

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNIDAD DE POSGRADO



Tesis

**Optimización de Mantenimiento Planificado del Horno de Clinker
Durante la Parada de Planta para Reducir el mantenimiento
Correctivo en una Empresa Cementera en Tarma.**

**Para Obtener el Grado Académico de Maestro en Ingeniería con Mención en
Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento.**

Elaborado por:

Henry Ronald Gonzales Izquierdo.

Asesor:

Dr. Aurelio Marcelo Padilla Ríos

Lima – Perú

2024

INDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | X |
| ABSTRACT..... | XI |
| CAPITULO I: GENERALIDADES..... | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS..... | 1 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 7 |
| 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 9 |
| 1.3.1 Problema General..... | 9 |
| 1.3.2 Problemas específicos..... | 9 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 9 |
| 1.5 OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.5.1 Objetivo General..... | 10 |
| 1.5.2 Objetivos Específicos..... | 10 |
| 1.6 HIPÓTESIS..... | 11 |
| 1.6.1 Hipótesis General..... | 11 |
| 1.6.2 Hipótesis específicas..... | 11 |
| 1.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... | 12 |
| 1.8 UNIDADES DE ANÁLISIS..... | 13 |
| 1.9 TIPO, ENFOQUE, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... | 13 |
| 1.10 PERÍODO DE ANÁLISIS..... | 14 |
| 1.11 FUENTES DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS..... | 14 |
| 1.11.1 Fuentes primarias..... | 14 |
| 1.11.2 Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información de Datos..... | 15 |
| 1.12 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS..... | 15 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL..... | 16 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1.1 Planta Cementera ubicada en Tarma..... | 16 |
| 2.1.1.1 Chancado de materias primas..... | 17 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.1.1.2 | Molienda de Crudo y Homogenización | 17 |
| 2.1.1.3 | Hornos o clinkerización: | 17 |
| 2.1.1.4 | Molienda de Cemento | 17 |
| 2.1.1.5 | Embolsado y Despacho..... | 18 |
| 2.1.2 | Evolución del Mantenimiento Industrial..... | 19 |
| 2.1.3 | Definiciones del Mantenimiento | 20 |
| 2.1.3.1 | Mantenimiento:..... | 20 |
| 2.1.3.2 | Mantenibilidad: | 20 |
| 2.1.3.3 | Confiabilidad:..... | 21 |
| 2.1.3.4 | Disponibilidad: | 21 |
| 2.1.3.5 | Tiempo medio entre fallas: | 22 |
| 2.1.3.6 | Tiempo medio para reparar: | 22 |
| 2.1.3.7 | Objetivos del mantenimiento: | 22 |
| 2.1.4 | Tipos de Mantenimiento | 22 |
| 2.1.4.1 | Mantenimiento Correctivo..... | 22 |
| 2.1.4.2 | Mantenimiento Preventivo: | 23 |
| 2.1.4.3 | Mantenimiento Proactivo: | 23 |
| 2.1.5 | Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM | 23 |
| 2.1.6 | Planificación del Mantenimiento | 25 |
| 2.1.7 | Programación del Mantenimiento | 25 |
| 2.1.8 | Gestión de Proyectos | 26 |
| 2.1.9 | Mantenimiento en Parada de planta | 27 |
| 2.1.10 | Seguimiento y Control de proyectos | 28 |
| 2.1.11 | Optimización del mantenimiento Planeado (PMO)..... | 28 |
| 2.1.11.1 | Implementación del PMO | 29 |
| 2.1.12 | Fallas..... | 29 |
| 2.1.12.1 | Tipos de Fallas..... | 29 |
| 2.2 | MARCO CONCEPTUAL..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN..... | 31 |
| 3.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE SISTEMAS Y EQUIPOS..... | 31 |
| 3.2 IDENTIFICACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN CRITICA EN LA PLANTA CEMENTERA | 32 |
| 3.2.1 Análisis de Incidencias de fallas del Horno..... | 35 |
| 3.2.1.1 Indicadores de mantenimiento..... | 35 |
| 3.3 ANÁLISIS DE PARETO PARA LAS PARADAS CORRECTIVAS DE LOS SISTEMAS DEL HORNO. | 37 |
| 3.3.1 Histórico de fallas de los sistemas analizados en Pareto..... | 39 |
| 3.4 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO PMO PARA EL HORNO..... | 43 |
| 3.4.1 Recopilación de Tareas..... | 44 |
| 3.4.2 Análisis de Modos de fallas (FMA)..... | 47 |
| 3.4.3 Racionalización y revisión del FMA. | 50 |
| 3.4.4 Análisis Funcional..... | 54 |
| 3.4.5 Evaluación de Consecuencias..... | 58 |
| 3.4.6 Determinación de las Políticas de mantenimiento..... | 63 |
| 3.4.7 Agrupación y revisión de los procesos funcionales..... | 68 |
| 3.4.8 Aprobación e Implementación de los programas | 72 |
| 3.4.9 Programa de Vida y de Mejoramiento Continuo..... | 72 |
| 3.5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO DEL HORNO EN PARADA DE PLANTA..... | 72 |
| 3.5.1 Parada de planta del Horno de clinker..... | 72 |
| 3.5.2 Procedimiento para la Planificación de la parada la parada de planta con PMO..... | 74 |
| 3.5.2.1 Esquema de planificación de la parada en periodos de tiempo .. | 76 |
| 3.6 SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL MEDIANTE LA GUÍA DEL PMBOK..... | 78 |
| 3.6.1 Cronograma del mantenimiento del Horno | 79 |
| 3.6.2 Curva “S” para el seguimiento y control del mantenimiento del Horno..... | 82 |

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 84 |
| 4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 84 |
| 4.1.1 Fallas post mantenimiento..... | 86 |
| 4.1.2 Tiempo medio entre fallos MTBF..... | 86 |
| 4.1.3 Tiempo medio para reparar MTTR..... | 86 |
| 4.1.4 Disponibilidad Horno | 86 |
| 4.1.5 Cantidad equipos con historial de fallas..... | 86 |
| 4.1.6 Cantidad de equipos que se realiza el AMEF | 86 |
| 4.1.7 Actualización de planes de mantenimiento | 87 |
| 4.1.8 Cronograma Project | 87 |
| 4.1.9 Curva "S" | 87 |
| 4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 87 |
| 4.2.1 Contrastación de Hipótesis General | 87 |
| 4.2.2 Contrastación de las Hipótesis Especificas..... | 88 |
| 4.2.2.1 Primera hipótesis especifica: | 88 |
| 4.2.2.2 Segunda hipótesis especifica: | 88 |
| 4.2.2.3 Tercera hipótesis especifica: | 89 |
| 4.2.2.4 Cuarta hipótesis especifica:..... | 89 |
| 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 90 |
| CONCLUSIONES..... | 92 |
| RECOMENDACIONES..... | 94 |
| ANEXOS | 98 |

Contenido de Tablas.

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1 | Capacidad de producción de los hornos y perdidas de costos por hora de los hornos. | 8 |
| Tabla 2 | Horas paradas por mantenimiento correctivo por año de los hornos. | 8 |
| Tabla 3 | Perdidas de producción en toneladas de clinker y económicas en soles para el año 2019..... | 8 |
| Tabla 4 | Disponibilidad por año de los hornos años 2018 al 2023 y el promedio. | 9 |
| Tabla 5 | Operacionalización de variables generales..... | 12 |
| Tabla 6 | Análisis de criticidad basada en el riesgo | 31 |
| Tabla 7 | Tabla de factores ponderados para la criticidad..... | 33 |
| Tabla 8 | Identificación de la línea de producción critica en la planta cementera | 34 |
| Tabla 9 | Indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad del Horno 4..... | 36 |
| Tabla 10 | Código de ubicación técnica de la línea del Horno 4..... | 37 |
| Tabla 11 | Paradas correctivas en Horas de los sistemas del Horno 4 | 38 |
| Tabla 12 | Histórico de Fallas de los sistemas analizados en Pareto..... | 40 |
| Tabla 13 | Paso 1: Histórico De Fallas Criticas Ocurridas En El Horno Vs Planes De Mantenimiento Actual. | 45 |
| Tabla 14 | Paso 2: Análisis de modos de fallas. | 48 |
| Tabla 15 | Paso 3: Racionalización y revisión del FMA..... | 51 |
| Tabla 16 | Paso 4: Análisis Funcional..... | 55 |
| Tabla 17 | Valoración para el numero de prioridad de riesgos – RPN..... | 58 |
| Tabla 18 | Valoración para los índices de Ocurrencia (O), Severidad (S) y la Detectabilidad (D)..... | 59 |
| Tabla 19 | Paso 5: Evaluación de consecuencias..... | 60 |
| Tabla 20 | Paso 6: Determinación de las políticas de mantenimiento. | 64 |
| Tabla 21 | Paso 7: Agrupación y revisión de los procesos funcionales. | 69 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 22 | Resultados de la Investigación. | 84 |
| Tabla 23 | Avisos de paradas correctivas con sus órdenes de trabajo para fallas mayores a 100 horas. | 102 |

Contenido de Figuras.

