



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA TPM PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE PARADA POR MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE UNA PLANTA DE CAL”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bach. Aldo Sandro Cardenas Zedano

Bach. Ernesto Rafael Malaga Chanji

Asesor:

Ing. Elmer Aguilar Briones

Cajamarca – Perú

2019

AGRADECIMIENTO

Agradezcos a la Universidad Privada del Norte por estos años de enseñanza y a nuestro asesor por el tiempo dedicado al desarrollo de la tesis. Así mismo, al gerente general de la planta de cal, por permitirmos estudiar la problemática de su empresa, y así implementar las mejoras en base a los conocimientos adquiridos académicamente y mediante la experiencia.

Aldo Sandro Cardenas Zedano.

Un significativo agradecimiento a todas las personas que colaboraron en la adquisición de conocimientos en estos años de estudio. A la Universidad Privada Del Norte por brindarnos profesionales de calidad que contribuyen con nuestra formación académica y personal.

Ernesto Rafael Malaga Chanji.

DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mi amada
familia, ellos son la motivación y
fuerza para mi superación
personal y profesional.
Aldo Sandro Cardenas Zedano.*

*Dedico esta tesis a mi familia,
ellos son fuente de inspiración y
motivación en mi vida diaria.
Ernesto Rafael Malaga Chanji.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	12
ABREVIATURAS	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Realidad Problemática	16
1.2 Formulación del problema.....	19
1.3 Objetivos.	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.	19
1.4 Hipótesis.....	19
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	20
2.1 Tipo de Investigación.....	20
2.2 Materiales, instrumentos y métodos	20
2.2.1 Materiales	20

2.2 Instrumentos	21
2.2.3 Procedimiento Metodológico.....	22
2.2.3.1 Metodología.....	23
2.2.3.1.1 Diagnóstico situacional de las paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos.....	23
2.2.3.1.2 Indicadores de la metodología TPM – Eficiencia Global.....	28
2.2.3.1.3 Diseño e implementación de la metodología TPM	30
2.2.3.1.4 Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM en los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos de una planta de cal.....	34
2.2.3.1.5 Análisis Beneficio- Costo.....	34
2.3 Matriz de consistencia.....	35
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	37
3.1 Diagnóstico situacional del área de estudio.....	37
3.1.1 Diagnóstico situacional de los tiempos de paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos.....	37
3.1.1.1 Proceso de producción de la planta de cal.....	37
3.1.1.2 Análisis de criticidad de los equipos en una planta de cal.....	38
3.1.1.3 Diagnóstico del tiempo de parada de planta en base al MTTR de fallas de equipos críticos.....	40
3.1.1.4 Diagnóstico de la parada prolongada de planta por cambio de rodamiento ...	42
3.1.1.5 Diagnóstico de la causa raíz de parada de planta.....	46

3.1.2 Diagnóstico de la eficiencia global (OEE) de los equipos críticos	48
3.1.3 Resumen inicial de la operacionalización de variables	50
3.2 Diseño e implementación de los pilares TPM aplicables en función al diagnóstico realizado.	52
3.2.1 Pilares TPM aplicables	52
3.2.2 Diseño de los pilares TPM aplicables	54
3.2.2.1 Mejoras enfocadas	54
3.2.2.2 Mantenimiento autónomo	55
3.2.2.3 Mantenimiento Planificado	62
3.2.2.4 Mantenimiento de calidad	66
3.2.2.5 Mantenimiento inicial	72
3.2.2.6 Mantenimiento en áreas administrativas	74
3.4.2.7 Educación y capacitación.....	76
3.4.2.8 Seguridad y medio ambiente	80
3.2.3 Implementación de la metodología TPM	86
3.2.3.1 Capacitación en base a los ocho pilares TPM.....	87
3.2.3.2 Implementación de los rodamientos bipartidos	88
3.2.3.3 Implementación de procedimientos y formatos	88
3.2.3.4 Aplicación de programas de evaluación del aprendizaje	89
3.3 Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM en los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.	90

3.3.1	Análisis de la mejora de la eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal	90
3.3.2	Análisis de la reducción del tiempo de parada de planta de los equipos críticos después de la implementación TPM	93
3.3.3	Resumen de la operacionalización de las variables después de la implementación TPM	94
3.4	Análisis económico, beneficio-costo de la implementación del TPM	95
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		98
4.1	Discusión	98
4.2	Conclusiones.....	100
REFERENCIAS		101
ANEXOS		103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diseño Pre- experimental	20
Tabla 2 Materiales a utilizar en el trabajo de investigación.....	21
Tabla 3 Instrumentos a utilizar en el trabajo de investigación.	21
Tabla 4 Criterios para evaluar el factor pérdida de disponibilidad en el AC	24
Tabla 5 Criterios para evaluar el factor pérdida de producción en el AC.....	25
Tabla 6 Criterios para evaluar el factor de seguridad e impacto ambiental en el AC	25
Tabla 7 Interpretación de la OEE	30
Tabla 8 Ahorro generado después de la implementación TPM	34
Tabla 9 Matriz de consistencia	36
Tabla 10 Equipos de la planta de cal.	38
Tabla 11 Análisis de criticidad	39
Tabla 12 Fallas en los equipos críticos	40
Tabla 13 Estándares de mantenimiento para equipos en el área de quemado de caliza	41
Tabla 14 Causa raíz de la parada prolongada de planta por cambio de rodamiento	47
Tabla 15 Historial de horas de parada de equipos críticos.....	48
Tabla 16 Pérdida de producción por paradas de planta no programadas.....	49
Tabla 17 Calidad- Producción de cal de mala Ley.	50
Tabla 18 Cálculo de la eficiencia global de los equipos críticos de una planta de cal	50
Tabla 19 Resumen inicial de la operacionalización de las variables.....	51
Tabla 20 Pilares aplicables en la mejora.	53
Tabla 21 Programación de las capacitaciones de la metodología TPM	87
Tabla 22 Aplicación de programas de aprendizaje de la metodología TPM	89

Tabla 23 Resultados de la implementación de la metodología TPM en el tiempo de paradas de planta	90
Tabla 24 Historial de horas de parada después de la implementación TPM	91
Tabla 25 Producción perdida por paradas de planta no programadas después de la implementación TPM.....	92
Tabla 26 Calidad- Producción de cal de mala Ley después de la implementación TPM.....	92
Tabla 27 Cálculo de la eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal después de la implementación de la metodología TPM.....	93
Tabla 28 Resumen de la operacionalización de las variables después de la implementación TPM	94
Tabla 29 Ahorro generado después de la implementación TPM	95
Tabla 30 Inversión para la implementación de la metodología TPM.....	96
Tabla 31 Cálculo beneficio/costo de la implementación de la metodología TPM.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Procedimiento metodológico de la investigación.....	22
Figura 2: Las seis grandes pérdidas.....	23
Figura 3: Matriz de criticidad.....	24
Figura 4: El diagrama Ishikawa modelo	26
Figura 5: El diagrama Pareto modelo	27
Figura 6: Pilares TPM.....	30
Figura 7: Proceso de producción de la planta de cal..	37
Figura 8: Horas de parada de planta por mantenimiento.	41
Figura 9: Diagnóstico de la parada prolongada de planta.....	42
Figura 10: Ubicación del reductor y motor en el elevador de cangilones..	43
Figura 11: Equipo de izaje necesario para el montaje de reductor y motor.....	44
Figura 12: Estándares de carga en base a altura y radio de alcance..	44
Figura 13: Rodamiento estándar.....	45
Figura 14: Personal elaborando y desacoplando componentes.	45
Figura 15: Personal requerido para realizar el cambio de rodamiento.	46
Figura 16: Diagrama de Pareto – Análisis de causa raíz de las paradas prolongadas de planta en base al análisis de las 6M.	47
Figura 17: Vista de rodamientos bipartidos ángulo superior.	54
Figura 19: Vista de rodamientos bipartidos vista general.....	54
Figura 19: Diseño interior del rodamiento bipartido.....	55
Figura 20: Organigrama del comité TPM.	86
Figura 21: Personal capacitándose en la metodología TPM.	87
Figura 22: Rodamiento bipartido.	88

Figura 23: Procedimientos y formatos..... 88

Figura 24: Aplicación de programas de aprendizaje en base a la metodología TPM

implementada. 89

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo de la criticidad	25
Ecuación 2: Cálculo de la disponibilidad	28
Ecuación 3: Cálculo del rendimiento.....	28
Ecuación 4: Cálculo de la calidad	29
Ecuación 5: Cálculo de la eficiencia global	29
Ecuación 6: Cálculo Beneficio/ Costo.....	35

ABREVIATURAS

- AC** : Análisis de criticidad.
- JIPM** : Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta.
- MTTR** : Tiempo medio para reparar fallas.
- MTBF** : Tiempo medio entre fallas.
- OEE** : Eficiencia Global.
- SAP** : Systems, Applications, Products in Data Processing.
- SST** : Seguridad y Salud en el Trabajo.
- TPM** : Mantenimiento Productivo Total.

RESUMEN

Considerando las seis grandes pérdidas en los procesos productivos, el objetivo principal de esta tesis consiste en minimizar los tiempos de parada de planta por mantenimiento mediante la implementación de la metodología TPM en una planta de cal. El tipo de investigación es aplicada, correlativa, cuantitativa y pre-experimental, como técnica se utilizó la revisión documental. Inicialmente se realizó un diagnóstico situacional del tiempo de paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos, así mismo se realizó el diagnóstico de la Eficiencia Global obteniendo un porcentaje inicial de 86.54%. Posteriormente se realizó el diseño e implementación de los ocho pilares TPM, considerando el pilar principal el de mejora enfocada, que para nuestra investigación se basa en el cambio de diseño de los rodamientos estándares oscilantes por bipartidos, logrando así una disminución de MTTR total de parada de planta de 508 h a 84 h y un incremento de la disponibilidad de 94% a 98%, el rendimiento de 93% a 94%, la calidad de 99% a 99.8% y finalmente la OEE incrementó en 4.56 % a un porcentaje de 92%, encontrándose sobre el estándar que estipula la empresa. Finalmente, en base al ahorro estimado de 127200 dólares semestrales, se realizó el análisis económico, beneficio-costos de la implementación del TPM, obteniendo un valor de 22.27 indicando que los beneficios superan a los costos, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

Palabras Clave: TPM, Cal, Tiempo, Paradas, Planta, Equipos, Críticos, Mantenimiento.

ABSTRACT

Considering the six major losses in production processes, the main objective of this thesis is to minimize plant downtime for maintenance by implementing the TPM methodology in a lime plant. The type of research is applied, correlative, quantitative and pre-experimental, as a technique the documentary review was used. Initially, a situational diagnosis of the plant downtime was performed due to maintenance of the critical equipment, as well as the Global Efficiency diagnosis was obtained, obtaining an initial percentage of 86.54%. Subsequently, the design and implementation of the eight TPM pillars was carried out, considering the main pillar that of focused improvement, which for our research is based on the change of design of the oscillating standard bearings by bipartite, thus achieving a reduction in down MTTR plant from 508 h to 84 h and an increase in availability from 94% to 98%, yield from 93% to 94%, quality from 99% to 99.8% and finally the OEE increased by 4.56% to a percentage of 92%, meeting the standard stipulated by the company. Finally, based on the estimated savings of 127,200 semiannual dollars, the economic analysis, benefit-cost of the implementation of the TPM, was carried out, obtaining a value of 22.27 indicating that the benefits outweigh the costs, therefore, the project must be considered.

Keywords: TPM, Lime, Time, Stops, Plant, Equipment, Critics, Maintenance.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

Para la tendencia de la economía mundial, para que un proceso de producción sea eficaz, las plantas de procesos deben operar de forma continua durante largos periodos. Las fallas, incluso las que involucran un solo equipo, pueden parar una planta entera, afectando a la disponibilidad, rendimiento, calidad, generando pérdidas en la producción, sobrecostos y por ende pérdidas económicas. (Garcia, 2015).

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es un sistema de gestión que evita todo tipo de pérdidas durante la vida entera del sistema de producción, maximizando su eficacia e involucrando a todos los departamentos y a todo el personal desde operadores hasta la alta dirección y orientando sus acciones apoyándose en las actividades en pequeños grupos. De acuerdo al (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta, 2015) el TPM elimina las seis grandes pérdidas que reducen la efectividad por interferir con la producción: fallas, pérdidas de arranque, paradas menores, reducción de velocidad, defectos de calidad y ajustes.

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, así mismo lo demuestra (Alejabo, 2019) donde afirma que la implementación de la metodología TPM, incrementó el OEE de 31% a 87%. Así también (Burga, 2018) sustenta que realizó la medición de la efectividad global de los equipos (OEE) desde el inicio al final de la implementación, notando un incremento en los índices de disponibilidad, rendimiento y tasa de calidad.

En la planta de cal estudiada, se observa distintas situaciones que afectan su sistema productivo, se ha identificado sucesos que contribuyen a las seis grandes pérdidas del

Mantenimiento Productivo Total. Entre los problemas más frecuentes se presentan el excesivo tiempo de paradas por falla de equipos críticos, lo que genera la parada total de la planta. (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta, 2015) manifiesta que desde la filosofía del TPM se considera que una máquina parada para efectuar un cambio está en una situación intolerable que produce pérdidas a la empresa.

Según datos obtenidos en los reportes diarios, las paradas de planta dependen del tipo de fallas en los equipos críticos, entre estos podemos mencionar: falla de canastilla, rodillos y soldadura de rodamientos que prolongan el tiempo de parada de planta debido a problemas por falta de personal, equipos de izaje, desmontaje y montaje, procedimientos de mantenimiento no estandarizados, difícil acceso para realizar el mantenimiento, eventos que se han presentado debido al tipo de rodamiento estándar oscilante que utilizaban. Así mismo, se han visto afectados los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad establecidos por la empresa, obteniéndose un porcentaje de eficiencia global de 86.54%, estando por debajo del estándar requerido por la empresa 90%, y un tiempo de paradas de planta - MTTR total de 508 horas por mantenimiento, superando el límite de horas establecidos por la empresa.

Los tiempos excesivos de parada de planta han sido identificados en base a los reportes de MTTR por falla de equipos críticos, brindados por la empresa, éstos recopilan información acerca del tiempo medio para reparar una falla establecido por la empresa y el tiempo real que empleaban en resolver la falla, evidentemente se identifica el problema del excesivo tiempo de parada por mantenimiento de equipos críticos.

Para la implementación de la metodología emplearemos los ocho pilares TPM. El pilar de mejoras enfocadas permite reducir o eliminar desperdicios mediante herramientas como la metodología Kaizen (Burgos, 2017). El pilar de mantenimiento autónomo involucra a los

operadores en cuidar su propio equipo (García, 2015). El pilar de mantenimiento planificado se enfoca en maximizar la disponibilidad del equipo (Mansilla, 2016). El pilar de mejoras del proyecto se enfoca en maximizar la vida del equipo, 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 ofrece el apoyo para que el proceso funcione eficientemente, a través de un proceso que produce información (Martínez, 2015). Según (Avendaño, 2017) sostiene que pilar de formación y adiestramiento se orienta a incrementar las capacidades del personal mediante el autodesarrollo y la formación sistemática. El pilar de seguridad y medio ambiente, usa como instrumento el IPERC que es la base de la seguridad y el formato de inspecciones mediambientales.

En esta investigación sustentamos que al igual que sostiene (Alejabo, 2019) y (Burga, 2018) la implementación de la metodología TPM en la planta de cal, ha disminuido el MTTR total de paradas de plantas de 508 horas a 84 horas generando así ha incrementado los indicadores de disponibilidad de 94% a 98%, el rendimiento de 93% a 94%, la calidad de 99% a 99.8%, por ende, el OEE incrementó de 86.54% a 92%. Adicionalmente se generó un ahorro de 127200 dólares. Así también, de acuerdo a las recomendaciones del (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta, 2015) se han considerado acciones para contribuir a la mejora continua en base a la actualización y seguimiento de la implementación de la metodología TPM.

1.2 Formulación del problema.

¿En que medida la implementación de la metodología TPM disminuirá los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Disminuir los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal con la implementación de la metodología TPM.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un diagnóstico situacional de los tiempos de parada de planta por mantenimiento de los equipos críticos, así como los indicadores de la metodología TPM en una planta de cal.
- Diseñar e implementar los pilares TPM aplicables en función al diagnóstico realizado.
- Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM y los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.
- Realizar el análisis económico de la implementación del TPM en los equipos críticos en una planta de cal.

1.4 Hipótesis

La implementación de la metodología TPM, disminuirá los tiempos de parada de planta por mantenimiento de equipos críticos en una planta de cal.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Investigación

Según su propósito es aplicada, ya que nos basaremos en conocimiento ya existente, en este caso, los lineamientos de la metodología TPM.

Según su profundidad es explicativa, ya que su propósito es realizar un análisis de causalidad entre dos variables que son metodología TPM y las paradas de planta de equipos críticos.

Según su naturaleza de datos es cuantitativa, ya que se obtendrán datos cuantificables referentes a eficiencia, rendimiento, calidad, OEE.

Según su manipulación de variables es pre-experimental, ya que se trabajará con hechos de experiencia directa con un bajo nivel de control.

Diseño Pre – experimental

Tabla 1

Diseño Pre- experimental

Observación Pre – Prueba	Aplicación metodología TPM	Observación Post- Prueba
O1	Pilares TPM Mejoras específicas. Mantenimiento autónomo. Mantenimiento planificado. Mantenimiento de calidad. Mantenimiento inicial. Mantenimiento en áreas administrativas. Educación y capacitación. Seguridad y medio ambiente.	O2

La tabla muestra el diseño pre-experimental empleado en la investigación.

2.2 Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1 Materiales

En la tabla 2 se presentan los materiales a utilizar en todo el trabajo de investigación.

Tabla 2
Materiales a utilizar en el trabajo de investigación

Materiales	Medida	Cantidad
Laptop.	Unidad	1
Hojas Bond A4	Millar	1
Impresora.	Unidad	1
Lapiceros	Unidad	3
USB	Unidad	1
Zapatos de seguridad	Unidad	2
Casco de seguridad	Unidad	2
Lentes de seguridad	Unidad	2
Respirador	Unidad	2
Orejas	Unidad	2

La tabla muestra los materiales utilizados en el proceso de investigación, desde los elementos para recopilar información como los equipos de protección personal para el ingreso a la planta de cal.

2.2 Instrumentos

En la tabla 3 se presentan los instrumentos a utilizar en todo el trabajo de investigación.

Tabla 3
Instrumentos a utilizar en el trabajo de investigación.

Objetivo general	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica
Implementar la metodología TPM para disminuir los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.	MTTR total de paradas de planta por mantenimiento de equipos críticos	Revisión documental Observación	Ficha resumen Guía de observación	Data de paradas de planta
	Eficiencia Global	Revisión documental	Ficha resumen	Indicadores de la metodología TPM

La tabla muestra los instrumentos utilizados en el proceso de investigación.

