



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA TPM PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE ARENAS DE MOLIENDA EN UNA EMPRESA MINERA, CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bryan Franco Cabrera Herrera

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres Berene y Walter, quienes me guiaron por el mejor camino, por darme fuerzas y aliento a seguir adelante y no decaer en los problemas que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. También por sus consejos, comprensión y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño y mi perseverancia para conseguir mis objetivos.

A una excelente persona y gran amiga Paola, quién sin esperar nada a cambio compartió sus conocimientos, creyendo en mi capacidad.

También dedico esta tesis a la memoria de mi tío Nello que siempre me apoyó con sus consejos y el aliento a seguir creciendo.

Bryan Cabrera

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quién con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a mi familia por haberme dado la oportunidad de formarme y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. También agradezco a mí tío Rogers por la ayuda brindada durante mi formación.

Asimismo, a mi asesor de tesis el Ing. Oscar Vásquez, por haberme guiado y su gran ayuda en la elaboración de este proyecto.

Y de manera especial a todos mis amigos y amigas que siempre creyeron en mí y me alentaban a seguir adelante, apoyándome ante cualquier adversidad. Muchas gracias a todos.

Bryan Cabrera.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO III. RESULTADOS	18
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS.....	47
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del OEE.....	13
Tabla 2. Numero fallas y paradas de los equipos.....	18
Tabla 3. Causas de las paradas de bombeo.....	22
Tabla 4. Datos para calcular el OEE de los componentes internos.....	26
Tabla 5. Clasificación del OEE.....	27
Tabla 6. Secuencia del mantenimiento autónomo y personal implicado.....	31
Tabla 7. Ficha de inspección de orden y limpieza.....	32
Tabla 8. Actividades para el mantenimiento autónomo de componentes internos.....	34
Tabla 9. Mantenimiento autónomo de los componentes internos de la bomba.....	35
Tabla 10. Ficha de mantenimiento autónoma.....	35
Tabla 11. Formato de registro de fallas.....	37
Tabla 12. Actividades de operación y mantenimiento.....	38
Tabla 13. Checklist de arenas de molienda.....	39
Tabla 14. Calendario de inspección de mantenimiento.....	40
Tabla 15. Datos para calcular el OEE de los componentes internos.....	43
Tabla 16. Clasificación del OEE.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de JackNife de los equipos de bombeo del tratamiento de arenas	20
Figura 2: Desgaste de estopa al cumplir las 720 horas.....	21
Figura 3: Tren de bombas.....	21
Figura 4: Causas de paradas de bombeo Diagrama de Pareto.....	22
Figura 5: Disponibilidad promedio actual.....	23
Figura 6: Rendimiento promedio actual.....	24
Figura 7: Rendimiento promedio actual.....	24
Figura 8: MTBF promedio actual.....	25
Figura 9: MTTR actual promedio actual.....	25
Figura 10: Calidad actual del equipo.....	26
Figura 11: OEE actual promedio de las bombas.....	27
Figura 12: Organigrama de la empresa comité TPM.....	28
Figura 13: Organigrama del mantenimiento autónomo.....	29
Figura 14: mantenimiento autónomo de componentes, actividades y responsabilidades.....	30
Figura 15: Tarjeta roja utilizada para componentes.....	32
Figura 16: Disponibilidad promedio mejorado.....	41
Figura 17: Rendimiento promedio mejorado.....	42
Figura 18: Calidad actual del equipo.....	42
Figura 19: OEE mejorado de las bombas.....	43
Figura 20: Comparativo OEE.....	44

RESUMEN

La investigación realizada tiene como título, aplicación de la metodología TPM para incrementar la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera Cajamarca 2021. La cual su objetivo principal fue. Determinar la influencia de la aplicación de la metodología TPM en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera Según su propósito la investigación es aplicada de enfoque cuantitativo, pre experimental.

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%.

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

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Ushiñahua L. (2017) en su tesis demostró que: El desarrollo del proceso de la implantación de mejora consistió en la aplicación de actividades del TPM: mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado al área de spools. Por ello, se mostrará un plan de mejora la cual permitirá conocer las actividades a realizar en cada etapa (p. 17). El objetivo de dicha investigación es mejorar la productividad de la línea productiva de spools en la empresa FIMA S.A., debido a que se observó que la baja productividad es causada en mayor porcentaje por constantes paradas de las máquinas, reproceso y productos defectuosos, que genera una gran pérdida monetaria para la empresa. La aplicación del TPM estará centralizada en la máquina Vernon utilizado para la producción de spools.

Seminario L. (2017) en su tesis demostró que: Con la implementación del TPM se logró el incremento de la Eficiencia Global de Equipos (OEE) de un 46.32% a un 66.24%. Por consiguiente, el nivel de Disponibilidad incrementó de 72,40% a 81,79%, la Efectividad incrementó de 73,26% a un 86% y la Calidad tuvo un incremento del 87.58% al 93.83% (p. 7). El objetivo de dicha investigación es incrementar la eficiencia de 2 máquinas CNC mediante la implementación del TPM, empleando para el levantamiento de información la observación de campo y el formato de Evaluación de rendimiento. Valencia S. (2017) en su tesis demostró que: La presente investigación tiene como objetivo principal, mejorar la productividad en la empresa Hilados Cheviot, dedicada a la fabricación y comercialización de hilos acrílicos; frente a esto se proponen diversas soluciones que permitirán lograr la

mejora en la línea de producción de hilos acrílicos del área de hilandería. El desarrollo de la implementación consistió en aplicar los pilares del TPM, mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado al área de hilandería. Para ello, se estableció un plan de mejora que permitió conocer las actividades a realizar en cada etapa. (p. 17)

Colonia E. (2017) en su tesis demostró que: Debido a un exceso de horas con fallas en las máquinas que provocan atrasos en la producción. El TPM mejorar (SIC) las condiciones de las maquinas interrelacionado a producción con mantenimiento, de esta manera implementa mantenimientos autónomos para ser realizados por los operarios y las actividades preventivas para mejorar las situaciones de las máquinas. (p. 13)

El objetivo general de dicho trabajo de investigación es mejorar la productividad del área de tintorería, esta baja productividad se da principalmente por fallas continuas de las 11 máquinas. Esto origina un aumento de recursos utilizados para el proceso productivo y en ocasiones origina retrasos en la entrega de los pedidos. Mediante la aplicación del TPM se implementó un plan de mantenimiento preventivo con el fin de disminuir las fallas de dichas máquinas, además se aplicó el mantenimiento autónomo con el fin de operar dichas máquinas en buenas condiciones.

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Según Sistemas OEE (2016) en su blog define el Mantenimiento Productivo Total (TPM) como “El método de trabajo originado en los años 70 que permite a las

empresas de manufactura optimizar el uso de sus máquinas y recursos, minimizando o eliminando los elementos que no agregan valor al producto”. (párr. 2)

Según Rey (2013) “Es un conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones que permiten garantizar que las máquinas, instalaciones y organización que conforman un proceso básico o línea de producción puedan desarrollar el trabajo que tienen previsto en un plan de producción en constante evolución por la mejora continua”. (p. 38)

Según Cuatrecasas (2012) “El Mantenimiento Productivo Total es una filosofía de trabajo en plantas productivas que se genera en torno al mantenimiento, pero que alcanza y enfatiza otros aspectos como son: Participación de todo el personal de la planta, Eficacia Total, Sistema Total de gestión del mantenimiento de equipos desde el diseño hasta la corrección, y la prevención” (p. 33).