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Hornos de clinker de la planta de cemento..... | 13 |
| Figura 2 | Planta de cementera ubicada en Tarma..... | 16 |
| Figura 3 | Diagrama flujo de líneas de proceso en la producción del cemento | 18 |
| Figura 4 | Diagrama de flujo del proceso de clinkerización..... | 18 |
| Figura 5 | Evolución del mantenimiento..... | 20 |
| Figura 6 | Matriz de Criticidad..... | 32 |
| Figura 7 | Cálculo de indicadores de gestión mantenimiento planta de cemento..... | 35 |
| Figura 8 | Tendencias de los Indicadores: Disponibilidad del Horno 4..... | 36 |
| Figura 9 | Tendencias de los Indicadores: MTBF del Horno 4..... | 36 |
| Figura 10 | Tendencias de los Indicadores: MTTR del Horno 4..... | 37 |
| Figura 11 | Diagrama de Pareto de las Paradas correctivas en Horas de los sistemas del Horno 4..... | 39 |
| Figura 12 | Paso 1. Recopilación de tareas - según la PMO..... | 44 |
| Figura 13 | Paso 2. Análisis de modos de falla, según la PMO..... | 47 |
| Figura 14 | Paso 3. Racionalización y revisión del FMA, según la PMO..... | 50 |
| Figura 15 | Paso 4. Análisis Funcional, según la PMO..... | 54 |
| Figura 16 | Paso 5. Evaluación de consecuencias, según la PMO..... | 58 |
| Figura 17 | Paso 6. Definición de las políticas de mantenimiento, según la PMO..... | 63 |
| Figura 18 | Esquema de planificación de la parada de planta en periodos de tiempos. | 77 |
| Figura 19 | Los 7 procesos de gestión del tiempo..... | 79 |
| Figura 20 | Lista de Ordenes de trabajos para el mantenimiento anual del horno..... | 80 |
| Figura 21 | Cronograma previsto del mantenimiento planificado del horno en parada de planta..... | 81 |
| Figura 22 | Curva “S” con avance previsto, real y reprogramación para llegar a la meta..... | 83 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 23 | Cronograma Project del mantenimiento del horno por parada de planta. ... | 83 |
| Figura 24 | Resultados indicadores: Disponibilidad y Mantenimiento correctivo en horas. | 85 |
| Figura 25 | Resultados indicadores: MTBF y MTTR. | 85 |
| Figura 26 | Estructura de ordenes de trabajo para las fallas correctivas mayores a 100 horas. Fuente ERP-SAP..... | 102 |
| Figura 27 | Parada correctiva de 179 horas. Aviso Z6 parada N° 11516775, fuente ERP-SAP..... | 103 |
| Figura 28 | OT. 10020198, relacionada a parada correctiva..... | 104 |
| Figura 29 | Informe de Trabajo realizado por el Contratista OT 10020198 | 107 |
| Figura 30 | Fotos trabajos de la OT 10020198 | 109 |
| Figura 31 | Parada correctiva de 162.50 horas. Aviso Z6 parada N° 11892602, fuente ERP-SAP | 110 |
| Figura 32 | OT. 10023803, relacionada a parada correctiva..... | 111 |
| Figura 33 | Informe de Trabajo realizado por el Contratista, OT. 10023803 | 114 |
| Figura 34 | Fotos trabajos de la OT 10023803 | 118 |

Resumen.

En una planta de cemento el componente principal y que determina la calidad del cemento es el clinker, los Hornos de clinker trabajan a una operación continua, al ser una línea de producción crítica es susceptible a fallas, se debe evitar mantenimientos correctivos para asegurar la disponibilidad y la continuidad de la producción.

La presente investigación tiene como objetivo aplicar el PMO (Optimización del mantenimiento planificado) en el mantenimiento planificado del horno durante la parada de planta, para disminuir los mantenimientos correctivos.

La metodología de investigación es aplicada, el nivel es descriptivo, explicativo y correlacional, el enfoque es cuantitativo y el diseño de investigación es no experimental y transversal; La información se ha recolectado de los datos estadísticos de la operación de la planta de los últimos 06 años.

Los resultados obtenidos al aplicar PMO son: Se identificó los equipos con historial de fallas y se implementó el PMO en la zona de Pareto, se tiene 30 tareas nuevas optimizadas a fallas sin mantenimiento, se actualizó los planes existentes dando como resultado 39 planes de mantenimiento para las fallas críticas del horno; Disminución de las horas de mantenimiento correctivo, con un valor para el 2024 de 127 horas, que es un 13% de reducción respecto al año 2019 y 65% respecto al año 2023, se obtuvieron mejoras en los indicadores de mantenimiento, la disponibilidad aumentó a 94% que es un incremento del 3.3% del promedio histórico, el MTBF tiene como valor 250 horas, aumenta un 18% respecto al año 2019 y 73% respecto al año 2023 y el MTTR con un valor de 4 horas disminuye un 16% respecto al año 2019 y 56% respecto al año 2023.

En conclusión, la metodología del PMO, logró la reducción de mantenimientos correctivos que contribuye a una mejora de la disponibilidad, MTBF y MTTR.

PALABRAS CLAVE: PMO, Parada de planta, Horno de clinker, mantenimiento correctivo, disponibilidad.

Abstract.

In a cement plant, the main component that determines the quality of the cement is the clinker. The clinker kilns work in continuous operation, being a critical production line, it is susceptible to failures, corrective maintenance must be avoided to ensure availability. and the continuity of production.

The objective of this research is to apply the PMO (Planned Maintenance Optimization) in the planned maintenance of the furnace during plant shutdown, to reduce corrective maintenance.

The research methodology is applied, the level is descriptive, explanatory and correlational, the approach is quantitative and the research design is not experimental and transversal; the information has been collected from the statistical data of the plant's operation for the last 06 years.

The results obtained by applying PMO are:

Equipment with a history of failures was identified and the PMO was implemented in the Pareto zone, there are 30 new tasks optimized for failures without maintenance,

Existing plans were updated resulting in 39 maintenance plans for critical furnace failures,

Reduction in corrective maintenance hours, with a value for 2024 of 127 hours, which is a 13% reduction compared to 2019 and 65% compared to 2023, Improvements were obtained in maintenance indicators, availability increased to 94%, which is an increase of 3.3% from the historical average, The MTBF has a value of 250 hours, increases 18% compared to 2019 and 73% compared to 2023 and the MTTR with a value of 4 hours decreases 16% compared to 2023 to the year 2019 and 56% compared to the year 2023.

In conclusion, the PMO methodology got the reduction of corrective maintenance that contributes to an improvement in availability, MTBF and MTTR.

KEYWORDS: PMO, Plant shutdown, Clinker kiln, corrective maintenance, availability.

Introducción.

El mantenimiento se ha convertido en parte fundamental para la industria, con el paso del tiempo ha dejado de ser un gasto y se ha transformado en ser una inversión debido a que debe asegurar una disponibilidad para la continuidad de las operaciones.

En las industrias, las paradas de planta por mantenimiento son de gran importancia debido a que por razones de seguridad y producción deben funcionar de forma fiable por largos periodos de tiempo, es así que es importante que después de una parada de planta por mantenimiento esta quede en condiciones de operar una campaña completa hasta su próximo mantenimiento.

El mantenimiento planificado en parada de planta es una estrategia crucial para garantizar la confiabilidad y la disponibilidad de los activos en la industria cementera. Un horno de clinker, como componente central de la producción de cemento, es particularmente susceptible a fallas y requiere un programa de mantenimiento optimizado para minimizar el tiempo de inactividad por mantenimiento correctivos y maximizar la productividad.

En el presente trabajo de investigación se basa en la Optimización del mantenimiento planificado PMO del horno de clinker, que tiene como objetivo reducir los mantenimientos correctivos, para asegurar una mejora de los indicadores de la disponibilidad, MTBF y MTTR; Debido a que el Horno es una línea de producción continua, se debe evitar mantenimientos correctivos para asegurar la producción de clinker y cemento según el plan anual aprobado por la gerencia.

En el primer capítulo – Generalidades, contiene los antecedentes investigativos que abordan estudios referentes al tema de la tesis, la descripción del problema de investigación, formulación del problema general y específicos, justificación e importancia de la investigación, objetivos general y específicos, hipótesis, operacionalización de

variables con las variables dependiente e independiente, tipo, enfoque, nivel y diseño de investigación, fuentes de información, técnicas de recolección y procesamiento de datos.

En el segundo capítulo - Marco teórico y conceptual, contiene: la teoría correspondiente a mantenimiento, mantenimiento en parada de planta, gestión de proyectos, Optimización del mantenimiento, seguimiento y control y términos conceptuales usados en el desarrollo de la tesis.

En el tercer capítulo - Desarrollo del trabajo de investigación, contiene la solución en forma secuencial según los objetivos general y específico al problema de investigación, donde con el historial de fallas se realiza el análisis de criticidad, se muestran los indicadores iniciales de mantenimiento, se implementa la optimización del mantenimiento PMO para optimizar los planes de mantenimiento que impactan más en los mantenimientos correctivos, y se establece el sistema seguimiento control en la parada de planta del mantenimiento planificado del horno.

En el cuarto capítulo - Análisis y discusión de resultados, contiene los resultados tabulados para comparar con los resultados anteriores y poder contrastar la hipótesis; En la discusión de resultados se tomaron 3 antecedentes y la teoría correspondiente para comparar los resultados.