2.2.3 Procedimiento Metodológico

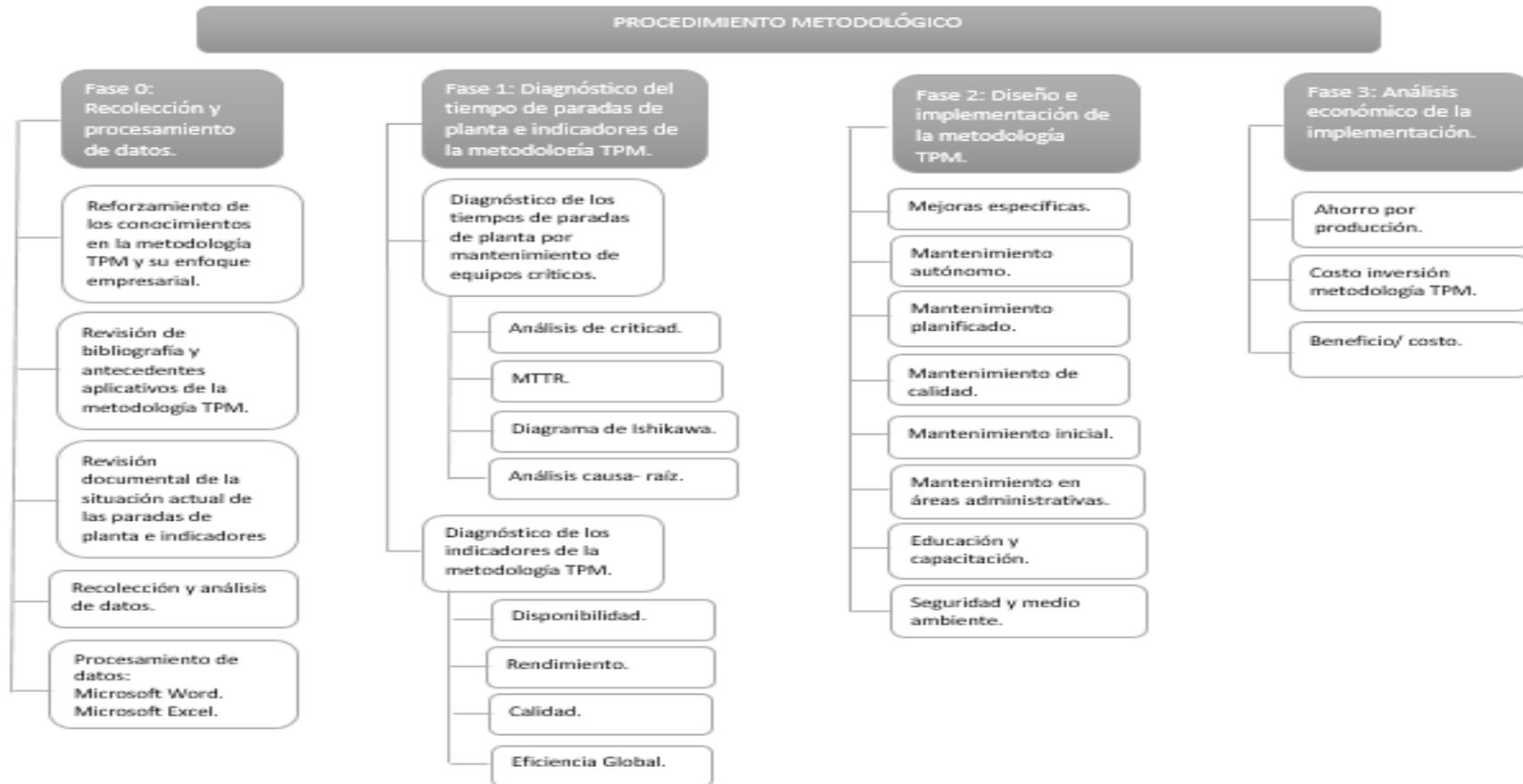


Figura 1: Procedimiento metodológico de la investigación.

2.2.3.1 Metodología

2.2.3.1.1 Diagnóstico situacional de las paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos.

Inicialmente identificamos que la empresa presentaba problemas relacionados a las seis grandes pérdidas

- **Las seis grandes pérdidas que busca eliminar la metodología TPM.**

Estas seis grandes pérdidas se hallan directa o indirectamente relacionadas con los equipos, dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo en tres aspectos fundamentales:

- Tiempos muertos o paro del proceso productivo
- Funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos
- Productos defectuosos o mal funcionamiento de las operaciones en un equipo.

En la figura 2 se visualiza las seis grandes pérdidas que busca eliminar la metodología TPM.



Figura 2: Las seis grandes pérdidas.

Posteriormente se realizó el análisis de criticidad en los equipos de la planta de cal.

- **Análisis de criticidad de equipos:**

El análisis de criticidad se realizará en base a la evaluación por factores, considerándose pérdida de disponibilidad, pérdida de producción, seguridad e impacto ambiental.

Se evaluaron 13 tipos de equipos en planta, bajo la siguiente matriz.

La importancia esta relacionada con la ponderación 0.5, 0.4 y 0.1.

EQUIPOS CONSIDERADOS PARA ANÁLISIS							
EQUIPOS	Pérdida de disponibilidad.	Importancia.	Pérdida de producción.	Importancia.	Seguridad e Impacto ambiental	Importancia.	PUNTAJE DE CRITICIDAD PONDERADO

Figura 3: Matriz de criticidad

- **Factor de pérdida de disponibilidad**

Permite establecer los criterios para categorizar de manera específica todos los equipos, pues nos da un valor cualitativo de comparación, si ante una falla el equipo en reparación produce una parada total de la planta, perdiendo disponibilidad del sistema. Los criterios de evaluación se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Criterios para evaluar el factor pérdida de disponibilidad en el AC

Factor de Disponibilidad	Criterios
5	Pérdida total de disponibilidad operativa de planta >24 Horas
4	Parada total de planta < 24 horas
3	Parada parcial de la planta < 10 horas
2	Parada parcial de la planta < 5 horas
1	No es necesario parar la planta

La tabla muestra los criterios utilizados en la evaluación del factor de disponibilidad.

- **Factor de pérdida de producción**

Establece los criterios para la categorizar de manera específica todos los equipos, pues nos da un valor del coste de la parada de la planta, si se produjera, debido a la falla del equipo estudiado. La manera de compararlo será por las toneladas de cal que se dejan de producir mientras dura la falla.

Tabla 5
Criterios para evaluar el factor pérdida de producción en el AC

Factor de Producción	Criterios
5	Pérdida total de la producción
3	Pérdida parcial de la producción
1	No afecta a la producción

La tabla muestra los criterios utilizados en la evaluación del factor de producción

- **Factor de seguridad e impacto ambiental**

Establece los criterios para la categorizar de manera específica todos los equipos desde el impacto ambiental o aspectos de SST que puedan generar.

Tabla 6
Criterios para evaluar el factor de seguridad e impacto ambiental en el AC

Factor de seguridad e impacto ambiental	Criterios
5	Genera impactos ambientales y de SST no tolerables.
3	Se necesita aplicar controles ambientales y SST.
1	No se generan impactos ambientales, ni riesgos en SST.

La tabla muestra los criterios utilizados en la evaluación del factor de seguridad e impacto ambiental.

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia

Ecuación 1: Cálculo de la criticidad

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

- **Diagrama de Ishikawa:** Se realizó la representación gráfica en la cual se visualiza las causas que originan el mayor tiempo de parada por cambio de rodamientos. 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 y diseño del material en los repuestos y sus condiciones.
 - Mano de obra: se identificaron las deficiencias causadas por la mano de obra.
 - 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 4.

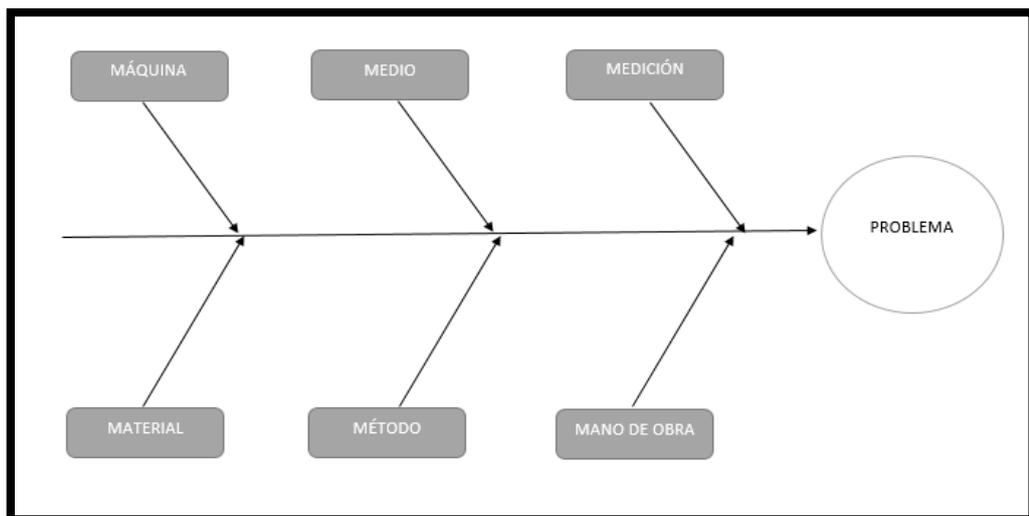


Figura 4: El diagrama Ishikawa modelo

Identificada 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.

El diagrama de Pareto modelo se visualiza en la figura 5.

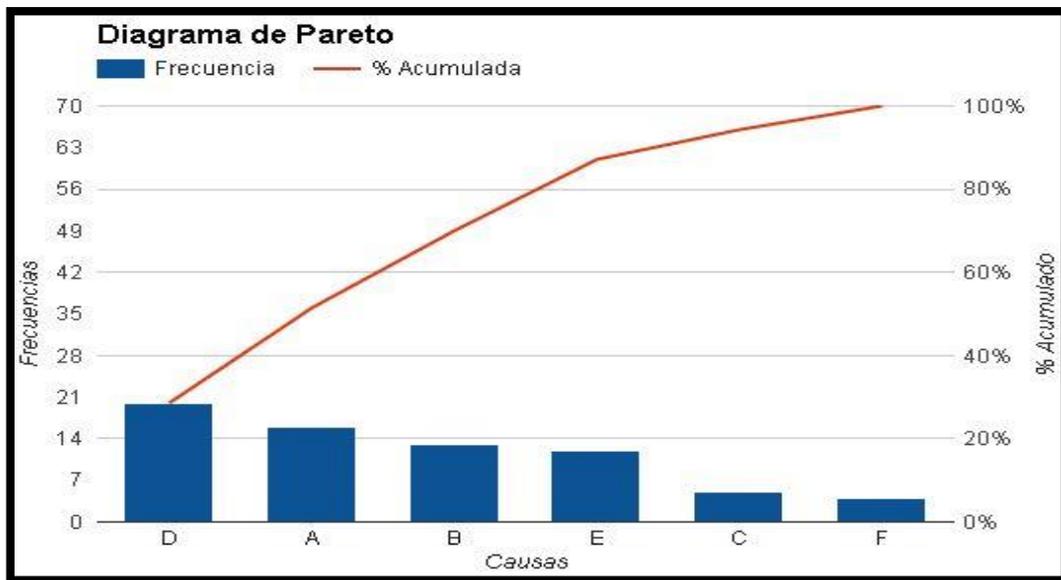


Figura 5: El diagrama Pareto modelo

El diagrama de Pareto fue empleado como complemento del análisis causa- raíz.

2.2.3.1.2 Indicadores de la metodología TPM – Eficiencia Global

Para calcular la eficiencia global como herramienta de diagnóstico del TPM se utilizaron los siguientes indicadores:

- **Disponibilidad operativa**

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%.

Ecuación 2: Cálculo de la disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

- **Rendimiento**

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

Ecuación 3: Cálculo del rendimiento

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

- **Calidad**

En la ecuación 4 se muestra la fórmula para calcular la calidad, para nuestra investigación se ha calculado en base a cal de mala Ley producida por reinicio de horno. La calidad esperada lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

Ecuación 4: Cálculo de la calidad

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción buena}}$$

- **Eficiencia Global**

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 5. El OEE esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 90%.

Ecuación 5: Cálculo de la eficiencia global

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

- **Interpretación de la eficiencia global**

Después de realizar el diagnóstico del OEE, se evaluará en base a la siguiente tabla 07. Siendo las posibles calificaciones inaceptable, regular, aceptable, buena y excelente.

Tabla 7
Interpretación de la 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.

La tabla muestra las calificaciones asignadas de acuerdo al porcentaje obtenido de OEE.

2.2.3.1.3 Diseño e implementación de la metodología TPM

El TPM se sustenta sobre 8 pilares para su efectiva aplicación, como se muestra en la figura 6. Estos a su vez se sustentan sobre el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness, o Eficiencia General de los Equipos), que permitirá conocer la eficiencia con que trabajan los equipos y procesos, que a su vez permite conocer y cuantificar las pérdidas.

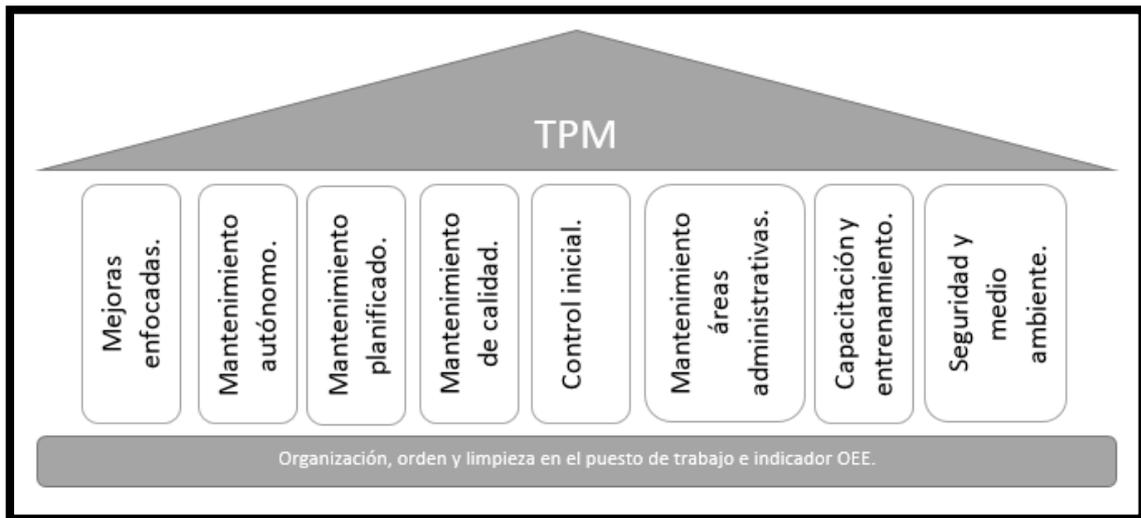


Figura 6: Pilares TPM.

- **Mejoras enfocadas o Keibetsu Kaizen:** El objetivo de estas mejoras es eliminar sistemáticamente las grandes pérdidas ocasionadas en el proceso productivo. Aquí se trata de identificar los objetivos de mejora y realizar las acciones individuales y en grupo para eliminar los principales defectos de las instalaciones industriales.
- **Mantenimiento autónomo o Jishu Hozen:** Este mantenimiento es básicamente la prevención del deterioro de los equipos y componentes de los mismos, llevado a cabo por los operadores y preparadores del equipo, puede y debe contribuir significativamente a la eficacia del equipo.

Los operadores serán los encargados de llevar a cabo el mantenimiento rutinario de sus equipos. Este mantenimiento incluye lo siguiente:

- Limpieza diaria, que se tomará como un proceso de inspección □ Inspección de los puntos clave del equipo en busca de fugas, desgaste anormal, exceso o defecto de lubricación, etc.
- Lubricación periódica de puntos clave del equipo
- Detectar fallas y reportar las mismas en caso de no poder repararse en el momento de su detección.
- Pequeños ajustes.

Estas actividades deben realizarse en base a estándares de trabajo creados conjuntamente entre las áreas de producción y mantenimiento, estableciendo las tareas que debe realizar el operador, su frecuencia, y las condiciones estándar del equipamiento.

- **Mantenimiento planificado o especializado (Keikaku Hozen):** El objetivo de este pilar es mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas. El mantenimiento planificado busca eliminar los problemas de los equipos realizando acciones de mejora, prevención y predicción de las fallas. Para esto se requiere contar con una correcta información sobre los equipos, teniendo detalladas las fallas de cada uno, su historial de servicio, y contar con las especificaciones técnicas y de funcionamiento de los mismos.

Esta información sirve como base para realizar la planificación del mantenimiento, determinando que mantenimiento realizar y su frecuencia de realización.
- **Mantenimiento de calidad o Hinshitsu Hozen:** Este consiste en tomar acciones preventivas para obtener un proceso y equipo sin defectos o fallas. La meta aquí, es ofrecer un producto cero defectos producto de una máquina cero paradas y esto último sólo se logra con la continua búsqueda de una mejora y optimización del equipo.
- **Control inicial:** Este pilar tiene como objetivo prevenir los problemas que se puedan presentar en equipos, maquinaria, productos o proyectos, desde las fases de diseño y desarrollo. En TPM se emplea para identificar y prevenir problemas potenciales que una empresa puede encontrar cuando se va a comprar, instalar y poner en marcha una máquina o proceso, o cuando una empresa está planificando la introducción de un nuevo producto al mercado.

- **Mantenimiento en áreas administrativas:** Este pilar tiene como principal objetivo eliminar las pérdidas que se presentan en las áreas que dan soporte a las operaciones de la empresa, y lo que se pretende es aprovechar la experiencia obtenida a través de la implementación en las áreas operacionales y trasladarlas hacia las oficinas, almacenes y demás áreas de la empresa.
- **Capacitación y entrenamiento:** Este pilar busca fortalecer las capacidades y habilidades del personal, buscando mejorar la capacitación y comprensión de los factores necesarios para lograr una correcta implementación del TPM y obtener los beneficios que se pretenden con esta implementación. En este pilar se definen las tareas que debe realizar cada persona de la organización, capacitando al personal en el uso de las herramientas y técnicas del TPM.

Se logra una mejor implementación cuando los que instruyen sobre lo que se hace y cómo se hace son parte del personal de la empresa, solo se debe buscar asesoría externa cuando las circunstancias lo requieran (capacitación técnica, cursos externos, etc.).
- **Seguridad y medio ambiente:** Aquí se pretende crear y mantener un sistema que garantice un ambiente laboral sin accidentes ni contaminación. Lo importante es buscar que el ambiente de trabajo sea confortable y seguro, muchas veces ocurre que la contaminación en el ambiente de trabajo es producto del mal funcionamiento del equipo, así como muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo.

2.2.3.1.4 Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM en los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos de una planta de cal.

Después de realizar la implementación de la metodología TPM, se midieron los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE.

Así mismo se cuantificaron las horas de parada de planta por mantenimiento de los equipos críticos en el periodo de enero a junio del 2019.

2.2.3.1.5 Análisis Beneficio- Costo

Para calcular el beneficio de la implementación del TPM en una planta de cal, se estima el ahorro generado en el aumento de la producción por la disminución de tiempos de paradas de planta por mantenimiento de equipos críticos, se utilizará la siguiente tabla 8.

Tabla 8
Ahorro generado después de la implementación TPM

Periodo	Horas parada antes del TPM	Tonelada/hora	Producción que se deja de producir (Tn)	Producción cal perdida	Costo Tonelada USD	Pérdida USD	Ahorro total USD
---------	----------------------------	---------------	---	------------------------	--------------------	-------------	------------------

Tabla para evaluar el ahorro generado después de la implementación TPM.

Para realizar el análisis beneficio/ costo se considerarán los siguientes parámetros:

- **Ahorro generado (Beneficio):** Aumento de la producción por disminución de tiempo de paradas de planta.
- **Costo de la implementación:** Costo total para realizar la implementación de los ocho pilares TPM.

- **Contra Beneficio (CB):** Oportunidad de inversión tomando con referencia la tasa de inversión en un fondo de inversión bancario o un interés a plazo fijo determinado.

Los criterios para tomar la decisión de la inversión ante el resultado de la razón B/C son:

B/C > 1 indica que los beneficios superan a los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

B/C=1 indica que no hay ganancias ya que los beneficios son iguales a los costes.

B/C < 1 indica que los costes son mayores que los beneficios, por consiguiente, el proyecto no debe ser considerado.

Para el cálculo B/C, se empleará la siguiente fórmula:

Ecuación 6: Cálculo Beneficio/ Costo

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio- contrabeneficio}}{\text{Costo}}$$

2.3 Matriz de consistencia

En la tabla 9 se presenta la matriz de consistencia del trabajo de investigación.

Tabla 9
Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título	Formulación del problema	Objetivos	Variables	Indicadores	Diseño de la investigación
Implementación de la metodología TPM para disminuir los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.	¿ En que medida la implementación de la metodología TPM disminuirá los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal?	<p>Objetivo General:</p> <p>Implementar la metodología TPM para disminuir los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar un diagnóstico situacional de los tiempos de parada de planta por mantenimiento de los equipos críticos, así como los indicadores de la metodología TPM en una planta de cal. • Diseñar los pilares TPM aplicables en función al diagnóstico realizado. • Implementación y desarrollo de la metodología TPM. • Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM y los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal. • Realizar el análisis económico de la implementación del TPM en los equipos críticos en una planta de cal. 	Implementación de la metodología TPM	<p>Disponibilidad</p> <p>Rendimiento</p> <p>Calidad</p> <p>Eficiencia Global</p> <p>Tiempo medio para reparar el equipo. (MTTR)</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicada, correlacional, cuantitativa y pre experimental.</p> <p>Materiales</p> <p>Laptop, hojas bond, lapiceros, impresora, casco, zapatos, lentes, respirador, orejeras de seguridad.</p> <p>Instrumentos</p> <p>Técnica: Revisión documental/ Instrumento: Ficha resumen.</p> <p>Técnica: Observación/ Instrumento: Guía de Observación.</p> <p>Métodos</p> <p>Metodología TPM, ocho pilares aplicables : mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, planificado, de calidad, inicial, áreas administrativas, educación y capacitación, seguridad y medio ambiente.</p>

Matriz de consistencia expresando principales puntos de la investigación.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1 Diagnóstico situacional del área de estudio.

