Mayor de Mantenimiento de Procesos, la problemática parte de que los indicadores se encuentran por debajo de los estándares establecidos por la empresa, es por ello que se evaluaron cada uno de ellos:

- Disponibilidad de las bombas

La disponibilidad máxima establecida por el área de mantenimiento de la empresa es de 95%, por ello se analizó la disponibilidad de las 4 bombas del tren 1 antes de la mejora desde enero hasta diciembre del 2018, los resultados se muestran en la figura 22.

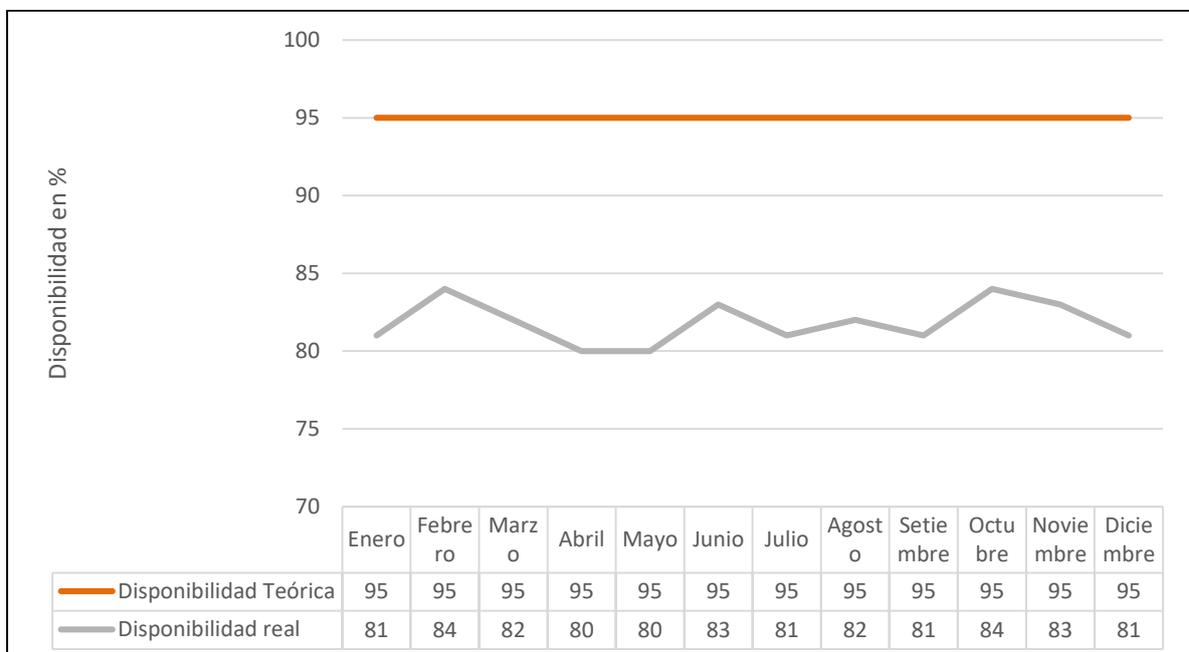


Figura 22. Disponibilidad promedio actual.

Como apreciamos en la figura 22, la disponibilidad durante el 2018 está por debajo del estándar establecido por la empresa, se obtuvo un promedio de 82% la cual está 13% menos de lo establecido.

- Rendimiento de los componentes internos

Normalmente el rendimiento actual de la bomba es de 1400 pero debe ser 3000 según el manual del equipo.

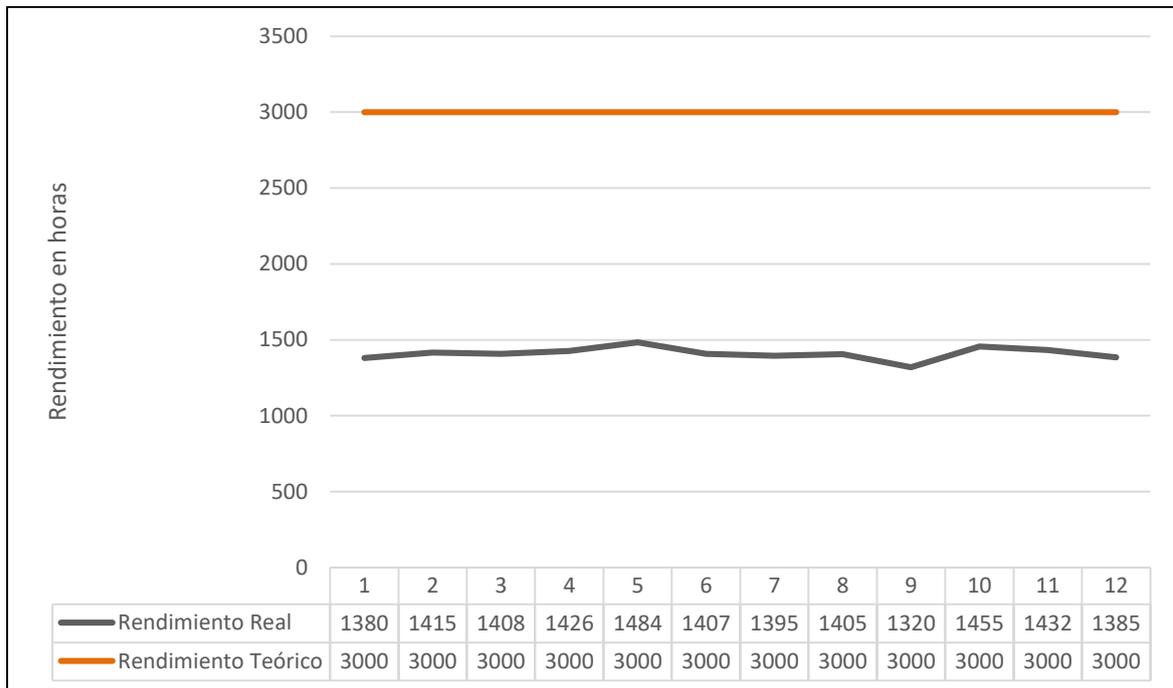


Figura 23. Rendimiento promedio actual.

En la figura 23 se muestra que el rendimiento está aproximadamente a la mitad, que a su vez genera sobrecostos a la empresa, en la figura 24 se determina su rendimiento en porcentaje el cual ni siquiera llega al 50%.

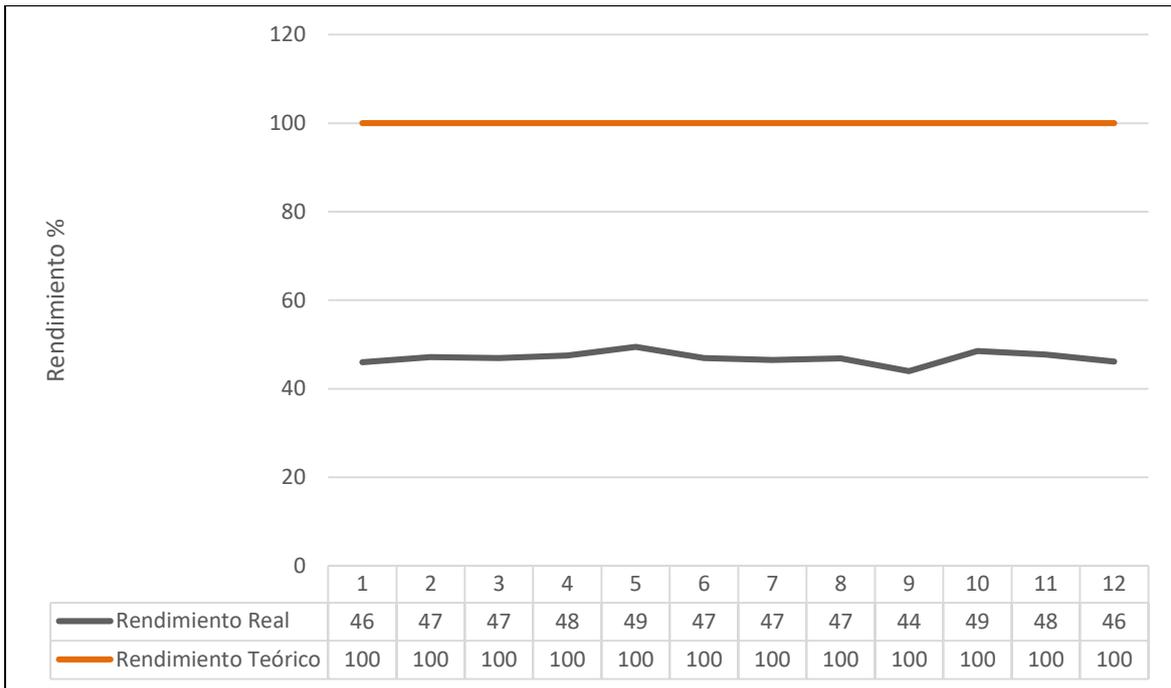


Figura 24. Rendimiento promedio actual de las 4 bombas del tren 1 en porcentaje.

- MTBF de los componentes internos

De acuerdo a los reportes de fallas obtenidos y la fórmula de la ecuación 3, se determinó el MTBF mensual durante el año 2018.

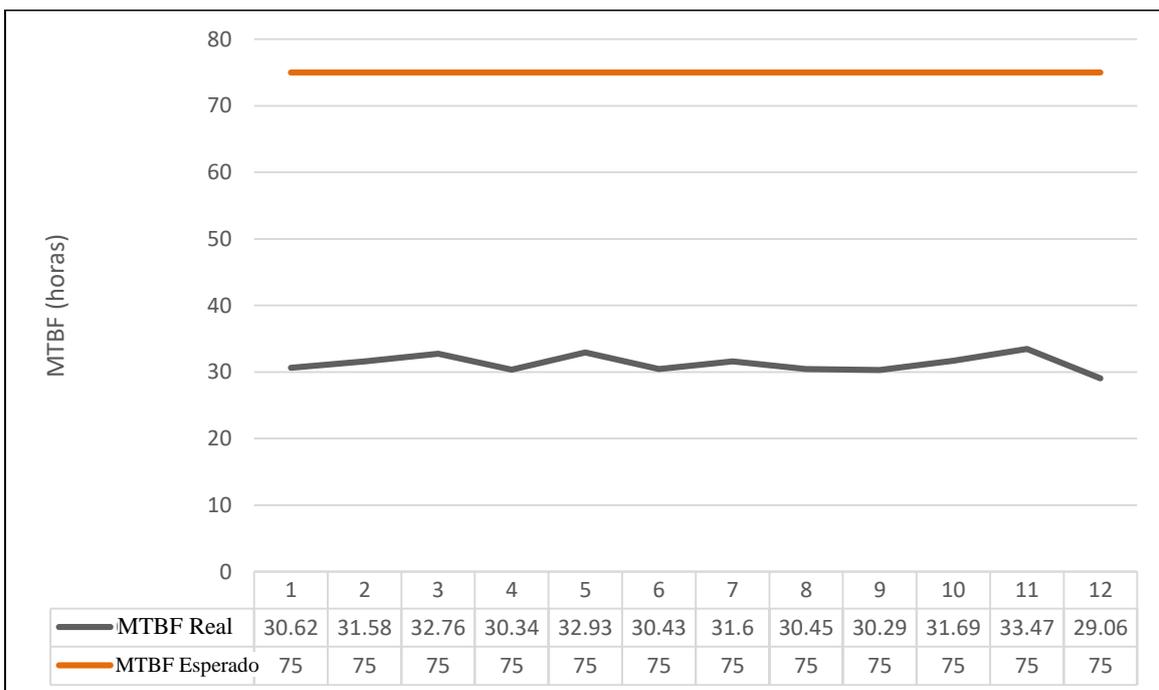


Figura 25. MTBF promedio actual.

En la figura 25, se evidenció que el MTBF varía desde 0 hasta 1484 horas, sin embargo, la empresa ha establecido su estándar en 3000 horas.

- MTTR de los componentes internos

Con el reporte de fallas y el tiempo de parada de equipo para reparar esa falla se determinó en MTTR.

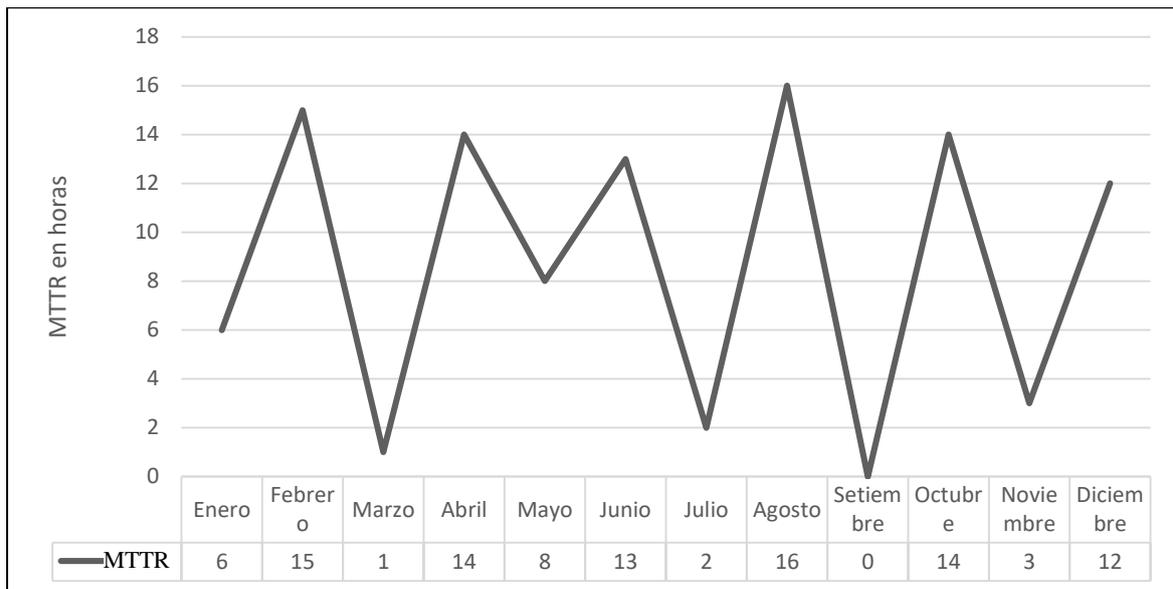


Figura 26. MTTR actual promedio actual.

En la figura 26 se muestra el MTTR desde enero hasta diciembre, se muestra que varía mucho y no hay un estándar ya que el MTTR depende del tipo de falla que se va a reparar.

- Calidad

Las bombas centrífugas deben bombear 986 metros cúbicos por hora, con una duración de 3000 horas según el manual del equipo, sin embargo, cada 1400 horas las bombas fallan por desgaste prematuro de sus componentes internos.

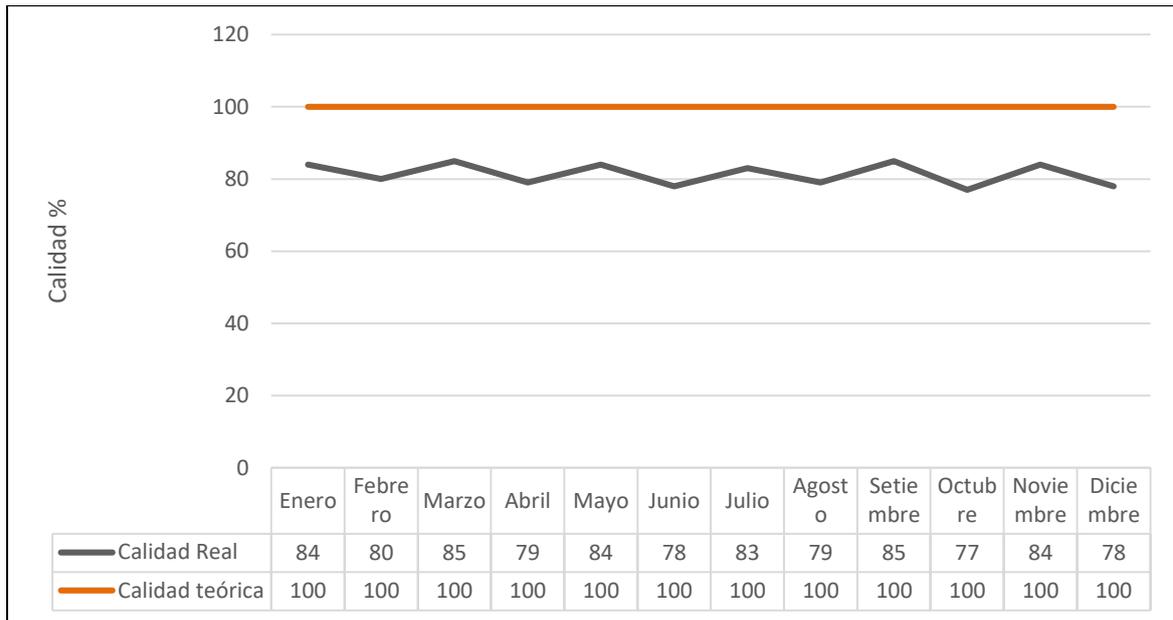


Figura 27. Calidad actual del equipo.