Finalmente se describe las "Conclusiones" y se formula las "Recomendaciones" para futuras investigaciones.

CAPITULO I: Generalidades

1.1 Antecedentes Investigativos

García (2007)¹, en su artículo El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado, en la cual tuvo como problema las fallas de los equipos y se tuvo como propósito determinar la confiabilidad de los equipos y predecir su comportamiento. La metodología fue descriptiva y no experimental. Los resultados indican que, hubo una reducción del 40% en los números de fallas debido a que se hizo un mantenimiento cada 60 días, logrando así que el costo total de mantenimiento sea inferior a los 4 millones de dólares, lo cual es un factor positivo para una compañía. Se concluye que la metodología PMO influye en que las acciones de mantenimiento tengan valor agregado y que el sistema produzca mejoras en muchas áreas de la gestión de actividades de una compañía, además de los resultados del análisis de confiabilidad.

Leal y Vargas (2017)², presentaron su estudio Diseño de una guía que permita mejorar el proceso de gestión y planificación de los procesos de paradas de planta de la central de procesamiento de crudo de petróleo de la empresa Ecopetrol, en la cual tuvo como problema la mala coordinación y organización en la ejecución de los trabajos de mantenimiento en parada de planta, incumpliendo plazos de entrega, elevando los costos de mantenimiento y paradas correctivas después del mantenimiento, esto ocurre al no

¹ García, L. (2007). Artículo: Metodología de Dirección y Gestión de Proyectos de Paradas de Planta de Optimización Real del Mantenimiento. Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad Operacional, 1(1), 1-17.
https://www.researchgate.net/publication/320540199_El_Sistema_PMO_Optimizacion_Real_del_Mantenimiento_Planeado

² Leal, C., y Vargas, G. (2017). Tesis: Diseño de una guía que permita mejorar el proceso de gestión y planificación en los proyectos de paradas de planta en el CDF Cupiagua, aplicando fundamentos del PMBOOK. [Tesis de grado para optar el Título de Especialista en Gestión de Proyectos]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12272>

tener claro la planificación de los trabajos teniendo como causas principales de una parada de planta deficiente lo siguiente: 9 de cada 10 paradas correctivas reportaron un crecimiento de alcance de trabajo entre 10-50%; 8 de cada 10 paradas correctivas experimentaron un incremento de los costos entre 10-40%; Como objetivo se tuvo de diseñar una guía que ayudara a mejorar la gestión y planificación de los procesos de paradas de planta. Se tuvo como metodología la inspección basada en riesgo, la cual proporciona herramientas fundamentales para administrar el riesgo; Como resultados de este estudio se tiene un control de costos inferior al 20% del presupuesto del mantenimiento anual, los trabajos de mantenimiento se tienen que realizar con el 90% de los recursos disponibles dejando un 10% para trabajos adicionales. En conclusión, manifiesta que una guía para la dirección de proyectos como el PMBOK brinda seguridad en la implementación de técnicas y metodologías reconocidas a nivel mundial minimizando el riesgo de la planificación de los trabajos de mantenimiento para asegurar el éxito de la parada de planta.

Dinis et al (2019)³ en su artículo un marco de apoyo para la planificación y programación de la capacidad de mantenimiento: Desarrollo y aplicación en la industria Mantenimiento, Reparación y Overhaul (MRO) de aeronaves de Portugal, cuyo problema es la mala gestión de la planificación del mantenimiento, los insuficientes recursos previstos y la ineficiente programación de los trabajos de mantenimiento; Su objetivo fue identificar el marco de apoyo para la planificación y programación de la capacidad de mantenimiento. El nivel de la investigación fue exploratorio de manera que el análisis de los datos de mantenimiento se basa en un sistema tridimensional de coordenadas espacio-tiempo-habilidad (3D-MDA) en el que los indicadores se calculan a partir de datos históricos para gestionar de forma integral el trabajo de mantenimiento en planificación y

³ Dinis, D., Barbosa, A., & Palos, A. (2019). Artículo: A Supporting Framework for Maintenance Capacity Planning and Scheduling: Development and Application in the Aircraft MRO Industry. *International Journal of Production Economics*, 218(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.04.029>

programación. Los resultados indican que la carga de trabajo entre el mantenimiento programado y no programado alcanza valores de hasta 198% de la carga de trabajo y esto es un problema que tiende a aumentar y afecta la vida útil de las aeronaves representando una amenaza significativa para la planificación y programación de la capacidad, y en mayor medida a la elaboración de presupuestos, la gestión de inventarios y la finalización a tiempo de proyectos de mantenimiento de aeronaves. En conclusión, la evaluación realizada confirma que la incertidumbre del trabajo de mantenimiento resultante principalmente del mantenimiento no programado es un problema importante que enfrentan el área de Mantenimiento, Reparación y Overhaul (MRO) de aeronaves; Seguir con la propuesta del tratamiento de datos históricos y registro de datos futuros definiendo un análisis de datos como sistema tridimensional de coordenadas espacio-tiempo-habilidad (3D-MDA) para definir las estrategias de mantenimiento.

De Cruz et al, (2020)⁴, en su investigación El impacto del tiempo de inactividad del horno en los elementos de costo variable de la producción de clinker: un estudio de caso, se identificó como problema las pérdidas de eficiencia que surgen en la fábrica de cemento como consecuencia de la parada del horno, tuvo como propósito desarrollar un marco de mejora utilizando el costo total de falla de mantenimiento para la priorización e identificación del mantenimiento de los equipos requeridos en uno de los hornos de una planta de cemento en Malasia. La metodología fue aplicada de naturaleza correlacional, en la cual se identificó los elementos de costos variables que tienen una correlación significativa con el tiempo de inactividad del horno. Los resultados indican que por 10 horas de inactividad del horno de clinker las pérdidas de calor resultantes ascienden a 356.409 megacalorías o un consumo de diésel equivalente a 35.640 litros; Las perdidas por energía en 0,49 kilovatios-hora de energía consumida por tonelada de clinker y suponiendo una

⁴ Decruz, G., y Haron, H. (2020). Artículo: The Impact of Kiln Downtime on the Variable Cost Elements of Clinker Production-A Case Study. *Journal of Advanced Research in Business and Management Studies*, 18(1), 1-6. <https://akademiabaru.com/submit/index.php/arbms/article/view/1346>

producción mensual de clinker de 100 000 toneladas, esto resultaría en 49 000 kilovatios-hora adicionales de energía consumida, tanto la pérdida de calor y la energía adicional consumida afectan económicamente a la planta de cemento. Asimismo; En conclusión, el tiempo de inactividad del horno por paradas no programadas influyen en pérdidas de eficiencia térmica por enfriamiento de hornos y aumentos de consumo de energía para calentamiento de horno y esto impacta en los costos de producción, con este estudio se demuestra su importancia para la toma de decisiones en las actividades de mejora del mantenimiento.

Penha (2021)⁵, en su tesis Proceso de planificación y programación de mantenimiento en una empresa minera en San Luis de Maranhao, tuvo como problema la ineficiente planificación y programación de mantenimiento y su objetivo fue aplicar los conceptos de planificación y programación en una parada de mantenimiento mayor Overhaul, utilizando herramientas de control en la ejecución del mantenimiento y programación de grandes paradas para que el proceso continuo de producción de la planta minera vuelva de forma confiable a la producción deseada. La metodología fue de tipo exploratoria y diseño experimental, que comprende la estandarización de los procesos de planificación y programación de una parada de mantenimiento mayor. Los resultados indican que, en la planificación, las principales actividades incluidas en la ruta crítica experimentaron retrasos de alrededor del -4% para la entrega en días del mantenimiento mayor por fuentes externas no previstas como lluvias, se verifico atrasos en las actividades de cambio de motor de 14% al 10% y en la actividad de reemplazo de los ejes del 24% al 20%. En conclusión, es claro que la gestión de mantenimiento se consolida como una herramienta estratégica en las organizaciones y que la gestión de proyectos para ganar control sobre el mantenimiento mayor es el mejor camino hacia la mejora y la calidad.

⁵ Penha, D. (2021). Tesis: Processo de planejamento e programação de manutenção em uma empresa de mineração em são luís do maranhão: Estudo de caso. [Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos –Mestrado Profissional. Universidade Federal do Pará, Brasil]. <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/13695>

Salas (2021)⁶, en su tesis Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores, en la cual tuvo como problema retraso en la producción debido a la ineficiencia del área de mantenimiento y se tuvo como propósito implementar un plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores. La metodología fue cuantitativa, descriptiva, exploratoria, no experimental y se aplicó una entrevista al área de mantenimiento. Los resultados resaltaron que, se logró mejorar la confiabilidad operacional de la gestión de mantenimiento, logrando así un 91.58% de disponibilidad física, de esta manera se obtiene un plan de mantenimiento óptimo para la flota de tractores. Se concluyó que, al utilizar la metodología PMO y RCM se puede mejorar y ajustar significativamente los planes de mantenimiento actuales porque se examinan los patrones de fallas actuales.