Según Acuña (2013) “El mantenimiento productivo total no es una técnica, sino una filosofía mediante la cual se trata de inculcar en todos los trabajadores de una empresa u organización que las labores de mantenimiento de productos y máquinas no son exclusivas del personal de mantenimiento o de servicio”. (p. 284)

Según Cabrera (2014) “Seiichi Nakajima considera que es el enfoque sistemático para entender las funciones de equipo, la relación del equipo con calidad del producto y probable causa y frecuencia de falla de los componentes del equipo crítico.” (p. 379) Para la investigación concordamos con la definición de Rey, debido a que el enfoque del TPM en nuestro trabajo de investigación es lograr la continuidad en el proceso de granallado.

(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)

Confiabilidad.

La Revista Investigación en Ingeniería (200) define la confiabilidad como: La probabilidad de que un activo funcione bajo las circunstancias que se encuentre en un determinado tiempo mediante evaluación probabilísticos y computarizados, de modo que gracias a esta herramienta se puede determinar las causas graves que generan las fallas en las máquinas, de esa manera se tendrá conocimiento sobre las condiciones de estas, así poder optimizar el funcionamiento y confiabilidad de los equipos generando incremento en la producción (párr. 13)

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%.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

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%.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Productividad real}}{\text{Capacidad productiva}}$$

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%

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Numero de fallas}}$$

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%

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Numero de fallas}}$$

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%.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Pruduccion real}}{\text{Piezas buenas}}$$

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%.

$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad$.

Luego de determinar el OEE, se lo clasificó de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1.

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 ³
≥85% - <95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados "World Class".
≥95%	Excelente	Competitividad excelente.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la aplicación de la metodología TPM para incrementa 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 aplicación 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)
- ✓ Diseñar e implementar los pilares TPM seleccionados
- ✓ Analizar los resultados luego de la implementación de la metodología TPM

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Mediante la implementación de la metodología TPM se lograra incrementar la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en empresa minera Cajamarca 2021.

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. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población.

Todas las áreas asignadas para el tratamiento de arenas de molienda de la empresa minera.

2.2.2. Muestra.

La muestra para la presente investigación es la bomba Warman

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

2.3.1.1 Observación Directa: Para nuestra investigación emplearemos una observación detallada para determinar la eficiencia operacional de los equipos

del proceso de tratamiento de arenas de molienda entre los cuales se realizó un diagnóstico de fallas críticas para determinar las fallas y paradas de los equipos.

2.3.1.2 Análisis documental: Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a la aplicación de la metodología TPM para incrementar la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera Cajamarca 2021.

2.3.1.3 Análisis de datos. La recolección de la información adquirida y solicitada de la realidad problemática organizamos basándonos en el incremento de la eficiencia operacional de los equipos.

2.3.1.3 Instrumentos de recolección de datos

Ficha de resumen.

Ficha utilizada para poder determinar el número de fallas y paradas de los equipos.

Check list.

Son documentos que tienen por función principal verificar que los equipos estén operativos.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Gabinete

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades.

2.4.2. Campo

Se realiza la toma de datos en campo, principalmente de aplicación de la metodología TPM para incrementar la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera Cajamarca 2021. Luego analizarlos el incremento de la eficiencia operacional de los equipos.

2.4.3. Gabinete:

Luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros y gráficos de los análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología TPM. tecnosoles.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Realizar un diagnóstico de la eficiencia operacional (OEE)

En la tabla 2 se muestran las fallas mensuales reportadas y su tiempo de duración

Tabla 2.

Numero fallas y paradas de los 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 carcasa 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

En la tabla 2, se encontraron 19 fallas ocurridas 42 veces entre enero y diciembre, 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. Finalmente, con los datos de la tabla 2 se elaboró la figura 1.

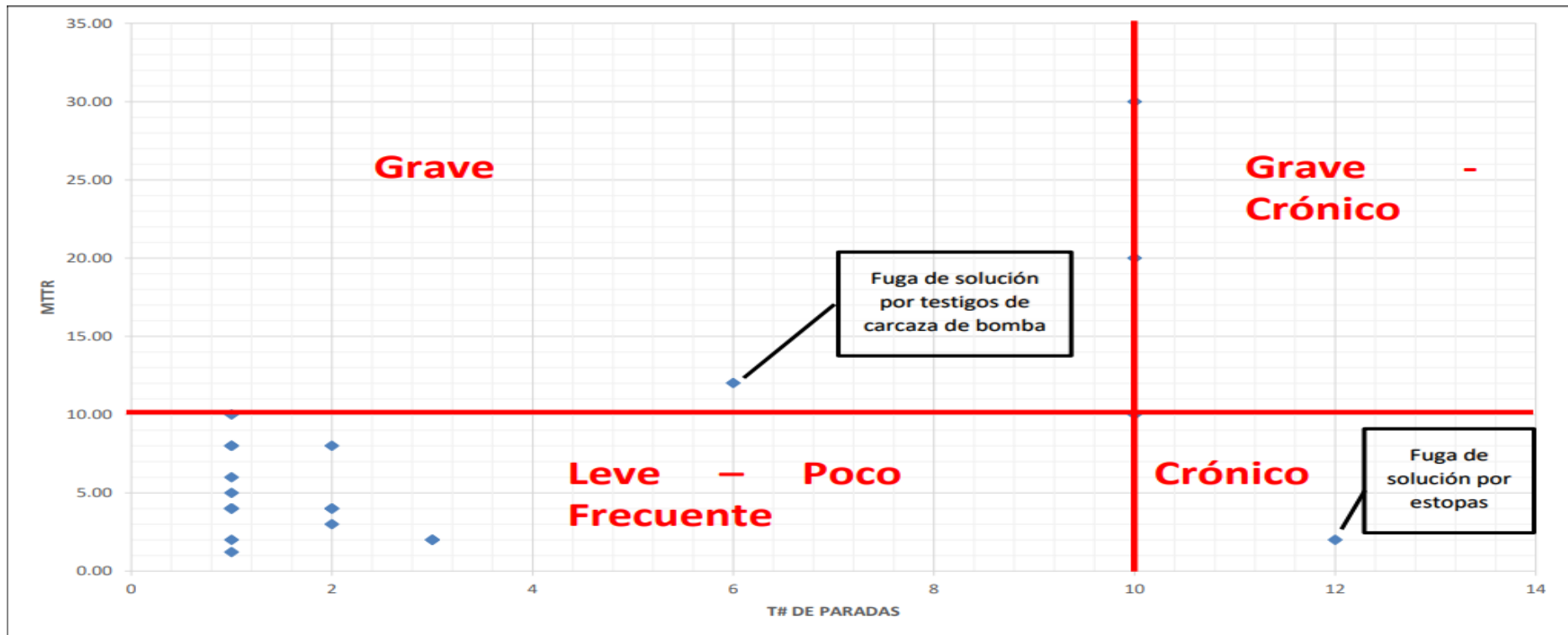


Figura 1: Gráfico de JackNife de los equipos de bombeo del tratamiento de arenas de molienda.