En la figura 27, se muestra que la calidad no llega al 100%, es decir la bomba no está bombeando las horas establecidas en el equipo porque fallan a las 1400 horas cuando deberían fallar a las 3000 horas.

- OEE (Eficiencia global del equipo) de los componentes internos

Para calcular el OEE, se utilizaron los datos de la tabla 13:

Tabla 13

Datos para calcular el OEE de los componentes internos.

Mes	Disponibilidad %	Rendimiento %	Calidad %	OEE%
Enero	81	45	84	30.618
Febrero	84	47	80	31.584
Marzo	82	47	85	32.759
Abril	80	48	79	30.336
Mayo	80	49	84	32.928
Junio	83	47	78	30.4278
Julio	81	47	83	31.5981
Agosto	82	47	79	30.4466
Setiembre	81	44	85	30.294
Octubre	84	49	77	31.6932
Noviembre	83	48	84	33.4656
Diciembre	81	46	78	29.0628

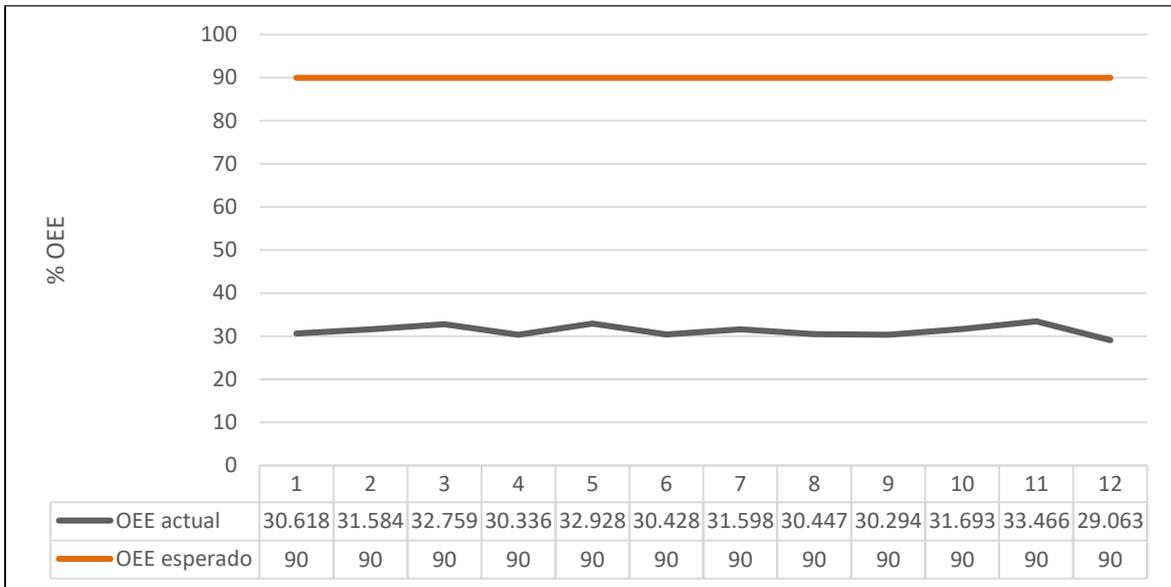


Figura 28. OEE actual promedio de las bombas.

En la figura 28, se muestra que el OEE actual del equipo es 31%, siendo bajo comparado con el estándar de la empresa que es 90%, por lo tanto, se debe mejorar.

Tabla 14
Clasificación del OEE.

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas, baja competitividad.
≥65% - <75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable solo si se está en proceso de mejora.
≥75% - <85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
≥85% - <95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados "World Class".
≥95%	Excelente	Competitividad excelente.

Fuente: Klaus, (2014).

De acuerdo a la Tabla 14, el OEE actual tiene un calificativo de Inaceptable, generando importantes pérdidas económicas y baja competitividad, lo cual se debe mejorar.

3.1.5. Resumen del diagnóstico

El diagnóstico de la situación actual del proceso de bombeo se ha elaborado por etapas, primero se determinaron las fallas críticas del proceso de bombeo, para ello se utilizó el diagrama de JackkNife, luego se analizó y cuantificó las causas que originan las fallas críticas mediante el diagrama de Ishikawa y Pareto respectivamente; finalmente se analizó el resultado de los indicadores para evaluar el impacto de las fallas en el desempeño de cada uno de ellos. En la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico, en ella se evidencia que la falla crítica es la fuga de solución por testigos de carcasa a causa del desgaste prematuro de componentes internos de la bomba, esto afecta negativamente al OEE que se encuentra en estado Inaceptable.

Tabla 15
Diagnostico final del proceso de bombeo.

Indicador	Resultado Actual	Indicador Estándar	Análisis	Falla Principal	Causa Principal
Disponibilidad	82%	95%	La planta no puede parar su funcionamiento y a pesar de contar con trenes de bombas las constantes fallas están afectando la disponibilidad de los componentes que debería ser 95% pero en promedio llega a 82%		
Rendimiento	1409 horas	3000 horas	Los componentes internos son metálicos y según su manual el rendimiento debe ser 3000 horas pero en promedio llega al 47% porque se desgasta prematuramente.	Fuga de solución por testigos de carcasa de bomba (determinado con el diagrama de JackkNife)	Desgaste prematuro de los componentes internos de la bomba (Cualificado con diagrama de Ishikawa y cuantificado con el diagrama de Pareto)
	47%	95%			
MTBF	946 horas	3000 horas	El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) es el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. En tiempo promedio entre falla y fallas fue de 946 horas.		
MTTR	8.66 horas	Según falla	El tiempo medio de reparación indica que se invierten 8.66 horas en reparar el equipo debido a alguna deficiencia en la gestión.		
Calidad	81.33%	95%	La calidad del equipo está referido a su capacidad de bombeo, en este caso es alto pero se puede mejorar.		
OEE	31.27%	90%	La eficiencia global de la bomba usando componentes internos metálicos es baja, se debe la presencia de la falla grave.		

3.2. Elección de los pilares del TPM aplicables

De acuerdo a los resultados del diagnóstico mostrados en la tabla 15 se determinó que la causa que acarrea mayor pérdida en la eficiencia operacional del proceso es el desgaste prematuro de componentes internos de la bomba, para ello se plantearon propuestas de solución tomando en cuenta la revisión de literatura y las apreciaciones del planificador mayor en base a su experiencia laboral en mantenimiento de procesos.

- **Controlar los parámetros:** para aplicar esta mejora se tendría que desarrollar programas de capacitación constante asimismo incrementar el compromiso de los trabajadores con la empresa, sin embargo, esta mejora va a depender de la aptitud de todo el personal de las guardias de operaciones. Sin embargo, las capacitaciones no pueden corregir directamente el problema del desgaste de componentes, pero sí contribuye al entendimiento del porqué ocurren estas fallas, de esta manera ayuda a soportar las decisiones de mejora.
- **Cambiar el material de los componentes internos:** el material actual de los componentes internos de las bombas es metálico, y por abrasión se desgasta prematuramente. Sin embargo, la empresa Vulco representante de la bomba 10/8 Warman que provee los componentes internos a la planta minera, recomienda utilizar los componentes internos de caucho, que por su experiencia en otras plantas mineras con otro modelo de bomba ha dado buenos resultados en bombas bajo molino, y se comprobó en minera Antamina y Gold Fields.
- **Revestimiento antiabrasivo con cerámico:** los componentes metálicos tienen una dureza 500 brinells, para aplicar el revestimiento se tendría que hacer rugosa a la superficie de los componentes internos, se consultó a las empresas Cassado,

Recolsa y Rosimar; las cuales afirman que sí es posible aplicar este revestimiento, pero no aseguran el incremento de la duración de los componentes.

Considerando estas tres propuestas se optó por el cambio de material de los componentes internos de la bomba es decir cambiar los metálicos por los de caucho, para definir el pilar del TPM se contrasta la mejora con el objetivo del pilar.

Tabla 16
Elección del pilar del TPM.

	TPM	Objetivo	¿Resuelve la problemática identificada? (Sí/No)
Pilares Técnicos	Mejoras específicas	Reducción y eliminación de pérdidas en procesos productivos por medio de formación de grupos de mejora.	No aplica a cambio de material o equipos.
	Mantenimiento autónomo	Concientización y capacitación del operador para cuidar adecuadamente del equipo mediante operaciones correctas, limpiezas, lubricación e inspecciones.	Sí, porque ayuda a identificar las fugas por parte del operador del equipo.
	Mantenimiento planificado	Maximizar la disponibilidad operacional del equipo o de la planta utilizando RCM.	Sí aplica, ya que el mantenimiento planificado permite ejecutar actos a tiempo y de una manera ordenada, antes de que el equipo falle.
	Mejoras en el proyecto	Maximiza el ciclo de vida del equipo, desde el proyecto hasta su desactivación, incluyendo cambios de equipos o cambios de materiales del equipo.	Sí aplica para cambio equipos o materiales, con ello se pretende alargar el ciclo de vida de los componentes.
	Mantenimiento de calidad	Influye directamente en el OEE por medio de la mejora del índice de la calidad.	Sí aplica para cambiar materiales de mejor duración y calidad.
	Pilares de Apoyo	Educación y Capacitación	Adiestramiento y concientización a todos los profesionales involucrados en el TPM y en sus diversas fases.
Seguridad y Salud		Preserva la integridad de los trabajadores en cada operación, equipo o instalación de la organización. El propósito de este pilar consiste en crear un sistema de gestión integral de seguridad y salud	No aplica para cambio de equipos o materiales.

	con el objetivo de lograr "cero accidentes".	
Medio Ambiente	Disminuye el impacto ambiental en cada operación, equipo o instalación de la organización. El propósito de este pilar consiste en crear un sistema de gestión ambiental con el objetivo de lograr "cero contaminación".	No aplica para cambio de equipos o materiales.
TPM en áreas de apoyo	Aumenta la eficiencia de las áreas indirectas (administrativas).	Sí aplica, ya que impacta en el área de logística con reducción de pedidos de componentes y del área de contabilidad ya que va a variar el costo de los componentes.

En la tabla 16, se determinó que el pilar que engloba todo cambio de material o equipos son: Mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejoras en el proyecto, mantenimiento de calidad y el pilar apoyo de educación y capacitación.

3.3. Diseño de los pilares TPM

La empresa minera asumió el compromiso para la implementación del TPM, y se inició por la gerencia de procesos y se citó al superintendente de mantenimiento de procesos, y se planteó una reunión principal con los involucrados en la cual se dio a conocer la aplicación de un sistema de gestión para mejorar el mantenimiento dentro la compañía, cuáles son los objetivos que se desean conseguir, que beneficios acarrea, en que se basa y cuáles son las acciones que se deben de tomar en cuenta para alcanzarlo. Se empezó con el inicio en la formación del comité TPM mostrado en la figura 29.

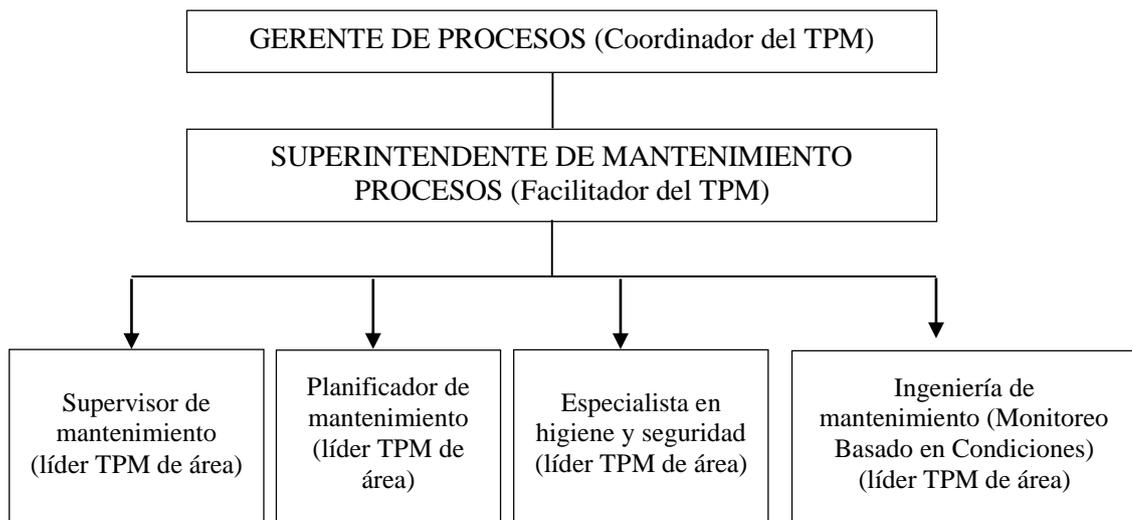


Figura 29. Organigrama del comité TPM.

Las funciones del Coordinador del TPM serán: planear y apoyar en la instalación del TPM, desarrollar y conducir el entrenamiento, dar asistencia en el desarrollo y ejecución del entrenamiento de habilidades, mantener un inventario de habilidades, medir los avances y éxitos y proveer el enlace con el comité directivo.

Las funciones del comité directivo de TPM serán: proveer guías generales y liderazgo, establecer las metas, desarrollar la visión, estrategias y políticas del TPM, apoyar en la instalación del TPM a través del financiamiento y personal, monitorear el avance y el éxito de la instalación y dar asistencia en las relaciones públicas (anuncios, artículos, etc.).

3.3.2. Mantenimiento Autónomo

Para la empresa es indispensable que se apoye en la jefatura de mantenimiento, ya que la eficiencia global es 31%; por lo tanto, la empresa cree necesario hacer cambios para mejorar la productividad mediante el mantenimiento autónomo, este pilar del TPM tuvo la estructura representada en la figura 30.

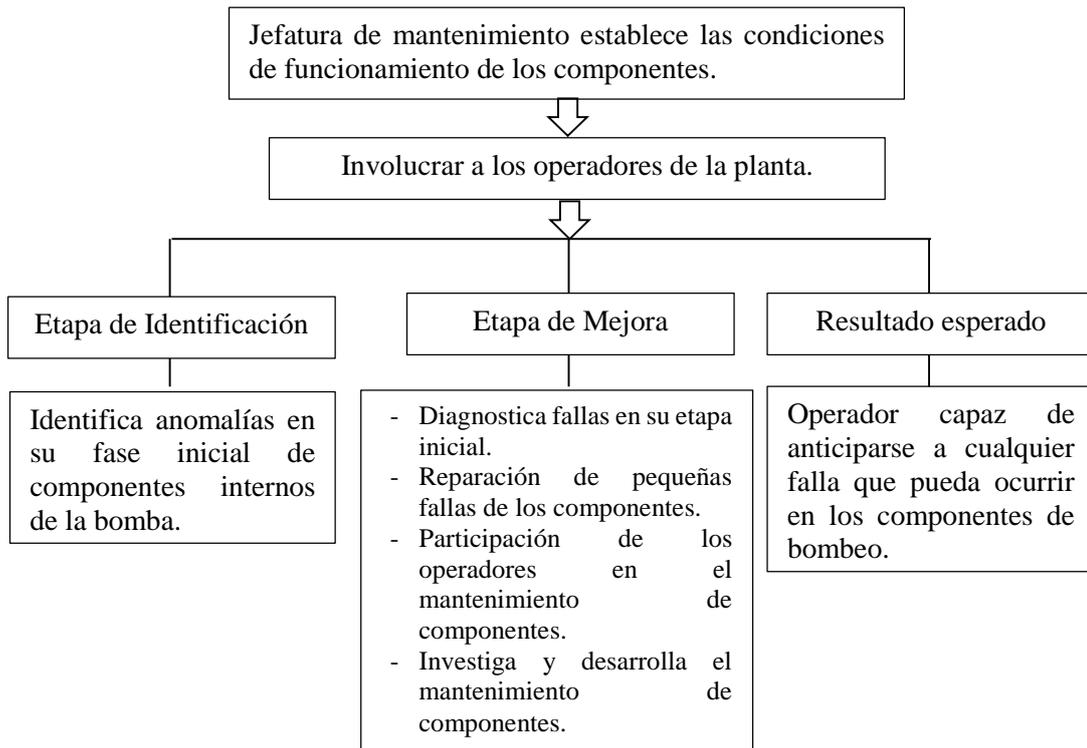


Figura 30. Estructura del mantenimiento autónomo.

En el mantenimiento autónomo actual de la empresa no existe participación del operador por falta de capacitación y entrenamiento, por ello es necesario hacer un seguimiento que involucren el mantenimiento autónomo en el perfil del operador, tal como lo muestra la figura 31.