Tavella (2022)⁷ en su tesis Planificación y Programación del Mantenimiento Preventivo Anual, en la cual tuvo como problema un bajo valor del indicador de eficacia global de los equipos productivos OEE, debido a una deficiente planificación y programación del mantenimiento en una empresa de equipamiento de operaciones agrícolas, teniendo como objetivo desarrollar un modelo de planificación del mantenimiento preventivo anual para garantizar la sustentabilidad de las operaciones de fabricación. La metodología fue de tipo exploratoria debido a que se hizo un análisis y recopilación de datos de diversos equipos estudiados con la finalidad de establecer una innovadora estrategia de mantenimiento. Los resultados indicaron que antes de aplicar el plan de

⁶ Salas, P. (2021). Tesis: Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores de orugas Caterpillar D11T en una empresa minera de Tacna. (Tesis de maestría en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa). <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f4d9f3f9-42aa-447b-9c20-443fa6ffcbab/content>

⁷Tavella, A. (2022). Tesis: Planificación y Programación del Mantenimiento Preventivo Anual para garantizar la sustentabilidad de las operaciones. [Tesis de Maestría en Gestión de Operaciones, Universidad Austral]. <https://rii.austral.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2045/Tesis%20Final%20Ariel%20Tavella.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

programación del mantenimiento el indicador de eficacia global de los equipos productivos OEE se ubican por debajo del valor de clase mundial (85%) teniendo valores de 48% OEE para la línea de mecanizado de block de cilindros y 80% OEE para la línea de mecanizado de cabeza de cilindros, estos valores mejoraron de 48% a 55% y de 80% a 82% ello en una primera instancia, pudiendo mejorar estos porcentajes; La confiabilidad para el equipo de la lavadora A-1309 mejoró de 0.971 a 0.995, el tiempo promedio entre fallas MTBF mejoró de 64.86 a 186.46 y el tiempo promedio para la reparación MTTR mejoró de 1.96 a 0.96, además de ello se logró una reducción del 45% en los gastos de mantenimiento. Se concluyó que, detener una planta para su mantenimiento mayor mejora los indicadores del área y los pilares del OEE, que es un indicador crucial para la sustentabilidad de la operación.

Valencia (2023)⁸ en su tesis en su tesis Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP, en la cual tuvo como problema las fallas de los equipos de mantenimiento lo cual genera un retraso en la producción de los cilindros y se tuvo como propósito optimizar el plan de mantenimiento planeado en la línea de envasado de GLP. La metodología fue cuantitativa, descriptiva, no experimental, aplicándose una revisión documental a las cuatro unidades de envasado de los cilindros. Los resultados indican que, hubo una reducción del 68.70% en los números de fallas en la cual se detalla que la inclusión de las tareas contribuyó a mejorar la eficiencia de los equipos. Se concluye que, aplicando la metodología PMO en la línea de producción de cilindros de uso doméstico permitió reducir el número de fallas, además dicho dato contribuyó al incremento de la productividad en un 5.54%.

⁸ Valencia, N. (2023). Tesis: Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP. (Tesis de maestría en Producción y Operaciones Industriales, Universidad Politécnica Salesiana). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24994/1/UPS-GT004387.pdf>

1.2 Descripción del Problema de Investigación.

En el Perú existen 03 importantes empresas cementeras que pertenecen a ASOCEM (Asociación de productores de Cemento) estas son: Unión Andina de Cementos Perú UNACEM PE, Cementos Yura y Cementos Pacasmayo SAA. El componente principal y que determina la calidad del cemento es el Clinker y esta se obtiene a través de la producción de la línea de los Hornos, las empresas cementeras y envasadoras de cemento buscan ser más eficientes ante la competencia del mercado nacional.

La fábrica cementera ubicada en la ciudad de Tarma, tiene 03 Hornos con capacidades de producción nominal de 1500, 2000 y 2100 toneladas por día (TPD) de Clinker, su operación es continua y el mantenimiento se realiza anualmente en la denominada parada de planta del horno de clinker en los periodos de baja demanda de producción, la duración de la parada de cada horno está prevista en el rango de 20 a 25 días.

Luego del mantenimiento ocurren paradas correctivas demandando varias horas de reparación, los motivos de las paradas correctivas en cementeras y en particular en la línea del horno, están dadas por: Modos de fallas no identificadas y que no tienen plan de mantenimiento; Mantenimiento de equipos no programados inicialmente y se repararon sin mucha eficacia; Recursos no disponibles (recurso humano, repuestos) por una deficiente programación de trabajos; No se realiza un adecuado seguimiento y control de tiempo de la parada; Falta de calidad de los trabajos efectuados por personal de mantenimiento.

Las horas de paradas correctivas del horno que afectan más a la empresa están ante una falla en los polines, llantas de rodadura, sistema de desplazamiento longitudinal y en el enfriador del horno.

Estos mantenimientos correctivos perjudican directamente a la continuidad de la producción al no ser estas planificadas, ocasionando pérdidas económicas de aproximadamente hasta S/. 18,000.00 por hora de parada de un horno. La tabla 1 muestra que el Horno 4 es el de mayor producción por hora y la tabla 2 muestra las horas de paradas correctivas por año de los hornos del periodo del 2018 al 2023.

Tabla 1

Capacidad de producción de los hornos y perdidas de costos por hora de los hornos.

| Línea | Ton/día | Ton/hora | Perdida S/. por hora |
|---------|---------|----------|----------------------|
| Horno 2 | 1500 | 62.5 | S/. 16,300.00 |
| Horno 3 | 2000 | 83.3 | S/. 17,500.00 |
| Horno 4 | 2100 | 87.5 | S/. 18,000.00 |

Nota: Fuente: ERP SAP (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

Tabla 2

Horas paradas por mantenimiento correctivo por año de los hornos.

| Línea | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Horno 2 | 299.27 | 286.15 | 299.00 | 299.39 | 109.74 | 83.12 |
| Horno 3 | 168.34 | 1084.54 | 261.33 | 204.19 | 130.38 | 214.21 |
| Horno 4 | 212.94 | 146.62 | 189.03 | 242.55 | 274.23 | 369.17 |

Nota: Fuente: ERP SAP (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

De la tabla 1 y de la tabla 2 podemos verificar que si multiplicamos las horas de parada por la capacidad tenemos perdidas de producción considerables, lo mismo sucede si lo multiplicamos por las perdidas S/. por horas, se verifica importantes sumas de dinero que la fábrica de cemento pierde por paradas imprevistas. Ver tabla 3.

Tabla 3

Perdidas de producción en toneladas de clinker y económicas en soles para el año 2019

| Línea | Ton/hora | Horas paradas correctivas | Perdida producción toneladas | Perdida S/. por hora | Perdida en soles S/. |
|---------|----------|---------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|
| Horno 2 | 62.5 | 286.15 | 17884.6 | 16,300.00 | 4,664,245.00 |
| Horno 3 | 83.3 | 1084.54 | 90378.2 | 17,500.00 | 18,979,450.00 |
| Horno 4 | 87.5 | 146.62 | 12829.0 | 18,000.00 | 2,639,160.00 |

Nota: Fuente: ERP SAP (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

Actualmente no se cuenta con un sistema de mantenimiento que permita reducir los mantenimientos correctivos y mejorar los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad y tiempo promedio entre fallas MTBF; Como apreciamos en la tabla 4 el promedio de la disponibilidad de los años 2018 al 2023 es menor al 91.02%, para ser más eficiente y optimizar la continuidad de la producción se define como meta una disponibilidad en el rango de 94% al 95% anual.

Tabla 4

Disponibilidad por año de los hornos años 2018 al 2023 y el promedio.

| Línea | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Promedio |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|
| Horno 2 | 90.85% | 92.46% | 90.70% | 90.80% | 91.52% | 98.04 | 87.15% |
| Horno 3 | 82.05% | 86.87% | 96.99% | 87.28% | 89.82% | 61.93 | 84.16% |
| Horno 4 | 87.94% | 92.60% | 97.85% | 89.89% | 89.26% | 88.61 | 91.02% |

Nota: Fuente: ERP SAP (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

La empresa tiene compromisos con los clientes, así como con un plan anual de ventas proyectadas por lo que tiene que asegurar una cierta disponibilidad de equipos para asegurar la producción continua.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema General

¿De qué manera se reduce el mantenimiento correctivo en una cementera en Tarma?

1.3.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera se mejora la planificación del mantenimiento del horno de clinker?
- b) ¿De qué manera se reducen las paradas no programadas del horno de clinker?
- c) ¿De qué manera se mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta?
- d) ¿De qué manera se mejora la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta?

1.4 Justificación e Importancia de la Investigación

Por lo descrito el proyecto de investigación se justifica porque con la Optimización de Mantenimiento Planificado del Horno de Clinker Durante la Parada se reducirá los mantenimientos correctivos en una Cementera ubicada en Tarma.

Esta investigación es importante porque mejora la disponibilidad del Horno, reduciendo las paradas correctivas. Con una buena actualización de la planificación y programación del mantenimiento con la metodología del PMO (Optimización del mantenimiento), y un sistema de seguimiento y control vamos a asegurar un trabajo de calidad, cumpliendo con los alcances de los trabajos de mantenimiento, mejorando los tiempos de la parada por mantenimiento.

Con una producción continua a un nivel de disponibilidad de operación aceptable del Horno, estaremos asegurando que la fábrica de cemento sea eficiente y cumpla con sus clientes según el programa de producción anual de operaciones.