En la figura 1, se evidencia que hay un punto en estado grave y un punto crónico, al contrastar con la tabla 2 se observa que la falla más grave es la fuga de solución por testigos de carcasa 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 2: Desgaste de estopa al cumplir las 720 horas.

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 e la figura 3



Figura 3. Tren de bombas

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

3.1.1. Diagnóstico de la frecuencia de las causas de fallas.

se muestra las causas identificadas, frecuencia, frecuencia normalizada y frecuencia acumulada las cuales se detallan en la tabla 3.

Tabla 3.

Causas de las paradas de bombeo

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

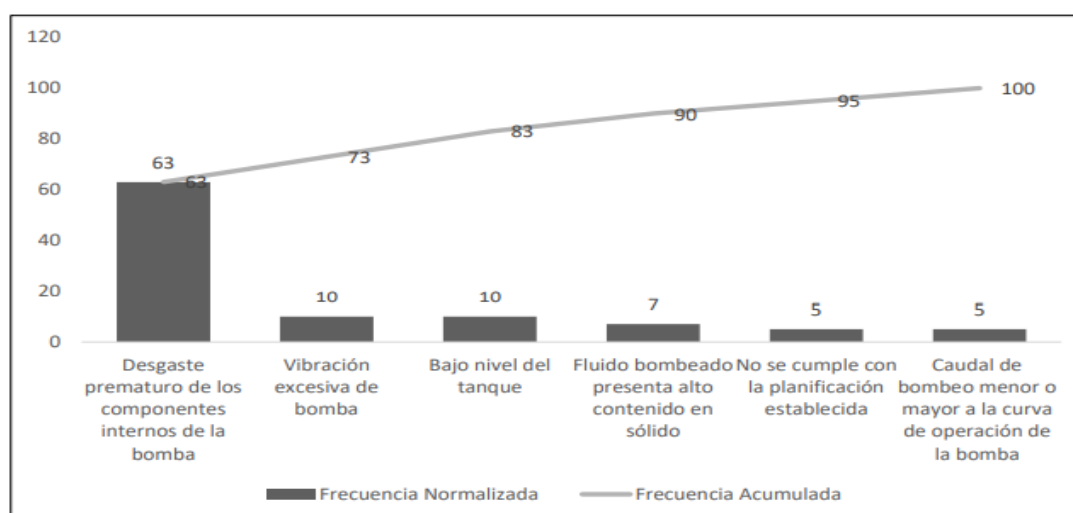


Figura 4: Causas de paradas de bombeo Diagrama de Pareto.

3.1.2. Diagnóstico con indicadores operacionales de la bomba

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 antes de la mejora desde enero hasta diciembre, los resultados se muestran en la figura 5.

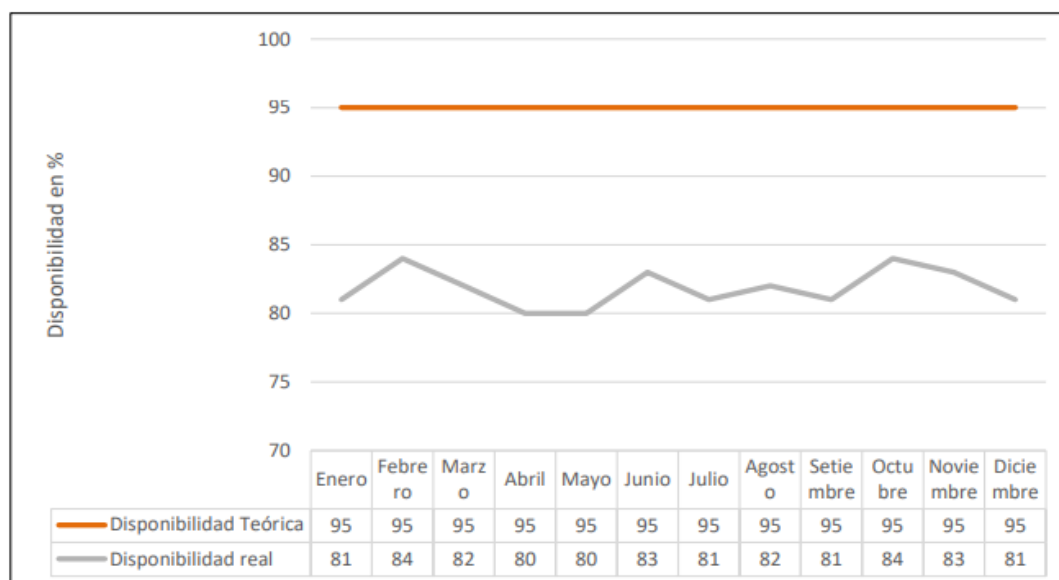


Figura 5: Disponibilidad promedio actual

Como apreciamos en la figura 5, la disponibilidad 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.

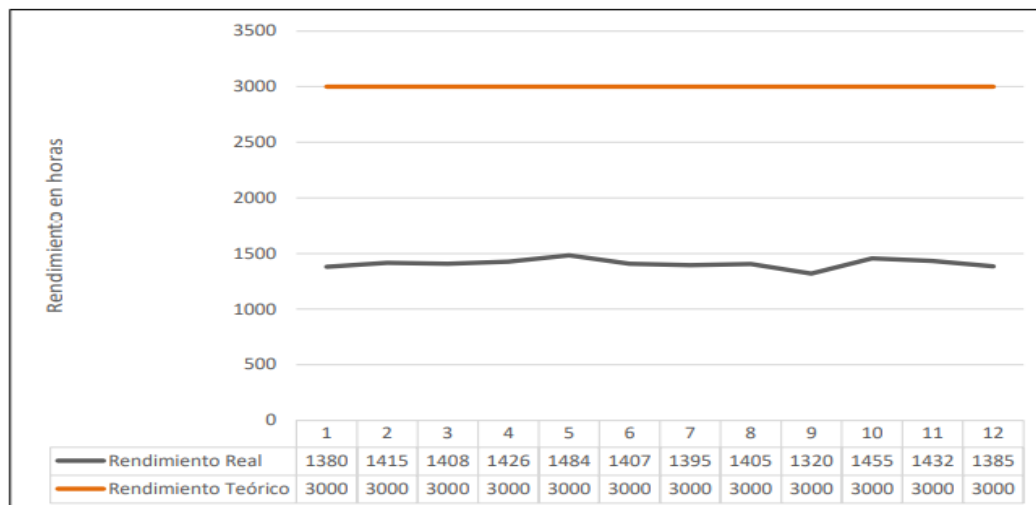


Figura 6: Rendimiento promedio actual.

En la figura 6 se muestra que el rendimiento está aproximadamente a la mitad, que a su vez genera sobrecostos a la empresa. en la figura 7 se determina su rendimiento en porcentaje el cual ni siquiera llega al 50%.