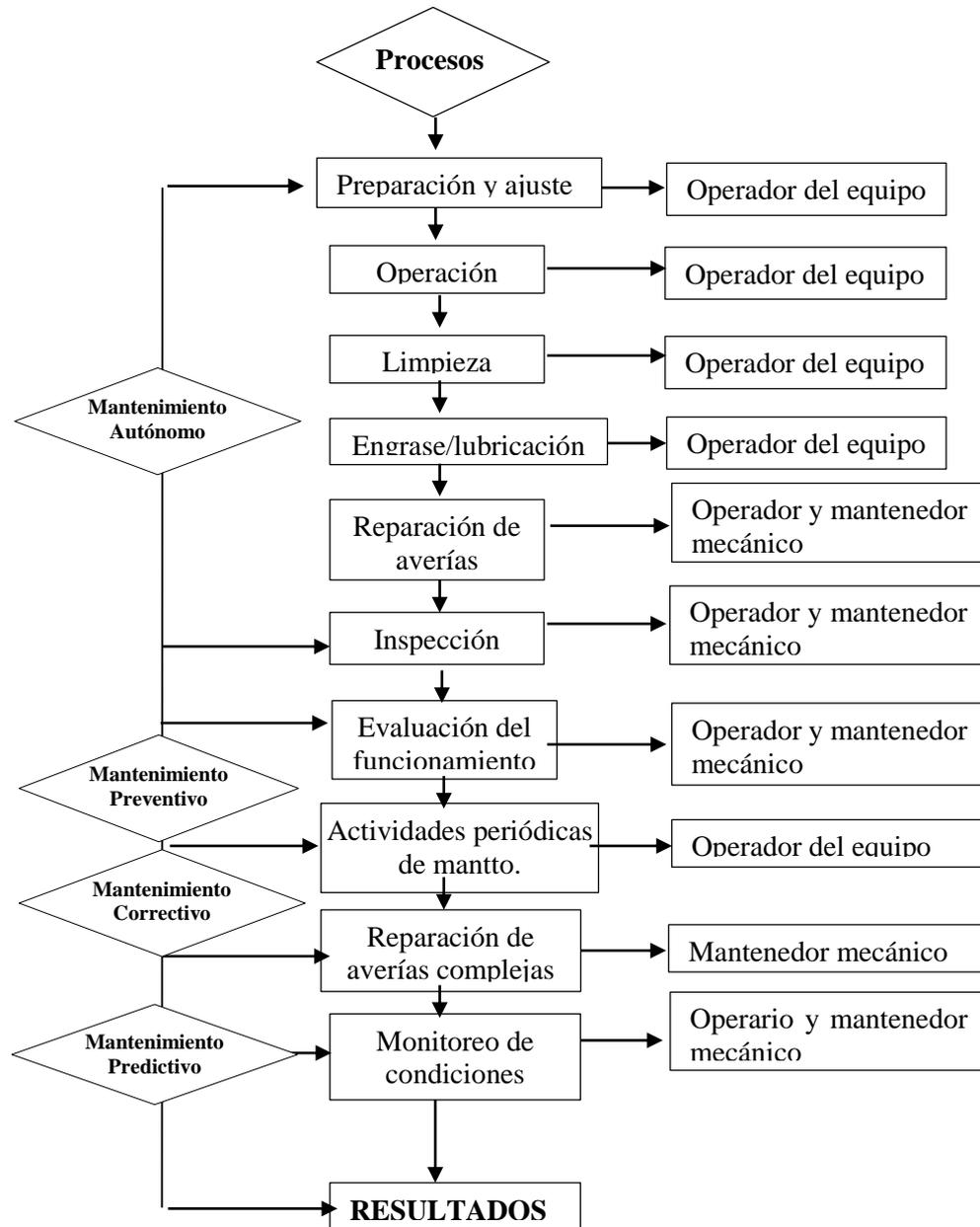


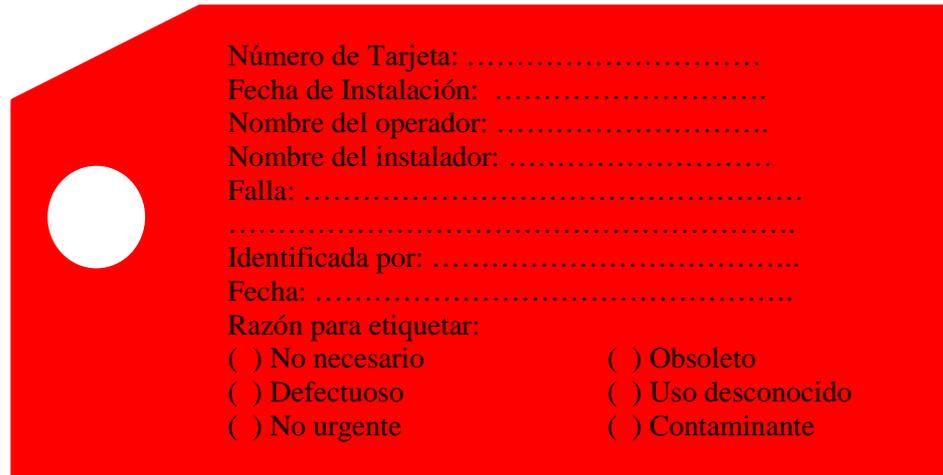
Figura 31. Actividades y responsabilidades del mantenimiento autónomo de componentes.

Las actividades que realizaron los operadores dentro del mantenimiento autónomo mejoraron la identificación de fallas en su fase inicial y se muestra en la tabla 17.

Secuencia del mantenimiento autónomo y personal implicado

Área de procesos: Tratamiento de arenas de molienda			
Encargado de turno:		Ing. Supervisor de guardia	
Encargado de operación del equipo		Operadores de planta	
Actividad	Mantenimiento y mejora	Personal de operaciones de procesos	Personal de mantenimiento de procesos
Mantenimiento autónomo	Preparación y ajuste: se ajustan estopas, verifica que no existan fugas por caja estopera.	Operador	No efectúa
	Operación: controla los parámetros operativos del diseño del sistema de bombeo.	Operador	No efectúa
	Limpieza: verifica que su equipo se encuentre limpio, con cero fugas (aceite, solución, etc)	Operador	No efectúa
	Engrase y lubricación: mantener los niveles correctos del equipo.	Operador	No efectúa
	Reparación de averías simples: asegurar las guardas de protección, ajuste de uniones bridadas.	Operador	No efectúa
Mantenimiento preventivo	Inspección del equipo: inspecciona el equipo; flujo, temperatura y presiones de acuerdo al manual del equipo, se realiza conjuntamente con los operadores y mantenedores.	Operador	Mantenedor
	Evaluación del funcionamiento: contrasta los valores medidos con los parámetros operativos de diseño.	Operador	Mantenedor
	Actividades periódicas de mantenimiento: inspecciona el funcionamiento del equipo semanalmente.	No lo realiza	Mantenedor
Mantenimiento correctivo	Fuga de solución por carcasa de bomba, cambio de estopas, cambio de rodamientos de motor	No lo realiza	Mantenedor
Mantenimiento predictivo	Monitoreo de condiciones (análisis vibracional/termografía, análisis de aceite y ensayos no destructivos)	No lo realiza	Mantenedor

Dentro del mantenimiento autónomo se consideró el orden y limpieza en el punto de operación, para ello se inició con la eliminación de componentes internos obsoletos, y el método empleado fue el uso de las tarjetas rojas, donde se etiquetaron los componentes de acuerdo a su necesidad (ver figura 32).



Número de Tarjeta:

Fecha de Instalación:

Nombre del operador:

Nombre del instalador:

Falla:

.....

Identificada por:

Fecha:

Razón para etiquetar:

<input type="checkbox"/> No necesario	<input type="checkbox"/> Obsoleto
<input type="checkbox"/> Defectuoso	<input type="checkbox"/> Uso desconocido
<input type="checkbox"/> No urgente	<input type="checkbox"/> Contaminante

Figura 32. Tarjeta roja utilizada para componentes.

Luego de eliminar los componentes internos obsoletos se realizó la inspección diaria de orden y limpieza, reduciendo los elementos innecesarios dentro del área de trabajo, herramientas mal ubicadas, cables eléctricos mal instalados, etc., para ello se aplicó la ficha mostrada en la tabla 18.

Tabla 18
Ficha de inspección de orden y limpieza.

Ficha de Inspección de Orden y Limpieza																					
Fecha:	Sr:			Semana:																	
ITEM	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes			Sábado			Domingo		
	Sí	Medio	No	Sí	Medio	No	Sí	Medio	No	Sí	Medio	No	Sí	Medio	No	Sí	Medio	No	Sí	Medio	No
El personal ingresa a la empresa y guarda adecuadamente sus cosas.																					
El personal tiene iniciativa de realizar una limpieza diaria a su área																					
Se utilizan los implementos necesarios para la limpieza																					
Los componentes están limpios y buen estado																					
Los componentes están libres y correctamente ordenados																					
Mantiene ordenadas sus herramientas																					
Los pisos están limpios, secos y sin desperdicios																					
Hay libertad de tránsito sin obstáculos																					
										Aplicado por:											

Luego de las inspecciones de orden y limpieza, los operadores se enfocaron en reducir las pérdidas de tiempo referentes a los componentes internos, lo cual se inició identificándolas, caracterizándolas y determinando el objetivo planteado (ver tabla 19).

Tabla 19
Clasificación de pérdidas en componentes internos de la bomba.

Tipo	Pérdidas	Tipo y caracterización	Objetivo
Tiempos Muertos.	Averías	Parada del equipo por desgaste constante de componentes, estopas y falta de lubricación.	Reducción al máximo de tiempo de parada
	Tiempo de ajuste de los equipos	Cambio de componentes internos y estopas, ajuste adecuado de los equipos para evitar las vibraciones y la cavitación.	Reducción al máximo
Pérdidas por eficiencia del bombeo	Reducción de flujo de bombeo	Cuando los componentes no están en óptimas condiciones o cuando el nivel del tanque no es el adecuado, el equipo de bombeo reduce su velocidad para evitar cavitación.	Reducción al máximo
	Paradas cortas	Cavitación de la bomba, porcentaje de sólidos altos, fuga por estopas, bajo nivel del tanque.	Reducción al máximo
Equipo defectuoso	Defecto de calidad	Los componentes de los equipos de bombeo deben cumplir con los estándares de calidad, como dureza y dimensionamiento.	Controlar los parámetros mediante 3T
	Defectos de instalación	Comprobar que no se pierda el fluido bombeado.	Minimizar

Para cumplir con los objetivos planteados en la tabla 19, se determinaron las actividades que se deben realizar en el mantenimiento autónomo de componentes internos de la bomba, los cuales se plasmaron en la tabla 20.

Tabla 20
Seguimiento de actividades para el mantenimiento autónomo de componentes internos.

Etapa	Actividad
Limpieza Inicial	Limpiar adecuadamente los componentes internos, buscar y corregir defectos que ocasionen fugas de solución.
Medidas por causas y efectos de la suciedad	Prevención de las causas que ocasionan las fugas de solución, lubricación, proteger los lugares de difícil acceso a la limpieza y reducir el tiempo de limpieza.
Estándares de limpieza y lubricación	Establecer los estándares de limpieza para los operadores, verificar que estas tareas se efectúen de forma periódica con la finalidad de reducir los tiempos de parada del equipo asociadas a los componentes internos.
Inspección general	El operador debe detectar las fallas por inspección para que pueda ayudar en la corrección de estas, como la pérdida de lubricación, incremento de temperatura de los rodamientos, desgaste de componentes.
Inspección autónoma	Los operadores están entrenados y establecen un cronograma de mantenimiento de componentes por parte del área de procesos, se le hace un seguimiento adecuado en tareas de limpieza, lubricación, etc.
Estandarización y control	Se debe de estandarizar y sistematizar el control para la lubricación, limpieza, etc., de componentes. Se debe de almacenar los datos para hacer un correcto seguimiento y control de las actividades en el programa SAP.
Implementación plena del mantenimiento autónomo	Eliminación de las grandes pérdidas ocasionadas por el desgaste acelerado de componentes. Reducción de los tiempos de reparación y averías asociadas al desgaste de componentes.

El diagrama del seguimiento de las actividades determinadas en la tabla 20 se muestra en la figura 33, en ella se detalla la respuesta ante los eventos que se presenten en los componentes internos de la bomba.

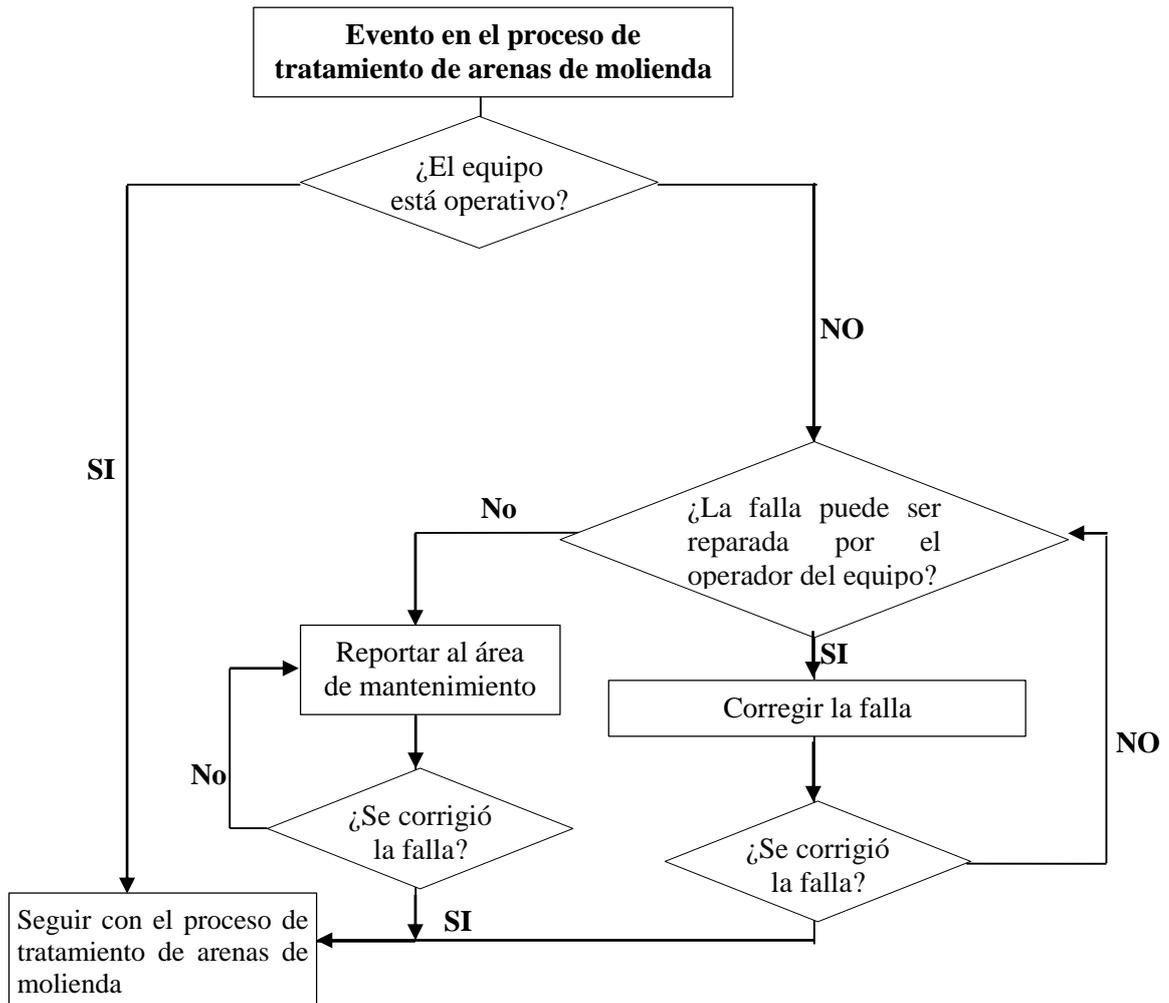


Figura 33. Diagrama ante de identificación de fallas.

En la tabla 21, se presenta las instrucciones para realizar el mantenimiento autónomo de componentes internos de la bomba, en las cuales se verificó de forma inmediata y accesible el seguimiento de las tareas que se van a controlar.

Tabla 21

Mantenimiento autónomo de los componentes internos de la bomba..