La investigación busca proporcionar información de gestión de paradas de líneas de proceso como los hornos que se pueda replicar en otras líneas de producción y ser una referencia en otras cementeras nacionales e internacionales.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Optimizar el mantenimiento planificado (PMO) durante la parada de planta del horno de clinker para Reducir el mantenimiento correctivo en una Cementera en Tarma.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Recopilar información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas utilizando la norma ISO 14224 para mejorar la planificación del mantenimiento del horno de clinker.
- b) Programar los trabajos de mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta mediante el PMO para reducir las paradas no programadas.
- c) Establecer un sistema de seguimiento y control de cada actividad mediante los criterios de la guía del PMBOK para mejorar los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta.
- d) Determinar el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación para mejorar la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

La Optimización del mantenimiento planificado (PMO) durante la parada de planta del horno de clinker influye en la reducción del mantenimiento correctivo en una Cementera en Tarma.

1.6.2 Hipótesis específicas

- a) La Recopilación de información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas utilizando la norma ISO 14224 mejora la planificación del mantenimiento del horno de clinker.
- b) La Programación de los trabajos de mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta mediante el PMO reduce las paradas no programadas.
- c) El sistema de seguimiento y control de cada actividad mediante los criterios de la guía del PMBOK mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta.
- d) La Determinación del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación permite mejorar la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta.

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variables generales.

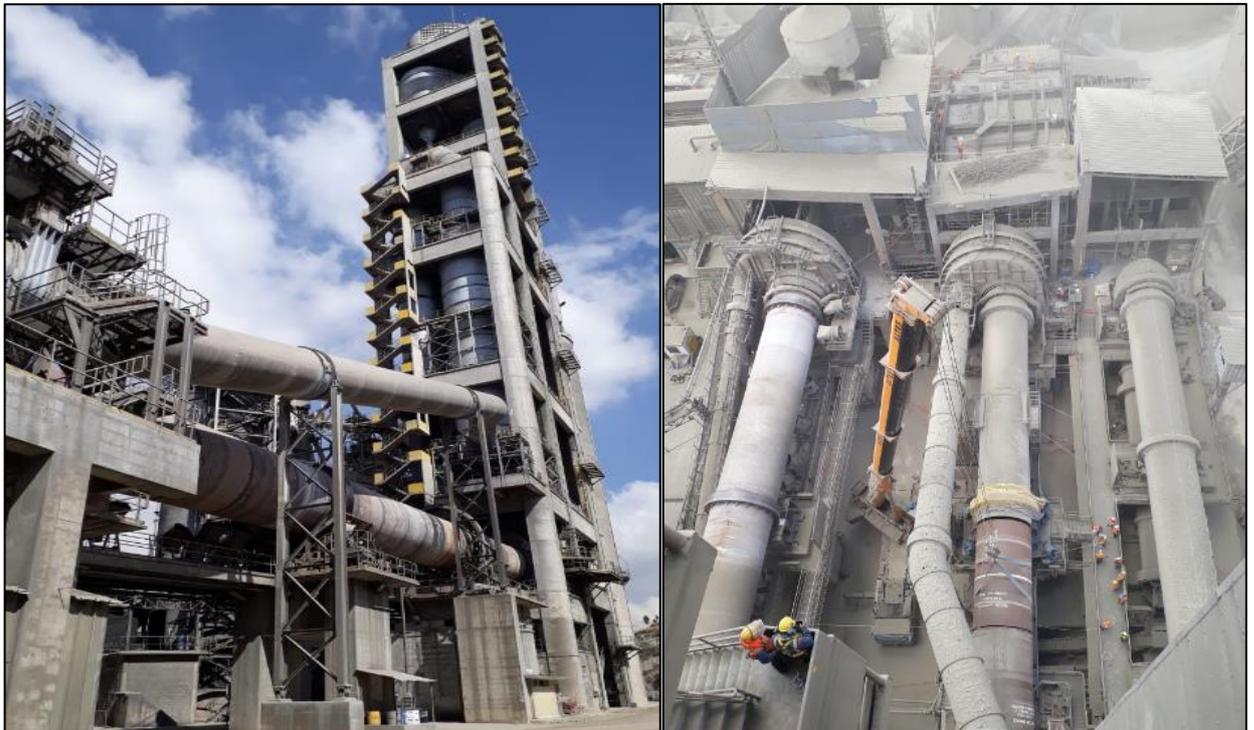
| Variables | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala |
|---|---|---|---|---|---|
| VI: Optimización de mantenimiento planificado. | Metodología diseñada para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. Se basa en los principios del RCM para los programas existentes de mantenimiento. | Metodología basada en los principios del RCM para los programas de mantenimiento existentes del horno de clinker y será aplicado en su parada de planta. | Equipos críticos con historial de fallas. Análisis de Modo y Efecto de Falla Definición de programa de mantenimiento Seguimiento y Control | Cantidad equipos con historial de fallas Cantidad de equipos que se realiza el AMEF Actualización de planes de mantenimiento Cronograma Project Curva "S" | Und. Und. Und. Días % |
| VD: Reducción del mantenimiento correctivo. | Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida | Reducir los mantenimientos correctivos no programados que puedan ocurrir después de finalizado el mantenimiento del horno de clinker en parada de planta. | Duración de fallas Tiempo medio entre fallos (MTBF) Tiempo medio para reparar (MTTR) Disponibilidad | Fallas post mantenimiento MTBF MTTR Disponibilidad Horno | Horas/año Horas Horas % |

1.8 Unidades de Análisis

Línea de producción del Horno de clinker, que comprende equipos principales como: Filtros de mangas de proceso; Intercambiador de calor conformado por ciclones; Horno rotatorio, Quemador y Enfriador; Y equipos auxiliares como: fajas transportadoras, transporte neumático, filtros de des polvorización, cancha de clinker, balanzas, que trabajando en serie generan la producción de Clinker.

Figura 1

Hornos de clinker de la planta de cemento



Nota: La figura muestra los hornos de clinker de la planta de cemento de estudio: izquierda el horno 4 y derecha los hornos 2 y 3.

1.9 Tipo, enfoque, nivel y Diseño de Investigación

La intención principal de la investigación es demostrar que con la Optimización de Mantenimiento Planificado del Horno de Clinker Durante la Parada de Planta a través del

buen desarrollo de sus variables independientes vamos a contribuir a reducir las paradas por mantenimiento correctivo.

Por ello se define que el tipo de investigación es aplicada porque se va solucionar el problema de paradas no programadas utilizando la metodología disponible en los conocimientos científicos; El nivel es descriptivo porque describe a detalle los diversos hechos y causas que desarrollan la realidad problemática; Explicativa porque explica los hechos y causas generadas del problema y Correlacional porque busca una relación entre variables, y el enfoque es cuantitativo porque se va manejar cantidades numéricas asimismo se va plantear demostrar una hipótesis.

El diseño de investigación es no experimental y transversal ya que se disponen de las variables antes y después de la investigación.

1.10 Período de Análisis

El periodo de análisis de la investigación es el periodo comprendido entre enero 2018 a diciembre 2023.

1.11 Fuentes de Información e instrumentos utilizados

La presente investigación será realizada fundamentalmente con datos provenientes del ERP -SAP MANTENIMIENTO (ERP: Software de planificación de recursos empresariales) y de los reportes generados por planeamiento de producción.

1.11.1 Fuentes primarias

- a) Reportes de parada de línea productiva de transacciones del ERP SAP - IW69.
- b) Reporte de emisión de ordenes de trabajo de transacciones del ERP SAP – IW38.
- c) Reporte de gestión de repuestos del ERP SAP – MB51.
- d) Reportes de indicadores mensuales de mantenimiento del ERP SAP.
- e) Reportes de producción en toneladas mensuales de Clinker emitidos por el área de planificación de la producción.
- f) Seguimiento y control del Cronograma de la parada del horno realizado por el planner asignado por mantenimiento.

1.11.2 Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información de Datos

Para la recolección de la información se cuenta con el sistema de información gerencial, ERP-SAP 760. (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

1.12 Técnicas de recolección y procesamiento de datos

- a) Exportaciones de la data proporcionada por el ERP-SAP y sus transacciones.
- b) Registros de producción, selección de datos para la investigación.
- c) Microsoft Excel que permite analizar el comportamiento de las variables de proceso a través de gráficos estadísticos.

CAPITULO II: Marco Teórico y Conceptual.

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Planta Cementera ubicada en Tarma.

La empresa cementera del presente plan de tesis está constituida con la fusión de dos empresas cementeras: Cementos Lima fundada en 1967, y Cemento Andino fundada en 1952), esta unión se concreta el 25 de Julio del 2012, consolidándose como la cementera líder en el Perú con más de 60 años en el mercado. Su actividad principal se centra en producir cemento para el mercado peruano y para el mercado extranjero, incluyendo su comercialización y venta. Actualmente cuenta con 04 plantas en operación ubicadas en el Perú, Ecuador y Estados Unidos. Las marcas conocidas de cemento que comercializa se distribuyen en bolsas de 42.5 Kg y a granel 1000 kg.

Figura 2

Planta de cementera ubicada en Tarma.



Nota: Fuente: Planta cementera ubicada en Tarma.