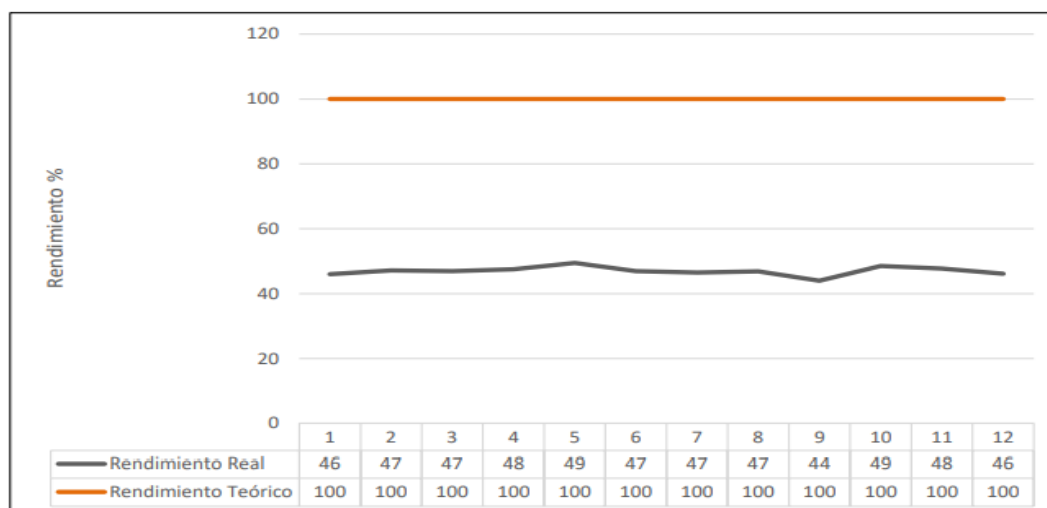


Figura 7: Rendimiento promedio actual
MTBF de los componentes internos

De acuerdo a los reportes de fallas obtenidos y la fórmula, se determinó el MTBF mensual.

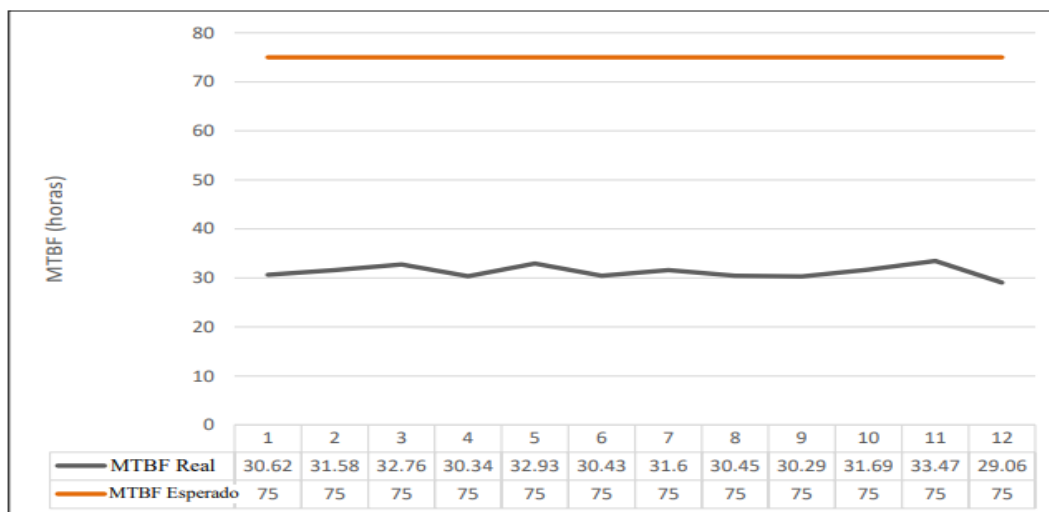


Figura 8: MTBF promedio actual.

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.

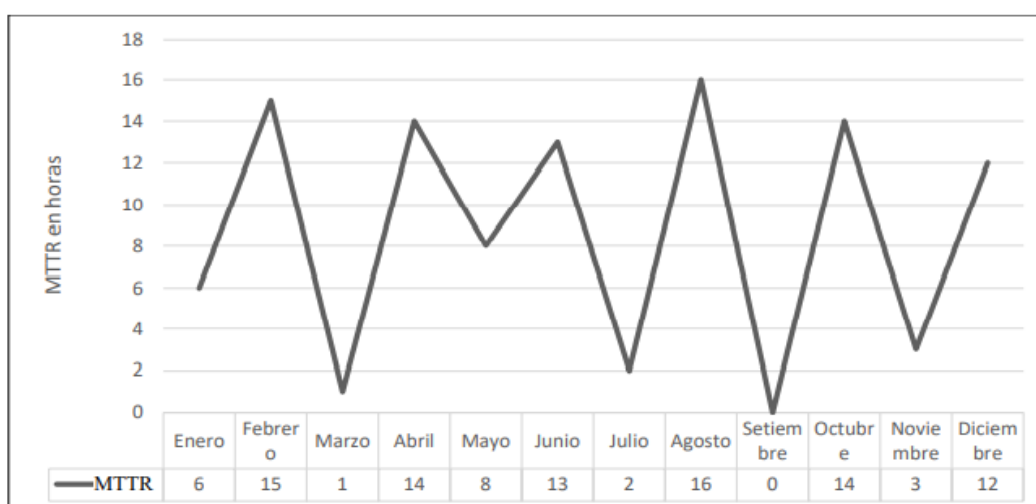


Figura 9: MTTR actual promedio actual.

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.

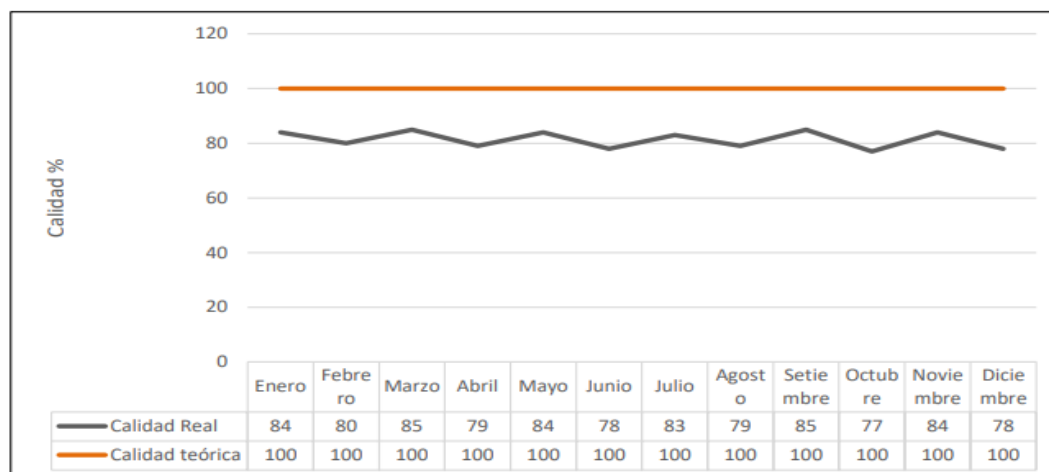


Figura 10: Calidad actual del equipo.