3.1.1 Diagnóstico situacional de los tiempos de paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos

3.1.1.1 Proceso de producción de la planta de cal



Figura 7: Proceso de producción de la planta de cal. El proceso de producción de cal comienza con el chancado de la piedra caliza, selección y acumulación de ésta en la línea de carga, posteriormente se procesa en el horno a una temperatura de 1200 C° por un tiempo de 16 horas, obteniendo cal pura con una Ley de 80%. Finalmente pasa a línea de molienda y almacenamiento de cal par proceder a la zona de despacho.

3.1.1.2 Análisis de criticidad de los equipos en una planta de cal.

La planta de cal esta conformada por los siguientes equipos, que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Equipos de la planta de cal.

Equipos	Cantidad
1. Elevador de Cangilones.	3
2. Apront feder.	1
3. Crisly.	1
4. Chancadora.	1
5. Bombas centrífugas.	5
6. Bombas de desplazamiento positivo.	30
7. Skip- Elevador de carga.	1
8. Fajas transportadoras.	12
9. Zarandas.	3
10. Molino de martillo.	2
11. Tornillo transportador de carga.	5
12. Hornos	2
13. Correctores de polvo.	2
Total	68

En la tabla se muestran los equipos que conforman la planta de cal.

Se ha establecido los criterios para la categorización de manera específica de los equipos en la planta de cal. La manera de compararlo será por la cantidad de tonelaje de cal que se deja de producir mientras dura la reparación.

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad se realizará en base a la evaluación por factores, considerándose pérdida de disponibilidad, pérdida de producción, seguridad e impacto ambiental.

La importancia esta relacionada con la ponderación 0.5, 0.4 y 0.1.

El análisis de criticidad se muestra en la tabla 11.

Tabla 11
Análisis de criticidad

EQUIPOS CONSIDERADOS PARA ANÁLISIS							
	Pérdida de disponibilidad	Importancia	Pérdida de producción	Importancia	Seguridad e Impacto ambiental	Importancia	PUNTAJE DE CRITICIDAD PONDERADO
Elevador de cangilones.	5	0.5	5	0.4	1	0.1	4.6
Apront feder.	3	0.5	1	0.4	1	0.1	2
Crisly.	1	0.5	1	0.4	1	0.1	1
Chancadora.	3	0.5	1	0.4	1	0.1	2
Bombas centrífugas.	1	0.5	1	0.4	1	0.1	1
Bombas de desplazamiento positivo.	1	0.5	1	0.4	1	0.1	1
Skip - Elevador de carga.	3	0.5	1	0.4	1	0.1	2
Faja transportadora.	5	0.5	3	0.4	1	0.1	3.8
Zaranda.	2	0.5	1	0.4	1	0.1	1.5
Molino de martillos.	2	0.5	1	0.4	1	0.1	1.5
Tornillo transportador de carga.	3	0.5	1	0.4	1	0.1	2
Hornos.	3	0.5	1	0.4	1	0.1	2
Colectores de polvo.	2	0.5	3	0.4	1	0.1	2.3

En la tabla se muestra en análisis de criticidad de los equipos de la planta de cal.

Después de realizar el análisis de criticidad, para el trabajo de investigación se consideran como equipos críticos los siguientes:

- Elevador de cangilones con un puntaje de 4.6
- Faja transportadora con un puntaje de 3.8

Estos equipos causan pérdida de disponibilidad y pérdida de producción, la seguridad e impacto ambiental no son significativos, ya que existen los controles adecuados.

3.1.1.3 Diagnóstico del tiempo de parada de planta en base al MTTR de fallas de equipos críticos

En base al histórico de fallas de los equipos considerados como críticos, se evaluó el MTTR y se determinó que las paradas de planta de mayor duración son por falla de canastilla, rodillos y soltura de rodamientos como se puede ver en la tabla 12.

Tabla 12
Fallas en los equipos críticos

FALLA	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	# de Paradas	MTTR	MTTR TOTAL
Rotura de sello de laberinto.			1						1				2	04:00:00	08:00:00
Temperatura alta de rodamientos.					1							1	2	20:00:00	40:00:00
Falla de canastilla de rodamiento.	1						1						2	30:00:00	60:00:00
Falla de rodillos de rodamiento.	1					1							2	30:00:00	60:00:00
Soltura de rodamientos.	1		1		1		1		1		1		6	30:00:00	180:00:00
Rotura de eje.								1					1	60:00:00	60:00:00
Desgaste de alojamiento.	1							1					2	08:00:00	16:00:00
Rotura de alojamiento.						1					1		2	08:00:00	16:00:00
Rotura de engranajes.						1							1	20:00:00	20:00:00
Falla en alta vibración.					1						1		2	20:00:00	40:00:00
Desalineamiento.				1						1			2	04:00:00	08:00:00
Eventos totales	4	0	2	1	3	3	2	2	2	1	2	1	23	234:00:00	508:00:00

En la tabla se muestran las fallas en los equipos críticos.

En la tabla 13, presentamos el estándar de mantenimiento para equipos del área de quemado de caliza establecido por la empresa, donde se expresa las horas máximas permitidas por falla leve, moderada y grave.

Tabla 13
Estándares de mantenimiento para equipos en el área de quemado de caliza

Estándares de mantenimiento correctivo para el área de quemado de caliza (Horno)						
Críticos	Horas Máx permitidas / Tipo de falla					
	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Elevador de cangilones	Inspección y ajustes	2	Desatoro	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
Fajas transportadoras	Alineamiento	2	Rotura de fajas	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
No críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Bombas	Fuga de combustible	2	Rotura de sello	5	No bombea	5
Compuertas	Fuga de gases	2	Rotura de empaque	5	Falla de sensor	5

En la tabla se muestran las horas máximas permitidas para el mantenimiento.

Después de analizar la tabla 9 y 10, determinamos que el tiempo de parada de planta por falla de canastilla, rodillos y soltura de rodamientos es prologanda en comparación con las horas máximas permitidas como se muestra en la figura 8.

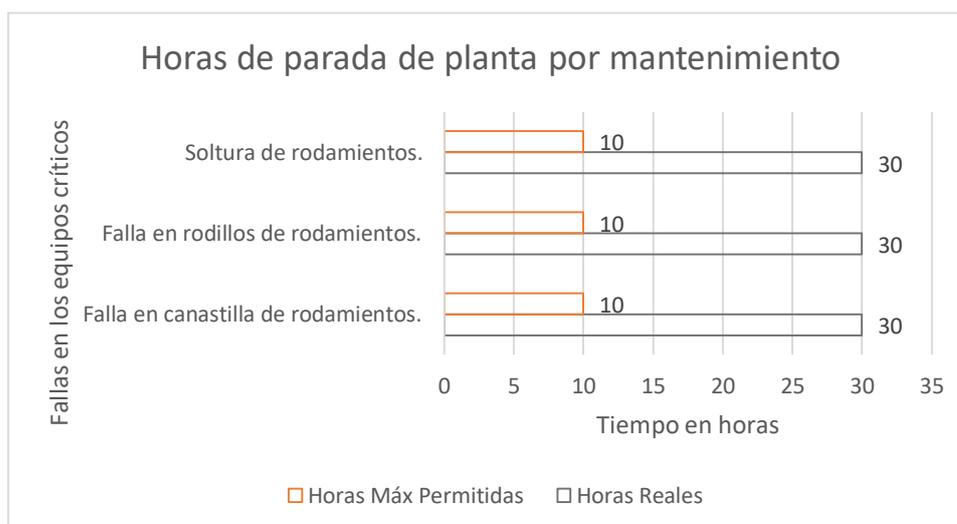


Figura 8: Horas de parada de planta por mantenimiento.

3.1.1.4 Diagnóstico de la parada prolongada de planta por cambio de rodamiento

En la figura 9 mediante el diagrama de Ishikawa, se detallan las causas del exceso de tiempos de parada por cambio de rodamiento.

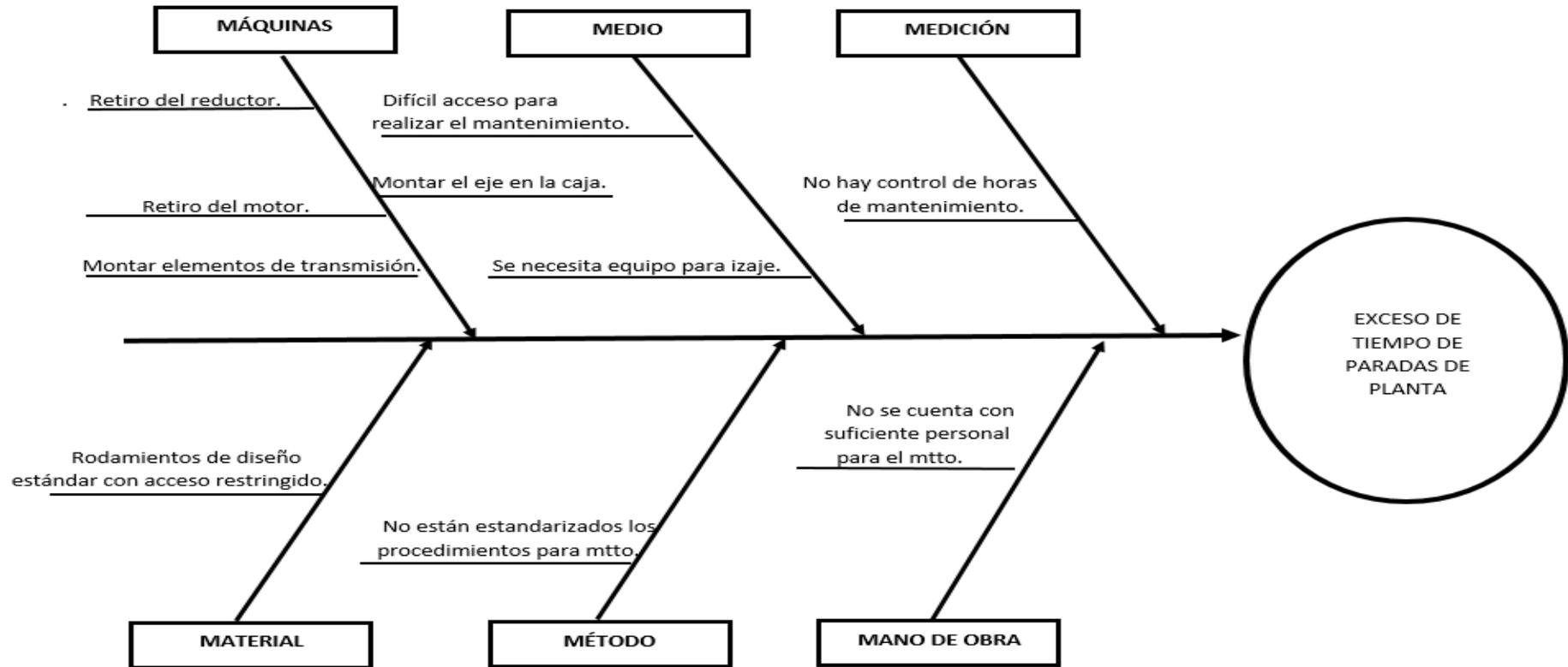


Figura 9: Diagnóstico de la parada prolongada de planta por cambio de rodamiento a causa de fallas de canastilla, rodillos y soltura.

Seguidamente analizaremos las 6M relacionadas directamente con la parada prolongada de planta por falla de rodamientos.

- **Máquina**

Como se puede apreciar en la figura 10, el área es de difícil acceso y requiere retirar motor y reductor, éste aumenta el tiempo de mantenimiento o parada de planta con el riesgo de golpear y romper el reductor, riesgo de derrame de aceite, tiempo en desconexión de motor y aumento de mano de obra a 2 electricistas.



Figura 10: Ubicación del reductor y motor en el elevador de cangilones. Éste alimenta al horno con caliza, su altura aproximada es de 25 m.

- **Medición**

No se cumplen los estándares de horas establecidas para el mantenimiento de equipos críticos, según las políticas de la empresa.

- Medio

Como se puede apreciar en la figura 11 y 12, se necesita alquilar una grúa acorde a los estándares de altura y tonelaje. Generando un costo adicional, utilización de recursos para gestionar el traslado al punto de izaje y tiempo extra de trabajo.



Figura 11: Equipo de izaje necesario para el montaje de reductor y motor. La grúa debe tener un alcance de 30 mts de longitud.

Capacidades específicas del levantamiento (en Kilos)
Pluma de 10,4 m - 31,7 m
Sobre los estabilizadores completamente extendidos - 360°

Radio en Metros	# 0001 o # 01									# 0002 o # 02
	Largo en metros de la pluma principal (con el tramo manual retraído)									Tramo manual Ext y 24,7 m
	10,4	11,6	13,4	15,2	17,1	18,9	20,7	22,6	24,7	31,7
3,05	40.823 (63,5)	33.452 (67)	31.729 (70,5)	30.935 (73)	28.735 (75)					Ver la nota 17
3,66	34.019 (60)	33.452 (63,5)	30.255 (67,5)	27.941 (70,5)	25.923 (73)	24.381 (75)				
4,57	28.123 (53,5)	28.123 (58,5)	26.331 (63,5)	24.494 (67)	23.133 (70)	21.160 (72)	19.890 (74)	18.529 (75,5)		
6,10	21.455 (42)	21.455 (49)	21.455 (55,5)	19.935 (60,5)	18.393 (64)	17.237 (67)	16.193 (69,5)	15.014 (71,5)	13.608 (74)	
7,62	16.329 (26)	16.329 (37,5)	16.329 (47)	16.329 (53,5)	15.445 (58)	14.424 (62)	13.562 (65)	12.519 (67)	11.431 (70)	9.888 (75,5)
9,14		13.154 (21,5)	13.154 (37)	13.154 (46)	13.154 (52)	12.292 (56,5)	11.612 (60)	10.659 (63)	9.752 (66)	8.528 (72,5)
10,67	Ver la nota 16		10.795 (23,5)	10.795 (37)	10.795 (45)	10.659 (50,5)	10.092 (55)	9.231 (58,5)	8.459 (62)	7.439 (69,5)
12,19				8.709 (25,5)	8.709 (37)	8.709 (44)	8.709 (49,5)	8.074 (53,5)	7.348 (58)	6.577 (66,5)
13,72					7.212 (26,5)	7.212 (36,5)	7.212 (43,5)	7.144 (48,5)	6.464 (53,5)	5.783 (63,5)
15,24					5.965 (8)	5.965 (27,5)	5.965 (36,5)	5.965 (43)	5.715 (48,5)	5.126 (60,5)
16,76						5.080 (13)	5.080 (28,5)	5.080 (36,5)	5.080 (43,5)	4.536 (57)
18,29							4.336 (16,5)	4.336 (29)	4.336 (37,5)	4.110 (53,5)
19,81								3.629 (19)	3.629 (31)	3.697 (42)
21,34									3.025 (22,5)	3.338 (46)
22,86										4.021 (42)
24,38										2.740 (37)

Figura 12: Estándares de carga en base a altura y radio de alcance. En la figura podemos encontrar que de acuerdo a nuestro diagnóstico necesitaremos una grúa de capacidad 40 TN, con un funcionamiento del 33%.

- Material

En la figura 13 se muestra que los rodamientos son de diseño estándar, éstos requieren retirar todo el sistema para realizar el cambio.



Figura 13: Rodamiento estándar. Para realizar el mantenimiento se tiene que desacoplar reductor, motor y chumacera; lo que genera mayor tiempo de parada de planta.

- Métodos.

En la figura 14 se puede apreciar que los métodos para realizar este mantenimiento no están estandarizados, no existen procedimientos.



Figura 14: Personal elaborando y desacoplando componentes sin procedimiento estándar.

- Mano de obra

En la figura 15 se evidencia que la parada de planta por cambio de rodamientos requiere mayor cantidad de mano de obra entre ellos, 1 gruero, 1 rigger, 1 ventero, 2 mecánicos, 2 electricistas, 1 prevencionista.



Figura 15: Personal requerido para realizar el cambio de rodamiento.

3.1.1.5 Diagnóstico de la causa raíz de parada de planta por cambio de rodamientos.

Después de identificarse las causas de las paradas de planta por cambio de rodamientos se diagnosticó la causa raíz. En la tabla 14, se identificó la causa raíz en las 6M, que involucra la necesidad del equipo de izaje, el retiro del reductor, retiro del motor, montaje del motor, rodamientos estándar de rodillos oscilantes con agujero cónico, difícil acceso para realizar el mantenimiento, procedimientos no estandarizados y que no se cuenta con suficiente personal para el mantenimiento. Finalmente se diagnosticó que la causa raíz que origina la parada de planta es el material, relacionado directamente con el diseño del rodamiento, ya que para su retiro requiere desmontaje que involucra todas las causas estudiadas.

Tabla 14

Causa raíz de la parada prolongada de planta por cambio de rodamiento

6M	Causas	Causa raíz (6M)
Medio	Se necesita equipo para izaje.	Máquina
Medición	No existen controles de medición.	Material/Componente
Máquina	Retiro del reductor. Retiro del motor y montaje. Montar elementos de transmisión. Montar el eje en la caja.	Material/ Diseño Material/ Diseño Material/ Diseño Material/ Diseño
Material	Rodamientos de diseño estándar de rodillos oscilantes.	Material/ Diseño
Método	Difícil acceso para realizar el mantenimiento. No están definidos procedimientos estándares para mtto.	Máquina Máquina
Mano de obra	No se cuenta con suficiente personal para el mtto.	Método

En la tabla se muestra la causa raíz de parada de planta generadas por cambio de rodamiento.

Luego de ordenar las causas de las paradas prolongadas de planta por cambio de rodamientos se construyó el Diagrama de Pareto, en la figura 16 se verifica que efectivamente la causa raíz de las paradas prolongadas de planta se basan en el diseño actual del rodamiento.

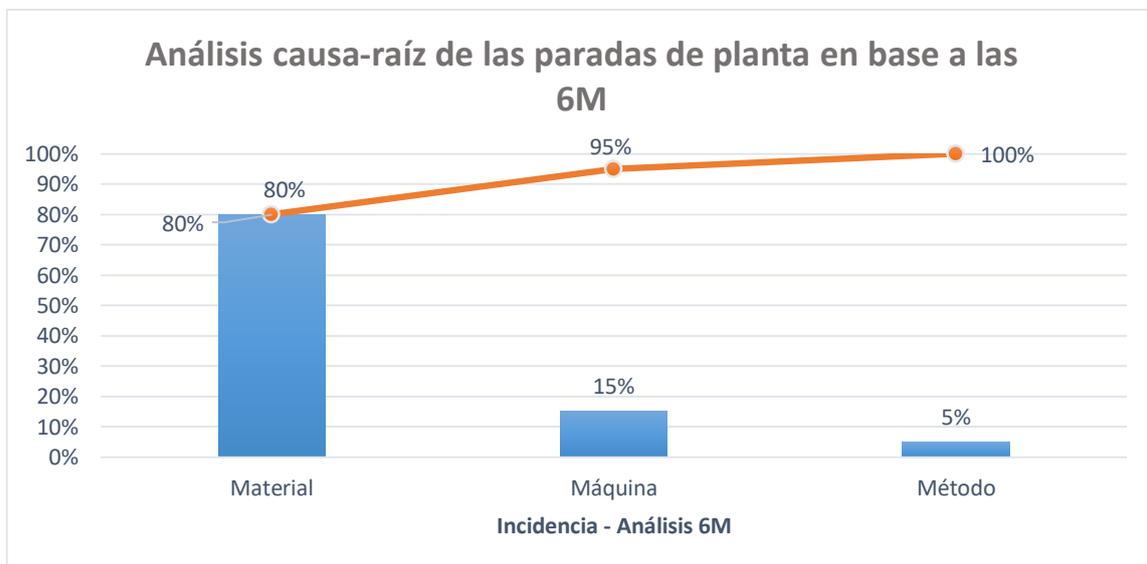


Figura 16: Diagrama de Pareto – Análisis de causa raíz de las paradas prolongadas de planta en base al análisis de las 6M.

3.1.2 Diagnóstico de la eficiencia global (OEE) de los equipos críticos

El diagnóstico de la eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal, se calcularán en base producción, calidad y disponibilidad generadas por las paradas prolongadas de planta, en comparación con los valores teóricos establecidos por la empresa.

- Disponibilidad de los equipos críticos

La disponibilidad máxima establecida por el área de mantenimiento de la empresa para la planta es de 95%, por ello se analizó la disponibilidad de los equipos críticos - elevador de cangilones y fajas antes de la mejora desde enero hasta diciembre del 2018, los resultados se muestran en la tabla 15.