Las líneas de producción de la planta están organizadas por proceso, las que trabajan en serie hasta producir el producto final que es el Cemento. Estos procesos son los siguientes:

2.1.1.1 Chancado de materias primas

Chancadora cónica y Chancadoras de martillos. Esta materia prima como la piedra caliza y arcilla es obtenida de las canteras mediante explosiones, voladura y carguío de las fragmentaciones de las materias y del acarreo a las líneas de chancado primario y secundario.

En el chancado primario se reduce el tamaño de las piedras en el orden de 20 cm, mediante chancadoras cónicas y en el chancado secundario a tamaños menores en el orden 8 cm, esto se logra mediante chancadoras de martillos. Estas materias primas son almacenadas en canchas de materias primas mediante transporte por fajas.

2.1.1.2 Molienda de Crudo y Homogenización

La molienda de crudo corresponde a la fase de reducción de tamaño de la materia prima hasta llegar al pulverizado, se realiza mediante los equipos de molino de bolas y prensa de rodillos; El crudo tiene que cumplir los siguientes requisitos: Producir un crudo cuya finura (granulometría) sea adecuada para la producción de Clinker de la calidad requerida, así como obtener la mezcla cruda apropiada mediante el suministro de componentes en proporción correcta.

2.1.1.3 Hornos o clinkerización:

En este proceso se produce la transformación del crudo empleando los hornos rotatorios horizontales, el horno es alimentado desde los silos de homogenización donde se almacena temporalmente el crudo luego que sale del proceso de molienda. Es dentro del horno cuando se produce la Clinkerización, el Crudo se transforma por medio de tratamientos térmicos (condiciones de enfriamiento y clinkerización) en minerales, el crudo se transforma en Clinker por medio del quemado en el Horno a una temperatura de 1300 – 1450°C

2.1.1.4 Molienda de Cemento

La producción de cemento involucra básicamente dos materiales: Clinker (95 %) + yeso (5 %) finalmente molidos. Para este proceso de molienda se emplea el molino de

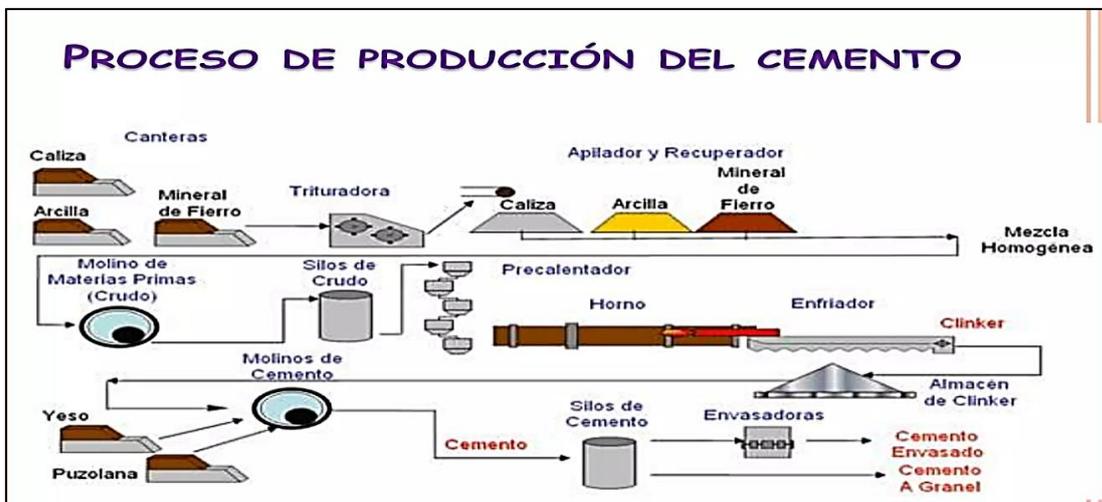
bolas y la prensa de rodillos. El producto final se obtiene con los equipos de separadores dinámicos y filtro de mangas, también se produce a pedido de los clientes cementos compuestos: Clinker (95-X%) + Yeso (5%) + Adiciones (X%); Adiciones: Puzolana, Escoria, otros.

2.1.1.5 Embolsado y Despacho

Ensayadoras para bolsas de 42.5 kg y a granel en bombonas de 1000 kg.

Figura 3

Diagrama flujo de líneas de proceso en la producción del cemento



Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://es.slideshare.net/Galia35/industrias-de-cemento>

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso de clinkerización.



Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://docplayer.es/71106075-Proceso-productivo-del-cemento.html>

2.1.2 Evolución del Mantenimiento Industrial

Pappalardo (2019), en su publicación en la editorial Liferder, indica que: El mantenimiento industrial es aquel conjunto de medidas de carácter técnico organizativo, que son o no elaboradas previamente, que tiene como propósito sostener la funcionalidad de los equipos y garantizar un estado óptimo de las máquinas a través del tiempo. A través de los planes de mantenimiento industrial se pretende elevar el nivel de utilización de las capacidades de producción, conservar o restituir los equipos e instalaciones para que cumplan su función productiva, lograr la máxima eficiencia de las máquinas con un desgaste mínimo y lograr el máximo de su vida útil.

Las tareas de mantenimiento industrial no son exclusivas de equipos y maquinarias, sino de toda instalación fija o móvil, edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, es decir cualquier tipo de bien productivo.

Etapas del mantenimiento desde su origen a la actualidad:

Primera generación: Desde la revolución industrial hasta 1950. Corresponde al mantenimiento correctivo total, en el que se espera que se presente alguna avería para proceder a la reparación respectiva.

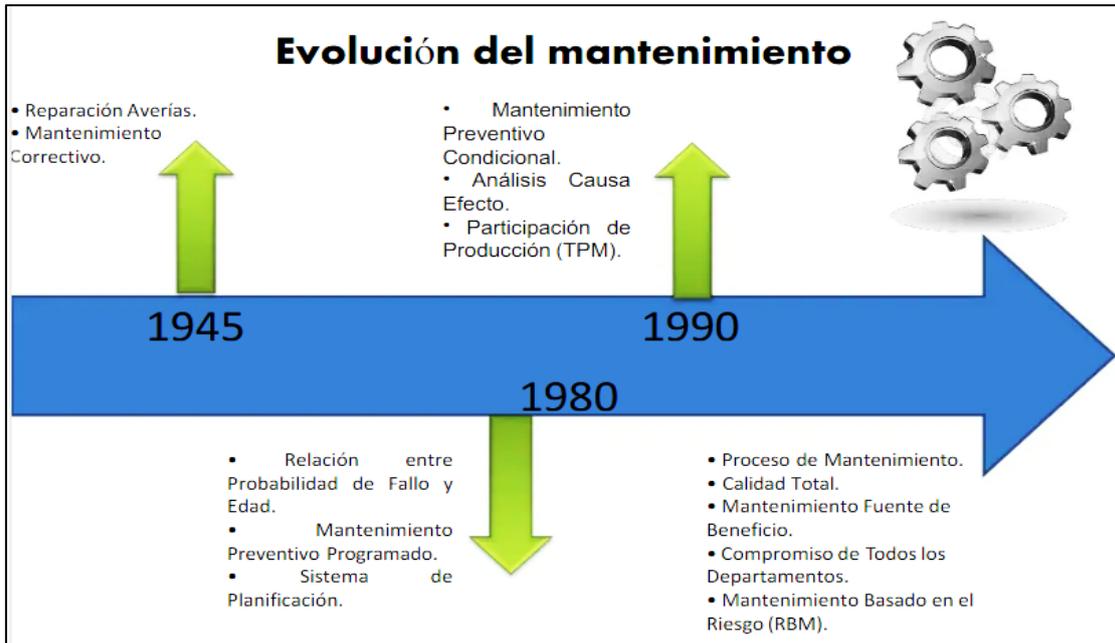
Segunda generación: Desde 1950 hasta 1980. Se centra en el mantenimiento preventivo de averías, por lo cual se realizan trabajos cíclicos y repetitivos con una frecuencia determinada para el logro de dicho objetivo.

Tercera generación: Desde 1980 hasta 1990. Se implanta el mantenimiento a condición. Es decir, se realizan monitorizaciones de parámetros en función de los cuales se efectuarán los trabajos propios de sustitución o reacondicionamiento de los elementos.

Cuarta generación: Desde 1990 +. Esta es la fase de los sistemas de mejora continua y se caracteriza por la implantación de grupos de mejora y seguimiento de las acciones. El mantenimiento pasa a considerarse un beneficio, más que un mal necesario, y se asume como un compromiso por parte de todos los departamentos de la organización.

Figura 5

Evolución del mantenimiento.



Nota: Imagen web. Fuente: https://www.academia.edu/10558328/Mantenimiento_Historia

2.1.3 Definiciones del Mantenimiento

2.1.3.1 Mantenimiento:

Según Moubray (2004), definen el mantenimiento como “Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.” (p. 11).

Mora (1999), indica al mantenimiento como sigue: El papel de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las Reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que estas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos. (p. 370).

2.1.3.2 Mantenibilidad:

Según la UNE-EN-13306 (2002), indican a la mantenibilidad como “Capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida cuando el mantenimiento se

ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos”. (p. 7).