En la figura 10, se muestra que la calidad no llega al 100%, es decir la bomba no está bombeando las horas establecidas.

OEE (Eficiencia global del equipo) de los componentes internos

Tabla 4.

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

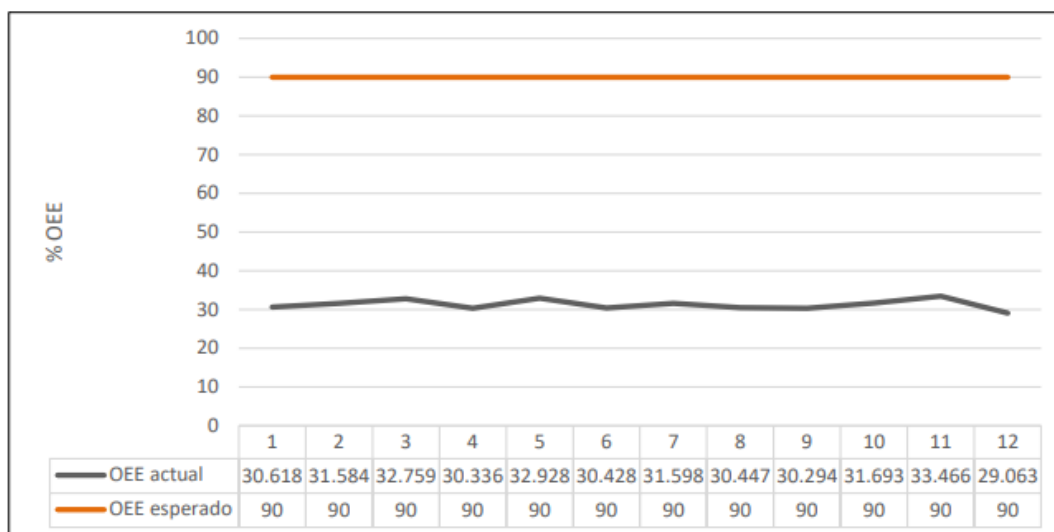


Figura 11: OEE actual promedio de las bombas

En la figura 11, 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 5.

Clasificación del OEE

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas, competitividad baja
≥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.

De acuerdo a la Tabla 5, el OEE actual tiene un calificativo de Inaceptable, generando baja competitividad, lo cual se debe mejorar.

3.2. Diseñar e implementar los pilares TPM seleccionados

La empresa minera asumió el compromiso para la implementación del TPM, y se inició por la gerencia de procesos por lo cual 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 12.

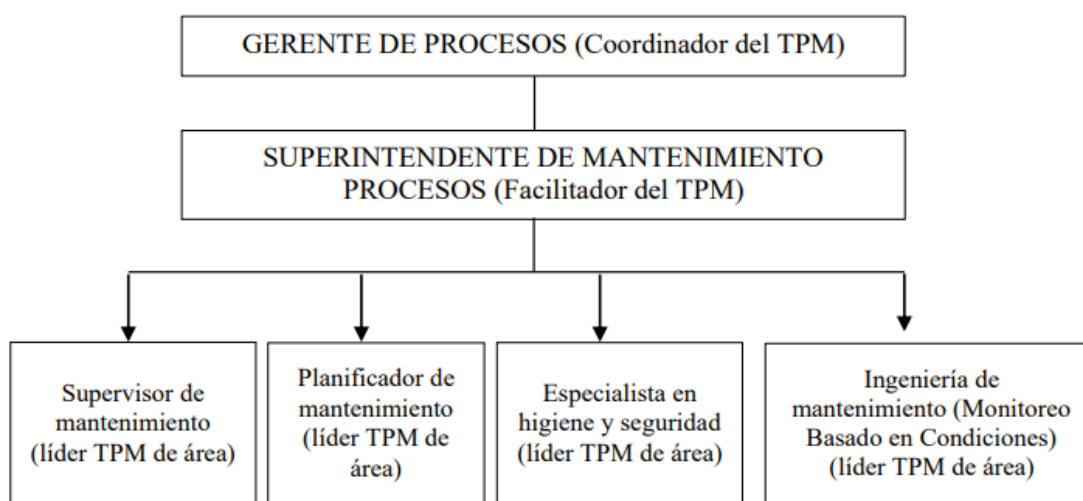


Figura 12: Organigrama de la empresa comité TPM.

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.

3.2.1. Mantenimiento Autónomo

En 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 13.

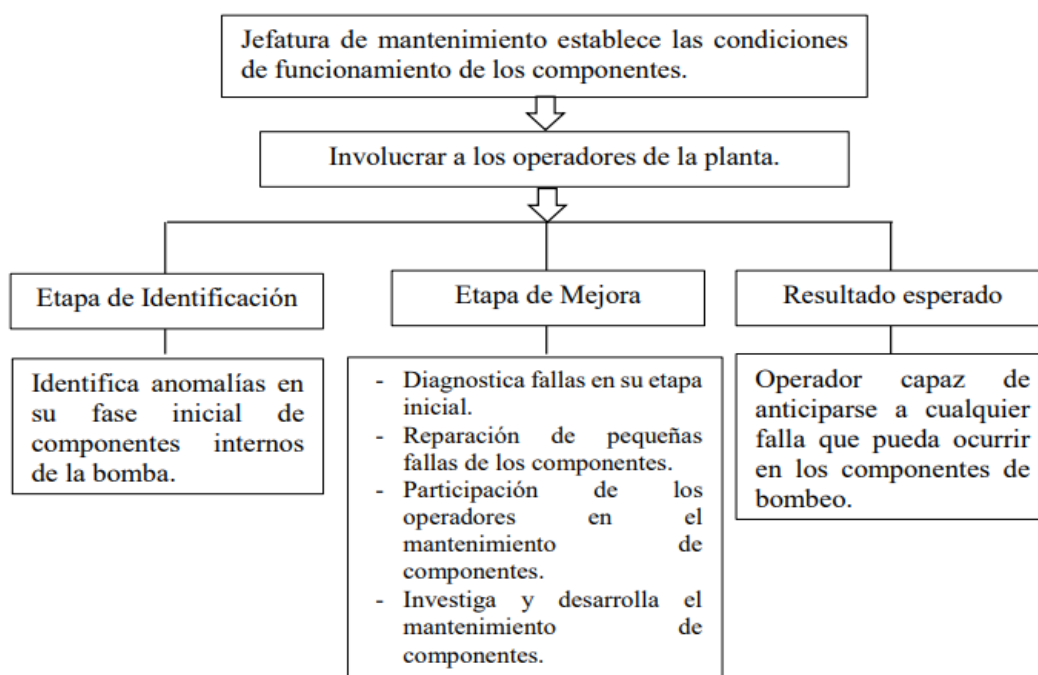


Figura 13: Organigrama del mantenimiento autónomo.

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 14.