Tabla 15
Historial de horas de parada de equipos críticos

Historial de horas de parada por distintas fallas	
Equipo - Elevador y fajas	MTTR Total en horas - Enero a Diciembre 2018
Rotura de sello de laberinto.	08:00:00
Temperatura alta de rodamientos.	40:00:00
Falla de canastilla de rodamiento.	60:00:00
Falla de rodillos de rodamiento.	60:00:00
Soltura de rodamientos.	180:00:00
Rotura de eje.	60:00:00
Desgaste de alojamiento.	16:00:00
Rotura de alojamiento.	16:00:00
Rotura de engranajes.	20:00:00
Falla en alta vibración.	40:00:00
Desalineamiento.	08:00:00
Horas de eventos totales	508:00:00
Horas de trabajo/ día	24
Total horas/ año	8760
Disponibilidad operativa	94%

La disponibilidad ha sido calculada en el total de los equipos de planta del periodo de enero a diciembre 2018.

- **Rendimiento**

El rendimiento ha sido calculado en base a lo que se deja de producir por paradas prolongadas de planta, para la empresa el margen de producción con mantenimientos debe estar al 95%, el análisis se muestra en la tabla 16.

Tabla 16

Pérdida de producción por paradas de planta no programadas

Producción de cal		
Producción/hora	6	Ton/Hora
Producción/día	72	Ton/Día
Producción/Año 100%	52560	Ton/Año
Producción estimada al 95% con mantenimiento	49932	Ton/Año
Producción		
Total Horas perdidas/ equipos críticos	508	Horas
Pérdida de producción de caliza	3048	Ton/Año
Pérdida de producción de cal	1270	Ton/Año
Producción actual con paradas de mantenimiento no programadas	48662	Ton/Año
Producción	93%	

El rendimiento ha sido calculado en base a la producción perdida por parada de planta no programadas de enero a diciembre 2018.

- **Calidad**

La calidad será calculada en base a la cantidad de cal mal quemada que se produce en una parada prolongada por reinicio del horno, esta cal es de baja Ley y fuera de los estándares de la calidad establecidos, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17
Calidad- Producción de cal de mala Ley.

Historial de horas de parada por distintas fallas		
Equipo	Horas anuales perdidas	
Elevador de cangilones y fajas.	508	
Producción de mala Ley		
Consecuencia	Horas anuales perdidas	
Reinicio Horno	160	
Producción actual con paradas de mantenimiento no programadas		
Producción total	48662	Ton/Año
Producción Mala Ley	400	Ton/Año
Calidad	99%	

La calidad ha sido calculada en base a la producción de cal de mala Ley generanda por reinicio de horno en parada de planta no programadas de enero a diciembre 2018.

- Eficiencia global de los equipos críticos de la planta

En la tabla 18 se muestra la eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal (Elevador de cangilones y fajas) calculados en base a los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad, obteniendo una OEE de 86.54%, siendo el estándar de OEE de la empresa 90%, indicando que debe realizare una mejorasiendo el estándar de OEE de la empresa 90%, indicando que debe realizare una mejora.

Tabla 18
Cálculo de la eficiencia global de los equipos críticos de una planta de cal

Periodo	Disponibilidad (%)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	OEE (%)
Enero-Diciembre 2018	94	93	99	86.54

La eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal ha sido calculada en base a disponibilidad, rendimiento y calidad de enero a diciembre 2018.

3.1.3 Resumen inicial de la operacionalización de variables

En la tabla 19 se muestra el resumen inicial de la operacionalización de variables .

Tabla 19
Resumen inicial de la operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO ACTUAL	INDICADOR ESTÁNDAR	ANÁLISIS	CONSECUENCIA	CAUSA PRINCIPAL	CAUSA RAÍZ
Variable Independiente: Implementación de la metodología TPM	Eficiencia Global	Disponibilidad	94%	95%	Paradas no programadas por mantenimiento en equipos críticos.	Tiempo prolongado de parada de planta	Cambio de rodamiento (Falla de canastilla, rodillos y soldadura)	Diseño del rodamiento estándar.
		Rendimiento	93%	95%	Toneladas de cal que se deja de producir por paradas prolongadas de planta por mantenimiento.			
		Calidad	99%	95%	Producción de cal de baja Ley por reinicio de arranque del horno.			
		OEE	86.54%	90%	El cambio de rodamientos de diseño estándar generan paradas prolongadas de planta no programadas, afectando la eficiencia general de la planta de cal.			
Variable Dependiente: Tiempos de paradas por mantenimiento de equipos críticos	Tiempo de paradas de planta	MTTR Total de paradas de planta por mantenimiento de equipos críticos.	508 horas	5% de Horas Totales = 438 h	Las horas de parada de planta están fuera del límite estándar permitido.			

Resumen de la eficiencia global y paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos en la planta de cal de enero a diciembre 2018.

3.2 Diseño e implementación de los pilares TPM aplicables en función al diagnóstico realizado.

3.2.1 Pilares TPM aplicables

De acuerdo a los resultados del diagnóstico mostrados en la tabla 20 se determinó que la causa raíz que origina el mayor tiempo de paradas por mantenimiento es el diseño del rodamiento estándar, afectando así, en la disminución de la eficiencia operacional de la planta; para ello se planteó una propuesta de solución tomando en cuenta la revisión de literatura y las apreciaciones del supervisor de mantenimiento en base a su amplia experiencia laboral.

- Cambiar el diseño del rodamiento estándar a rodamientos bipartidos

El diseño actual del rodamiento es estándar, lo que genera que, al realizar el cambio, se requiera desmontar motor- reductor y por ende todas las causas expresadas en las 6M, generando así paradas prolongadas de planta.

Investigando en el mercado de rodamientos, se contactó con la empresa Shaeffler Group de la marca FAC, ellos proponen un mejor diseño que tiene las mismas características en fuerza, resistencia, material, etc. Los rodamientos FAC que proponen son bipartidos, expresando que se utilizan en otros procesos similares con buenos resultados y se comprobó en minera Cerro Verde, Shouthern Peru, Antapaccay, Barrick, Cementos Pacasmayo entre otros.

Para definir el pilar del TPM se contrasta la mejora con el objetivo del pilar.

Tabla 20

Pilares aplicables en la mejora.

Pilares TPM	Objetivo	¿Resuelve la problemática identificada? (Sí/No)
Mejoras enfocadas	Identificar los objetivos de mejora y realizar las acciones individuales y en grupo para eliminar las principales pérdidas.	Sí aplica, ya que el cambio de rodamiento reduce el tiempo de paradas.
Mantenimiento autónomo	Concientización y capacitación del operador para cuidar adecuadamente del equipo mediante operaciones correctas, limpiezas, lubricación e inspecciones.	Sí aplica, porque ayuda a identificar las fallas previniendo daños a otros componentes.
Mantenimiento planificado	Maximizar la disponibilidad operacional del equipo o de la planta.	Sí aplica, ya que el mantenimiento planificado permite ejecutar acciones preventivas antes de que el equipo falle.
Mantenimiento de calidad	Influye directamente en el OEE, considera acciones preventivas para obtener un proceso y equipo sin defectos o fallas.	Sí aplica, ya que el diseño del rodamiento estándar afecta en la parada de planta y por ende en la cal de baja Ley.
Mantenimiento inicial	Identificar y prevenir problemas potenciales que una empresa puede encontrar cuando se va a comprar, instalar y poner en marcha una máquina o proceso, o cuando una empresa está planificando la introducción de un nuevo producto al mercado.	Sí aplica, ya que se tiene que estructurar un mantenimiento para el nuevo componente insertado (Rodamientos bipartidos).
Mantenimiento en áreas administrativas	Eliminar las pérdidas en los procesos administrativos y aumentar la eficiencia.	Sí aplica, ya que impacta en el área de logística con el cambio de pedidos de componentes y del área de contabilidad ya que va a variar el costo de los componentes.
Educación y Capacitación	Adiestramiento y concientización a todos los profesionales involucrados en el TPM y en sus diversas fases.	Si aplica, ya que si se capacita al personal, en caso de emergencia los operadores podrían realizar el cambio del rodamiento.
Seguridad y medio ambiente	El propósito de este pilar consiste en crear un sistema de gestión integrado de seguridad, salud y medio ambiente, que preserve la integridad de todos involucrados en el proceso del mantenimiento.	Si aplica, se busca implementar y realizar actividades del TPM sin reportes de seguridad, salud ocupacional ni medio ambientales.

Resumen de la elección de los pilares aplicables a la mejora

3.2.2 Diseño de los pilares TPM aplicables

3.2.2.1 Mejoras enfocadas

En base al diagnóstico realizado anteriormente, se pudo definir que la mejora enfocada de la planta consiste netamente en el cambio de rodamientos estándar oscilantes por rodamientos bipartidos, con las siguientes características:

- Fácil sustitución; en la figura 17 se puede observar los rodamientos bipartidos oscilantes de rodillos (arriba) necesitan el mismo espacio de montaje que los no partidos.

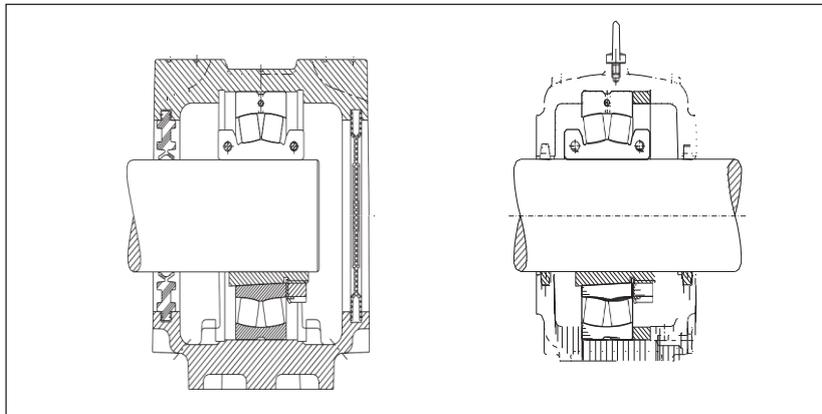


Figura 17: Vista de rodamientos bipartidos ángulo superior.

- En la figura 18 se puede observar que son fáciles y rápido en montar, inspeccionar - rodamiento bipartido FAG oscilante de rodillos antes de montarlo en un soporte SNV.



Figura 18: Vista de rodamientos bipartidos vista general.

- En la figura 19 se puede apreciar el diseño interno del rodamiento, este diseño estándar de los rodamientos partidos oscilantes de rodillos, en los que los aros retenedores están integrados en los aros interiores.

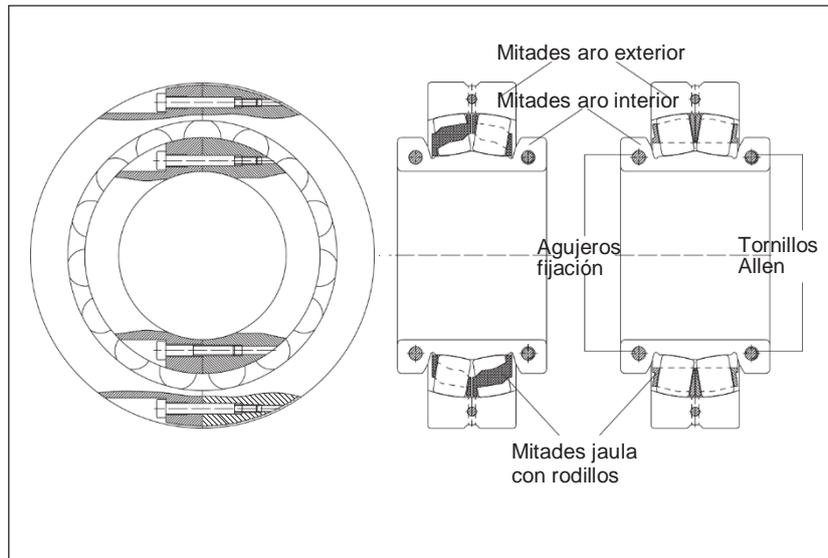


Figura 19: Diseño interior del rodamiento bipartido.

3.2.2.2 Mantenimiento autónomo

Para la empresa es indispensable que se apoye en la jefatura de mantenimiento, ya que la eficiencia global es 86.54%; 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 el siguiente procedimiento.

METODOLOGÍA TPM	
Procedimiento para el mantenimiento autónomo	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1

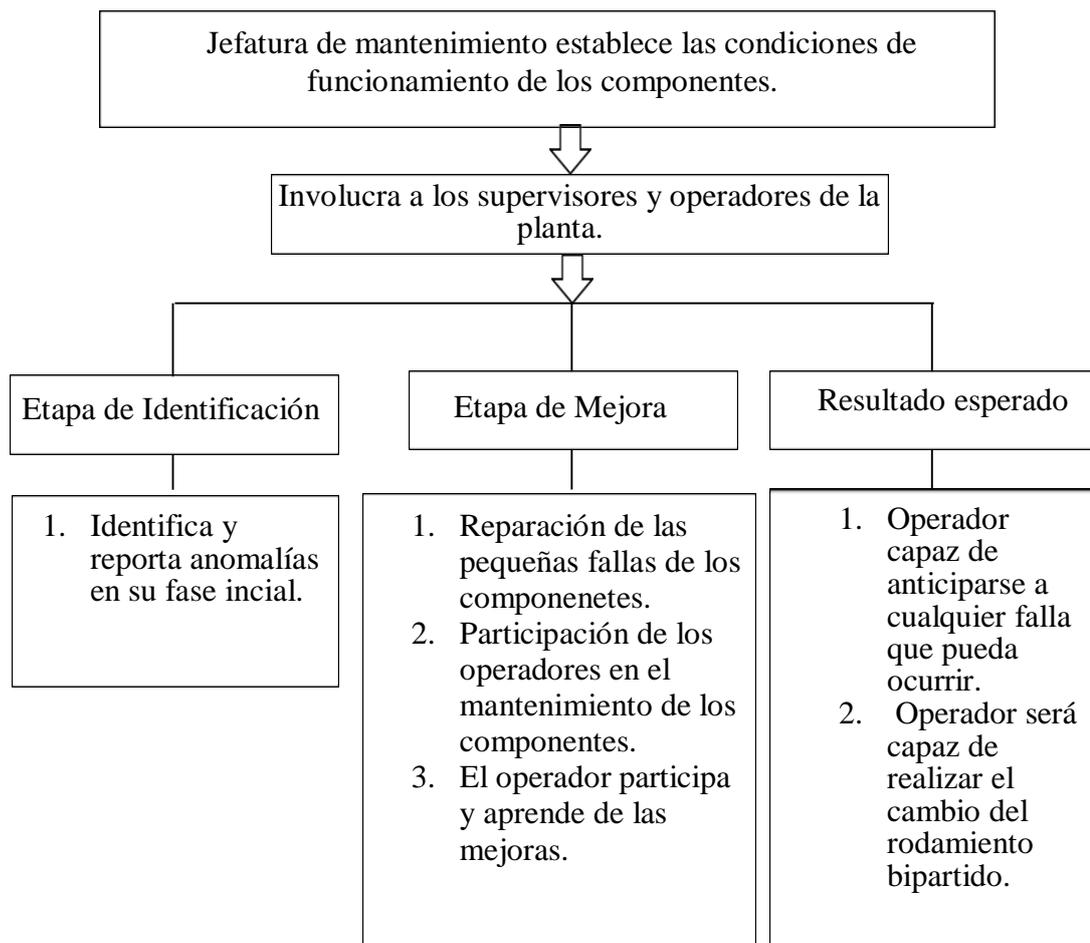
Objetivo.

Establecer el procedimiento para definir las tareas que se realizarán en el mantenimiento autónomo.

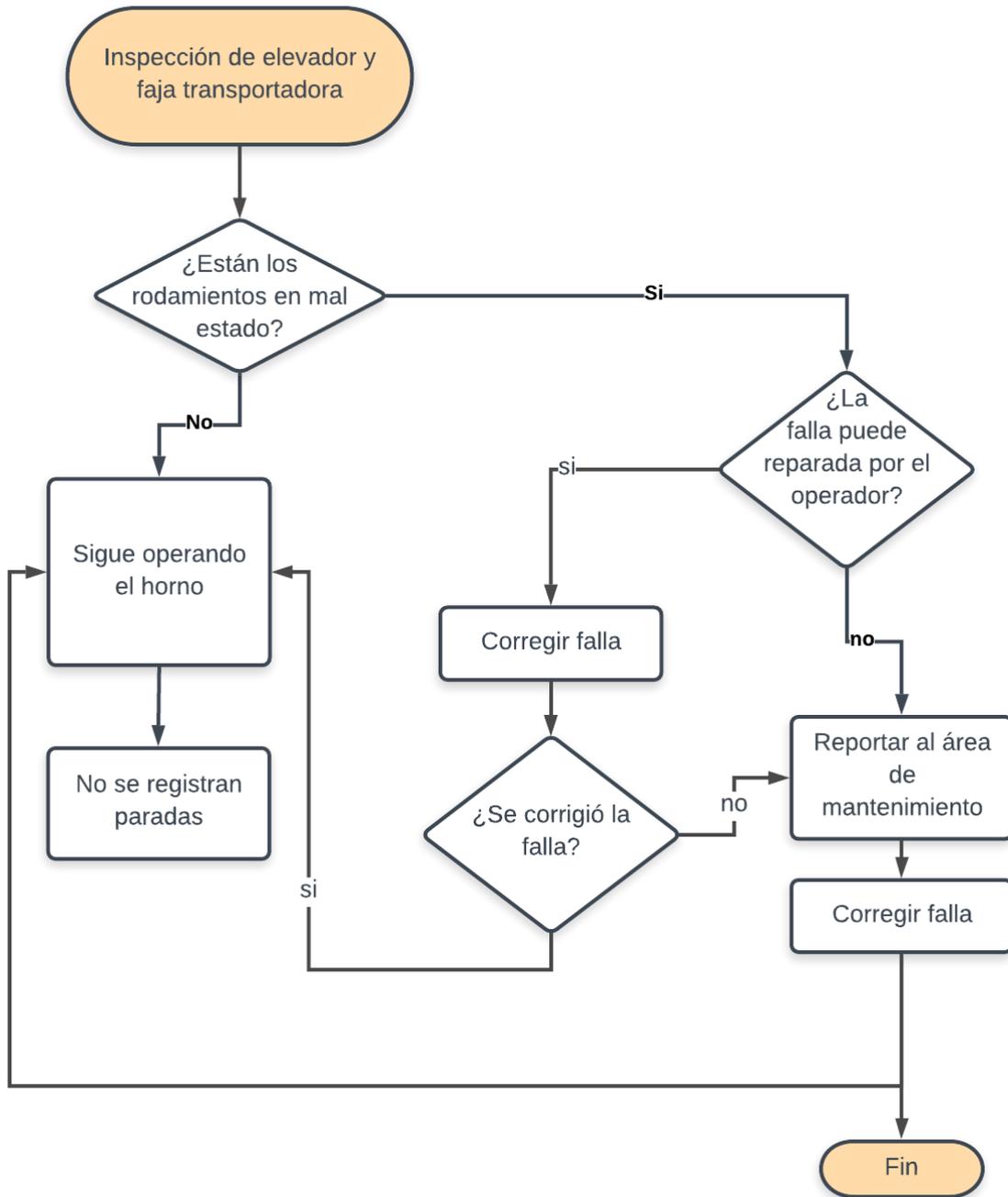
Alcance.

El siguiente procedimiento es aplicable para todos los operadores de la planta de cal.