2.1.3.3 Confiabilidad:

Según Eliseo y Orrego (2014), indican a la confiabilidad como “La PROBABILIDAD de que un activo opere sin falla por un determinado período de tiempo especificado y bajo condiciones previamente establecidas” (p. 9).

Según Diaz (1992) indica: La confiabilidad se entiende como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos del ciclo vida y la seguridad de un producto. Además, se utiliza en el análisis de datos operativos para el mantenimiento, lo que permite conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de aislar componentes con problemas, diseñar las políticas de mantenimiento, calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos y establecer frecuencias de ejecución del mantenimiento preventivo. (p. 110).

2.1.3.4 Disponibilidad:

Según la UNE-EN-13306 (2002), indican que la disponibilidad es “la capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado, asumiendo que se proveen los recursos externos” (p. 7).

La disponibilidad se define también como la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente en un tiempo dado.

Mantenibilidad + Confiabilidad = Disponibilidad

2.1.3.5 Tiempo medio entre fallas:

El tiempo medio entre fallas o “Mean time between failures” (MTBF), es un indicador que permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos. Es el promedio que un equipo, máquina, línea o planta cumpla su función sin interrupción debido a una falla funcional. (Mendoza, 2016, p. 53)

2.1.3.6 Tiempo medio para reparar:

El tiempo medio para la reparación o “Mean time to repair” (MTTR), es un indicador que mide la capacidad de mantenimiento de las máquinas y componentes reparables. Calcula el tiempo medio para reparar un activo averiado, incluyendo el tiempo que se tarda en probar y diagnosticar. (Mendoza, 2016, p. 54)

2.1.3.7 Objetivos del mantenimiento:

El objetivo de mantenimiento según Navarro et al (1997), es: Conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente. Al conseguir todos estos puntos se está ante una buena gestión integral de mantenimiento (p. 112).

2.1.4 Tipos de Mantenimiento

2.1.4.1 Mantenimiento Correctivo

Según la UNE-EN-13306 (2002), indican que el mantenimiento correctivo es el “Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida” (p. 14).

Los mantenimientos correctivos son programados y no programados.

Mantenimiento Correctivo No Programado: Se actúa de manera inmediata, muchas veces se improvisa las soluciones (falta de repuestos), asociado directamente al costo de producción, normalmente ocurre en equipos de producción continua 24/7, ocurre en equipos al final de su vida útil (equipos antiguos).

Mantenimiento Correctivo Programado: Se realiza planes a corto plazo, se programa recursos, no impacta directamente a la producción (fuera de hora de operación), normalmente ocurre la parada al final de guardia o en periodos de baja producción o se cuenta con equipos de stand by.

2.1.4.2 Mantenimiento Preventivo:

Según la ISO 14224 (2016), indican que el mantenimiento preventivo es el “Mantenimiento llevado a cabo para mitigar la degradación y reducir la probabilidad de falla” (p. 15).

El mantenimiento preventivo es Rutinario y Predictivo.

Mantenimiento preventivo Rutinario: Las Inspecciones son realizadas por el técnico de mantenimiento basado en un plan de trabajo de corto, mediano y largo plazo. Las Inspecciones y trabajos son por lo general son de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y al manual.

Mantenimiento Predictivo: Según la ISO 14224 (2016), indican que el mantenimiento predictivo es el “Mantenimiento basado en la predicción de la condición futura de un elemento estimado o calculado a partir de un conjunto definido de datos históricos y parámetros operativos futuros conocidos” (p. 15).

2.1.4.3 Mantenimiento Proactivo:

Para Pistarelli (2010), indica: Consiste en monitorear las propiedades de ciertos parámetros en los componentes antes de decidir una intervención, a diferencia que el predictivo se busca encontrar las causas más a raíz que pueda provocar una falla sintomática con el fin de desviar una tendencia indeseable. El mantenimiento proactivo busca anticiparse y establecer con la debida antelación, la causa raíz de la falla. (p. 61).

2.1.5 *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM*

Mora (2009) manifiestan en su libro: La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña

durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno.

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que determinan su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, periodo y condiciones específicas.

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable.

Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento nunca falla (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores diseños, montajes y mantenimientos fallan alguna vez. (p. 95).

Cualquier proceso RCM asegura que se respondan satisfactoriamente todas las siguientes siete preguntas y en esa misma secuencia, según la Sección 5 de la norma (SAE JA 1011) "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)":

1. ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en su actual contexto operativo (funciones)?
2. ¿En qué formas no cumple sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Que ocasiona cada falla funcional (modo de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?
5. ¿En qué forma es importante cada falla (consecuencia de la falla)?
6. ¿Qué hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores)?
7. ¿Qué hacer si una tarea proactiva adecuada no se encuentra (acciones por defecto)? (p. 58).

2.1.6 Planificación del Mantenimiento

Eliseo y Orrego (2014) manifiestan en su libro sobre los objetivos de la planificación:

Que el objetivo de la planeación operativa, aparte de garantizar la ejecución del plan táctico es obtener la mayor eficiencia y efectividad en la reparación, así como minimizar las pérdidas de producción por la no disponibilidad del equipo.

Qué planear:

Todos los trabajos de mantenimiento, tanto preventivos, como correctivos. Los únicos trabajos no planeables son las emergencias, las cuales en una empresa de las mejores en su clase no existen por lo que el 100% de los trabajos de mantenimiento en una empresa se define que hacer, tienen que planearse.

Se planifica: Detalle de actividades a realizar, recursos a emplear (mano de obra, materiales, equipos, herramientas, servicios), tiempo estimado requerido para efectuar la actividad, frecuencia de ejecución. (p. 124).

2.1.7 Programación del Mantenimiento

Eliseo y Orrego (2014) manifiestan en su libro sobre la programación: El programa de trabajo tiene como finalidad hacer productivo el mantenimiento. Con la programación se logra ser eficiente, gracias a la disponibilidad de recursos, oportunos y con la menor afectación en la producción. Utilización máxima de recursos. Reducción en la introducción de defectos. Una vez la orden es planeada, el programador, verifica la existencia de los materiales y equipos necesarios para su ejecución. (p. 124).

La programación del mantenimiento es una actividad donde se define cuando se realizara el mantenimiento.

Se define como el quien lo va hacer, cuando lo va hacer, se Programa: Disponibilidad de los equipos para su intervención, optimizar y disponer en oportunidad de los recursos requeridos para las actividades de mantenimiento, programar el eficiente uso de la mano de obra, disminuir la improvisación y mejorar la coordinación con producción.

Tipos de programación:

Programación a largo plazo: Paradas de planta, Overhaul y mantenimiento anual.

Programación a corto plazo: Mantenimientos preventivos semanales, quincenales, mensuales.

Programación diaria: Mantenimientos diarios.

2.1.8 Gestión de Proyectos

A continuación, veamos algunos conceptos importantes que se detallan en el libro "Gestión de proyectos" del Equipo editorial, Etecé (2021).

La gestión de proyectos es una disciplina de la administración de empresas, cuyo objeto de estudio abarca la planificación, organización, motivación y el control de los recursos necesarios para alcanzar un fin determinado de antemano, o sea, cumplir con un objetivo.

En este sentido, **se define “proyecto” como un emprendimiento dotado de principio y fin** determinados, cuyo objetivo es producir un único producto, servicio o resultado, es decir, dotado de objetivos únicos y que, al cumplirse, agregará valor a la cadena productiva o logrará algún tipo de cambio positivo; Las etapas de la gestión de proyectos que lo veremos brevemente:

Etapas de la gestión de proyectos: Las etapas o fases de la gestión de proyectos son las siguientes:

- a) **Análisis de viabilidad.** El paso inicial consiste en determinar qué tan viable o conveniente es el proyecto, o sea, qué implica llevarlo adelante en términos financieros, logísticos y de rentabilidad. Si la inversión en un proyecto supera por mucho su rentabilidad, tendrá otras razones de peso para llevarlo adelante.
- b) **Planificación del trabajo.** Luego se procede a enumerar y detallar las distintas tareas que llevar adelante el proyecto implicará, o sea, los pasos que habrá que seguir, sin perder de vista los recursos que cada paso requerirá y las estimaciones en coste, esfuerzo y tiempo necesarios.

- c) **Ejecución del proyecto.** En esta etapa se llevan a cabo las tareas planificadas y se levanta un informe de cómo ocurren, es decir, qué tropiezos encuentran, qué resultados arrojan y toda la información necesaria para alimentar la etapa de control. Esta es la etapa en que se despliega todo lo planificado.
- d) **Seguimiento y control.** En este paso es necesario vigilar que el proceso esté arrojando los resultados esperados, y extraer las conclusiones pertinentes a partir de la información recabada durante la ejecución. En base a dichas conclusiones se podrán modificar estrategias, tomar correctivos y dirigir el proceso hacia un resultado ideal.
- e) **Cierre del proyecto.** La finalización de un proyecto es también muy importante, ya que en esta etapa se evalúa el proceso completo en retrospectiva, tomando nota de los fallos, los accidentes, los imprevistos y levantando un informe que sirva para la planificación y ejecución de proyectos futuros. Esta es la etapa del aprendizaje. Si los proyectos son exitosos, es aquí donde se realiza el backup o respaldo de lo logrado.