Mantenimiento Autónomo		
Código de componente:	Descripción:	
Área de Procesos: Tratamiento de arenas de molienda		
Realizado:	Revisado/ Aprobado:	Actividad realizada por:
Instrucciones Generales:		
<ul style="list-style-type: none"> – Antes de la conexión del componente. Evitar que el área cuente con obstáculos que impiden el correcto funcionamiento del componente: fugas de solución y verificación de la lubricación. – Puesta en operación del equipo. Revisar que los componentes del proceso de tratamiento de arenas de molienda no tengan impedimento para su inicio, tuberías conformes, bombas totalmente habilitadas. – Desarrollo del proceso de bombeo. Ver el correcto funcionamiento del componente interno de bombeo. Si presenta defectos o fallas como: fugas, incremento de temperatura, pérdidas de aceite en la lubricación, fugas en las bombas, fugas por estopas. – Finalización y relevo de turno Limpieza total del componente, dejándolo perfecto para el relevo de siguiente turno de trabajo. Ordenar y dejar todas las herramientas y útiles de trabajo, para reportar al siguiente turno de trabajo. La entrega de reporte se entrega al supervisor de operaciones de turno. 		
Se presentará evidencias mediante fotos donde se debe efectuar el mantenimiento autónomo.		

La ficha de aplicación del mantenimiento autónomo se muestra en la tabla 22, y con ella se redujo las fallas graves por cambio de estopas, ya que el operador realiza la tarea de regulación de estopas diariamente en sus inspecciones diarias.

Tabla 22

Ficha de mantenimiento autónoma.

Mantenimiento Autónomo																														
Código del equipo:	Descripción del equipo																													
Realizado por:	Revisado por:										Tarea realizada por:																			
Guardia:	Frecuencia Diaria																													
Puntos a verificar:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Inspección de fugas de aceite																														
Inspección de fugas por estopas																														
Inspección de fugas por testigos de carcasa																														
Inspección de picaduras en la tubería																														
Inspección del funcionamiento del manómetro																														
Verificación de nivel de aceite																														
Verificación de fugas de agua de sellos																														
Inspección visual de estructura del equipo																														
Inspección de flujo de bombeo																														
Inspección de nivel de tanque																														

3.3.3. Mantenimiento Planificado

El mantenimiento planificado de las bombas fue realizado por el mantenedor quien realizó las siguientes actividades:

- Realizar inspecciones visuales durante la operación de las bombas, ya que permite detectar problemas como fugas de solución o de lubricante, se pueden detectar fallas por medio del sonido y también identificar condiciones inseguras para el operador.
- Asegurar que la bomba esté operando dentro de las condiciones establecidas.
- Monitorear la temperatura de operación de la bomba, asegurarse que estén en los rangos normales de operación, debido que a condiciones normales esta variable es muy estable, si se presenta temperaturas fuera del rango establecido puede que se estén presentando problemas por fricción de elementos lo que indicará que hay un nivel bajo de lubricación.
- Se ha diseñado una hoja de información para llevar el control e historial de los fallos que se presenten en el funcionamiento de la bomba (ver tabla 23).

Tabla 23
Formato de registro de fallas

HOJA DE INFORMACION REGISTRO DE FALLAS DE LA BOMBA		
FECHA INICIAL DE LA AVERIA:	FECHA FINAL DE LA AVERIA:	REF. DEL EQUIPO:
SISTEMA:	EQUIPO:	COMPONENTE:
ITEM	MODO DE FALLA	

Luego de identificar la falla en el equipo de bombeo, se determinaron su tipo de ocurrencia en las actividades de operación y mantenimiento (ver tabla 24).

Tabla 24
Actividades de operación y mantenimiento.

PROCESO	ZONA / LUGAR	ACTIVIDAD	TAREAS	RUTINARIAS	NO RUTINARIAS
Mantenimiento	Área de procesos	Instalación de estopas	Mantenimiento de bombas centrífugas	Si	Se activa el sistema de alarmas y/ emergencias
Mantenimiento	Área de procesos	Instalación, rodamientos	Mantenimiento de bombas centrífugas	Si	Se activa el sistema de alarmas y/ emergencias
Proceso operacional	Área de procesos	Cambio de componentes internos	Mantenimiento de bombas centrífugas	Si	Se activa el sistema de alarmas y/ emergencias

Con la tabla 25, se identificó los peligros que se pueden presentar al momento de operar las bombas de descarga, algunos de estos son, lesiones por golpes con herramientas, derrame de solución, incendios, etc. Se estableció qué tipo de riesgo representan esos peligros y sus posibles efectos, todos los datos fueron tabulados.

Tabla 25
Matriz de panorama de riesgo.

PELIGRO	RIESGO	FACTOR DE RIESGO	EFFECTOS POSIBLES
- Lesiones por contacto con solución. - Lesiones por golpes con objetos o herramientas. - Derrame de solución por fisuras.	Seguridad	Mecánico	Ya mencionado en peligros
- Derrame de solución por fugas en la bomba al momento de la operación. - Derrame de solución al medio ambiente por fugas en la tubería.	Seguridad	Mecánico	Ya mencionado en peligros

Una vez identificados los peligros, sus efectos y el riesgo que representan se procede a una evaluación cualitativa del riesgo utilizando la tabla 26, quien proporciona el procedimiento que se debe seguir para dicha evaluación.

Se determinó el nivel de probabilidad mediante la ecuación.

$$NP = ND \times NE$$

Donde ND es el nivel de deficiencia y NE el nivel de exposición.

Tabla 26
Evaluación del riesgo

EVALUACION DEL RIESGO							VALORACION DEL RIESGO
Nivel de deficiencia (ND)	Nivel de exposición (NE)	Nivel de probabilidad (NDxNE)	Interpretación del nivel de probabilidad	nivel de consecuencia	nivel de riesgo	interpretación del NR	aceptabilidad del riesgo

Los riesgos se clasificaron de acuerdo a la tabla 27.

Tabla 27
Clasificación de riesgos.

Nivel de riesgo	Prioridad	Acciones para minimizar el riesgo	Acciones para maximizar la oportunidad
Extremo	1	Se requiere investigación y planificación detalladas; determinar si la actividad debe ser detenida en espera.	Se requiere investigación y planificación detalladas; alto potencial de pago; perseguir agresivamente la oportunidad
Alto	2	Atención de alta dirección; Acción correctiva y preventiva inmediata requerida.	Oportunidad a corto plazo con una tasa de rendimiento superior a la media.
Medio	3	Riesgo condicionalmente aceptable - responsabilidad de gestión asignada; Plan de acción correctivo y preventivo desarrollado.	Riesgo condicionalmente aceptable - responsabilidad de gestión asignada; Plan de acción correctivo y preventivo.
Bajo	4	Gestionar mediante procedimientos de rutina; aceptar riesgo.	Gestionar mediante procedimientos de rutina.

Para que la bomba funcione adecuadamente se establecieron los controles en la tabla 28.

Tabla 28
Controles recomendados.

CONTROLES RECOMENDADOS	
FUENTE	TRABAJADOR
Inspección periódica a los controles existentes, cumplir con la orden de trabajo establecida por el área de mantenimiento	Se le exige que se utilice el equipo de seguridad (gafas, botas, casco, etc.)
Inspección continua de los parámetros de funcionamiento del equipo de bombeo, inspección visual durante la operación en busca de posibles fugas.	Se le exige que se utilice el equipo de seguridad (gafas, botas, casco, etc.)

El check list diario de bombas, se realiza mediante la tabla 29, con ello se logró vigilar el comportamiento de la bomba y detectar anomalías que puedan representar riesgos a la seguridad de la operación y de las personas.

Tabla 29

Check list de arenas de molienda.

CHECK LIST DIARIO - BOMBAS ARENAS DE MOLIENDA													
Equipo N – TAG	Fuga de solución x sellado de bomba(estopas)		% Solidos	Caudal (m3/h)	Ruido motor-bomba		Fugas de aceite		Estado de estructura del equipo	Limpieza de bomba	Limpieza del motor	Estado de guardas	NIVEL TK (%)
	Si	No			Normal	Extraño	Si	No					
5110 PU 18102 (Tren #1)													
5110 PU 18104 (Tren #1)													
5110 PU 18106 (Tren #1)													
5110 PU 18108 (Tren #1)													
5110 PU 18101 (Tren #3)													
5110 PU 18103 (Tren #3)													
5110 PU 18105 (Tren #3)													
5110 PU 18107 (Tren #3)													
OBSERVACIONES:													
JEFE GENERAL				SUPERVISOR				OPERADOR DE GUARDIA				ESTADO	
Nombre:				Nombre:				Nombre:				O	
Firma:				Firma:				Firma:				C	
Fecha:				Fecha:				Fecha:				N/A	

Las actividades diarias se complementan con los mantenimientos programados en la tabla 30.

Tabla 30
Calendario de inspección de mantenimiento.

Actividad	Condición del Equipo para Realizar la actividad		Duración Estimada de la Actividad (min)	Frecuencia	Responsable De la Actividad
	ENCEN.	APAG.			
Inspección y medición de los rodamientos/ remplazar si es necesario	X		20	Mensual	Mantenedor
Cambio de rodamientos de motor eléctrico		X	720	A 5000 horas	Mantenedor
Cambio de rodamientos de botellas		X	720	A 5000 horas	Mantenedor
Inspección de acoplamiento (lubricación y/o cambio)		X	360	A 3000 horas	Mantenedor
Cambio de estopas		X	120	A 1400 horas	Mantenedor
Análisis vibracional de equipos rotativos (vibración, temperatura, ensayo no destructivo)	X	X	240	A 720 horas	Mantenedor
Limpieza externa de la bomba	X	X	15	Semanal	Operador/mantenedor
Sustituir componentes por otros de mejor calidad		X	720	A 3000 horas	Mantenedor
Lubricación de rodamientos	X		30	Mensual	Operario/Mantenedor
Chequear nivel de aceite	X	X	10	Diario	Operador
Inspección visual de corrosión de la carcasa	X		10	Semanal	Operador
Detectar presencia de fugas de solución	X		10	Diaria	Operador

Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación	X	10	Diaria	Operador
---	---	----	--------	----------

3.3.4. Mejoras en el proyecto

Como ya se indicó anteriormente en el ítem 3.2., la mejora del proyecto consiste netamente en el cambio del material de los componentes internos metálicos de la bomba por los de caucho, para ello primero se identificaron a las empresas proveedoras con sus respectivos costos, mostradas en la tabla 31.

Tabla 31
Proveedores de componentes internos de caucho.

Empresa proveedora	Descripción del componente de caucho	Precio de los componentes de caucho	Precio total de los componentes
Weir Minerals : es la empresa representante de las bombas Weir es decir los componentes que ofrecen son originales y tienen la garantía de la marca.	Disco de succión; de la bomba Warman 10/8F	2,599.00	17 229.00
	Revestimiento lado prensa (incluye disco prensa)	3,621.00	
	Junta de descarga	1,035.00	
	Impulsor de 4 álabes	7,463.00	
	Revestimiento lado succión	2,511.00	
Naipu Mining: es una empresa china que vende repuestos alternativos de las bombas Weir.	Disco de succión; de la bomba Warman 10/8F	2079.20	13783.20
	Revestimiento lado prensa (incluye disco prensa)	2896.80	
	Junta de descarga	828.00	
	Impulsor de 4 álabes	5970.40	
	Revestimiento lado succión	2008.80	
Mets Machinery Co. Ltd.: es una empresa china que vende repuestos alternativos de las bombas Weir.	Disco de succión; de la bomba Warman 10/8F	1949.25	12 921.75
	Revestimiento lado prensa (incluye disco prensa)	2715.75	
	Junta de descarga	776.25	
	Impulsor de 4 álabes	5597.25	
	Revestimiento lado succión	1883.25	

De acuerdo a la tabla 31, se eligió comprar los componentes internos de caucho ofertadas por Weir Minerals, ya que es la empresa que ofreció mayor garantía de sus productos por representación de marca.

a. Análisis de desgaste para disco succión

El ciclo de vida del disco de succión metálico tiene un ratio de desgaste semanal 1.6 mm, la tendencia de desgaste se muestra en la figura 34.



Figura 34. Curva de desgaste de disco de succión metálico.

En la figura 34, se muestra el ratio de desgaste del disco de succión metálico por horas de operación, en ella se evidencia que su espesor inicial es de 50 mm representando al 100%, a las 1400 horas de operación se observa que el disco ha llegado a su punto de falla con 0 mm de espesor (su tiempo de vida es 1400 horas).

Al cambiarse por el disco de succión de caucho su ciclo de vida ha incrementado a 3000 horas, a pesar de que su espesor inicial es 45 mm.

Además, el ratio de desgaste semanal se ha reducido a 1.14 mm, tal como se muestra en la figura 35.

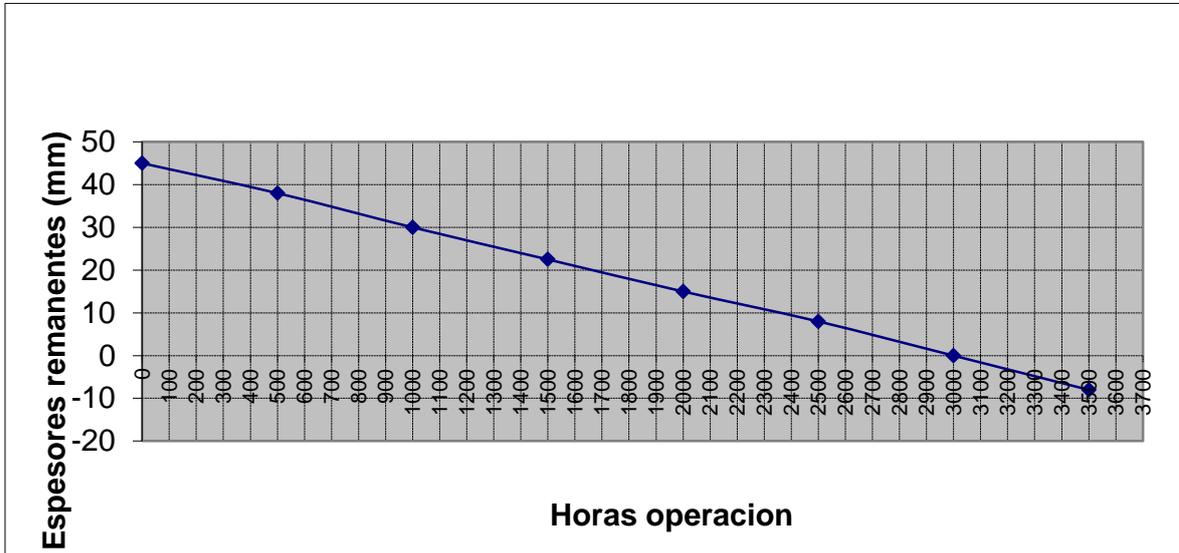


Figura 35. Curva de desgaste del disco de succión de caucho.

El tiempo de vida del disco de caucho es superior al del disco metálico, representando un incremento de 1600 horas, lo cual se muestra en la figura 36.

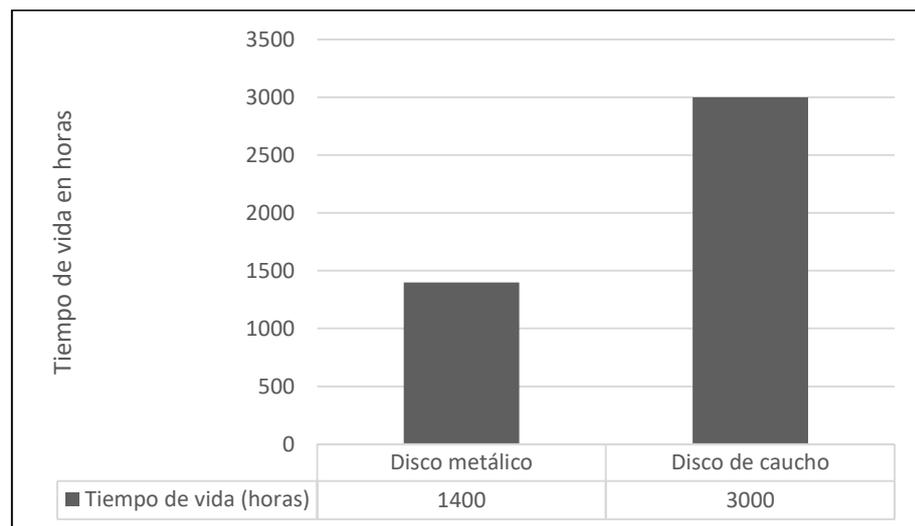


Figura 36. Comparativo de tiempo de vida del disco de succión metálico y de caucho.

En la figura 36, se muestra que el disco de succión de caucho tiene mayor duración que los de metal, lo cual también representa menos requerimiento

anual de este componente, es decir que por año se gastaban 24 discos de succión metálicos, pero al ser cambiados por los de caucho solo se utilizó 12 de ellos por año.

b. Análisis de desgaste para revestimiento

El tiempo de vida del revestimiento metálico tiene un ratio de desgaste semanal 1.3 mm, la tendencia de desgaste se muestra en la figura 37.