1. Estructura del mantenimiento autónomo

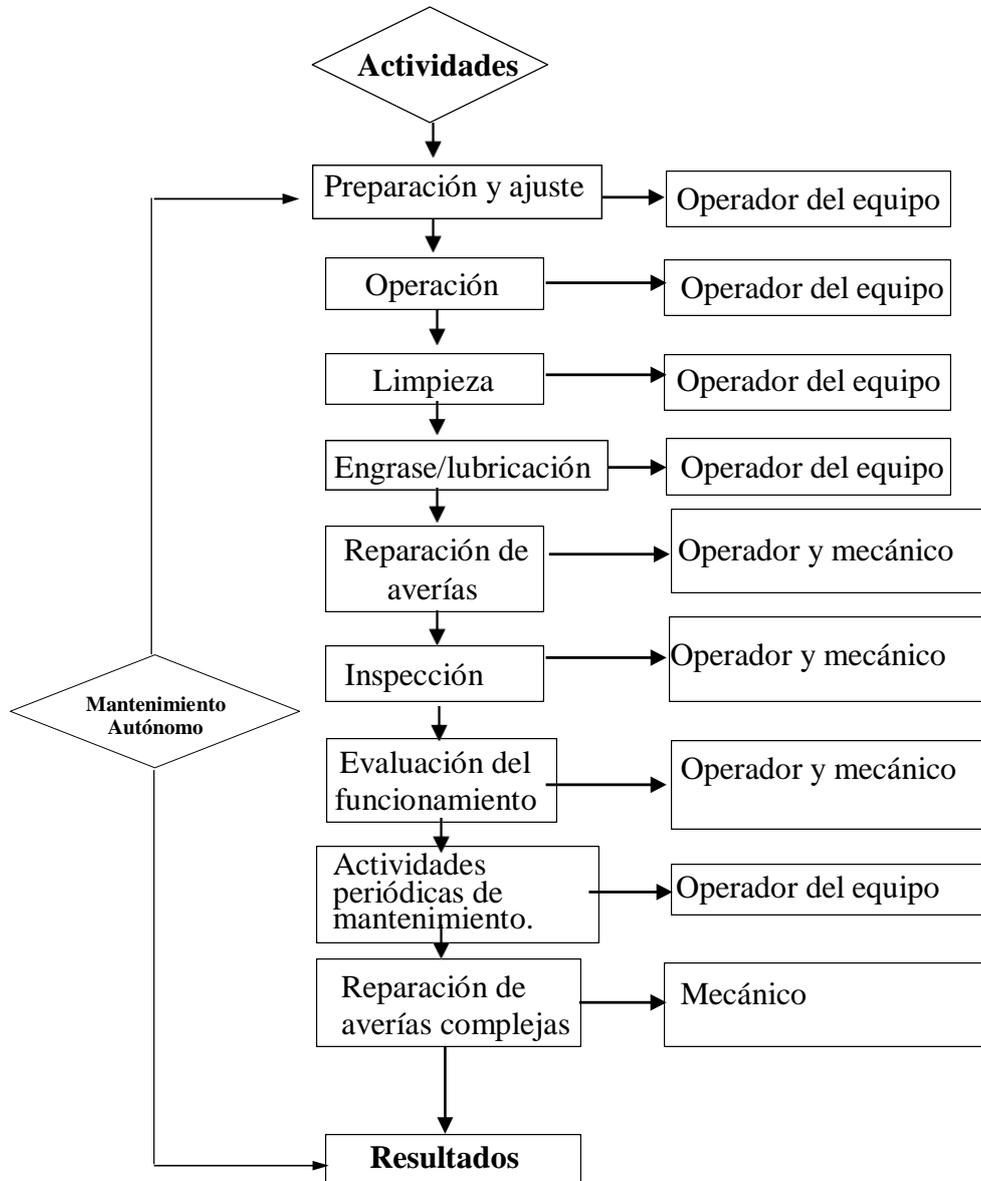


1. Flujograma de ejecución del mantenimiento autónomo



El flujograma para realizar el mantenimiento autónomo, se basa en la inspección del operador para poder definir si puede corregir una falla o derivarla al área de mantenimiento para no afectar con la operatividad de la planta.

2. Actividades y responsabilidades del mantenimiento autónomo de componentes.



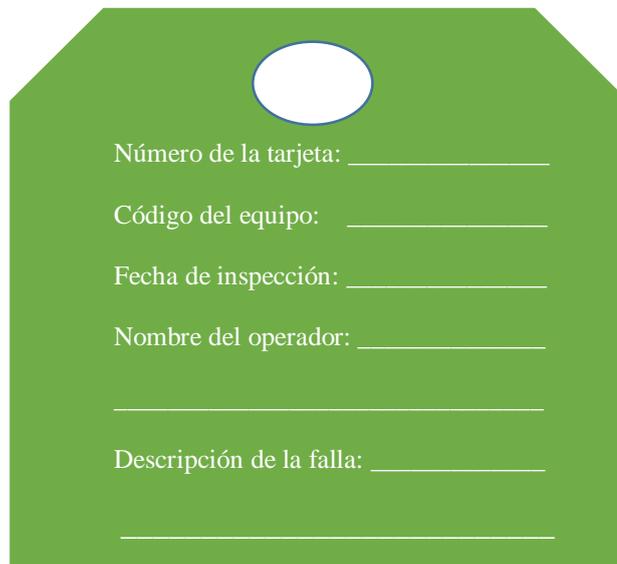
Las actividades del mantenimiento autónomo consistirán en una serie de actividades que garantizan que el operador realice un adecuado inspección y verificación, emitiendo reportes de fallas en su etapa inicial para reparar el equipo o asegurar que el mecánico ponga en marcha el equipo para no afectar el proceso operativo.

3. Secuencia del mantenimiento autónomo

Planta de Cal			
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
	Ajuste de pernos de chumaceras.	Operador	No efectúa
	Operación: controla los parámetros de temperatura y vibración de los rodamientos bipartidos.	Operador	No efectúa
	Limpieza: verifica que su equipo se encuentre limpio, con cero fugas (grasa, solución, etc)	Operador	No efectúa
	Engrase y lubricación: mantener los niveles correctos del equipo.	Operador	No efectúa
Mantenimiento autónomo	Reparación de averías simples: asegurar las guardas de protección, cambio de rodamiento bipartido.	Operador	Mecánico
	Inspección del equipo: inspecciona el equipo; flujo, temperatura y presiones de acuerdo al manual del equipo, se realiza conjuntamente con los operadores y mecánicos.	Operador	Mecánico
	Evaluación del funcionamiento: contrasta los valores medidos con los parámetros operativos de diseño.	Operador	Mecánico
	Actividades periódicas de mantenimiento: inspecciona el funcionamiento del equipo semanalmente.	Operador	Mecánico
	Cambio de rodamientos bipartidos con rotura de ejes	No aplica	Mecánico

4. Etiquetado para reparación de falla

El método de etiquetado, servirá para identificar quien será el encargado de realizar la reparación de la falla, se utilizarán tarjetas verdes y rojas, que tienen por finalidad identificar el tipo de falla que puede resolver el operario como parte del mantenimiento autónomo y fallas complejas que resueltas por el mecánico especialista.



A green maintenance tag with a white circular hole at the top. The tag contains the following text and lines for input:

Número de la tarjeta: _____

Código del equipo: _____

Fecha de inspección: _____

Nombre del operador: _____

Descripción de la falla: _____

Tarjeta verde para fallas simples, que puede resolver el operador.



A red maintenance tag with a white circular hole at the top. The tag contains the following text and lines for input:

Número de la tarjeta: _____

Código del equipo: _____

Fecha de inspección: _____

Nombre del operador: _____

Descripción de la falla: _____

Tarjeta roja para fallas complejas, para ser resueltas por mecánico.

5. Consideraciones de orden y limpieza

Dentro del mantenimiento autónomo se consideró el orden y limpieza en el punto de operación.

Ficha de Inspección de Orden y Limpieza																					
Fecha:		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 libres y correctamente ordenados																					
Mantiene ordenadas sus herramientas																					
Los pisos están limpios, secos y sin desperdicios																					
Hay libertad de tránsito sin obstáculos																					

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.2.3 Mantenimiento Planificado

	METODOLOGÍA TPM	
	Procedimiento para el mantenimiento planificado	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1

Objetivo.

Establecer el procedimiento para definir las tareas que se realizarán en el mantenimiento planificado.

Alcance.

El siguiente procedimiento es aplicable para todos los operadores de la planta de cal.

1. Responsabilidades en el mantenimiento planificado.

- Es responsabilidad del planer programar las tareas de acuerdo al plan anual de mantenimiento y solicitar repuestos de acuerdo a las necesidades del equipo.
- La responsabilidad del supervisor es hacer que se cumplan los programas de mantenimiento, verificando el cumplimiento del mismo y registrarlos.
- El mecánico tiene por responsabilidad cumplir con el programa de mantenimiento asignado, registrar la reparación de equipo y hacer la entrega formal al supervisor de operaciones mediante el formato EF-001-2019.
- La responsabilidad del operario será realizar actividades de inspección y reportarlas mediante las tarjetas verdes y rojas, de acuerdo al nivel de fallas simples o complejas.

2. Plan de mantenimiento planificado

Actividad	Condición de equipos para realizar mantenimiento		Frecuencia	Duración de la actividad(Min)	Responsable de la actividad
	Encendido	Apagado			
Rellenado de grasa en para rodamientos	x		Quincenal	40	Operador
Insp. y/o cambio de eje polea motriz	x		Quincenal	20	Operador
Cambio de sellos de chumaceras		x	Quincenal	150	Mecánico
Insp. y/o cambio de retenes de reductor	x		Semanal	20	Operador
Cambio de aceite		x	8000 mil horas	180	Mecánico
Monitoreo de vibraciones	x		Trimestral	120	Mecánico
Inspeccion y/ o cambio de correa de transmisión		x	Quincenal	120	Mecánico
Mantto de cangilones (baldes, pernos, cadena) inspeccion y/o cambio de catalina superior y guiador de baldes		x	Mensual	180	Operador
Inspeccion y/o cambio de chumaceras superiores	x		Quincenal	20	Operador
Inspeccion /cambio de sensores de rotacion		x	Quincenal	20	Electricista
Inspeccion de cajas de bornes de motor/megado de motor		x	Mensual	120	Electricista
Overhaul del motor		x	22000 Horas	300	Mecánico
Mantenimiento de arrancador electrico (ajuste de bornes /testeo de protección)		x	Mensual	150	Electricista
Termografía de arrancador	x		Trimestral	120	Mecánico

3. Formato de entrega formal de equipo operativo - EF-001-2019.

<h2 style="margin: 0;">FORMATO</h2> <h3 style="margin: 0;">Entrega de Equipos Rotativos</h3>	Código: EF-001-2019 Página : 1 de 1
--	--

Información

Ejecutor: <table border="1" style="width: 100%; height: 40px; border-collapse: collapse;"></table>	N° OT <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"></table> Planta (UP) <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"></table> Equipo <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"></table> Componente <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"></table>	Reparado: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>MYSRL</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Terceros</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Lima</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> Nuevo: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>	MYSRL	<input type="checkbox"/>	Terceros	<input type="checkbox"/>	Lima	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MYSRL	<input type="checkbox"/>								
Terceros	<input type="checkbox"/>								
Lima	<input type="checkbox"/>								
<input type="checkbox"/>									
Fecha : <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"></table>									

Contexto Operacional (PI) Temperatura

	Corriente Amp	Presión psi	Caudal m3/hr	
Real				
Nominal (min-max)				

RTD _{rod1} °C	RTD _{rod2} °C	RTD _{cuerp} °C	T _{cuervo} °C	T _{rod1} °C	T _{rod2} °C	T _{rod3} °C	T _{rod4} °C	
< 60	< 85	< 45	< 40					<input type="checkbox"/>
60 - 80	85 - 105	45 - 65	40 - 60					<input type="checkbox"/>
80 - 100	105 - 125	65 - 85	60 - 80					<input type="checkbox"/>
> 100	> 125	> 85	> 80					<input type="checkbox"/>

Orden y Limpieza / Inspección Visual

1. _____
2. _____

Análisis Vibracional

SI NO

	V mm/seg	H mm/seg	A mm/seg	Env g's
Normal <input type="checkbox"/>	< 2.3			
Tolerable <input type="checkbox"/>	2.3 - 4.5			
Precaución <input type="checkbox"/>	4.5 - 7.1			
Alarma <input type="checkbox"/>	> 7.1			

Lubricación

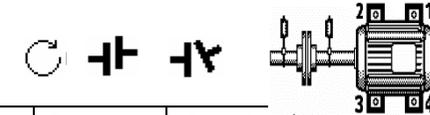
SI NO

Alineamiento

SI NO

Grasa

Marca:	
Tipo:	
Cant(gr)	



Aceite

Marca:		Velocidad (rpm)	Paralelo (mm/100)	Angular (mm/100)	Lainas (mm)
	Hori zontal	1000-2000	0.08	0.1	
		3000-4000	0.05	0.06	
	Vertical	1000-2000	0.07	0.07	
		3000-4000	0.05	0.06	

Uso de estetoscopio

Análisis de Circuito de Motores

Pruebas Estáticas

R Mohm	Res Desb%	Ind Desb%	IP	Ifuga µAmp
100	1	1	>3	2
50	2	3	1.5-3	5
30	3	5	1-1.5	15
10	4	7	<1	30

Pruebas Dinámicas

Voltaje			Corriente		Fp	Exc.	
Vr/Vn (%)	Desb (%)	THD (%)	Ir/In (%)	Desb (%)	dB	# picos	
+/- 1	0	1	+/- 1	2	>54	1	Normal <input type="checkbox"/>
+/- 3	0.5	2	+/- 3	4	45-54	2	Tolerable <input type="checkbox"/>
+/- 5	1	3	+/- 5	6	36-45	3	Precaución <input type="checkbox"/>
+/- 10	3	5	+/- 10	10	<36	4	Alarma <input type="checkbox"/>

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.2.4 Mantenimiento de calidad

	METODOLOGÍA TPM	
	Procedimiento para el mantenimiento de calidad	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1

Objetivo.

Establecer el procedimiento para definir las tareas que se realizarán en el mantenimiento de calidad.

Alcance.

El siguiente procedimiento es aplicable para todos los operadores de la planta de cal.

Descripción

Para realizar el mantenimiento de calidad, se utilizará el formato 3T (tolerancia, objetivo y test) realizado por el mecánico y validado por el supervisor de mantenimiento, con ello se busca garantizar que la reparación realizada, esté dentro de las tolerancias y especificaciones del fabricante.

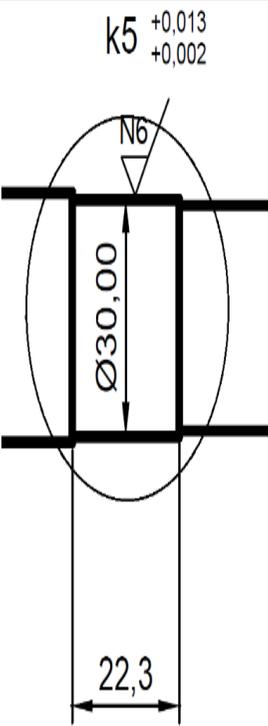
Cuando se realice el cambio de rodamientos bipartidos, se deben considerar los siguientes formatos:

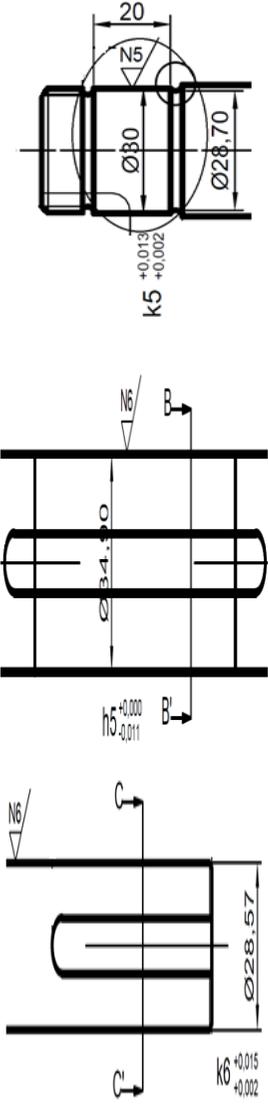
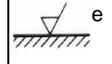
- Formato 3T.

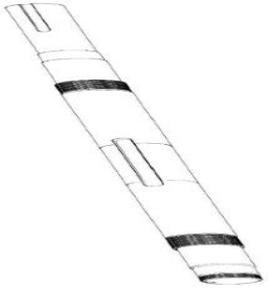
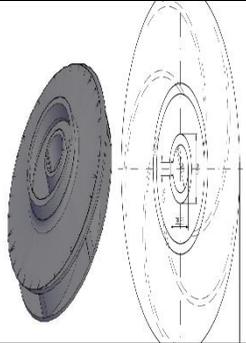
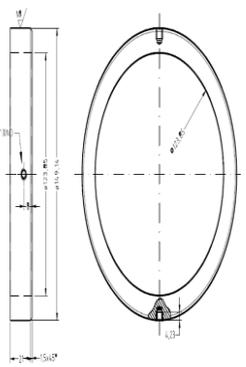
(Formato de control de calidad)

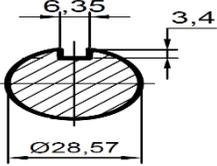
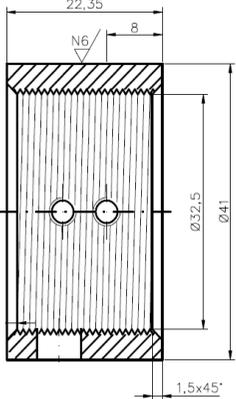
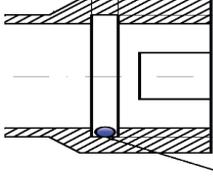
El formato de control de calidad deberá ser llenado, en el desarmado y armado de rodamientos bipartidos.

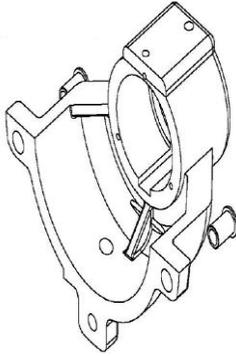
1. Formato 3T para el mantenimiento de calidad

MANTENIMIENTO			FORMATO - 3Ts				Control de la Calidad en Tareas de Mantenimiento			
Verificación de repuestos reparados.			Realizado por:				Fecha:			
Equipo: Elevador de cangilones			Ubicación:				Sistema:		N° Orden:	
Paso	Descripción de la Actividad	Componente	Instrumento / Equipo		Medida Nominal	Desviación Tolerable	Medición Obtenida	Condición Aceptado / Rechazado	Acción a tomar	Observación
1	Inspección de eje									
	Medir diámetro de asiento de rodamiento pto 3	Eje	Micrómetro exteriores. 25– 50mm		30.00mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+ 0.013</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+ 0.002</div>				
	Medir longitud de rodamiento de asiento pto 3	Eje	Vernier		22.3.00mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">± 0.1</div>				
Referencia Catálogo SKF	(*Medir Rugocidad superficial de asiento de rodamiento pto 3 	Eje	Rugocímetro		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0.4um</div> (N5)	N.A				
	Medir Cilindricidad de asiento de rodamiento pto 3 	Eje	Micrómetro		30.00 mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+0.005</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+0.003</div>				
	Medir diámetro de asiento de rodamiento pto 4	Eje	Micrómetro exteriores. 25– 50mm		22,3	30.00mm.	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+ 0.013</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+ 0.002</div>			

	Medir longitud de rodamiento de asiento pto 4	Eje	Vernier		20mm.	± 0.1				
Referencia Catálogo SKF	(*Medir Rugocidad superficial de asiento de rodamiento pto 4		Rugocímetro		$0.4\mu m$ (N5)	N.A				
	Medir Cilindricidad de asiento rodamiento pto 4		Eje		Micrómetro	30.00 mm	$+0.005$ $+0.003$			
	Medir diámetro de asiento impulsor	Eje	Micrómetro exteriores. 25– 50mm		34.90 mm.	$+ 0.000$ $- 0.011$				
	(*Medir Rugocidad superficial de asiento de impulsor		Eje		Rugocímetro	$0.8\mu m$ (N6)	N.A			
	Medir profundidad de canal chavetero de impulsor	Eje	Vernier		4.5mm	± 0.1				
	Medir ancho de canal chavetero-impulsor	Eje	Vernier		9.52mm	± 0.1				
	Medir diámetro de asiento de acople	Eje	Micrómetro exteriores. 50– 75mm		28.57mm	$+ 0.000$ $- 0.019$				

	(*)Medir Rugosidad superficial de asiento de acople 	Eje	Rugocímetro		$0.8\mu m$ (N6)	N.A				
	Medir profundidad de canal chavetero de acople	Eje	Vernier		3.4mm	± 0.1				
	Medir ancho de canal chavetero de acople	Eje	Vernier Digital		6.35mm	± 0.1				
2	Inspección del Impulsor									
	Verificar diámetro exterior	Impulsor	Compás de exteriores		10.5"	$\pm 0.5\%$				
	Verificar diámetro interior	Impulsor	Alezometro		34.97mm.	$+ 0.019$ $+ 0.000$				
	Verificar diámetro de asiento de anillo de desgaste	Impulsor	Micrómetro exteriores.		123.45mm	$+ 0.025$ $- 0.021$				
3	Inspección de Anillo de Desgaste									
	Verificar Diámetro externo de anillo de desgaste	Anillo	Micrómetro exteriores		149.14 mm	$+ 0.025$ $- 0.021$				
	Verificar Diámetro interno de anillo de desgaste	Anillo	Alezometro		123.85 mm	$+ 0.013$ $- 0.033$				
	Verificar ancho de anillo de desgaste	Anillo	Vernier		21.00 mm	± 0.1				

	Verificar ubicación de prisionero del ancho de anillo de desgaste	Anillo	Vernier		8.00mm	± 0.1					
	Verificar luz entre el impulsor y anillo de desgaste.	Anillo	Calibrador de Gab		0.4mm	± 0.0					
4	Inspección de Tuerca										
	Medir diámetro exterior	Tuerca	Micrómetro de exteriores		41.00 mm	$+ 0.000$ $- 0.019$					
	Medir longitud de tuerca	Tuerca	Vernier		22.35mm	± 0.1					
	Verificar paso de hilo	Tuerca	Cuenta-Hilos		12 hilos x pulg.	N.A					
5	Inspección de de Bocina de Desgate (Retenes)										
	Medir Diámetro interno de retenes	Bocina	Vernier		34.8 mm	± 0.1					
	Medir Espesor de retenes.	Bocina	Vernier		3.5 mm	± 0.1					
6	Inspección de Cajas de Rodamiento										
	Medir diámetro interior de alojamiento de rodamiento pto 3	Caja	Alezometro		72 mm	$+ 0.009$ $- 0.021$					

	Medir diámetro interior de alojamiento de rodamiento pto 4	Caja	Alezometro		72 mm	$+ 0.009$ $- 0.021$				
	Medir profundidad de alojamiento pto3	Caja	Vernier		45.4mm	± 0.1				
	Medir profundidad de alojamiento pto4	Caja	Vernier		45.4mm	± 0.1				
	Medir ancho de anillo de tope de rodamiento pto 4	Anillo	Vernier		4.75mm	± 0.1				
7	Inspección adicional									
	Medir distancia de tope de rodamiento pto 3 a tope rodamiento pto 4	-	Vernier	-	556 mm	± 0.1				
	Medir distancia de impulsor a tope de rodamiento pto 3	-	Vernier	-	231 mm	± 0.5				

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.2.5 Mantenimiento inicial

METODOLOGÍA TPM	
Procedimiento para la instalación de los rodamientos bipartidos	REV 12-6- 2019/Edición N° 1

Objetivo.