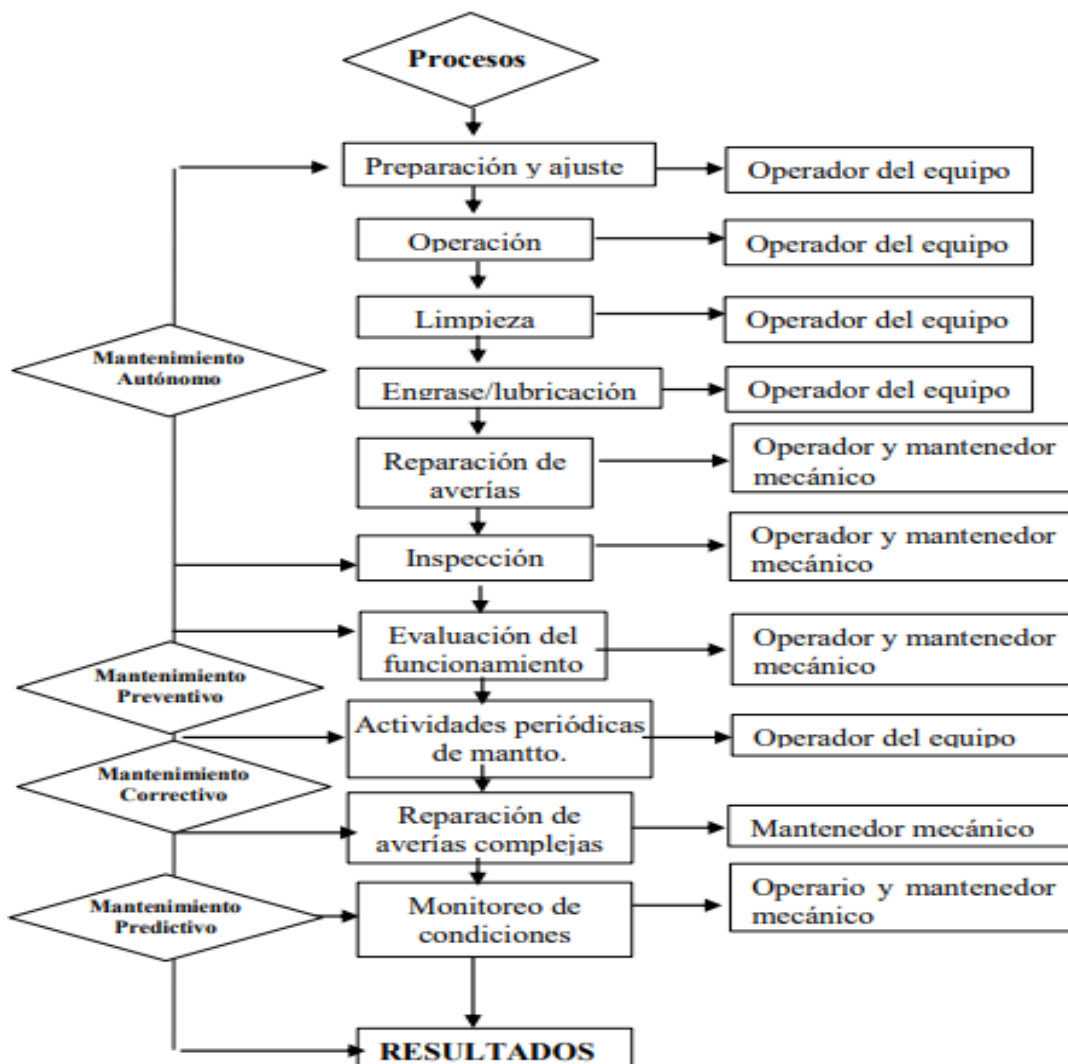


Figura 14: mantenimiento autónomo de componentes, actividades y responsabilidades

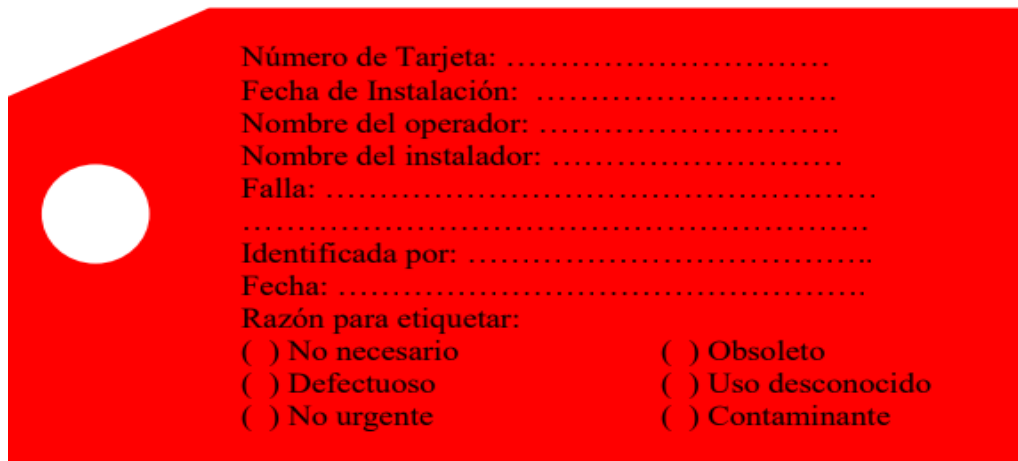
Las actividades que realizaran los operadores dentro del mantenimiento autónomo mejoraron la identificación de fallas en su fase inicial y se muestra en la tabla 14.

Tabla 6.

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 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. Figura 15.



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 15: 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 7.

Tabla 7

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:

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 8.

Tabla 8.

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.

En la tabla 9, 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 9.

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 notengan 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.		

El formato para la 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 10.

Ficha de mantenimiento autónoma

3.2.2. Mantenimiento Planificado

El mantenimiento planificado de las bombas consta de 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 11).

Tabla 11.

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	

Una vez identificada la falla en el equipo de bombeo, se determinaron su tipo de ocurrencia en las actividades de operación y mantenimiento (ver tabla 12).

Tabla 12.

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

El check list diario de bombas, se realiza mediante la tabla 13, 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 13.

Chexklist 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:				Ö	
Firma:				Firma:				Firma:				C	

Las actividades diarias se complementan con los mantenimientos programados en la tabla 14.

Tabla 14.

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/ replazar 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

3.3. Analizar los resultados luego de la implementación de la metodología TPM

3.3.1. Disponibilidad después de la implementación TPM

La disponibilidad se evaluó desde enero hasta junio del 2019, los resultados se muestran en la figura 16, evidenciando un acercamiento al indicador establecido por la empresa. La disponibilidad durante este periodo está cerca del estándar establecido por la empresa, se obtuvo un promedio de 91%.