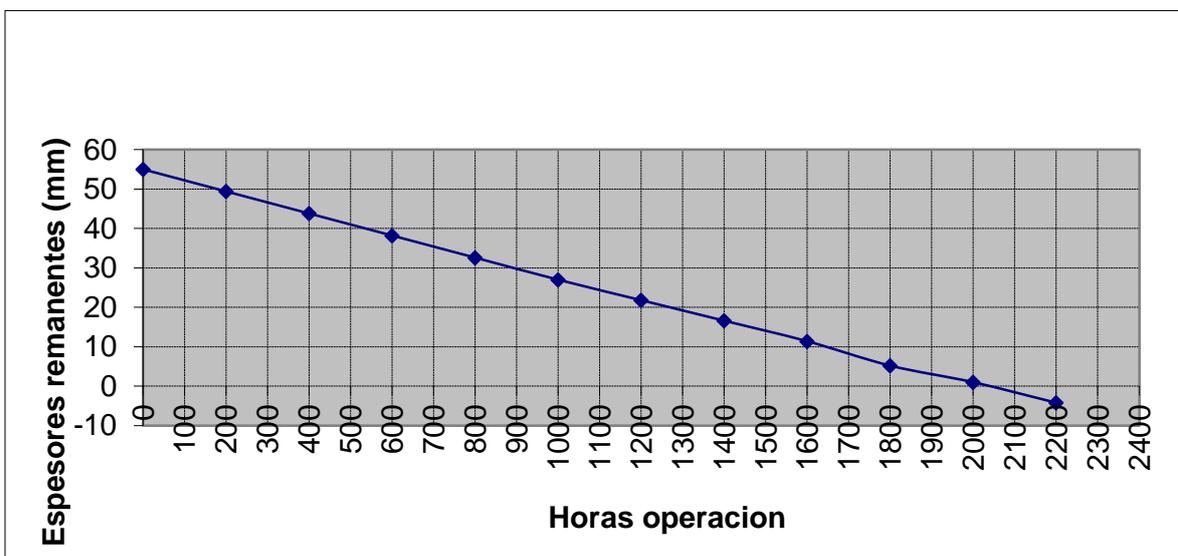


Figura 37. Curva de desgaste del revestimiento metálico.

En la figura 37, se muestra el ratio de desgaste del revestimiento metálico por horas de operación, en ella se evidencia que su tiempo de vida útil es 2000 horas con un espesor inicial de 55 mm.

Al cambiarse por el revestimiento de caucho su tiempo de vida útil ha incrementado. Además, el ratio de desgaste semanal se ha reducido a 0.70 mm, tal como se muestra en la figura 38.

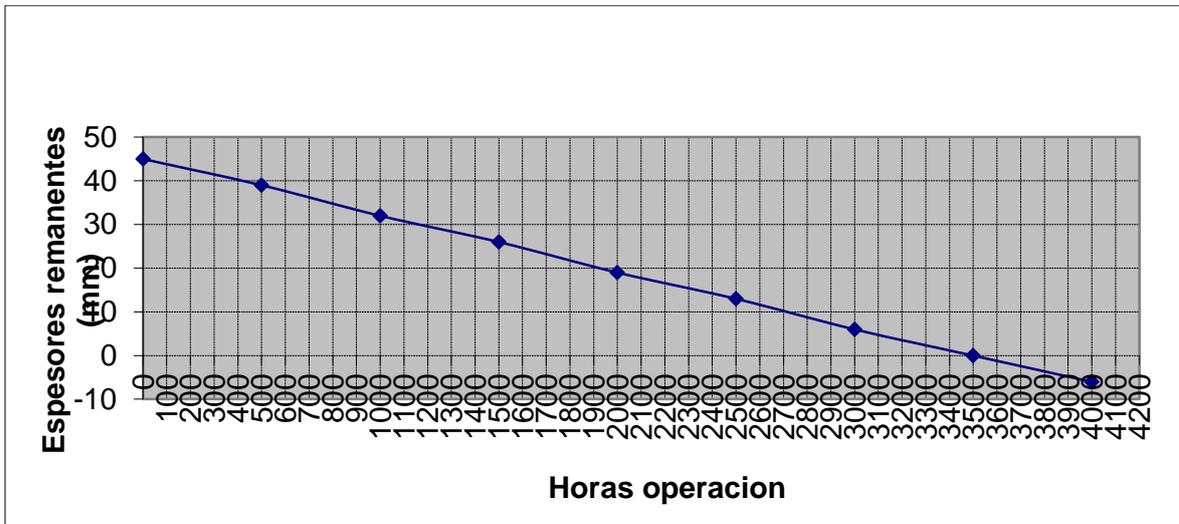


Figura 38. Curva de desgaste del revestimiento de caucho.

El tiempo del revestimiento de caucho es superior al del metálico, representando un incremento de 1500 horas, lo cual se muestra en la figura 39.

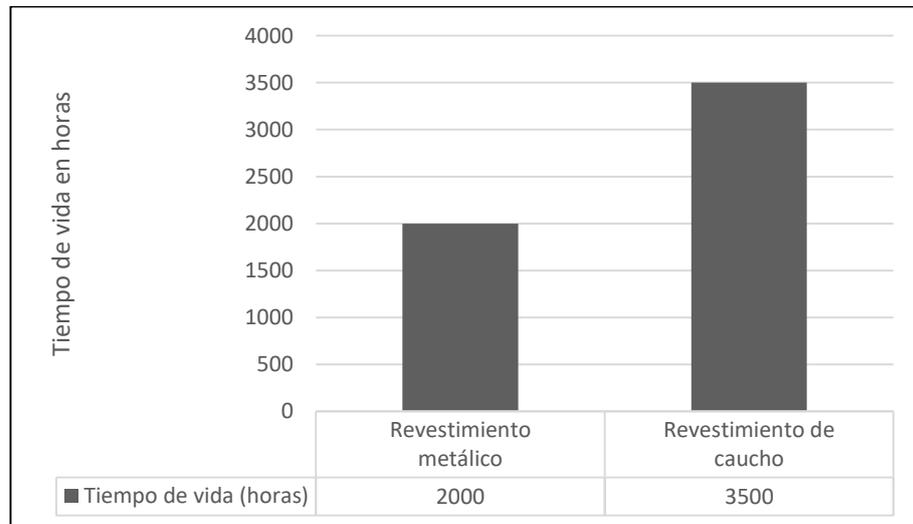


Figura 39. Comparativo de tiempo de vida del revestimiento metálico y de caucho.

En la figura 39, se muestra que el revestimiento de caucho dura 1500 horas más que los revestimientos metálicos, con ello se reduce la cantidad de pedido, es decir si se pedían 24 revestimientos metálicos al año después de la mejora se pidió solo 12 revestimientos de caucho por año.

c. Análisis de compra de componentes internos

La empresa Weir Minerals otorgó los costos de los componentes internos de la bomba metálicas y de caucho, con estos datos se hizo un comparativo de costos mostrado en la tabla 32.

Tabla 32

Comparativo detallado de costos por la compra de componentes.

Descripción completa del material	Número de pieza de metal	Precio del componente metálico de la Bomba Weir	Precio del componente de caucho de la Bomba Weir	Cantidades x año (componentes metálicos)	Cantidades x año (componentes de caucho)	Costo total por año (componentes metálicos)	Costo total por año (componentes de caucho)
Disco de succión; de la bomba Warman 10/8F	G8083MA05	7,831.00	2,599.00	24	12	187,944.00	31,188.00
Disco prensa	G8041MA05	4,025.33	3,621.00	24	12	94,595.26	43,452.00
Junta de descarga	GP8132S01	525.00	1,035.00	24	12	12,600.00	12,420.00
Impulsor de 5 álabes	G8147A05	11,015.93	7,463.00	24	12	264,382.32	89,556.00
Voluta	GP8110A05	14,257.20	2,511.00	24	12	335,044.20	30,132.00
						903 707.04	206,748.00
Ahorro = 696959.04 dólares al año							

En la tabla 32, se muestra que al cambiar los componentes metálicos por los de caucho se obtiene un ahorro de 696 959.04 dólares solo en la compra de ellos ya que estos últimos son menos costosos, además se evidencia que el código del componente va a seguir siendo el mismo por lo tanto no se va a modificar los datos en el área logística, también se refleja la reducción en la cantidad de pedido.

d. Análisis de transporte

En cuanto al transporte de los componentes internos lo realizará la empresa contratista Ransa S.A., y su costo del flete es el 7% adicional al precio del componente. De acuerdo al análisis anterior se determina que el pedido ya no será de 24 componentes internos al año sino de 12 (por su incremento en el tiempo de vida), por lo tanto, la mejora del transporte no solo se verá reflejado en el costo del componente sino en la cantidad de pedido (ver ítem 3.3.7.).

e. Procedimiento para cambio y/o mantenimiento de componentes de caucho

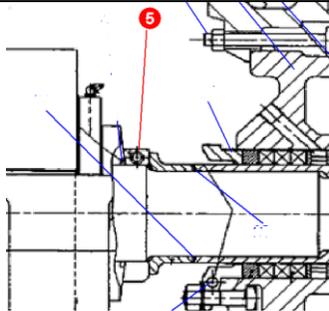
Después de haber determinado el uso de componentes de caucho se elaboró el procedimiento de trabajo para incluirlo en su manual de procedimientos (ver tabla 33).

Tabla 33

Procedimiento de cambio y/o mantenimiento de componentes de caucho.

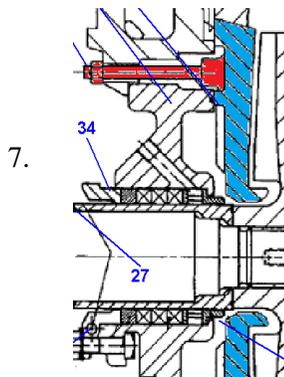
PROCEDIMIENTO STANDAR DE TAREA	
TAREA	: Mantenimiento de Bomba de Mill Sand- Cambio de componentes Revisión Húmedos bombas 10 x 8 ASH.
Cargo	: Mecánico de Mantenimiento. Fecha:
Gerencia	: Mantenimiento Procesos
Área	: Procesos mantenimiento Sub-Área: Mill Sands
Pre-requisitos de competencia:	Referencias relacionadas:
<ul style="list-style-type: none"> - Mantenedor mecánico. - Curso de primeros auxilios. - Curso de IPERC (identificación de peligros, evaluación de riesgos y control). - Haber recibido el curso de aislamiento de energía - Haber recibido los cursos de Inducción: Seguridad en Mantenimiento Mecánico Eléctrico, Equipos y Herramientas de Mano, y Seguridad en Manos, Dedos y Muñecas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamientos Vitales - Identificación y controles críticos de riesgos de fatalidad. - Reglas de Oro de la empresa - Decreto Supremo 024-2016-EM - Reglas Básicas de Seguridad y Salud
OBJETIVO	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL
<ul style="list-style-type: none"> - Contar con un PST que permita realizar las tareas en forma segura. 	<ul style="list-style-type: none"> - EPP básico. - Chaleco de rigger. - Guantes anticorte. - Protección auditiva.
HERRAMIENTAS	EQUIPOS Y MATERIALES
<ul style="list-style-type: none"> - Llaves mixtas 1-5/16"; 1-7/16", 1-3/16", 2-15/16", 1-5/8", 1-1/2". - Dados de impacto encastre 1": 1-5/16", 1-7/16", 2-15/16", 1-5/8", 1-1/2" - Extensión cardan 1". - Reducción de 1-1/2" a 1". - Escobillas de cerdas metálicas - Barretas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grúa franna de 20Tn.y/o Grúa Grove 45 Tn. - Accesorios de izaje. - Trapo industrial. - Liquido penetrante. - Grasa siliconada. - Pasta de cobre.

		<ul style="list-style-type: none"> - Combas 16 Lb. - Pistola de impacto neumático encastre de 1" y 1-1/2". - Cortador de estopas. - Extractor de estopas. - Maleta de herramientas estándar de mecánico. 	
No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACIÓN (CÓMO)	Pasos ejecutados (✓) completado (✗) No completado
1.	Reunión de 5 minutos	<ul style="list-style-type: none"> - Comentarios de seguridad acerca del trabajo a realizar. 	
2.	Coordinaciones previas	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinaciones con personal eléctrico y operaciones. - Inspección visual de herramientas y accesorios de izaje (cinta de trimestre) - Demarcación del área de trabajo. - Inspección visual de 360 grados. - Identificar todos los peligros potenciales en el área de Trabajo y aislarlos. 	
3.	Aislamiento de Energía de Equipo	<ul style="list-style-type: none"> - Aislamiento de energía eléctrica. - Aislamiento de energía hidráulica (válvulas de succión y descarga). 	
4.	Verificación de ausencia de energía	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar si el equipo está realmente bloqueado en campo. 	
5.	Desmontar tubería de succión / descarga	<ul style="list-style-type: none"> - Drenar líneas. - Desacoplar y retirar spool de succión y descarga. 	
6.	Procedimiento para desarmado y/o desmontaje de bomba	<ul style="list-style-type: none"> - Retirar guarda de acoplamiento reductor-bomba - Retirar el collarín de ajuste del impulsor (ver dibujo) - Simultáneamente se deberá ir retirando los pernos de la carcasa. - Antes de retirar todos los pernos de la carcasa se asegura el izaje de la misma. - Se procede a retirar la carcasa. - Se extraerán las estopas. - Se colocará la herramienta de extracción del impulsor para su retiro. 	



- Colocada la herramienta se colocan los elementos de izaje.
- Se empezará a girar el eje hasta que el impulsor desenrosque completamente y será izado con la grúa.
- Se colocará la maniobra de izaje para retirar los revestimientos lado succión y prensa. Previamente se soltó los pernos de sujeción de los revestimientos.
- Se retirará la bocina y el o-ring de la misma.
- Retirar anillo linterna de stuffing box.

CAMBIO DE DISCOS DE SUCCION

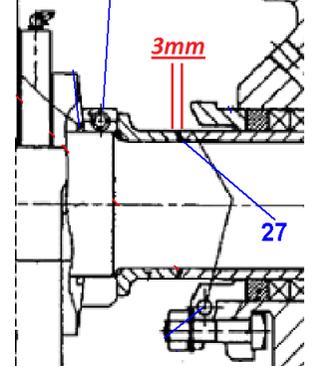


- Una vez aperturada la carcasa de la bomba se soltarán los 04 pernos del disco lado prensa y se retira para su cambio (ver dibujo).
- Se cambia el sello de caucho del lado prensa.
- El disco del lado succión se deberá retirar soltando los pernos de sujeción del disco (ver dibujo).
- Se cambia el sello de caucho del lado succión.
- Montar el disco de succión y asegurar con sus pernos de sujeción.
- Asegurar que el disco de succión este centrado con respecto al eje.
- Inspeccionar el desgaste del stuffing box, de encontrarse desgastado se procederá al cambio.

Procedimiento para armado y/o montaje de la bomba

8.

- Se procede a colocar la bocina con el o-ring en el eje de la bomba.
- Se realizará el izaje de los revestimientos lado succión y prensa con la grúa y asegurar con sus pernos de sujeción.
- Se coloca el o-ring del impulsor en el extremo de la bocina.
- Posteriormente se realiza el montaje del impulsor usando la herramienta de izaje, se deberá ir girando el eje para que el impulsor ingrese en su rosca totalmente.
- una vez colocado el impulsor se deberá realizar el ajuste del mismo, antes de colocar el collarín se tiene que dejar una luz de **3mm.** entre la bocina y el espaciador para luego colocar el collarín y ajustarlo.
- Se comprobará que el impulsor se encuentre ajustado.

	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza el montaje y ajuste de los pernos de la carcasa. - Se procede a instalar las 4 estopas , quedando pendiente la regulación de las estopas al arrancar el equipo.
<p>9. Montaje de tubería de succión y descarga</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza el montaje de la tubería de succión ajustando sus pernos y la abrazadera vitaulica. - En la tubería de descarga se deberá colocar la junta de descarga para evitar fugas al momento del arranque.
<p>10. Pruebas de funcionamiento, entrega de equipos y actividades finales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Una vez concluido con la totalidad del mantenimiento de la bomba, se retirarán todas las herramientas utilizadas durante el trabajo. El líder de equipo deberá inspeccionar el área de trabajo, antes de iniciar las actividades de cierre. - Finalmente se realizará orden y limpieza de toda el área de trabajo y se desbloqueará el tren de bombas en todos sus puntos para la entrega correspondiente a operaciones. - Firma de formato de entrega de equipo. - Llenar información al sistema SAP de los trabajos realizados. cerrar orden de trabajo.
<p>Preparado por:</p>	<p>Fecha : Nombre del Trabajador: No. ID</p>
<p>Validado por:</p>	<p>Fecha :</p>
<p>Aprobado por :</p>	<p>Fecha : Competencia verificada por: Fecha:</p>

3.3.5. Mantenimiento de calidad

Se implementó el mantenimiento de calidad utilizando el formato 3T (tolerancia, objetivo y test), realizado por el mantenedor mediante la tabla 34, y con ello se garantizó que las medidas de los repuestos utilizados para el cambio de componentes de la bomba estén dentro de las medidas recomendadas por el fabricante.