Establecer el procedimiento para la instalación de los rodamientos bipartidos a la planta, como parte de la implementación del TPM.

Descripción

- **Instalación de los rodamientos**

Procedimiento para el montaje y desmontaje de rodamiento bipartido.

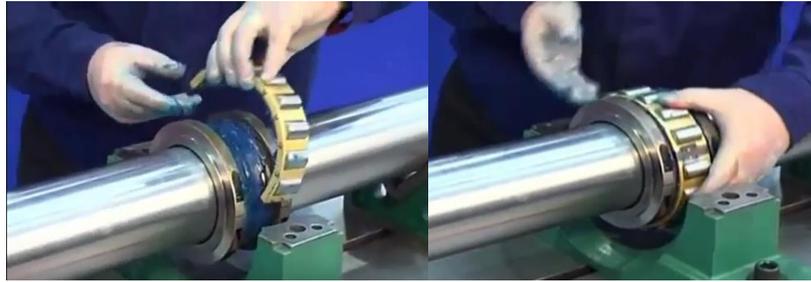
1. Verificación de control de calidad de rodamiento, es decir, verifique que todas las partes estén completas sin daño alguno.



2. Verificación de medidas de eje de acuerdo a las tolerancias establecidas en el formato 3Ts . Luego proceder con el montaje de pista interna evitando la contaminación (suciedad, polvo y humedad).



3. Lubricar pista interna con grasa mobilith SHC 220 para formar una película la cual proteja de rayaduras la pista y los rodillos cuando se instale.



4. Colocar grasa mobilith SHC 220 en los rodillos para formar una película de protección para evitar rayaduras, luego colocar pista externa verificando que las uniones estén desfasada a 90° para evitar solturas ajustar los pernos de unión de acuerdo al manual del fabricante para evitar daños en rodamiento.



5. Verificar limpieza y ajustes de pernos de unión de rodamientos y Colocar tapa de chumacera y realizar prueba de rodadura.



	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.2.6 Mantenimiento en áreas administrativas

	METODOLOGÍA TPM	
	Procedimiento del TPM en áreas administrativas	REV 12-6- 2019/Edición N° 1

Objetivo.

Establecer un procedimiento para las áreas administrativas en base a la mejora enfocada como parte de la implementación del TPM.

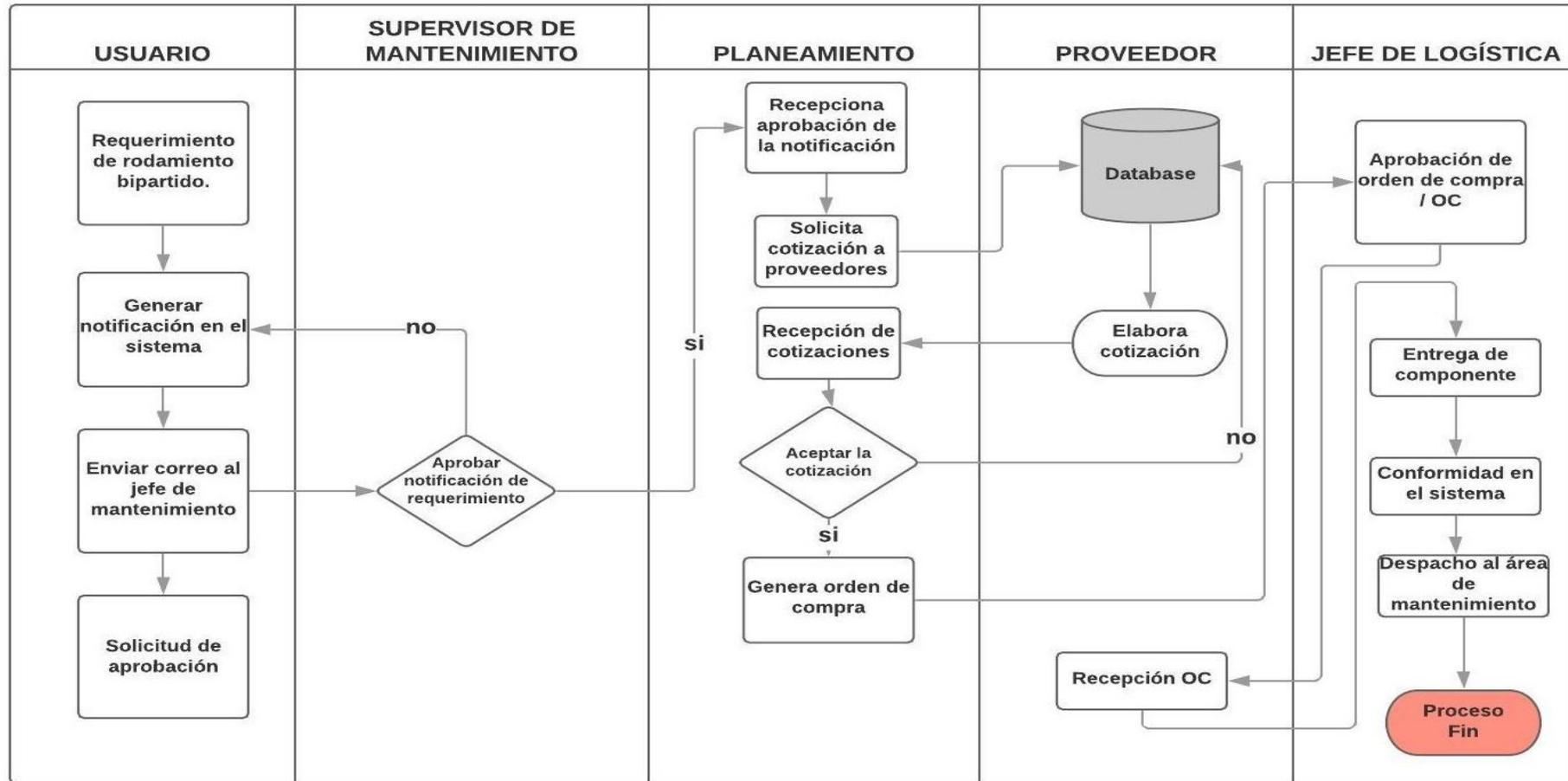
Responsabilidades principales para las áreas administrativas

Desde el punto de vista del TPM existen 2 grupos de responsabilidades principales para las áreas administrativas.

1. Procesar información, aconsejar y ayudar a las actividades de producción en su objetivo de mejorar continuamente y reducir los costos.
2. Facilitar a la empresa la tarea de responder rápidamente a los cambios lo cual implica mejorar su propia productividad y reducir sus costos. Incluye también ayudar en el desarrollo estratégico de la compañía velando por los objetivos de largo plazo.

Flujograma de áreas administrativas para mejora enfocada

En base a la mejora enfocada se ha diseñado un diagrama secuencial de actividades .



	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.4.2.7 Educación y capacitación

	METODOLOGÍA TPM	
	Plan de Educación y Capacitación	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1

Objetivo.

Establecer el procedimiento para definir las capacitaciones que se realizarán como parte de la implementación del TPM.

Descripción

- Programas de educación e información

Las capacitaciones están enfocadas a la mejora continua y por ende deben ser constantes, sin embargo, se considera una capacitación inicial en las áreas de mantenimiento para dar a conocer la metodología del TPM que se aplicará en la planta.

En la siguiente tabla se muestran los temas planteados para las capacitaciones.

Tema	Duración	Frecuencia	Expuesto por	Dirigido a:
Metodología del TPM	20 minutos	Sólo una vez	Jefe de planta	Todo el personal
Objetivos de proyecto TPM a corto y mediano plazo	20 minutos	Semestral	Jefe de planta	Todo el personal
OEE (Tipo de Paradas, registros de producción)	30 minutos	Trimestral	Jefe de planta	Todo el personal
Mejora enfocada	40 minutos	Sólo una vez	Supervisor de mantenimiento	Todo el personal
Desarrollo del mantenimiento autónomo	20 minutos	Trimestral	Supervisor de mantenimiento	Todo el personal
Desarrollo del mantenimiento planificado	20 minutos	Trimestral	Supervisor de mantenimiento	Todo el personal
Desarrollo del mantenimiento de calidad	20 minutos	Trimestral	Supervisor de mantenimiento	Todo el personal
Orden y limpieza	20 minutos	Mensual	Supervisor de operaciones	Todo el personal
Charla de seguridad	5 minutos	diario	Prevencionista	Todo el personal

Plan de capacitación en base al TPM.

a. Charla de sensibilización en mantenimiento autónomo a operadores.

Esta charla tiene 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 mantenimiento.

La capacitación para el mantenimiento autónomo, consta de 4 módulos mostrados.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Principios de funcionamiento del elevador de cangilones.	60 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores.
Módulo 2: Principios básicos de rodamientos estándar y bipartidos.	60 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores.
Módulo 3: Lubricación y análisis de falla	60 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores.
Módulo 4: Evaluación y reporte de falla en su etapa inicial y falla compleja.	60 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores.

Programa de capacitación en mantenimiento autónomo.

b. Charla de sensibilización en mantenimiento planificado a mecánicos y operadores.

Se plantea cuatro módulos para capacitar a los operadores y mecánicos de la planta en mantenimiento planificado.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Aplicación del plan de mantenimiento.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores y mecánicos.
Módulo 2: Registro físico y análisis de fallas en rodamientos.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores y mecánicos.
Módulo 3: .Ingreso de datos a hoja excel.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores y mecánicos.
Módulo 4: Monitoreo de condiciones.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento	Operadores y mecánicos.

Programa de capacitación en mantenimiento planificado.

c. Charla de sensibilización en mantenimiento de calidad a mecánicos.

Se plantea cuatro módulos para capacitar a los mecánicos de la planta, asegurando que empleen adecuadamente los formatos 3Ts y entrega formal de equipos.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Interpretación del formato 3Ts.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento.	Mecánicos
Módulo 2: Aplicación del formato 3T.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento.	Mecánicos
Módulo 3: Comparación de los datos del formato 3T con los componentes desmontados.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento.	Mecánicos
Módulo 4: Aplicación del formato entrega de equipos.	30 minutos	Supervisor de mantenimiento.	Mecánicos

Programa de capacitación en mantenimiento de calidad.

d. Charla de sensibilización en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

Esta charla tiene como fin, concientizar a los operadores sobre la importancia que tiene la seguridad, salud ocupacional y el medio ambiente dentro del TPM y la empresa. Esta charla de sensibilización al personal de mantenimiento, fue impartida por el supervisor de seguridad y medio ambiente.

Módulo	Duración	Encargado	Dirigido a
Módulo 1: Llenado del IPERC.	30 minutos	Supervisor de SSOMA	Operadores, mecánicos y supervisores.
Módulo 2: Medidas de control para el IPERC.	30 minutos	Supervisor de SSOMA	Operadores, mecánicos y supervisores.
Módulo 3: Llenado de reporte medio ambiental.	30 minutos	Supervisor de SSOMA	Operadores, mecánicos y supervisores.
Módulo 4: Medidas de control medioambientales.	30 minutos	Supervisor de SSOMA	Operadores, mecánicos y supervisores.

Programa de capacitación en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

- **Programas de evaluación de aprendizaje**

Posteriormente a las capacitaciones se hará seguimiento en campo al personal entrenado para verificar si cumplen con la metodología aprendida, para ello se plantea el siguiente cuadro de evaluación:

Tarea	Habilidad Requerida	Código del operador	Nivel de habilidad
Conocimiento del sistema de bloqueos de equipos.			
Conocimiento del equipo y sus componentes internos.			
Conocimiento de la aplicación de la 3Ts.			
Conocimiento de aplicación de tolerancias de acuerdo al formato 3T.			
Desarmado y armado de rodamiento bipartido.			
Aplicación del formato de entrega de equipo.			
Mantenimiento preventivo / limpieza			
Lubricación, ajustes			
Limpieza			
Seguridad personal			
Total			

Formato para evaluación del aprendizaje.

Se plantea la siguiente tabla, para medir el nivel de habilidad adquirida por los operadores.

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.

Nivel de habilidad adquirida por el operario.

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.4.2.8 Seguridad y medio ambiente

	METODOLOGÍA TPM	
	Procedimiento de seguridad y medio ambiente	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1

Objetivo.

Establecer el procedimiento en seguridad y medio ambiente como parte de la implementación del TPM.

Descripción

En esta etapa los operadores y mecánicos deben identificar peligros, evaluar riesgos y accionar medidas de control de las actividades que practican como parte de la implementación del TPM.

Consideraciones

- El proceso debe ser documentado priorizando los riesgos críticos y realizando las acciones correctivas pertinentes.
- Se debe registrar el IPERC en el formato diario IPERC001-2019 y realizar la inspección de rutina ambiental antes de iniciar las labores de mantenimiento.
- En las charlas diarias se debe difundir el IPERC priorizando los riesgos altos y extremos.

a. Seguridad y salud ocupacional

Identificación de factores de riesgo o peligros

Un factor de riesgo es un agente o contaminante presente en el ambiente, pudiendo ser físico, químico, biológico y ergonómico. (RM N° 375-2008-TR).

- a) **Factor de riesgo físico:** Se refiere a todos aquellos factores ambientales que depende de las propiedades físicas de los cuerpos como: Ruido, Vibraciones, Iluminación, Radiaciones Ionizantes y No ionizantes, Temperatura, que actúan sobre los tejidos y órganos del cuerpo del trabajador y que puede producir efectos nocivos, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición de los mismos.

b) Factor de riesgo químico: Son todos aquellos elementos y sustancias presentes en el ambiente de trabajo que, al entrar en contacto con el organismo, puede ocasionar daños al cuerpo del trabajador, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición de los mismo, pudiendo presentándose como: Polvo orgánica o inorgánica, Gases, Vapores, Humos de Soldadura, niebla.

c) Factor de riesgo biológico: En este caso encontramos un grupo de agentes orgánicos como los hongos, virus, bacterias, parásitos, entre otros, presentes en determinados ambientes laborales, que pueden desencadenar enfermedades infectocontagiosas, reacciones alérgicas o intoxicaciones al ingresar al organismo.

d) Factor de riesgo ergonómico: Involucra todos aquellos agentes o situaciones que tienen que ver con la adecuación del trabajo, o los elementos de trabajo a la fisonomía humana. Representan factor de riesgo los objetos, puestos de trabajo, máquina, equipos y herramientas cuyo peso, tamaño, forma y diseño pueden provocar lesiones diversas.

Los elementos del riesgo para su redacción serán suceso y consecuencia tomando en cuenta los siguientes criterios:

Criterios para redacción de los elementos de riesgo.

Suceso	Consecuencia
Exposición	Enfermedades respiratorias
Inhalación	Enfermedades auditivas
Absorción	Enfermedades infectocontagiosas
Contacto	Enfermedades musculo esqueléticas
Penetración	Disconfor térmico, acústico, lumínico
Ingestión	Entre otros

RM N° 375-2008-TR: Norma Básica de Evaluación de Riesgos y Procedimiento Ergonómicos.

A continuación, se muestra el índice de probabilidad y severidad, los mismos que se utilizarán para dicho procedimiento:

Probabilidad del riesgo

Probabilidad				
	Personas expuestas	Procedimientos existentes	Capacitación del personal	Exposición al riesgo
	IPE	IP	IC	IE
1	de 1 a 3	Existen, son satisfactorios y suficientes	Personal entrenado, conoce el peligro y lo previene.	Al menos una vez al año (seg)
2	de 4 a 12	Existen parcialmente, y no son satisfactorios o suficientes	Personal parcialmente entrenado, conoce el peligro pero no toma acciones de control.	Al menos una vez al mes (seg)
3	más de 12	No existen	Personal no entrenado, no conoce el peligro, no toma acciones de control.	Al menos una vez al día (seg)

RM N° 050-2013-TR. RM N° 375-2008-TR: Norma Básica de Evaluación de Riesgos.

Índice de Severidad del riesgo

Severidad	
índice	Severidad Consecuencia Is
1	Lesión sin incapacidad (seg) Discomfort / incomodidad (so)
2	Lesión con incapacidad temporal (seg) Daño a la salud reversible (so)
3	Lesión con incapacidad permanente (seg) Daño a la salud irreversible (so)

RM N° 050-2013-TR. RM N° 375-2008-TR: Norma Básica de Evaluación de Riesgos

Valoración del riesgo, con el valor del riesgo obtenido y comparándolo con el valor tolerable, se emite un juicio sobre la tolerabilidad del riesgo en cuestión.

Interpretación de la valoración del riesgo

Nivel de riesgo	Interpretación/ Significado
Intolerable	No se debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.
Importante	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Moderado	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado.
	Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas (mortal o muy graves), se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Tolerable	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante.
	Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

RM N° 050-2013-TR. RM N° 375-2008-TR: Norma Básica de Evaluación de Riesgos.

Formato IPERC001-2019 - Proceso de identificación, evaluación y control de riesgos ocupacionales- Mantenimiento
IPERC

Severidad	Matriz de evaluación de riesgos					
	A	B	C	D	E	
Catastrófico	1	A	A	A	A	M
Fatalidad	2	A	A	A	M	B
Permanente	3	A	M	M	B	B
Temporal	4	M	M	B	B	B
Menor	5	M	B	B	B	B
		A	B	C	D	E
		Común	Ha sucedido	Podría Suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda
		FRECUENCIA				

Nivel de riesgo		Descripción	Plazo de corrección
	ALTO	Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos, si no se puede controlar PELIGRO se paraliza los trabajos operacionales en la labor	0-24 horas
	MEDIO	Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata.	0-72 horas
	BAJO	Este riesgo puede ser controlable.	1 mes

ÁREA:					PETS:			
IPERC DIARIO REALIZADO POR EL OPERADOR Y/O MECÁNICO								
DESCRIPCION DEL PELIGRO	RIESGO	EVALUACION INICIAL			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	RIESGO RESIDUAL		
		A	M	B		A	M	B
SUPERVISOR		CARGO		FIRMA		FECHA		

Formato referencial del modelo de IPERC

b. Medio ambiente

	INSPECCION DE RUTINA AMBIENTAL	Versión:	02
		Fecha Aprobación	03/06/19

LUGAR DE INSPECCIÓN _____ **FECHA** _____

Colocar un si es SI, una si es NO y una si No Aplica

ÍTEM	FUNCIONAMIENTO / ESTADO	OBSERVACIONES
VENTILACIÓN		
01	El ambiente tiene adecuadas condiciones de ventilación en general.	
02	La ventilación natural es suficiente	
03	De existir manipulación o uso de materiales peligrosos, el área está adecuadamente ventilado.	
04	De existir focos de generación de contaminantes (polvo, humo, nieblas, gases o vapores), el área está adecuadamente.	
05	El almacenamiento de materiales peligrosos se realiza en un ambiente ventilado.	
06	En el caso de utilizarse sistemas de aire acondicionado se asegura su adecuado funcionamiento.	
07	Existe presencia de derrames en el área.	
08	Las máquinas no presentan fugas.	
ILUMINACIÓN		
09	Los niveles de iluminación cumplen con lo recomendado.	
10	Las ventanas están limpias y libres de obstrucciones, siempre y cuando esto no genere deslumbramiento.	
11	Las paredes están limpias favoreciendo la iluminación.	
12	Los reflectores, luminarias, accesorios, focos, fluorescentes y otros elementos están limpios y en buenas condiciones.	
13	Se cuenta con un solo color de luz y/o tipo de luminaria para evitar contrastes que provoquen fatiga visual.	
ORDEN Y LIMPIEZA		
14	El área de trabajo se encuentra limpio y ordenado.	
15	Cuentan con depósitos para almacenamiento de sus Residuos generados	
SUMINISTRO DE AGUA		
16	Las conexiones para el agua y accesorios están en condiciones adecuadas sin fugas.	
17	El reservorio de agua se encuentran en óptimas condiciones.	
GENERAL		
18	Se observa que existen identificación mediante letreros del Área de trabajo.	
19	Se visualizan los Kit de emergencia, extintores y señalizaciones de emergencia.	
20	Cuentas con Hojas de Seguridad (MSDS) de los productos que utilizan	
21	Se encuentran desconectados los equipos y/o maquinarias cuando no están siendo usados.	