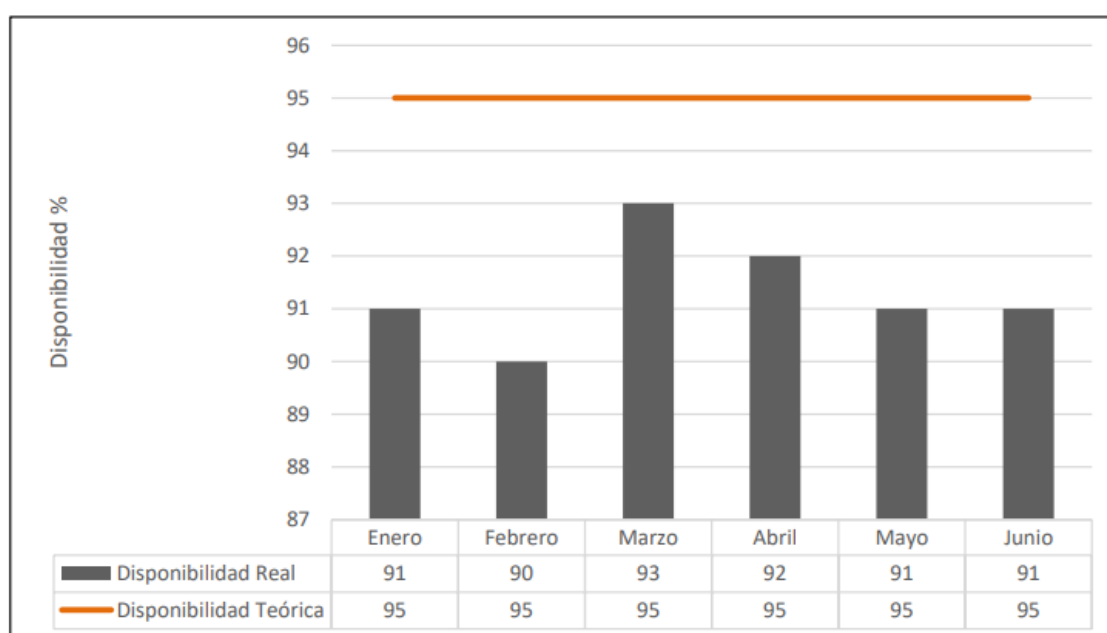


Figura 16: Disponibilidad promedio mejorado

3.3.2. Rendimiento después de la implementación TPM

El rendimiento de enero a junio de la bomba fue de 3000 horas habiendo llegado a lo establecido por la empresa, tal como se muestra en la figura 17. En el cual 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.

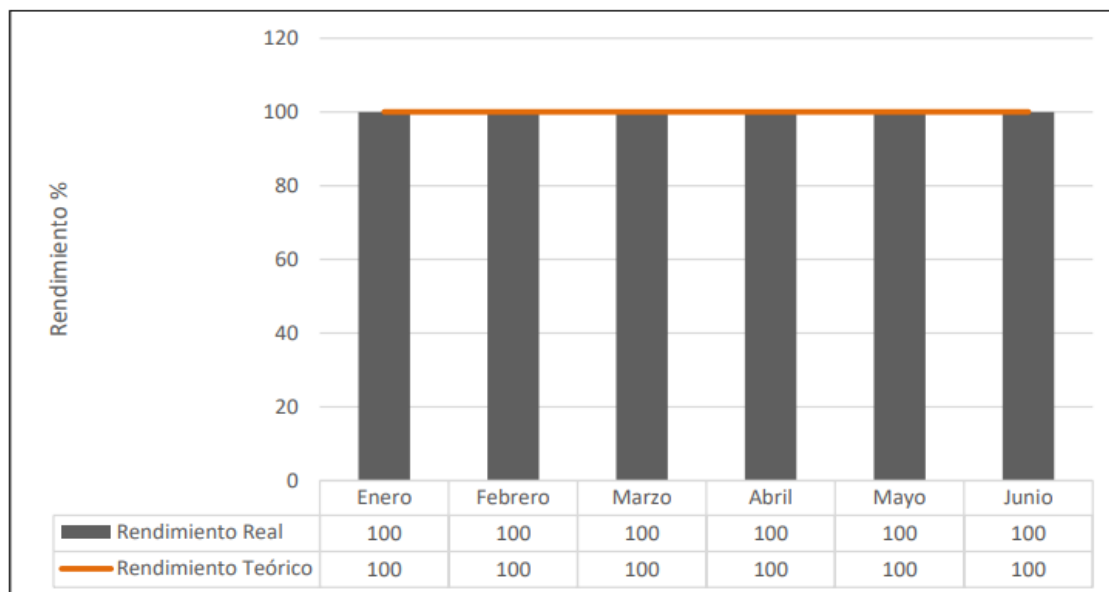


Figura 17: Rendimiento promedio mejorado.

3.3.3. 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.

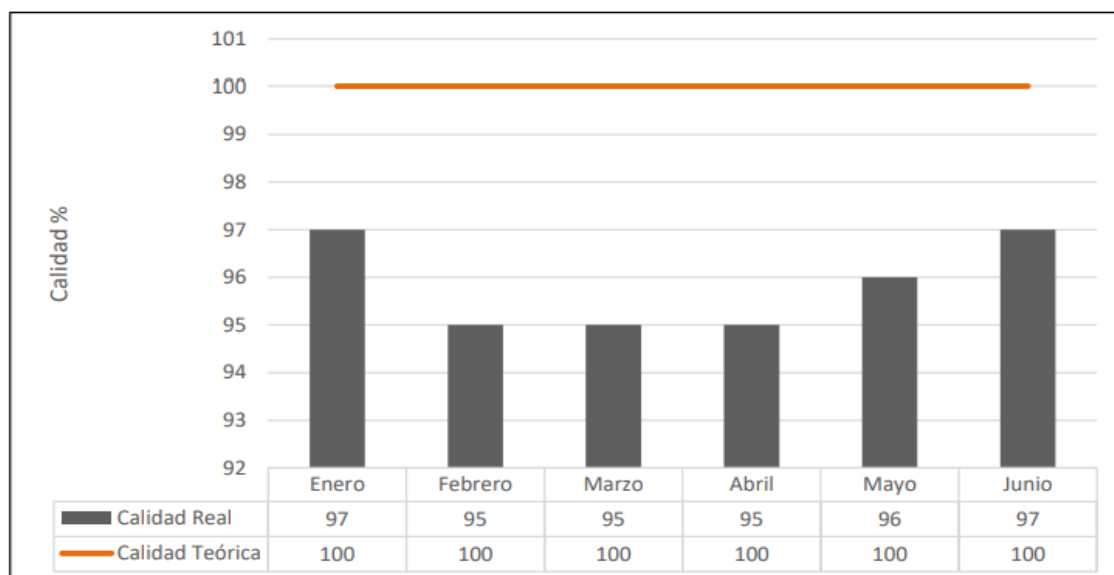


Figura 18: Calidad actual del equipo.

La figura 18 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.

3.3.3. OEE después de la implementación TPM.

El OEE después de la implementación del TPM, se ha mejorado tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15.