Tabla 34

Ficha de mantenimiento de calidad con 3T.

MANTENIMIENTO DE CALIDAD		FORMATO 3Ts				Código:		Versión: 01		
		CONTROL DE LA CALIDAD EN TAREAS DE MANTENIMIENTO				Fecha de Publicación:				
Verificación de repuestos. (Según manual WIER)		Realizado por:				Fecha:				
Equipo: BOMBA DE ARENAS		Ubicación:				Sistema:				
SECUENCIA DE ARMADO										
Paso	Descripción de la Actividad	Componente	Instrumento / Equipo	Código del Instrumento o equipo	Plano / Diagrama	Medida Nominal	Desviación Tolerable	Medición Obtenida	Acción a tomar	Observación
1	Verificar de Anillos Linterna									
	(*) Posición 1 diámetro Externo	Anillo Linterna								
	(*) Posición 2 diámetro Interno									
	(*) Posición 3 Altura									
2	Verificar de Camisa del eje									
	(*) Posición 1 diámetro Externo	Bocina								

(*) Posición 2 diámetro
Interno

(*) Posición 3 Longitud

3 Medición de diámetro de Impulsor

(*) Posición 1 Diámetro de
Impulsor Impulsor

4 Medición de luz entre Impulsor y disco Al momento del Montaje

Medición Disco

5 Calibración de Voluta

Medición Voluta

7. Medición Caja estopera.

Verificación de Caja Caja
estopera Estopera

Detalle	Elaborado:	Revisado:	Controlado:	Aprobado:
Nombre y Apellido				
Fecha				

3.3.6. Pilar de apoyo de entrenamiento y capacitaciones

a. Programas de educación e información

La capacitación debe ser constante en la empresa, sin embargo, se realizó una capacitación inicial en las áreas de Mantenimiento. Los temas desarrollados a lo largo de la Información/ Capacitación se muestran en la tabla 35.

Tabla 35
Plan de capacitación enfocada al TPM.

Tema	Duración	Frecuencia	Expuesto por	Dirigido a:
Conceptos generales del TPM	20 minutos	Sólo una vez	Gerente del equipo TPM	Todo el personal
Objetivos de proyecto TPM a corto y mediano plazo	10 minutos	Semestral	Gerente del equipo TPM	Todo el personal
OEE (Tipo de Paradas, registros de producción, uso de árbol de equipos)	30 minutos	Trimestral	Gerente del equipo TPM	Área de ingeniería de confiabilidad
Orden y limpieza	10 minutos	Trimestral	Supervisor del área de procesos	Operadores y mantenedores
Desarrollo del mantenimiento autónomo	20 minutos	Trimestral	Supervisor del área de procesos	Operadores
Desarrollo del mantenimiento planificado	20 minutos	Trimestral	Supervisor del área de mantenimiento	Mantenedores
Desarrollo del mantenimiento de calidad	20 minutos	Trimestral	Supervisor del área de procesos	Mantenedores y operadores
Características de los componentes internos de caucho	15 minutos	Sólo una vez	Supervisor del área de procesos	Mantenedores y operadores
Cambio y mantenimiento de componentes internos de caucho	20 minutos	Semestral	Supervisor del área de procesos	Mantenedores y operadores
Charla de seguridad	5 minutos	diario	Supervisor de área	Todo el personal

b. Charla de sensibilización a operadores en mantenimiento autónomo

Esta charla tuvo como fin, concientizar a los operadores sobre la importancia que tiene el mantenimiento autónomo dentro del TPM y la empresa. Esta charla de sensibilización al personal de mantenimiento, fue impartida por el supervisor de procesos.

La capacitación para el mantenimiento autónomo, constó de 4 módulos mostrados en la tabla 36.

Tabla 36
Capacitación a operadores sobre mantenimiento autónomo.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Principios de funcionamiento de la bomba	30 minutos		
Módulo 2: Parámetros operativos del sistema de bombeo	30 minutos		
Módulo 3: Principios básicos de lubricación y análisis de falla	30 minutos	Supervisor de procesos	Operadores de la bomba
Módulo 4: Reporte de anomalías en condiciones sub estándares de su equipo	30 minutos		

Luego de la capacitación se realizó una evaluación a los operadores de las bombas, la cual estuvo a cargo de supervisor de procesos y utilizó la ficha mostrada en la tabla 37.

Tabla 37

Ficha de evaluación al operador.

Nombre: _____ Fecha _____

Tarea	Habilidad Requerida	Código del operador	Nivel de habilidad
Conocimiento de Visión Misión del área de procesos			
Conocimiento de su equipo			
Nivel de compromiso del operador			
Uso de registros			
a) Mantenimiento preventivo / limpieza			
5´ S			
Lubricación			
Ajustes			
Limpieza			
Otras Actividades			
Seguridad de los equipos			
Seguridad personal			
Total			

El nivel de habilidad adquirida por los operadores se realizó utilizando la tabla 38.

Tabla 38

Nivel de habilidad adquirida por el operador.

Nivel de Habilidad	Descripción/Atributos/comentarios
1	Trabajador, básicamente sin habilidades; está aprendiendo como operar el equipo; inseguro(a) de sí mismo(a), necesita supervisión continua.
2	Puede operar equipos, conoce el proceso básico. Necesita asistencia ocasional. No conoce bien el equipo, pocas veces reconoce un equipo que esté funcionando mal o algún problema.
3	Opera los equipos con confianza y necesita muy poca asistencia. Reconoce cuando un equipo funciona mal o cuando hay problemas de calidad, pero no los puede corregir.
4	Conoce muy bien el equipo y lo opera a un alto nivel de confianza. No necesita supervisión. Comprende la relación entre rendimiento del equipo y la calidad/productividad. Reconoce cuando un equipo funciona mal y realiza las correcciones/ajustes. Podría supervisar a otros.

- 5 Operador experimentado que conoce muy bien el equipo y el proceso de tratamiento de arenas de molienda. Supervisa y entrena a otros. Muy consciente del mal funcionamiento de los equipos, incluso de los potenciales problemas. Realiza correcciones/ajustes, inspecciona los equipos y hace reparaciones menores. Muy consciente de la condición de los equipos y su relación con la productividad. Potencial supervisor/líder de grupo de trabajo

Aprobado por: Jefatura de Operaciones/Procesos _____

Coordinador de TPM _____

c. Charla de sensibilización a mantenedores en mantenimiento planificado

Los mantenedores de las bombas fueron capacitados con cuatro módulos y detalladas en la tabla 39 y con ellas se obtuvo registros detallados reportados en el programa SAP.

Tabla 39

Programa de capacitación en mantenimiento planificado.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Registro físico y Análisis de fallas en bombas	30 minutos		
Módulo 2: Reportes históricos de funcionamiento de la bomba	30 minutos	Planificador de mantenimiento	Mantenedores de la bomba
Módulo 3: Análisis de condición de la bomba	30 minutos		
Módulo 4: Ingreso de datos al sistema SAP	30 minutos		

d. Charla de sensibilización en mantenimiento de calidad

Los mantenedores de las bombas fueron capacitados con tres módulos y detalladas en la tabla 40, con lo cual se logró asegurar el correcto mantenimiento de la bomba y evitar retrabajos.

Tabla 40
Capacitación en mantenimiento de calidad.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Utilización del formato 3T	30 minutos	Especialista del área de ingeniería de mantenimiento	Mantenedor de la bomba
Módulo 2: Interpretación del formato 3T	30 minutos		
Módulo 3: Tolerancia de parámetros según manual de la bomba	30 minutos		

3.3.7. TPM en áreas de apoyo

El TPM ha impactado en las áreas de logística y contabilidad lo cual se ve reflejado en los costos. El cambio de componentes metálicos por los de caucho se ve reflejado en las siguientes actividades:

- Compra de componentes

Cuando se utilizaban los componentes metálicos el pedido era de 24 componentes anuales; sin embargo, al cambiarse por componentes de caucho los cuales tienen un ciclo de vida más largo sólo se pidieron 12 componentes anuales, el ahorro se ve reflejado tanto en el costo de los componentes como en la cantidad utilizada, tal como lo muestra la tabla 41.

Tabla 41
Ahorro en compra de componentes.

Tipo de componente	Costo unitario	cantidad	Costo total
Componente metálico	37 654.46	24	903 707.04
Componente de caucho	17 229	12	206 748
Ahorro total = 696 959.04 dólares anuales			

- Transporte de componentes: es realizado por la empresa Ransa S.A., el costo por el traslado de los componentes es el mismo, sin embargo, el ahorro se ve reflejado en el transporte de 12 componentes y ya no de 24. Ransa S.A. ha

establecido que el costo del flete hacia la mina en estudio es el 7% del valor del componente, mostrado en la tabla 42.

Tabla 42
Ahorro en transporte de componentes.

Tipo de componente	Costo del componente	Costo del flete (al 7%)	Cantidad	Costo total
Componente metálico	37 654.46	2635.80	24	63 259.2
Componente de caucho	17 229	1 206.00	12	14 472.36
Ahorro total = 48 786.80 dólares anuales				

- Almacenamiento de componentes: la empresa minera ha establecido su costo de almacenamiento en 16% del costo total del producto, cuando los componentes eran metálicos se almacenaban 24 de ellos y al ser cambiados por los de caucho sólo se almacenaron 12, los costos se detallan en la tabla 43.

Tabla 43
Ahorro en almacenamiento de componentes.

Tipo de componente	Costo del componente	Costo del almacenamiento (al 16%)	Cantidad	Costo total
Componente metálico	37 654.46	6024.7136	24	144 593.10
Componente de caucho	17 229	2756.64	12	33 079.70
Ahorro total = 111 513.40 dólares anuales				

- Cambio de componentes y/o mantenimiento: esta actividad la realiza una empresa contratista, la cual ha establecido su costo en 510 dólares por cambio de componente, el costo incluye la mano de obra, las herramientas y materiales utilizados, el EPP y consumibles que se requieran. Cuando se utilizaban los componentes metálicos se realizaban 24 cambios al año, y al

cambiarse por los de metal se realizan 12 cambios anuales ya que su ciclo de vida es mayor, los detalles se muestran en la tabla 44.

Tabla 44
Ahorro en cambio de componentes.

Tipo de componente	Costo del cambio	Cantidad	Costo total
Componente metálico	510	24	12 240
Componente de caucho	510	12	6 120
Ahorro total = 6 120 dólares anuales			

El ahorro total que se obtiene al cambiar los componentes metálicos por los de caucho, se muestra en la tabla 45.

Tabla 45
Ahorro total al cambiar el tipo de componentes.

Actividad	Ahorro
Compra de componentes	696 959.04
Transporte de componentes	48 786.80
Almacenamiento de componentes	111 513.40
Cambio de componentes y/o mantenimiento	6 120
Ahorro Total	863 379.24

En la tabla 45 se muestra que el ahorro total anual al cambiar los componentes metálicos por los de caucho es de 863 379.24 dólares.

3.4. Análisis de la mejora con la implementación del TPM

3.4.5. Disponibilidad después de la implementación TPM

La disponibilidad se evaluó desde enero hasta junio del 2019, los resultados se muestran en la figura 38, evidenciando un acercamiento al indicador establecido por la empresa.

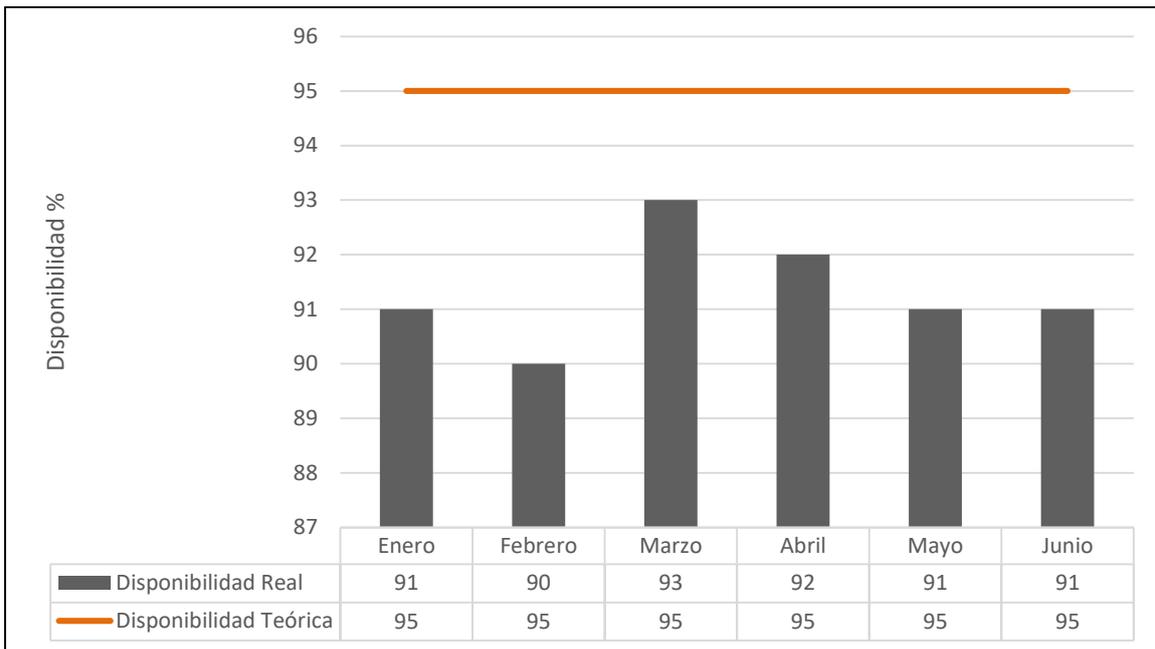


Figura 40. Disponibilidad promedio mejorado.

Como apreciamos en la figura 40, la disponibilidad durante el 2019 está cerca del estándar establecido por la empresa, se obtuvo un promedio de 91%.

3.4.5. Rendimiento después de la implementación TPM

El rendimiento de enero a junio del 2019 de la bomba fue de 3000 horas habiendo llegado a lo establecido por la empresa, tal como se muestra en la tabla 39.

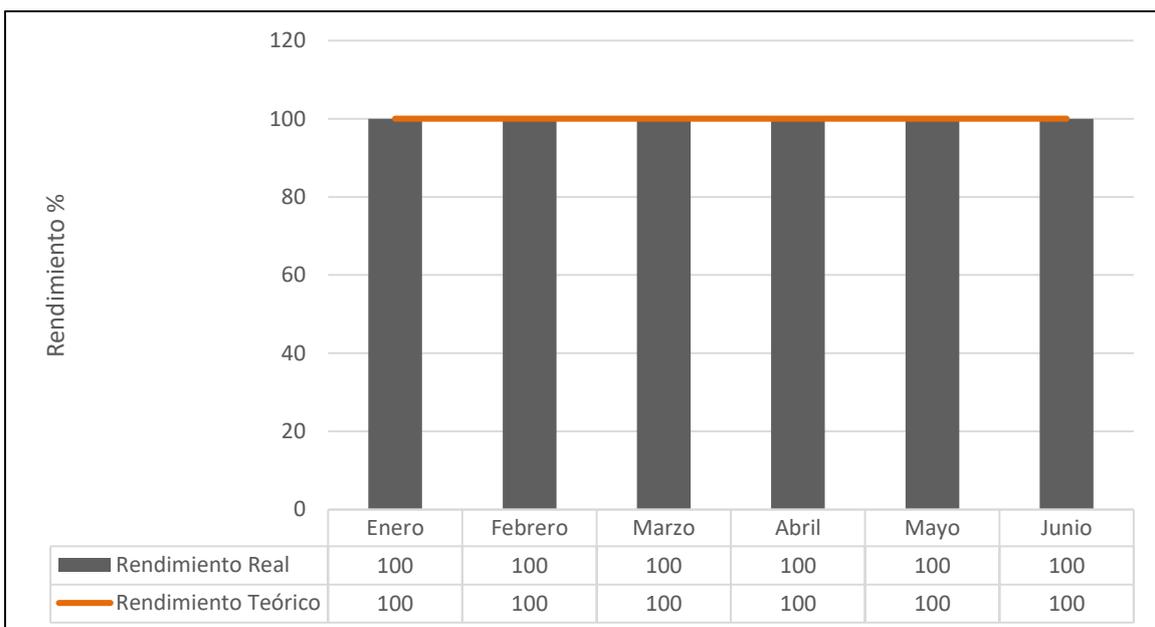


Figura 41. Rendimiento promedio mejorado.

En la figura 41 se muestra que el rendimiento es a un 100%, ya que el ciclo de vida de los componentes de caucho es mayor al de los componentes metálicos.

3.4.5. Calidad después de la implementación TPM

Las bombas centrífugas bombearon los 986 metros cúbicos por hora y duraron las 3000 horas siendo el 100% de lo establecido en el manual.