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.3 Implementación de la metodología TPM

La empresa, asumió el compromiso para la implementación del TPM, se planteó una reunión con el gerente, el jefe de planta y supervisores, para dar conocer cuáles son los objetivos, beneficios y que acciones que se deben de realizar para alcanzar la aplicación de un sistema de gestión en base a TPM para mejorar el mantenimiento dentro la empresa.

Se empezó con el inicio en la formación del comité TPM mostrado en la figura 20.

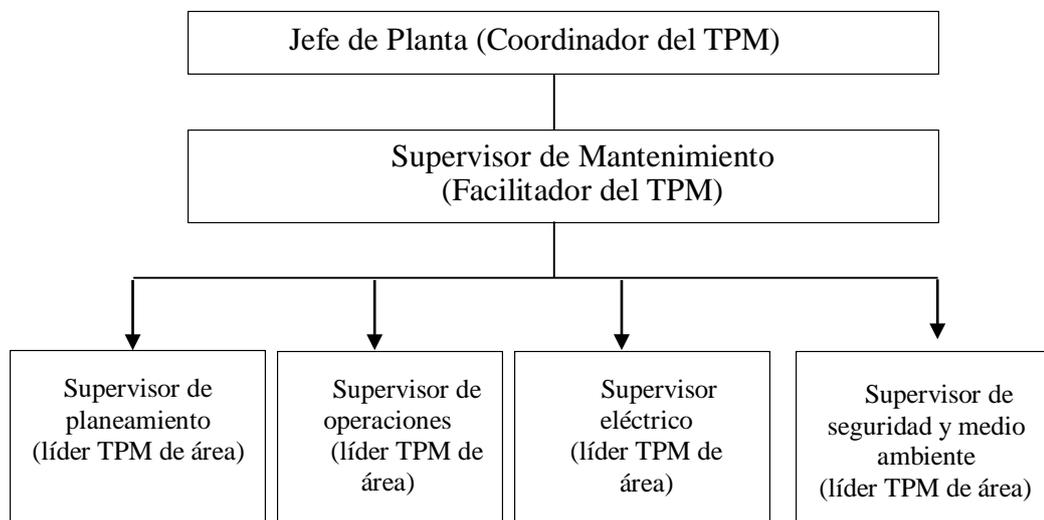


Figura 20: Organigrama del comité TPM.

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.).

3.2.3.1 Capacitación en base a los ocho pilares TPM

En la tabla 21 se aprecia, la programación empleada para las capacitaciones, éstas se brindaron con la finalidad que todos los colaboradores se involucren con los conocimientos necesarios para una eficiente implementación de la metodología TPM.

Tabla 21

Programación de las capacitaciones de la metodología TPM

Tema	Duración	Dirigido a:
Metodología del TPM	20 minutos	Todo el personal
Objetivos de proyecto TPM a corto y mediano plazo	20 minutos	Todo el personal
OEE (Tipo de Paradas, registros de producción)	30 minutos	Todo el personal
Mejora enfocada	40 minutos	Todo el personal
Desarrollo del mantenimiento autónomo	20 minutos	Todo el personal
Desarrollo del mantenimiento planificado	20 minutos	Todo el personal
Desarrollo del mantenimiento de calidad	20 minutos	Todo el personal
Orden y limpieza	20 minutos	Todo el personal
Charla de seguridad	5 minutos	Todo el personal

Capacitaciones en base a la metodología TPM.



Figura 21: Personal capacitándose en la metodología TPM.

3.2.3.2 Implementación de los rodamientos bipartidos

Se implementó la mejora enfocada basada en el empleo de los rodamientos bipartidos, que son de fácil desmontaje, reduciendo el tiempo de mantenimiento de 30 horas con el rodamiento estándar oscilante convencional a 5 horas de mantenimiento con el rodamiento bipartido.



Figura 22: Rodamiento bipartido.

3.2.3.3 Implementación de procedimientos y formatos

Se implementó la documentación en base a la metodología TPM.

<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Procedimiento para el mantenimiento autónomo</td> <td>REV 12-6- 2019/ Edición N° 1</td> </tr> </table>		METODOLOGÍA TPM		Procedimiento para el mantenimiento autónomo	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Procedimiento del TPM en áreas administrativas</td> <td>REV 12-6- 2019/Edición N° 1</td> </tr> </table>		METODOLOGÍA TPM		Procedimiento del TPM en áreas administrativas	REV 12-6- 2019/Edición N° 1
METODOLOGÍA TPM											
Procedimiento para el mantenimiento autónomo	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1										
METODOLOGÍA TPM											
Procedimiento del TPM en áreas administrativas	REV 12-6- 2019/Edición N° 1										
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Procedimiento para el mantenimiento planificado</td> <td>REV 12-6- 2019/ Edición N° 1</td> </tr> </table>		METODOLOGÍA TPM		Procedimiento para el mantenimiento planificado	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Plan de Educación y Capacitación</td> <td>REV 12-6- 2019/ Edición N° 1</td> </tr> </table>		METODOLOGÍA TPM		Plan de Educación y Capacitación	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1
METODOLOGÍA TPM											
Procedimiento para el mantenimiento planificado	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1										
METODOLOGÍA TPM											
Plan de Educación y Capacitación	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1										
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Procedimiento para el mantenimiento de calidad</td> <td>REV 12-6- 2019/ Edición N° 1</td> </tr> </table>		METODOLOGÍA TPM		Procedimiento para el mantenimiento de calidad	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Procedimiento de seguridad y medio ambiente</td> <td>REV 12-6- 2019/ Edición N° 1</td> </tr> </table>		METODOLOGÍA TPM		Procedimiento de seguridad y medio ambiente	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1
METODOLOGÍA TPM											
Procedimiento para el mantenimiento de calidad	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1										
METODOLOGÍA TPM											
Procedimiento de seguridad y medio ambiente	REV 12-6- 2019/ Edición N° 1										
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">METODOLOGÍA TPM</th> </tr> <tr> <td>Procedimiento para la instalación de los rodamientos bipartidos</td> <td>REV 12-6- 2019/Edición N° 1</td> </tr> </table>				METODOLOGÍA TPM		Procedimiento para la instalación de los rodamientos bipartidos	REV 12-6- 2019/Edición N° 1				
METODOLOGÍA TPM											
Procedimiento para la instalación de los rodamientos bipartidos	REV 12-6- 2019/Edición N° 1										

Figura 23: Procedimientos y formatos.

3.2.3.4 Aplicación de programas de evaluación del aprendizaje

Posteriormente a las capacitaciones se realizó el seguimiento en campo al personal entrenado para verificar si cumplen con la metodología aprendida, para ello se plantea el siguiente cuadro de evaluación:

Tabla 22

Aplicación de programas de aprendizaje de la metodología TPM

Tarea	Habilidad Requerida	Código del operador	Nivel de habilidad
Conocimiento del sistema de bloqueos de equipos.			
Conocimiento del equipo y sus componentes internos.			
Conocimiento de la aplicación de la 3Ts.			
Conocimiento de aplicación de tolerancias de acuerdo al formato 3T.			
Desarmado y armado de rodamiento bipartido.			
Aplicación del formato de entrega de equipo.			
Mantenimiento preventivo / limpieza			
Lubricación, ajustes			
Limpieza			
Seguridad personal			
Total			

Evaluación en campo del aprendizaje de la metodología TPM.



Figura 24: Aplicación de programas de aprendizaje en base a la metodología TPM implementada.

3.3 Analizar los resultados de la implementación de la metodología TPM en los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.

En la tabla 23 se muestra los resultados de la implementación de la metodología TPM, en los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos críticos de una planta de cal.

Tabla 23

Resultados de la implementación de la metodología TPM en el tiempo de paradas de planta

	Horas de parada de planta de equipos críticos	Eficiencia global de los equipos críticos (OEE)
Implementación TPM	Reducción a 84 horas	Mejora a 92%

La tabla muestra que después de la implementación de la metodología TPM han disminuido las horas de parada de planta en equipos críticos y la OEE ha mejorado.

3.3.1 Análisis de la mejora de la eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal

- Disponibilidad después de la implementación TPM

La disponibilidad máxima establecida por el área de mantenimiento de la empresa para los equipos críticos de la planta es de 95%, por ello se analizó la disponibilidad de los equipos críticos después de la implementación del TPM desde enero hasta junio del 2019, los resultados se muestran en la tabla 24, evidenciando que la nueva disponibilidad promedio es 98 % sobrepasando a lo establecido por la empresa.

La disponibilidad mejoró de 94% a 98% debido a la aplicación de los pilares de TPM, básicamente a la mejora enfocada que nos recomienda cambios para mejorar, optando por el cambio de rodamiento estándar oscilante a rodamiento bipartido; reduciendo el tiempo de parada por mantenimiento de equipos críticos – cambio de rodamiento de 30 a 5 horas, afectando directamente a la disponibilidad de los equipos.

Tabla 24
Historial de horas de parada después de la implementación TPM

Historial de horas de parada después del TPM de Enero a Junio 2019		
Equipo - Elevador y fajas	# de Paradas	MTTR Total en horas
Rotura de sello de laberinto.	1	04:00:00
Temperatura alta de rodamientos.	1	05:00:00
Falla de canastilla de rodamiento.	1	05:00:00
Falla de rodillos de rodamiento.	2	10:00:00
Soltura de rodamientos.	3	15:00:00
Rotura de eje.	0	00:00:00
Desgaste de alojamiento.	1	08:00:00
Rotura de alojamiento.	1	08:00:00
Rotura de engranajes.	1	20:00:00
Falla en alta vibración.	1	05:00:00
Desalineamiento.	1	04:00:00
Eventos totales	13	84:00:00
Horas de trabajo/ día		24
Total horas/ semestre		4380
Disponibilidad operativa		98%

La disponibilidad después de la implementación del TPM ha sido calculada en los equipos críticos de planta del periodo de enero a junio 2019.

- Rendimiento después de la implementación TPM

Después de la implementación del TPM, el rendimiento ha sido calculado en base a lo que se deja de producir por paradas de planta, el detalle se muestra en la tabla 25.

El rendimiento mejoró de 93% a 94% debido a la reducción de horas de parada, de 508 antes de la implementación del TPM a 84 horas después de la implementación en el periodo de enero a junio del 2019, esta reducción de horas de parada influye directamente en la producción de cal.

Tabla 25

Producción perdida por paradas de planta no programadas después de la implementación TPM

Producción de cal		
Producción/hora	6	Ton/Hora
Producción/día	72	Ton/Día
Producción/Semestre 100%	26280	Ton/Semestre
Producción estimada al 95% con mantenimiento	24966	Ton/Semestre
Producción		
Total Horas perdidas/ equipos críticos	84	Horas
Pérdida de producción de caliza	504	Ton/Semestre
Pérdida de producción de cal	210	Ton/Semestre
Producción actual con paradas de mantenimiento no programadas	24756	Ton/Semestre
Producción	94%	

La producción perdida después de la implementación del TPM ha sido calculada en base a la producción de los equipos críticos de planta del periodo de enero a junio 2019.

- Calidad después de la implementación TPM

La calidad después de la implementación TPM, fue calculada en el periodo de enero a junio 2019 en base a la cantidad de cal mal quemada que se produce en una parada prolongada por reinicio del horno, esta cal es de baja Ley y fuera de los estándares de la calidad establecida, como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26

Calidad- Producción de cal de mala Ley después de la implementación TPM

Historial de horas de parada por distintas fallas		
Equipo	Horas anuales perdidas	
Elevador de Cangilones y fajas.	84	
Producción de mala Ley		
Consecuencia	Horas anuales perdidas	
Reinicio Horno	20	
Producción actual con paradas de mantenimiento no programadas		
Producción total	24756	Ton/Año
Producción Mala Ley	50	Ton/Año
Calidad	99.8%	

Después de la implementación del TPM ha sido calculada la producción de mala ley de los equipos críticos de planta del periodo de enero a junio 2019.

- Eficiencia global de los equipos críticos

En la tabla 27 se muestra la eficiencia global de los equipos críticos de planta (Elevador de cangilones y fajas) calculada en base a los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad, obteniendo una OEE de 86.54% al inicio y 92% después de la implementación del TPM, superando el estándar de OEE de la empresa 90%.

Tabla 27

Cálculo de la eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal después de la implementación de la metodología TPM

Periodo	Disponibilidad (%)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	OEE (%)
Enero-Junio 2019	98	94	99.8	92%

La eficiencia global de los equipos críticos de la planta de cal ha sido calculada en base a disponibilidad, rendimiento y calidad de enero a junio 2019.

3.3.2 Análisis de la reducción del tiempo de parada de planta de los equipos críticos después de la implementación TPM

Mediante la implementación de los 08 pilares del TPM, en la mejora enfocada se optó por cambiar el diseño de rodamientos estándar oscilantes utilizados en el elevador de cangilones y fajas transportadoras, por los rodamientos bipartidos.

El tiempo máximo del cambio de rodamiento bipartido es 5 horas, de acuerdo a manual del fabricante y condiciones actuales del equipo.

La reducción del tiempo para el cambio de rodamientos de 30 a 5 horas afecta directamente a la disponibilidad, calidad, rendimiento y por ende a la disminución del tiempo total de paradas de 508 a 84 horas MTTR totales promedio.

3.3.3 Resumen de la operacionalización de las variables después de la implementación TPM

En la tabla 28 se muestra el resumen de la operacionalización de variables antes y después de la implementación de la metodología TPM.

Tabla 28

Resumen de la operacionalización de las variables después de la implementación TPM

Variables	Dimensión	Indicador	Resultado Inicial	Resultado después de la implementación TPM	Indicador Estándar	Variación	Análisis
Variable independiente: Implementación de la metodología TPM	Eficiencia Global	Disponibilidad	94%	98%	95%	+4%	Se redujo el tiempo de mantenimiento por cambio de rodamientos estándar a bipartidos.
		Rendimiento	93%	94%	95%	+1%	Disminuyendo el tiempo de parada se aumentó la producción de cal.
		Calidad	99%	99.80%	95%	+0.80%	Disminuyendo los tiempos de parada se evito paradas de horno obteniendo menos cal de baja Ley.
Variable Dependiente: Tiempos de paradas por mantenimiento de equipos críticos	Tiempo de paradas de planta	OEE	86.54%	92%	90%	+5.46%	Se mejoró la eficiencia global de los equipos críticos de planta.
		MTTR Total de paradas de planta por mantenimiento de equipos críticos.	508 horas	84 horas	438 h	- 424 h	Se optó por cambiar el diseño del rodamiento de estándar a bipartido, mejorando el tiempo de mantenimiento de 30 a 5 horas por fallo.

Resumen de operacionalización de variables después de la implementación TPM en el periodo de enero a junio 2019.

3.4 Análisis económico, beneficio-costo de la implementación del TPM

El beneficio con la implementación del TPM en una planta de cal, se verá reflejado con el ahorro generado en el aumento de la producción por la disminución de tiempos de paradas de planta por mantenimiento de equipos críticos, como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Ahorro generado después de la implementación TPM

Periodo	Horas parada antes del TPM	Tonelada/hora	Producción que se deja de producir (Tn)	Pérdida de producción cal	Costo Tonelada USD	Pérdida USD	Ahorro total USD
Enero - Diciembre 2018	508	6	3048	1270	120	152400	127200
Enero - Junio 2019	84	6	504	210	120	25200	

Resumen del ahorro generado después de la implementación TPM.

Después de realizarse la implementación del TPM, se obtuvo una disminución de 424 horas de parada de planta por mantenimiento de equipos críticos, esto afectó directamente a un aumento en la producción del 83%, ya que inicialmente se dejaba de producir 1270 tn de cal, equivalente a 152400 USD; después de la implementación de la metodología TPM en un periodo de 06 meses se dejó de producir 210 tn de cal, equivalente a 25200 USD, existiendo un ahorro total de 127 200 USD.

En la tabla 30, se calculó el monto inversión que se requiere para la implementación de la metodología TPM.

Tabla 30
Inversión para la implementación de la metodología TPM

Pilar TPM	Inversión Cantidad	Costo unitario USD	Cantidad	Costo
Mejora enfocada	Rodamientos bipartidos	1200	2	2400
	Elaboración de la estructura del mantenimiento autónomo	250	1	250
	Elaboración del diagrama de actividades y responsabilidades del mantenimiento autónomo.	250	1	250
Mantenimiento autónomo	Elaboración de tarjetas rojas	100	1	100
	Elaboración de la ficha de orden y limpieza	100	1	100
	Elaboración de identificación de fallas	100	1	100
	Elaboración de ficha de mantenimiento autónomo	100	1	100
	Elaboración del registro de fallas	150	1	150
	Elaboración de actividades de operación y mantenimiento	150	1	150
Mantenimiento planificado	Elaboración del check list de los quipos críticos de planta	100	1	100
	Elaboración de calendario de inspección y mantenimiento	150	1	150
	Elaboración de la ficha de entrega formal de equipos	150	1	150
Mantenimiento de calidad	Elaboración de la ficha 3Ts	300	1	300
Mantenimiento inicial	Instalación del rodamiento	300	1	300
	Prueba del rodamiento	100	1	100
Mantenimiento en áreas administrativas	Elaboración de la ficha del nuevo flujograma	100	1	100
	Elaboración del plan de capacitación enfocada al TPM.	150	1	150
Educación y capacitación	Elaboración del plan de capacitación sobre el mantenimiento autónomo, planificado y de calidad.	600	1	600
Seguridad y medio ambiente	Capacitación de exposición a riesgos en base a la implementación de la metodología TPM.	150	1	150
Total USD				5700

Inversión para la implementación del TPM.

Cálculo del beneficio costo de la inversión

En la tabla 31 se muestra el ahorro en producción por reducción de horas de parada de planta en comparación con el costo de inversión si no se decide implementar y poner los fondos en una entidad bancaria.

Tabla 31

Cálculo beneficio/costo de la implementación de la metodología TPM

Ahorro total en producción por reducción de horas de parada de planta (Beneficio)	\$127,200.00
Costo de inversión para la implementación del TPM	\$5,700.00
Total de costos proyectados(Contra Beneficio: Oportunidad de inversión en entidad bancaria)	\$262.20
4.6%(Interés bancario a plazo fijo)	
<hr/>	
Parámetros para el cálculo del beneficio/costo de la implementación del TPM.	

Reemplazando en la ecuación de la razón del cálculo B/C, se obtiene:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio- contrabeneficio}}{\text{Costo}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$127,200.00 - \$262.20}{\$5,700.00}$$

$$\frac{B}{C} = 22.27$$

(El resultado de la razón es >1)

B/C > 1 indica que los beneficios superan a los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Después de realizar esta investigación, podemos contrastar datos, siendo nuestro primer punto que las empresas que no cuentan con la implementación de la metodología TPM, tienden a presentar ocurrencia de cualquiera de las seis grandes pérdidas, así también lo manifiesta el (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta, 2015) esto quedó demostrado cuando analizamos el histórico brindado por la empresa, encontrando efectivamente evidencia de excesivos tiempos de paradas de planta que afectaban directamente a la producción.

De acuerdo a nuestro diagnóstico situacional de las paradas de planta, podemos afirmar que la carencia de la metodología TPM contribuye a que la planta no este operativa al 100%. (Alejano, 2019) y (Burga, 2018) demuestran en sus tesis, que con la implementación de la metodología TPM la eficiencia global de la planta se ha visto mejorada, así mismo, hemos podido corroborar que el excesivo tiempo de las paradas de planta, se reflejaban en los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y por ende en la eficiencia global, evidenciando parámetros no adecuados acorde a lo establecido por la empresa.

Para la implementación de la metodología TPM se han considerado ocho pilares, que han sido diseñados en base al diagnóstico situacional, éstos abarcan mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, planificado, de calidad, inicial, en áreas administrativas, educación, capacitación, seguridad y medio ambiente, estos abarcan el cambio del rodamiento estándar oscilante a bipartido, procedimientos, formatos, capacitaciones donde se involucran a todas las áreas de la empresa.