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

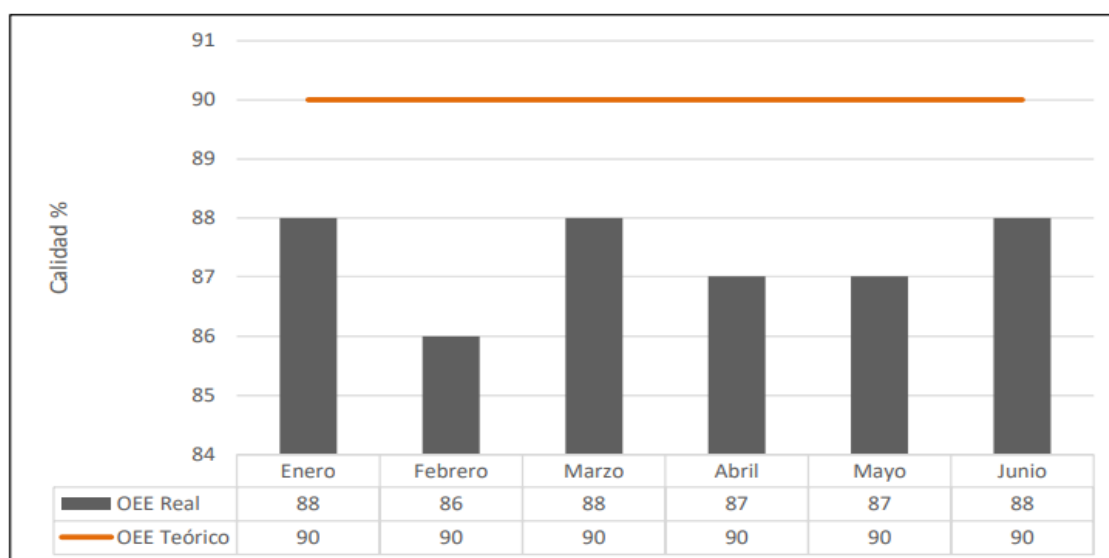


Figura 19: OEE mejorado de las bombas.

En la figura 19, 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 16 se muestra la calificación del OEE.

Tabla 16.

Clasificación del OEE.

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas, competitividad baja
≥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.

De acuerdo a la Tabla 16, el OEE actual tiene un calificativo de Buena, lo cual representa una buena competitividad.

3.3.4. Mejora del OEE

En la figura 20, se muestra el comparativo entre el OEE antes de la mejora y después de la mejora. Se observa que el OEE ha mejorado un 56% al implementar el TPM.

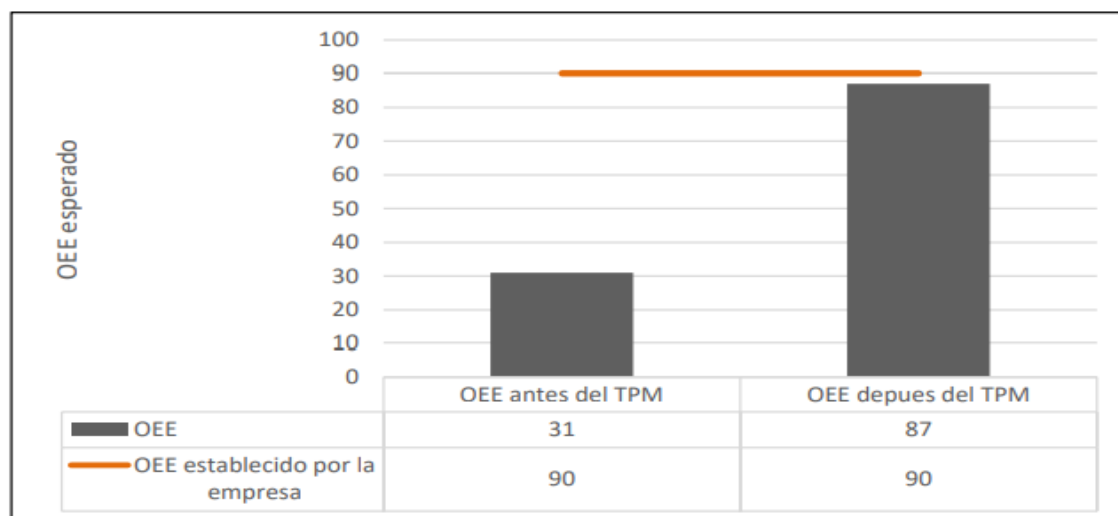


Figura 20: Comparativo OEE.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

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 la presente 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%.

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 la presente tesis las inspecciones, lubricación, orden y limpieza se incluyeron dentro del mantenimiento autónomo y los mantenimientos sí son reportados al área de mantenimiento de la empresa minera, otra de las diferencias es que en el antecedente no se utilizan tarjetas rojas para equipos obsoletos y en la presente investigación si se utilizan las tarjetas rojas para los equipos obsoletos.

Vargas (2016), en su tesis implementó un programa de capacitación al personal en los conocimientos generales de mantenimiento autónomo y mejoramiento enfocado, de igual forma en la presente tesis, sin embargo, la diferencia radica en que se implementaron formatos para la ejecución de dichos mantenimientos.

4.2 Conclusiones

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%.

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.

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.

REFERENCIAS

- Aponte J. (2017) *Aplicación del TPM para mejorar la productividad en el proceso de fabricación transformadores de la empresa promotores eléctricos S.A, Independencia 2017*. (Tesis de Pregrado) Universidad Cesar Vallejo de Lima - Perú.
- Colonia E. (2017) *Aplicación del TPM para mejorar la productividad en el área de tintorería de telas en la empresa Textiles Camones, Puente Piedra-2017*. (Tesis de Pregrado) Universidad Cesar Vallejo de Lima-Perú.
- Francisco S. (2002). *Mantenimiento Total de la Producción (TPM) proceso de implantación y desarrollo*. Madrid, España: FC Editorial.
- García G. (2018) *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento en una empresa de elaboración de alimentos balanceados, mediante el Mantenimiento Productivo Total (TPM)*. (Tesis de Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú Lima – Perú.
- Gonzales 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.
- Gamarra J. (2018) *Propuesta de mejora de gestión de mantenimiento del área de Hilandería en las etapas de prehilado en una empresa textil basado en la implementación de TPM*. (Tesis de Pregrado) Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de Lima-Perú.
- Portal E. y Salazar P. (2016) *Propuesta de implementación de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la gestión de mantenimiento para incrementar la*

disponibilidad operativa de los equipos de movimiento de tierras en la empresa Multiservicios PUNRE SRL, Cajamarca 2016. (Tesis de Pregrado) Universidad Privada del Norte de Cajamarca-Perú.

Quishpe F. (2016) *Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento productivo total (TPM) para la planta de producción de la fábrica de tornillos, pernos y tuercas TOPESA S.A.* (Trabajo de investigación de Pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas de Sangolquí-Ecuador.

Revista chilena de ingeniería (2013). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo.* Chile.

Seminario L. (2017) *Implementación del mantenimiento productivo total (TPM) para incrementar la eficiencia de las máquinas CNC de una empresa metalmecánica.* (Tesis de Pregrado) Universidad Cesar Vallejo de Lima-Perú.

Valencia S. (2017) *Aplicación del mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad en la línea de fabricación de hilos acrílicos de la empresa Hilados Cheviot E.I.R.L., San Juan de Lurigancho, 2016.* (Tesis de Pregrado) Universidad Cesar Vallejo de Lima-Perú.

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.

Vidal, E. (2016). *Mantenimiento productivo total (TPM) aplicado a equipos esenciales de la refinería Iquitos.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Anexos.

Anexo 1. Ficha resumen

**Ficha Resumen de
Reportes**

Area:

Tipo de falla:

Equipo implicado:

Duración de la falla:

Observación:

Anexo 2. Galería fotográfica