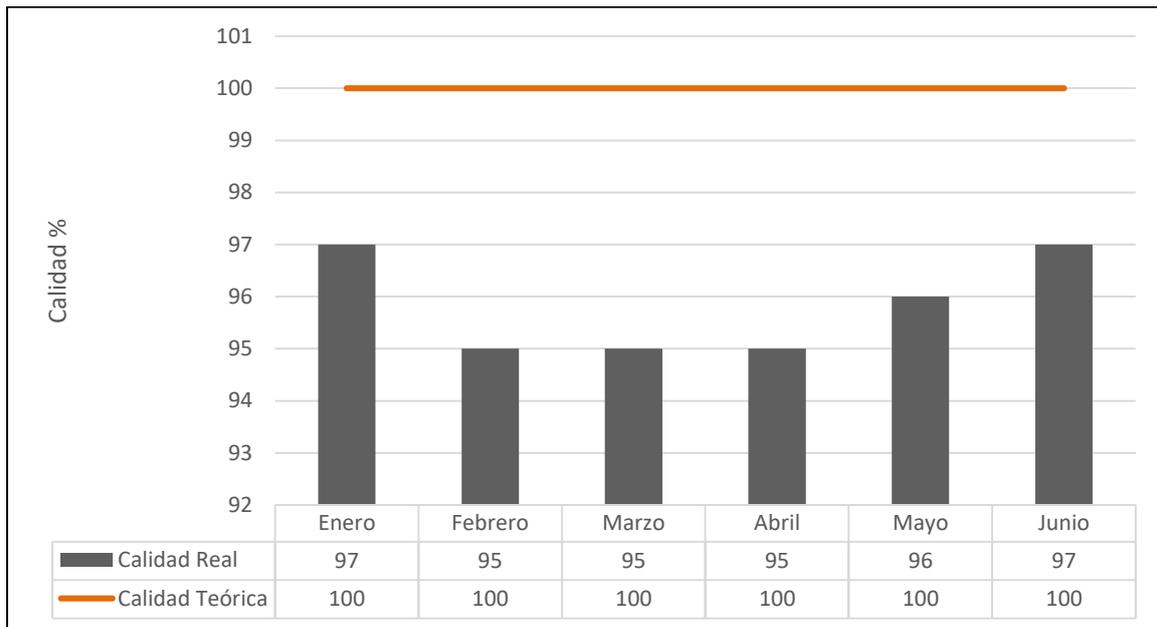


Figura 42. Calidad actual del equipo.

En la figura 42, se muestra que la calidad llega al 96%, es decir la bomba está bombeando las horas establecidas en el equipo y con el caudal dentro de la curva de operación.

3.4.5. OEE después de la implementación TPM

El OEE después de la implementación del TPM, se ha mejorado tal como se muestra en la tabla 46:

Tabla 46
Datos para calcular el OEE de los componentes internos.

Mes	Disponibilidad %	Rendimiento %	Calidad %	OEE%
Enero	91	100	97	88
Febrero	90	100	95	86
Marzo	93	100	95	88
Abril	92	100	95	87
Mayo	91	100	96	87
Junio	91	100	97	88

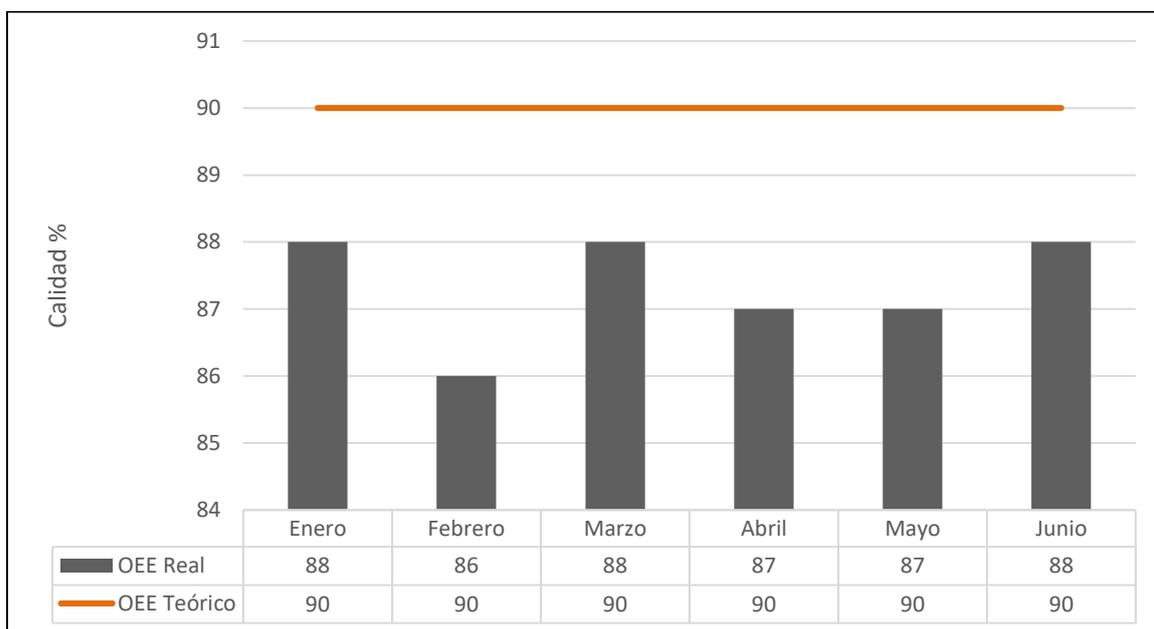


Figura 43. OEE mejorado de las bombas.

En la figura 43, se muestra que el OEE mejorado del equipo de bombeo es en promedio 87%, siendo cercano con el estándar de la empresa que es 90%. En la tabla 47 se muestra la calificación del OEE.

Tabla 47
Clasificación del OEE.

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas, baja competitividad.
≥65% - <75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable solo si se está en proceso de mejora.

$\geq 75\% - < 85\%$	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
$\geq 85\% - < 95\%$	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados "World Class".
$\geq 95\%$	Excelente	Competitividad excelente.

Fuente: Klaus, (2014).

De acuerdo a la Tabla 47, el OEE actual tiene un calificativo de Buena, lo cual representa una buena competitividad.

3.4.5. Mejora del OEE

En la figura 44, se muestra el comparativo entre el OEE antes de la mejora y después de la mejora.

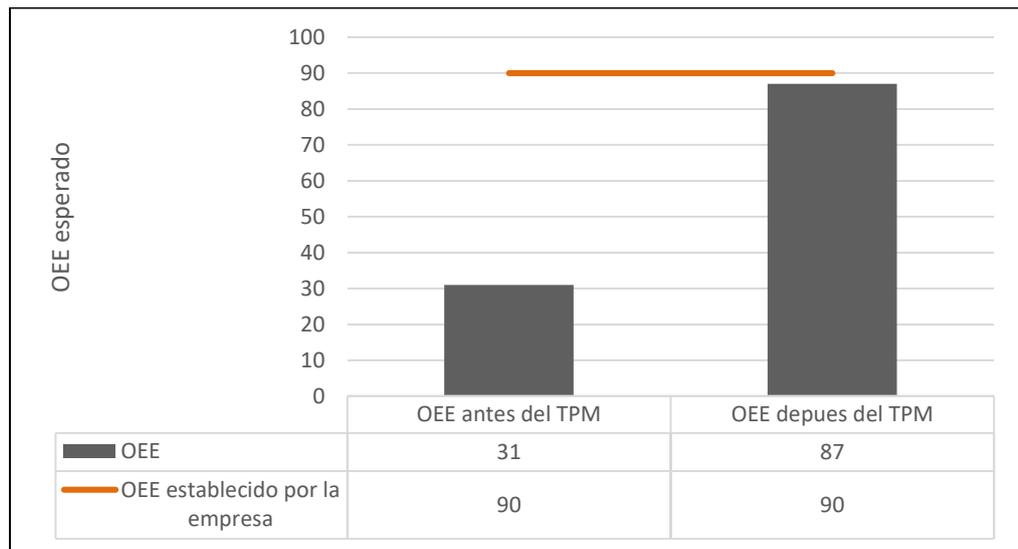


Figura 44. Comparativo de OEE.

En la figura 44 se observa que el OEE ha mejorado un 56% al implementar el TPM.

3.5. Análisis económico

Para realizar el análisis económico se tuvo en cuenta los ahorros mostrados en las secciones anteriores. A continuación, se calcularon los montos para la inversión que se requiere para la implementación de la metodología TPM, los gastos actuales y los

gastos proyectados de la propuesta para los próximos 5 años, con estos datos se calcularán el valor actual neto del proyecto y la tasa interna de retorno para analizar la viabilidad de implementación. En la tabla 48, se detallan los costos de inversión que implica la implementación del TPM, según datos brindados por el área de contabilidad.

Tabla 48
Costos de inversión para la implementación del TPM en dólares.

Pilar TPM	Inversión	Cantidad	Costo unitario	Costo
	Organigrama TPM	1	200.00	200.00
Mantenimiento Autónomo	Elaboración de la estructura del mantenimiento autónomo	1	300.00	300.00
	Elaboración del diagrama de actividades y responsabilidades del mantenimiento autónomo	1	500.00	500.00
	Elaboración de la secuencia del mantenimiento autónomo	1	500.00	500.00
	Elaboración de tarjetas rojas para los equipos de bombeo	65	20.00	1 300.00
	Elaboración de la ficha de orden y limpieza	1	500.00	500.00
	Elaboración del diagrama de identificación de fallas	1	500.00	500.00
	Elaboración de ficha de mantenimiento autónomo	1	500.00	500.00
	Elaboración de registro de fallas	1	500.00	500.00
	Elaboración de las actividades de operación y mantenimiento	1	500.00	500.00
	Matriz de panorama de riesgos en el proceso de bombeo	1	500.00	500.00
Mantenimiento Planificado	Elaboración del check list de los equipos del proceso de arenas de molienda	1	500.00	500.00
	Elaboración del calendario de inspección de mantenimiento	1	500.00	500.00
	Análisis de las propuestas de los proveedores de componentes internos de bomba	3	800.00	2 400.00

	Análisis del desgaste del disco succión metálico y de caucho	2	500.00	1 000.00
	Análisis del desgaste del revestimiento de los componentes internos metálicos y de caucho	2	500.00	1 000.00
	Análisis de la compra de componentes internos de caucho	1	200.00	200.00
	Elaboración del procedimiento estándar de tarea – cambio de componentes internos de caucho	1	800.00	800.00
Mantenimiento de calidad	Elaboración de la ficha 3T	1	800.00	800.00
	Elaboración del plan de capacitación enfocada al TPM	1	1 000.00	1 000.00
	Elaboración del plan de capacitación a operadores sobre mantenimiento autónomo	1	800.00	800.00
Entrenamiento y capacitaciones	Elaboración del plan de capacitación a mantenedores sobre mantenimiento planificado	1	800.00	800.00
	Elaboración del plan de capacitación a mantenedores sobre mantenimiento de calidad (uso de ficha 3T)	1	500.00	500.00
TPM áreas de apoyo	Análisis de ahorros	4	2 000.00	2 000.00
Total dólares			18 100.00	

a. Flujos entrantes

Para el caso de esta investigación, se consideró al ahorro generado como el flujo entrante, ya que esta área no se relaciona a ventas de productos o servicios, y se tomaron los datos detallados en el ítem 3.3.7.

Ingresos por ahorro en dólares.

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Compra de componentes	0	696 959.04	696 959.04	696 959.04	696 959.04	696 959.04
Transporte de componentes	0	48 786.80	48 786.80	48 786.80	48 786.80	48 786.80
Almacenamiento de componentes	0	111 513.40	111 513.40	111 513.40	111 513.40	111 513.40
Cambio de componentes y/o mantenimiento	0	6 120	6 120	6 120	6 120	6 120
Ahorro Total	0	863 379.24				

b. Flujos salientes

Los flujos salientes se relacionan netamente a los costos anuales que se generan para mantener implementada la metodología TPM, esto incluye los pagos a los coordinadores TPM, costo de capacitaciones y auditorías TPM.

La tabla 50 muestra los pagos que se realizaron a los colaboradores del plan TPM que fueron adicionales a sus sueldos establecidos y a manera de bonos extraordinarios (los costos fueron brindados por el área de contabilidad).

Tabla 50

Flujo saliente en pagos a colaboradores TPM en dólares.

Pagos	Pago mensual	Pago anual
Coordinador TPM	800.00	9 600.00
Facilitador TPM	500.00	6 000.00
Líder TPM en el área de mantenimiento	500.00	6 000.00
Líder TPM en el área de planificación	500.00	6 000.00
Líder TPM en el área de higiene y seguridad	500.00	6 000.00
Líder TPM en el área de ingeniería de mantenimiento	500.00	6 000.00
Costo total de pagos		39 600.00

Asimismo, anualmente se actualiza las fichas de los mantenimientos, los costos fueron establecidos por el área de contabilidad y se muestran en la tabla 51.

Tabla 51
Costos en actualización de fichas en dólares.

Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo anual
Actualización de las fichas de mantenimiento autónomo	1 000.00	1	1 000.00
Actualización de las fichas de mantenimiento planificado	1 000.00	1	1 000.00
Actualización de la fichas 3T	1 000.00	1	1 000.00
Costo total de pagos			3 000.00

Trimestralmente se realizará una capacitación, a los operadores y mantenedores respecto al plan implementado de TPM, los costos fueron brindados por el área de contabilidad.

 Tabla 52
Costos en capacitaciones TPM en dólares.

Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo anual
Capacitación TPM a operadores	300.00	4	1 200.00
Capacitación TPM a mantenedores	300.00	4	1 200.00
Costo total de pagos			2 400.00

Las auditorías se realizarán anualmente por una empresa contratista, y según el área de contabilidad el costo por auditoría es de 3 000.00 dólares.

Los flujos salientes totales se presentan en la tabla 53.

 Tabla 53
Flujos salientes al implementar TPM en dólares.

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Pagos a colaboradores TPM	0	39 600.00	39 600.00	39 600.00	39 600.00	39 600.00
Actualización de fichas	0	3 000.00	3 000.00	3 000.00	3 000.00	3 000.00
Costo de capacitaciones	0	2 400.00	2 400.00	2 400.00	2 400.00	2 400.00
Auditorías	0	3 000.00	3 000.00	3 000.00	3 000.00	3 000.00
Ahorro Total	0	48 000.00				

c. VAN y TIR

En la tabla 54, se muestra el flujo de caja de la implementación TPM, además se muestra la inversión, flujos entrantes y flujos salientes, con estos datos se determinaron el VAN, TIR y relación costo beneficio (B/C).

Tabla 54

Flujo de caja de implementación TPM en dólares.

FLUJO DE CAJA	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	TOTAL
EGRESOS	0	1	2	3	4	5	TOTAL
Costos de implementación de pilares TPM	18,100						18 100
Pagos a colaboradores TPM		39 600	39 600	39 600	39 600	39 600	198 000
Costo de capacitaciones		2 400	2 400	2 400	2 400	2 400	12 000
Actualización de fichas de mantenimiento autónomo		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	5 000
actualización de fichas de mantenimiento planificado		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	5 000
Actualización de ficha 3T		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	5 000
Auditorias		3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	15 000
TOTAL EGRESOS	18 100	48 000	258 100				
FLUJO ENTRANTE	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	TOTAL
Compra de componentes	0	696 959	696 959	696 959	696 959	696 959	3 484 795
Transporte de componentes		48 787	48 787	48 787	48 787	48 787	243 934
Almacenamiento de componentes		111 513	111 513	111 513	111 513	111 513	557 567
Cambio de componentes y/o mantenimiento		6 120	6 120	6 120	6 120	6 120	30 600
TOTAL BENEFICIOS	0	863 379	4 316 896				
FLUJO ANUAL DE CAJA	- 18 100	815 379	4 058 796				
TMAR	15%						
TIR	4505%						
VAN	2 733 278						
B/C	16.17						

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Ribeiro (2016) identificó cinco pilares técnicos los cuales son mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejoras del proyecto y mantenimiento de calidad, de estos cinco pilares en la tesis sólo se utilizó cuatro de ellos, excluyendo al de mejoras enfocadas ya que la finalidad consistió en cambio de materiales y equipos. El mismo autor identificó cuatro pilares de apoyo los cuales son entrenamiento y capacitación, salud y seguridad, medio ambientes y área de apoyo TPM, de ellos se eligió entrenamiento/capacitación y áreas de apoyo, debido a que los ahorros impactaron en las áreas de apoyo como logística, compras y almacén. Se excluyó el pilar de salud y seguridad porque la empresa contratista que realiza el cambio de componentes trabaja con certificación nacional e internacional. En cuanto al pilar de medio ambiente no se incluye en esta tesis porque se cuenta con un sistema de contención ambiental certificado para el proceso de bombeo de arenas de molienda.