Después de realizar la implementación podemos determinar que incrementaron los indicadores de disponibilidad de 94% a 98%, rendimiento de 93% a 94%, la calidad de 99% a 99.8%, como consecuencia la OEE incrementó de 86.54% a 92%, disminuyendo el MTTR total de paradas de planta de de 508 horas a 84 horas, lo que genera asegurar una mejor producción. Así también lo demuestran en su tesis Altamirano, G. (2017) Angeles, J. (2017), quienes vieron mejorada la producción con la disminución de las seis grandes pérdidas.

Finalmente, en base al ahorro estimado de 127200 dólares semestrales, se logró realizar el análisis económico beneficio-costos de la implementación del TPM, obteniendo un valor de 22.27, indicando el proyecto debe ser considerado, ya que genera mayor beneficio para la empresa la inversión que implica la implementación de la metodología TPM antes que presentar pérdidas económicas en cuanto a la producción generado por los tiempos de paradas de planta.

4.2 Conclusiones

- Se logró realizar el diagnóstico situacional del tiempo de paradas de planta por mantenimiento de los equipos críticos, siendo la causa raíz, el diseño del rodamiento estándar, generando un MTTR total de 508 horas, estando por debajo del estándar establecido por la empresa de 438 horas.
- Se logró realizar un diagnóstico de la eficiencia global (OEE) de los equipos críticos de la planta de cal, siendo la OEE 86.54%.
- Se logró diseñar e implementar los ocho pilares TPM aplicables en función al diagnóstico realizado.
- Se determinó y analizó los resultados de la implementación de la metodología TPM en los tiempos de parada por mantenimiento de los equipos de una planta de cal, incrementado los indicadores de disponibilidad de 94% a 98%, el rendimiento de 93% a 94%, la calidad de 99% a 99.8%, por ende, el OEE incrementó de 86.54% a 92%, disminuyendo el MTTR total de paradas de planta de 508 horas a 84 horas.
- En base al ahorro estimado de 127200 dólares semestrales, se logró realizar el análisis económico beneficio-coste de la implementación del TPM, obteniendo un valor de 22.27, indicando que los beneficios superan a los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

REFERENCIAS

- Alejabo, C. G. (2019). 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. Cajamarca.
- 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>
- Burga, J. E. (2018). Implementación del tpm en la zona de enderezadoras de aceros arequipa.
- García, O. (2015). Gestión moderna del mantenimiento industrial. Bogotá: ediciones de la U.
- García, S. (2014). Organización y gestión integral de Mantenimiento. Madrid: Diaz de Santos.
- Góndres, I., Lajes, S., Rodríguez, N., & Del Castillo, A. (2007). Redalyc. Obtenido de Redalyc: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934005&fbclid=IwAR1zBGldsQ5assQm pOvfccm6k0kNIEgEoz_8K7Zg7WWiZN4v_eELyD3hTwo
- Heyzer, J., & Barry, R. (2014). Principios de administración de Operaciones. Mexico: PEARSON.
- Horna, G. (2017). Propuesta de mejora en el proceso de envases PET para incrementar la productividad en la empresa ANVIP PRU S.R.L (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- López, E. (2009). El Mantenimiento Productivo total TPM y La Importancia del recurso humano para su exitosa implementación (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Marín, J., & Mateo, R. (2013). DIALNET. Obtenido de DIALNET: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4630086>
- Matos, R. (2012). REDALYC. Obtenido de REDALYC : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732639008>
- Portal, E. & 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 (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

- Suárez, M. (2016) Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento según el enfoque de mantenimiento productivo total (TPM) para reducir los costos operativos de la empresa SERFRIMAN E.I.R.L (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- 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>
- Johanna E. Allauca Fernandez, Johanna X. Neira Mendez, Christina A. Arias Ulloa . (2010). Título de Tesis: Diseño de un Sistema de Gestión y de Control Operacional en una Estación de Servicio".
- Juan Carlos Morales Flores . (2012). Título de Tesis: Implementación de un Programa de Mantenimiento productivo Total (TPM) al taller automotriz del i. Municipio de Riobamba (imr) . Ecuador .
- Lorena Portilla Diaz. (2014). Diseño del programa de mantenimiento productivo total para las áreas de producción de la empresa E.P.I LTDA. Colombia.
- Natalia Leandra Mansilla Del Valle. (2013). Título de Tesis: " Aplicación de la metodlología de mantenimiento productivo total para la estandarización de proceso y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional". chile, Ecuador
- Parra Márquez Carlos, C. M. (2016). Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de gestión de mantenimiento. Ingecon, 2.

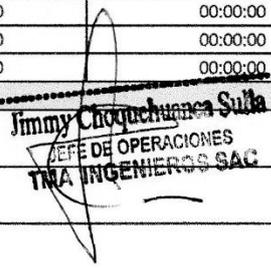
ANEXOS

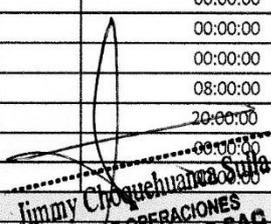
Anexo 1

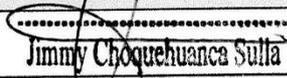
Reportes de excesivos tiempos de parada de planta

		REPORTE DE PARADAS DE PLANTA			Reporte	N°156-ST-MMT
Supervisor		Ing. Martin Cáceres			Orden	OT-4678
Fecha		30/01/2018			SAP	347-98
Estándares de mantenimiento correctivo para el área de quemado de caliza (Horno)						
Horas Máx permitidas / Tipo de falla						
Críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Elevador de cangilones	Inspección y ajustes	2	Desatoro	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
Fajas transportadoras	Alineamiento	2	Rotura de fajas	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
No críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Bombas	Fuga de combustible	2	Rotura de sello	5	No bombea	5
Compuertas	Fuga de gases	2	Rotura de empaque	5	Falla de sensor	5

REPORTE			
FALLA	Ene-18	MTTR	MTTR TOTAL
Rotura de sello de laberinto.		00:00:00	00:00:00
Temperatura alta de rodamientos.		00:00:00	00:00:00
Falla de canastilla de rodamiento.	1	30:00:00	30:00:00
Falla de rodillos de rodamiento.	1	30:00:00	30:00:00
Soltura de rodamientos.	1	30:00:00	30:00:00
Rotura de eje.		00:00:00	00:00:00
Desgaste de alojamiento.	1	08:00:00	08:00:00
Rotura de alojamiento.		00:00:00	00:00:00
Rotura de engranajes.		00:00:00	00:00:00
Falla en alta vibración.		00:00:00	00:00:00
Desalineamiento.		00:00:00	00:00:00

MES REPORTADO	Ene-18		FIRMA	 JIMMY CHOQUEHUANA SULLÁ JEFE DE OPERACIONES TMA INGENIEROS SAC
CONFORMIDAD	SI	X	OBS	
	NO			

 REPORTE DE PARADAS DE PLANTA		Reporte	N°203-ST-MMT			
Supervisor	Ing. Martin Cáceres	Orden	OT-9567			
Fecha	30/06/2018	SAP	643-91			
Estándares de mantenimiento correctivo para el área de quemado de caliza (Horno)						
Horas Máx permitidas / Tipo de falla						
Críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Elevador de cangilones	Inspección y ajustes	2	Desatoro	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
Fajas transportadoras	Alineamiento	2	Rotura de fajas	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
No críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Bombas	Fuga de combustible	2	Rotura de sello	5	No bombea	5
Compuertas	Fuga de gases	2	Rotura de empaque	5	Falla de sensor	5
REPORTE						
FALLA	Jun-18	MITR	MITR TOTAL			
Rotura de sello de laberinto.		00:00:00	00:00:00			
Temperatura alta de rodamientos.		00:00:00	00:00:00			
Falla de canastilla de rodamiento.		00:00:00	00:00:00			
Falla de rodillos de rodamiento.	1	30:00:00	30:00:00			
Soltura de rodamientos.		00:00:00	00:00:00			
Rotura de eje.		00:00:00	00:00:00			
Desgaste de alojamiento.		00:00:00	00:00:00			
Rotura de alojamiento.	1	08:00:00	08:00:00			
Rotura de engranajes.	1	20:00:00	20:00:00			
Falla en alta vibración.		00:00:00	00:00:00			
Desalineamiento.		00:00:00	00:00:00			
MES REPORTADO	Jun-18	FIRMA	 JIMMY CHOQUEHUANA JEFE DE OPERACIONES TMA INGENIEROS SAC			
CONFORMIDAD	SI	X				
	NO					
		OBS				

	REPORTE DE PARADAS DE PLANTA				Reporte	N°405-ST-MMT
					Orden	OT-10561
Supervisor	Ing. Martin Cáceres				SAP	956-98
Fecha	29/11/2018					
Estándares de mantenimiento correctivo para el área de quemado de caliza (Horno)						
Horas Máx permitidas / Tipo de falla						
Críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Elevador de cangilones	Inspección y ajustes	2	Desatoro	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
Fajas transportadoras	Alineamiento	2	Rotura de fajas	5	Falla en canastilla, rodillos y/o soltura de rodamientos.	10
No críticos	Falla Leve	Máx	Falla Moderada	Máx	Falla Grave	Máx
Bombas	Fuga de combustible	2	Rotura de sello	5	No bombea	5
Compuertas	Fuga de gases	2	Rotura de empaque	5	Falla de sensor	5
REPORTE						
FALLA	Nov-18	MTTR		MTTR TOTAL		
Rotura de sello de laberinto.		00:00:00		00:00:00		
Temperatura alta de rodamientos.		00:00:00		00:00:00		
Falla de canastilla de rodamiento.		00:00:00		00:00:00		
Falla de rodillos de rodamiento.		00:00:00		00:00:00		
Soltura de rodamientos.	1	30:00:00		30:00:00		
Rotura de eje.		00:00:00		00:00:00		
Desgaste de alojamiento.		00:00:00		00:00:00		
Rotura de alojamiento.	1	08:00:00		08:00:00		
Rotura de engranajes.		00:00:00		00:00:00		
Falla en alta vibración.	1	20:00:00		20:00:00		
Desalineamiento.		00:00:00		00:00:00		
MES REPORTADO	Nov-18		FIRMA	 Jimmy Choquehuanca Sullá		
CONFORMIDAD	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	OBS	JEFE DE OPERACIONES TMA INGENIEROS SAC		
	NO					

Anexo 2
Evidencia de la aplicación de los formatos implementados de la metodología TPM

FORMATO Entrega de Equipos Rotativos				Código: EF-001-2019							
				Página : 1 de 1							
Información											
Ejecutor:	Ricardo Gutiérrez Villanueva			N° OT	21406810			Reparado:	MYSRL	<input type="checkbox"/>	
				Planta (UP)	Horma 2			Terceros	<input checked="" type="checkbox"/>		
				Equipo	Elevador y transportador			Lima	<input type="checkbox"/>		
Fecha :	25-10-19			Componente	Plumación y Rodamientos			Nuevo:	<input type="checkbox"/>		
								 Jimmy Choquehuanca Sulla JEFE DE OPERACIONES TMA INGENIEROS SAC			
Contexto Operacional (PI)				Temperatura							
	Corriente Amp	Presión psi	Caudal m3/hr	RTD _{rod1} °C	RTD _{rod2} °C	RTD _{cuerp} °C	T _{cuervo} °C	T _{rod1} °C	T _{rod2} °C	T _{rod3} °C	T _{rod4} °C
Real	18	—	—								
Nominal (min-max)	23	—	—								
				< 60	< 85	< 45		< 40			<input checked="" type="checkbox"/>
				60 - 80	85 - 105	45 - 65		40 - 60			<input type="checkbox"/>
				80 - 100	105 - 125	65 - 85		60 - 80			<input type="checkbox"/>
				> 100	> 125	> 85		> 80			<input type="checkbox"/>
Orden y Limpieza / Inspección Visual											
1. el area se dejo limpio y ordenado libre de grasa en la superficie de											
2. componentes.											

Analisis Vibracional

SI NO

	V mm/seg	H mm/seg	A mm/seg	Env g's
Normal	<input type="checkbox"/>	< 2.3		
Tolerable	<input type="checkbox"/>	2.3 - 4.5		
Precaución	<input type="checkbox"/>	4.5 - 7.1		
Alarma	<input type="checkbox"/>	> 7.1		

Lubricación SI NO

Alineamiento SI NO

Grasa

Marca:	Mobil
Tipo:	SHC220
Cant(gr)	200



Aceite

Marca:	—
Tipo:	—
Cant(lit)	—

	Velocidad (rpm)	Paralelo (mm/100)	Angular (mm/100)	Lainas (mm)
Hori zonal	1000-2000	0.08	0.1	1
	3000-4000	0.05	0.06	2
Vertical	1000-2000	0.07	0.07	3
	3000-4000	0.05	0.06	4

Uso de estetoscopio

Analisis de Circuito de Motores

Pruebas Estaticas

R Mohm	Res Desb%	Ind Desb%	IP	Ifuga µAmp
100	1	1	>3	2
50	2	3	1.5-3	5
30	3	5	1-1.5	15
10	4	7	<1	30

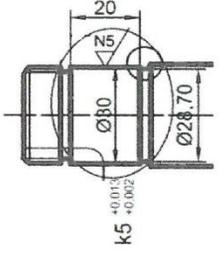
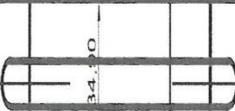
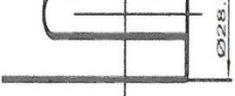
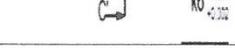
Pruebas Dinámicas

Voltaje			Corriente		Fp	Exc.	
Vr/Vn (%)	Desb (%)	THD (%)	Ir/In (%)	Desb (%)	dB	# picos	
+/- 1	0	1	+/- 1	2	>54	1	Normal <input checked="" type="checkbox"/>
+/- 3	0.5	2	+/- 3	4	45-54	2	Tolerable <input type="checkbox"/>
+/- 5	1	3	+/- 5	6	36-45	3	Precaución <input type="checkbox"/>
+/- 10	3	5	+/- 10	10	<36	4	Alarma <input type="checkbox"/>

Jimmy Choquehuanca Sullta
JEFE DE OPERACIONES
TMA INGENIEROS SAC

MANTENIMIENTO				FORMATO - 3Ts			Control de la Calidad en Tareas de Mantenimiento			
Verificación de repuestos reparados.				Realizado por: <i>Ricardo Goñon Villanueva</i>			Fecha:			
Equipo: Elevador de cangilones				Ubicación:			Sistema:		N° Orden:	
Paso	Descripción de la Actividad	Componente	Instrumento / Equipo		Medida Nominal	Desviación Tolerable	Medición Obtenida	Condición Aceptado / Rechazado	Acción a tomar	Observación
1	Inspección de eje									
	Medir diámetro de asiento de rodamiento pto 3	Eje	Micrómetro exteriores. 25- 50mm		30.00mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+ 0.013</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+ 0.002</div>	100.00g	✓	✓	OK.
	Medir longitud de rodamiento de asiento pto 3	Eje	Vernier		22.3.00mm	± 0.1	35.000	✓	✓	OK
Referencia Catálogo SKF	(*)Medir Rugosidad superficial de asiento de rodamiento pto 3	Eje	Rugocimetro		0.4um (N5)	N.A	—	—	—	—
	Medir Cilindricidad de asiento de rodamiento pto 3	Eje	Micrómetro		30.00 mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+ 0.005</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+ 0.003</div>	100.00g	✓		
	Medir diámetro de asiento de rodamiento pto 4	Eje	Micrómetro exteriores. 25- 50mm		30.00mm.	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+ 0.013</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+ 0.002</div>	100.00g	✓	✓	✓

Fanny Choquechuanca Sullá
 JEFE DE OPERACIONES
 TMA INGENIEROS SAC

	Medir longitud de rodamiento de asiento pto 4	Eje	Vernier		20mm.	± 0.1	35.000	✓	✓	OK
Referencia Catálogo SKF	(*)Medir Rugosidad superficial de asiento de rodamiento pto 4		Rugocímetro		0.4um (N5)	N.A	—	—	—	—
	Medir Cilindricidad de asiento rodamiento pto 4		Micrómetro		30.00 mm	$+0.005$ $+0.003$	100.009	✓	✓	OK
	Medir diámetro de asiento impulsor	Eje	Micrómetro exteriores. 25– 50mm		34.90 mm.	$+0.000$ -0.011	300.001	✓	✓	OK
	(*)Medir Rugosidad superficial de asiento de impulsor	Eje	Rugocímetro		0.8um (N6)	N.A	—	—	—	—
	Medir profundidad de canal chavetero de impulsor	Eje	Vernier		4.5mm	± 0.1	5.0	✓	✓	OK
	Medir ancho de canal chavetero-impulsor	Eje	Vernier		9.52mm	± 0.1	10.0	✓	✓	OK
	Medir diámetro de asiento de acople	Eje	Micrómetro exteriores. 50– 75mm		28.57mm	$+0.000$ -0.019	—	—	—	—

Jimmy Choquehuanca Sullá
JEFE DE OPERACIONES
TMA INGENIEROS SAC

IPERC									
Severidad	Matriz de evaluación de riesgos								
Catastrófico	1	A	A	A	A	M			
Fatalidad	2	A	A	A	M	B			
Permanente	3	A	M	M	B	B			
Temporal	4	M	M	B	B	B			
Menor	5	M	B	B	B	B			
		A	B	C	D	E			
		Común	Ha sucedido	Podría Suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda			
		FRECUENCIA							
ÁREA:	Planta de Cal - Htto						PETS:	PETS 01-2012 - CAL	
IPERC DIARIO REALIZADO POR EL OPERADOR Y/O MECÁNICO									
DESCRIPCION DEL PELIGRO	RIESGO	EVALUACION INICIAL			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	RIESGO RESIDUAL			
		A	M	B		A	M	B	
Caída de objetos	aplastamiento		X		Revisar equipo y herramientas con guardas.			X	
Herramientas sueltas	tropezones		X		Orden y limpieza.			X	
SUPERVISOR	Carlos Fer.	CARGO	Supervisor	FIRMA		FECHA	12-12-19		

Nivel de riesgo	Descripción	Plazo de corrección
ALTO	Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos, si no se puede controlar PELIGRO se paraliza los trabajos operacionales en la labor	0-24 horas
MEDIO	Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata.	0-72 horas
BAJO	Este riesgo puede ser controlable.	1 mes

Jimmy Choquehuanca Sullá
 JEFE DE OPERACIONES
 TMA INGENIEROS SAC

SVSDVSDV

	INSPECCION DE RUTINA AMBIENTAL	Versión:	02
		Fecha Aprobación	03/06/19

LUGAR DE INSPECCIÓN Mantenimiento Planta de Cal - Elevador de Cangilones FECHA 14-11-19

Colocar un si es SI, una si es NO y una si No Aplica

ÍTEM	FUNCIONAMIENTO / ESTADO	OBSERVACIONES
VENTILACIÓN		
01	El ambiente tiene adecuadas condiciones de ventilación en general.	✓
02	La ventilación natural es suficiente	✓
03	De existir manipulación o uso de materiales peligrosos, el área está adecuadamente ventilado.	✓
04	De existir focos de generación de contaminantes (polvo, humo, nieblas, gases o vapores), el área está adecuadamente.	✓
05	El almacenamiento de materiales peligrosos se realiza en un ambiente ventilado.	✓
06	En el caso de utilizarse sistemas de aire acondicionado se asegura su adecuado funcionamiento.	✓
07	Existe presencia de derrames en el área.	✓
08	Las máquinas no presentan fugas.	✓
ILUMINACIÓN		
09	Los niveles de iluminación cumplen con lo recomendado.	✓
10	Las ventanas están limpias y libres de obstrucciones, siempre y cuando esto no genere deslumbramiento.	✓
11	Las paredes están limpias favoreciendo la iluminación.	✓
12	Los reflectores, luminarias, accesorios, focos, fluorescentes y otros elementos están limpios y en buenas condiciones.	✓
13	Se cuenta con un solo color de luz y/o tipo de luminaria para evitar contrastes que provoquen fatiga visual.	✓
ORDEN Y LIMPIEZA		
14	El área de trabajo se encuentra limpio y ordenado.	✓
15	Cuentan con depósitos para almacenamiento de sus Residuos generados	✓
SUMINISTRO DE AGUA		
16	Las conexiones para el agua y accesorios están en condiciones adecuadas sin fugas.	✓
17	El reservorio de agua se encuentran en óptimas condiciones.	✓
GENERAL		
18	Se observa que existen identificación mediante letreros del Área de trabajo.	✓
19	Se visualizan los Kit de emergencia, extintores y señalizaciones de emergencia.	✓
20	Cuentas con Hojas de Seguridad (MSDS) de los productos que utilizan	✓
21	Se encuentran desconectados los equipos y/o maquinarias cuando no están siendo usados.	✓

Jimmy Choquhuanca Sullá
JEFE DE OPERACIONES
TMA INGENIEROS SAC