Tuarez (2014) en su tesis implementó los pilares TPM con lo cual incrementó su OEE (Disponibilidad x Rendimiento x Calidad) de 66.67% a 74.84% sin aplicar el pilar de mejoras de proyecto, en esta tesis el OEE incrementó de 31% a 87% superando ampliamente al antecedente lo cual se debe al cambio drástico de materiales de los equipos dentro del pilar mejoras del proyecto lo cual incrementó el rendimiento a un 100%.

González (2017), en su tesis identificó las causas que originan las problemáticas dentro del proceso de mantenimiento empleando herramientas de gestión como;

Ishikawa, Diagrama de Pareto y mejora continua. Sin embargo, en esta tesis se utilizó el diagrama de JackkNife, Ishikawa, Pareto y además midió los indicadores obteniendo un diagnóstico más completo a comparación del antecedente.

Aranguren (2015), utilizó sólo el pilar de Mantenimiento Autónomo en el cual desarrolló políticas en temas de entrenamiento y capacitación dentro o fuera de las instalaciones para los operadores y en el pilar de Mantenimiento Planificado realizó un cronograma de capacitaciones dirigido al personal técnico del área de mantenimiento, de esta manera mejoró la eficiencia de cada personal en el desarrollo de sus actividades. En esta tesis se eligieron cuatro pilares técnicos y dos de apoyo, a diferencia del antecedente, la capacitación se elaboró no sólo para los operadores y mantenedores además se incluyó a la gerencia y jefatura brindándoles los alcances informativos, ya que son los que determinaron la viabilidad del proyecto TPM.

Rivera (2015), dentro de su programa TPM realizó actividades rutinarias de inspección, lubricación, ajustes y limpieza a los equipos de mina, pero no documentan el mantenimiento, en esta tesis las inspecciones, lubricación, orden y limpieza se incluyeron dentro del mantenimiento autónomo y los mantenimientos sí son reportados en el programa SAP, otra de las diferencias es que en el antecedente no se utilizan tarjetas rojas para equipos obsoletos.

García (2015), en su tesis incluye trabajos de mantenimiento autónomo; 5S; capacitaciones y formación de los colaboradores en temas operativos, calidad y seguridad; y estandarización de procesos, obteniendo un ahorro de 24 478.50 dólares anuales; para esta tesis el mayor ahorro se refleja en el pilar de mejoras del proyecto en donde se cambió el material de los componentes internos y con ello se obtuvo un ahorro anual de 863 379.24 dólares.

Vargas (2016), en su tesis implementó un programa de capacitación al personal en los conocimientos generales de mantenimiento autónomo y mejoramiento enfocado, al igual que en esta tesis, sin embargo, la diferencia radica en que en el antecedente se reconoció y premió el trabajo de los colaboradores, involucrándolos aún más con los objetivos de la empresa.

4.2 Conclusiones

- Se determinó que la implementación de la metodología TPM mejora la eficiencia operacional del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera, además representan ahorros considerables.
- En el diagnóstico del proceso de tratamiento de arenas de molienda se concluye que los equipos implicados fallan constantemente por fuga de solución por carcasa de bomba a causa del desgaste acelerado de los componentes internos de ella, los indicadores más afectados son el rendimiento que se encuentra en un 47% y el OEE que se encuentra en estado inaceptable con 31%.
- La mejora elegida para reducir el desgaste acelerado de los componentes internos de la bomba consiste en cambiar su material, para la puesta en marcha de esta mejora se eligieron los pilares técnicos de mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejoras en el proyecto, mantenimiento de calidad y los pilares de apoyo capacitación/entrenamiento y áreas de apoyo TPM.
- Se diseñaron e implementaron los pilares TPM, para el mantenimiento autónomo se elaboró check list diarios, ficha de orden y limpieza, y un diagrama de actividades para identificar fallas; en el mantenimiento planificado se elaboró la ficha de inspección para mantenedores y se planificaron las actividades para ellos;

en la mejora del proyecto se cambiaron el material del disco succión y del revestimiento incrementando su tiempo de vida a 3000 horas y 3500 respectivamente, en el mantenimiento de calidad se implementó la ficha 3T, en entrenamiento/capacitación se elaboró un cronograma de capacitaciones para operadores y mantenedores; y en el pilar de áreas de apoyo TPM se evidenció ahorros en el área de logística y contabilidad al cambiar los componentes metálicos por los de caucho siendo 863 379.24 dólares anuales.

- Con la implementación de la metodología TPM, la disponibilidad ha incrementado de 82% a 91%, el rendimiento pasó de 47% a 100%, la calidad ha mejorado de 81% a 96% y finalmente el OEE incrementó de 31% a 87%, encontrándose en estado Bueno cuando antes estaba en estado Inaceptable.
- La implementación del TPM en el proceso de tratamiento de arenas de molienda tiene una inversión de 18 100 dólares, sus flujos salientes anuales son de 48 000 dólares, los flujos entrantes como ahorro es de 863 379 dólares. Finalmente se determinó que el VAN es de 2 733 278 dólares, el TIR es de 4505% y la relación B/C es 16.17.

REFERENCIAS

- Altamirano, G. (2017). Análisis del Impacto del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la Gestión Operativa de la Central Hidroeléctrica San Francisco. (*tesis de pregrado*). Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17608>
- Angeles, J. (2017). Aplicación del TPM para mejorar la productividad en la empresa frío aéreo asociación civil Callao 2017. (*tesis de pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV.pdf>
- Aranguren, J. (2015). Implantación exitosa de TPM en la industria colombiana. (*tesis de maestría*). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7292/JaimeAndres2015.pdf>
- Avendaño, C. (2017). Análisis y definición de los elementos de gestión del rendimiento del departamento logístico en una empresa del sector metálico. (*tesis de maestría*). Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/91002/24519868M_TFM_15.pdf
- Camacho, D. (2016). Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha. (*tesis de pregrado*). Cajamarca, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/9446/camacho_cd.pdf
- Caruajulca, B. (2017). Balance de línea para mejorar la productividad en el área de confección de la empresa Industries Fashion E.I.R.L – Lima, 2017. (*tesis de pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/12397/Caruajulca_BB.pdf

- De La Cruz, A. (2014). Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para el área de envasado de polvo detergente. (*tesis de pregrado*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- De La Cruz, J. (2013). Diseño de un sistema de Bombeo para Transporte de Relave desde Planta Concentradora Hasta Zona de Disposición en Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. (*tesis de pregrado*). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/193.pdf>
- Díaz, M. (2016). Análisis de datos en servicio de confiabilidad prestado a una planta de remoción de ripios. (*Tesis de pregrado*). Valparaíso, Chile: Universidad Tecnica Federico Santa Maria. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/.pdf>
- Fonseca, J. (2015). Programa de gestión de mantenimiento a través de la implementación de herramientas predictivas y de TPM como contribución a la mejora de la eficiencia energética en plantas termoeléctricas. (*artículo científico*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php>
- Galván, D. (2013). Análisis de la Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) mediante el Modelo de Opciones Reales. (*Tesis de maestría*). D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/.pdf>
- García, C. (2015). Modelo de Gestión de Mantenimiento para Incrementar la Calidad en el Servicio en el Departamento de Alta Tensión de STC Metro de la Ciudad de México. (*tesis de pregrado*). D.F., México: Instituto Politecnico Nacional. Obtenido de <http://148.204.210.201/tesis/1485361991578TESISGARCAES.pdf>
- González, G. (2017). Implementación de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la reducción de costos de la empresa Cosmos Agencia Marítima S.A.C. (*tesis*

- de pregrado*). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12926/Tesis%20Impleme.pdf>
- Instituto Japones del Mantenimiento de Planta. (2015). El TPM y la Gestión del Conocimiento. (*memorias*). Japón: Planet Rams. Obtenido de <http://planetrams.iusiani.ulpgc.es/?p=1557&lang=es>
- Ishikawa, K. (1943). Diagrama de Ishikawa. Tokio, Japón. Obtenido de http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad.htm
- Izar, J., & Gonzáles, J. (2004). Diagrama de Pareto. Bolivia: Editorial Universitaria Potosina. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/303871Diagrama_de_Pareto
- Jimenez, Y. (2013). Propuesta de mejora bajo la Filosofía TPM para la empresa. (*tesis de pregrado*). Corporación Universitaria Lasallista, Antioquía, Colombia. Obtenido de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/726/1/PROPUESTAS.pdf>
- Lu, D. (1997). Control total de calidad: la modalidad japonesa. (*libro*). Colombia: Editorial Norma. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/que-es-el-control-total>
- Mansilla, N. (2013). Aplicación de la metodología de mantenimiento productivo total (TPM) para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional. (*tesis de pregrado*). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/1.pdf>
- Martínez, R. (2015). Propuesta y validación de un modelo integrador de implantación del Mantenimiento Productivo Total (TPM). (*tesis de pregrado*). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61492/MATEO%20-%20.pdf>

- Oblitas, M. (2018). Guía de investigación de Ingeniería. (*Metodología de la investigación*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Ribeiro, H. (2016). Pilares del TPM. (*video*). Brasil. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=OjsebaRDHp0>
- Rivera, J. (2015). Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. (*Tesis de pregrado*). Santiago, Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/136233/Modelo-de-toma.pdf>
- Roberts, J. (2013). TPM Mantenimiento Productivo Total, su definicion e historia. (*Revista industrial*). University-Commerce, EE.UU. Obtenido de http://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista.pdf
- Salinas, K. (2017). Aplicación del estudio de tiempos para mejorar la atención del cliente en la empresa metalmecánica JMS, 2017. (*tesis de pregrado*). Universidad Norbert Wiener, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream>
- Santillán, C. (2017). Programa de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Bombas Centrifugas Horizontales Warman 450 MCR en Minera Cerro Corona. (*Tesis de pregrado*). Trujillo, La Libertad, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9291/SANTILLAN>
- Silva, D. (2017). Implementación de TPM (mantenimiento productivo total). (*tesis de pregrado*). Universidad Inca Garcilazo de la Vega, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1331/TRABAJO>
- Stachú, S. (2004). Diagrama de Pareto. National Business School, Japón. Obtenido de <http://nbs.gt/index.php/es/alumnos/biblioteca/item/42-3>

- Sunción, P. (2017). Aplicación del Mantenimiento Productivo Total para incrementar la productividad en la línea de producción en la Empresa MGO S.A.C. (*tesis de pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_dc8de592c9874b9df1c4c3f
- Toral, X., & Burgos, L. (2013). Diseño e Implementación de un Programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en una Empresa Productora de Alimentos Balanceados. (*tesis de pregrado*). Guayaquil, Ecuador: Universidad Superior Politecnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25.pdf>
- Tuarez, C. (2013). Diseño de un sistema de mejora continua en una embotelladora y comercializadora de bebidas gaseosas de la ciudad de Guayaquil por medio de la aplicación del TPM. (*tesis de maestria*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec>
- Vargas, L. (2016). Implementación del pilar “mantenimiento autónomo” en el centro de proceso vibrado de la empresa Finart S.A.S. (*tesis de pregrado*). Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3162/3/VargasMonroyLis.pdf>
- Vidal, E. (2016). Mantenimiento productivo total (TPM) aplicado a equipos esenciales de la refinería Iquitos. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14803>

ANEXOS

Anexo n.º 1. Guía de Entrevista

Se aplicó la guía de entrevista para diagnosticar la situación actual del proceso de bombeo de arenas de molienda, se realizó al Planeador Mayor de Mantenimiento de Procesos Rolando Garagatti Vilca.

1. ¿Cuáles es la secuencia del proceso de tratamiento de arenas de molienda?
2. ¿Qué equipos utiliza la empresa para el proceso de tratamiento de arenas de molienda?
3. ¿Cuáles son las características del material bombeado en el proceso de tratamiento arenas de molienda?
4. ¿Cuáles son los parámetros operativos de los equipos de bombeo utilizados en el tratamiento de arenas de molienda?
5. Y.1.1. ¿En qué categoría se encuentra la eficiencia operacional desde enero del 2018 a diciembre del 2018?
6. Y.1.2. ¿Cuál es el OEE esperado establecido por la empresa?
7. Y.2-3.1. ¿Cuál es el histórico de fallas y paradas de todos los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda desde enero del 2018 a diciembre del 2018?
8. Y.2-3.2. ¿Cuál es la frecuencia de causas de fallas de los equipos desde enero del 2018 a diciembre del 2018?
9. Y.2-3.3. ¿Cuál es su disponibilidad esperada y rendimiento esperado establecido por la empresa?
10. Y.4-5.1. ¿Cuál es la frecuencia de las fallas de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda desde enero del 2018 a diciembre del 2018?
11. Y.4-5.2. ¿Cuál es la duración de las fallas de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda desde enero del 2018 a diciembre del 2018?
12. Y.4-5.3. ¿Cuál es el MTBF y MTTR esperado establecido por la empresa?

13. Y.6.1. ¿Los equipos y/o componentes empleados en el proceso de arenas de molienda cumplen su ciclo de vida desde enero del 2018 a diciembre del 2018?
14. Y.6.2. ¿Los equipos de tratamiento de arenas de molienda bombean la cantidad establecida en su manual?
15. Y.6.3. ¿Cuál es la calidad esperada establecida por la empresa?
16. ¿Cuál o cuáles son los pilares del TPM que se debe aplicar para mejorar el OEE?
17. ¿Qué actividades del pilar TPM propone para mejorar el OEE?

Anexo n.º 2. Ficha resumen

Ficha Resumen

Se aplicó la ficha resumen para resumir los reportes de fallas y para diagnosticar la situación actual del proceso de bombeo de arenas de molienda.

Ficha Resumen de Reportes

Área:

Tipo de falla:

Equipo implicado:

Duración de la falla:

Observación:

Anexo n.º 3. Fotografías



Figura 45. Vista exterior de los componentes internos de la bomba.



Figura 46. Actividad de cambio de componentes internos de caucho.

Anexo n.º 4. Validación de instrumentos

Diseñado por José Luis Ventura-León

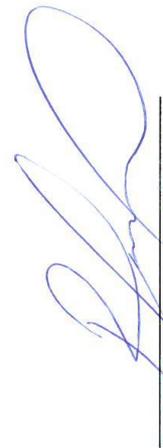
Nº	Ítems	Citas bibliográficas	Coherente				Claridad			Sugerencias		
			0	1	2	3	0	1	2		3	
1	¿Cuáles es la secuencia del proceso de tratamiento de arenas de molienda?	(Willis, 1987)										
2	¿Qué equipos utiliza la empresa para el proceso de tratamiento de arenas de molienda?	(Muther, 1985)										
3	¿Cuáles son las características del material bombeado en el proceso de tratamiento arenas de molienda?	(Currie, 1984)										
4	¿Cuáles son los parámetros operativos de los equipos de bombeo utilizados en el tratamiento de arenas de molienda?	(Warman, 2016)										
5	¿Cuál es el histórico de fallas y paradas de todos los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda desde enero del 2018 a diciembre del 2018?	(Beltrán, 2000)										
6	¿Cuál es la frecuencia de causas de fallas de los equipos desde enero del 2018 a diciembre del 2018?	(Duffuaa, Raouf y Dixon, 2002)										
7	¿Cuál es su disponibilidad esperada y rendimiento esperado establecido por la empresa?	(Warman, 2016)										
8	¿Cuál es la frecuencia de las fallas de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda desde enero del 2018 a diciembre del 2018?	(Duffuaa et al., 2002)										
9	¿Cuál es la duración de las fallas de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda desde enero del 2018 a diciembre del 2018?	(Lencioni, 2002)										
10	¿Cuál es el MTBF y MTRR esperado establecido por la organización?											
11	¿Los equipos y/o componentes empleados en el proceso de arenas de molienda cumplen su ciclo de vida desde enero del 2018 a diciembre del 2018?	(Warman, 2016)										
12	¿Los equipos de tratamiento de arenas de molienda bombean la cantidad establecida en su manual?											
13	¿Cuál es la calidad esperada establecida por la empresa?	(Warman, 2016)										
14	¿En qué categoría se encuentra la eficiencia operacional desde enero del 2018 a diciembre del 2018?	(Naynard, 2006)										
15	¿Cuál es el OEE esperado establecido por la empresa?	(Suzuki, 1996)										
16	¿Cuál o cuáles son los pilares del TPM que se debe aplicar para mejorar el OEE?	(Naynard, 2006)										
17	¿Qué actividades del pilar TPM propone para mejorar el OEE?	(Madariaga, 2013)										

Las alternativas de respuesta van de 0 al 3 y tienen las siguientes expresiones:

0 1 2 3

Muy en desacuerdo Desacuerdo De acuerdo Muy de acuerdo


Francisco J. Segura


Firma
Ing. Fernando Ortega M. 
Katherine del P. Arana A.