2.1.9 Mantenimiento en Parada de planta

Amendola. (2005). Indica: “Una parada de planta o de mantenimiento, es un período durante el cual la planta se encuentra fuera de servicio, permitiendo efectuar tareas de mantenimiento como Inspecciones, Reparaciones generales, Sustituciones, rediseños de máquinas (Overhaul). Una parada de planta es un proyecto de ingeniería con inversión de capital, en donde se presenta una gran “oportunidad” de mejora.

Es una justificación para aplicar el Estándar del PMBOK, y empezar a trabajar hacia una Gestión de Paradas de Planta con la metodología del PMBOK.

El proceso se conoce como Parada y se inicia con la salida de operación de la planta y la desconexión de los equipos. Los proyectos, los trabajos de mantenimiento e Inspecciones se pueden llevar a cabo, finalmente, la planta tiene que ser puesta en marcha hasta llegar a las condiciones normales de operación en las nuevas condiciones.

Más específicamente, durante la parada de planta los departamentos de mantenimiento sienten la mayor presión, en el sentido de que todos los ojos de la alta dirección de la empresa están sobre ellos.”

2.1.10 Seguimiento y Control de proyectos

Según el PMBOK 7ma edición lo define como: “Procesos requeridos para hacer seguimiento, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes.” (p.171).

2.1.11 Optimización del mantenimiento Planeado (PMO)

García (2012) manifiestan en su libro: La Optimización del mantenimiento planeado es un método diseñado para revisar los requerimientos del mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del sistema PMO parte del ciclo reactivo de mantenimiento.

Entre los beneficios reales que genera la implementación de un sistema PMO, se puede enumerar:

- Determinar el comportamiento de las fallas de los equipos.
- Estimar el efecto del PM en confiabilidad.
- Usar adecuadamente todos los recursos disponibles.
- Eliminar las fallas y paradas imprevistas.
- Mejorar los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad de los equipos. (p. 105).

García (2007) en su artículo indica: “La PMO comienza analizando el programa existente de mantenimiento en la empresa, trabajando con equipos funcionales de toda la planta, identificando aquellos elementos del programa actual que son útiles y los que son inadecuados. El equipo establece las fallas críticas y sus causas dentro del historial de

fallas, y determina cuales se pueden prevenir con actividades de Mantenimiento Proactivo.

El sistema PMO se basa en la experiencia y el conocimiento técnico del personal de planta. Esto crea un alto grado de sentido de pertenencia y responsabilidad del Talento Humano, para hacer eficientemente el trabajo de mantenimiento. (p. 4)”.

2.1.11.1 Implementación del PMO

García (2007) en su artículo indica: Los nueve pasos para la implementación del PMO adaptados de la recomendación de Steve Turner para el PMO2000, son los siguientes:

Paso 1: Establecimiento de las funciones y tareas

Paso 2: Análisis de los Modos de Falla

Paso 3: Racionalización y revisión de los procedimientos

Paso 4: Análisis Funcional basado en Confiabilidad

Paso 5: Evaluación de las consecuencias

Paso 6: Determinación de las políticas de mantenimiento

Paso 7: Agrupación y revisión de los procesos funcionales

Paso 8: Aprobación e Implementación de los programas

Paso 9: Programa de Vida y de Mejoramiento Continuo.

2.1.12 Fallas

Según Moubray (2004) manifiestan en su libro: “Se define falla como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga”. (p. 49).

2.1.12.1 Tipos de Fallas

Según la norma SAE JA 1011 (1999). define como sigue a las fallas evidentes y ocultas:

Falla Evidente: Tipo de fallo cuyos efectos se hacen evidentes en la operación del equipo bajo circunstancias normales y el tipo de fallo ocurre en el propio equipo.

Falla Oculta: Un modo de fallo cuyos efectos bajo circunstancias normales no llegan a hacerse evidentes en la operación del equipo si el modo de fallo ocurriera en el mismo.

(p. 5).

2.2 Marco Conceptual

- a) **Parada de planta:** Mantenimiento mayor anual realizado a los hornos de clinker.
- b) **Horno de clinker:** Equipo principal de la línea de clinkerización, donde pondremos la mayor atención en su intervención del mantenimiento.
- c) **Equipo crítico:** Es aquel equipo de la línea de hornos que cuando falla, produce una parada total o suspensión drástica de la producción.
- d) **Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF):** Es un método que ayuda a prevenir fallas o riesgos de los equipos críticos del horno.
- e) **Número de Prioridad de Riesgo (NPR):** Es un valor que permite priorizar los modos de fallos y sus causas, que fueron identificados y asentados en el análisis del AMEF, y se obtiene a través de multiplicar las ponderaciones de la ocurrencia por la de severidad y la detectabilidad.
- f) **Eficiencia de planta:** Referido al cumplimiento de indicadores de la planta de cemento después de salir de una parada de horno: disponibilidad y producción.
- g) **PMO:** Optimización de mantenimiento planificado, que tendrá como objetivo actualizar los planes y programación del mantenimiento del horno de clinker en la parada de planta.
- h) **Análisis de Pareto:** El principio de Pareto o ley de Pareto establece que, para muchos resultados, de forma general, el 80 % de las consecuencias provienen del 20 % de las causas.

CAPITULO III: Desarrollo del trabajo de Investigación

La estrategia para el éxito de la tesis será desarrollando cada objetivo específico analizando las variables independientes que nos ayudará llegar a la meta de sus respectivas variables dependientes.

Como paso previo a cualquier acción se analizará la situación actual de la gestión del mantenimiento. La planta cementera tiene líneas de proceso en serie donde es importante:

- Determinar la línea de producción crítica.
- Analizar las incidencias e indicadores de la línea crítica de producción.
- Analizar las fallas y jerarquizar.
- Historial de fallas según la jerarquización encontrada.
- Aplicar el PMO.
- Implementar un sistema de seguimiento y control para la ejecución del mantenimiento.

3.1 Análisis de Criticidad de sistemas y equipos.

De acuerdo al análisis de criticidad basado en el riesgo y del modelo de la matriz del estándar de NORSOK Z-008 (2011) la criticidad y la consecuencia de las fallas estarán dadas según muestra el cuadro de la tabla 6:

Análisis de criticidad basada en el riesgo

Tabla 6

Análisis de criticidad basada en el riesgo

| | |
|--------------------------|--|
| CRITICIDAD TOTAL: | Frecuencia de fallas x Consecuencia |
| CONSECUENCIA: | (Impacto operacional x Flexibilidad operacional) + Costo de falla + Impacto seguridad + Impacto medio ambiente |

Para obtener el nivel de criticidad debemos ponderar los factores de Frecuencia de fallas, Impacto operacional, Flexibilidad, Costo de falla, Impacto a la seguridad e Impacto al medio ambiente. El nivel de criticidad será evaluado según la matriz de criticidad mostrada en la figura 6.

Figura 6

Matriz de Criticidad

| | | | | | | |
|------------|---|--------------|----|----|----|----|
| FRECUENCIA | 4 | MC | MC | C | C | C |
| | 3 | MC | MC | MC | C | C |
| | 2 | NC | NC | MC | C | C |
| | 1 | NC | NC | NC | MC | C |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | | CONSECUENCIA | | | | |

Nota: Imagen web. Fuente: <https://angelmendizabal.com/mantenimiento/ejemplo-practico-para-realizar-un-analisis-de-criticidad/>

3.2 Identificación de la línea de producción crítica en la planta cementera

La producción de la planta cementera en estudio está organizada por líneas de producción que trabajan en serie. Estos procesos son los siguientes: Línea de chancado primario; Línea de chancado secundario, Línea de molienda de crudos; Línea de Hornos de clinkerización; Línea de Molienda de Cemento y Línea de envase y despacho.

Se define las ponderaciones de cálculo de la criticidad como sigue a continuación en la tabla 7.

Tabla 7*Tabla de factores ponderados para la criticidad*

| Frecuencia de fallas | Ponderación |
|--|--------------------|
| Mayor a 4 fallas/año | 4 |
| 3 a 4 fallas /año | 3 |
| 2 a 3 fallas/año | 2 |
| 0 fallas/año | 1 |
| Impacto Operacional | Ponderación |
| Parada inmediata de planta por más de 24 horas | 5 |
| Impacto en niveles de producción o calidad | 4 |
| Para de planta por menos de 24 horas | 3 |
| Repercute en costos adicionales asociados a la disponibilidad | 1 |
| No genera ningún efecto significativo | 0 |
| Flexibilidad Operacional | Ponderación |
| No existe opción de producción o stand by, tiene repuesto, pero demora más de 24 horas el cambio | 4 |
| Existe opción de repuesto compartido con cambio menor a 24 horas | 2 |
| Existe stand by | 1 |
| Costo de mantenimiento por falla equipo | Ponderación |
| Mayor US\$50,000 | 10 |
| US\$ 20,000-50,000 | 5 |
| US\$ 5,000-20,000 | 3 |
| <US5,000 | 1 |
| Impacto en Seguridad | Ponderación |
| Provoca accidentes cuando falla el equipo | 10 |
| Provoca incidentes cuando falla el equipo | 6 |
| No tiene impacto | 0 |
| Impacto en Medio Ambiente | Ponderación |
| Provoca impactos ambientales significativos | 10 |
| No provoca impactos significativos | 2 |
| No provoca impacto ambiental | 0 |

Analizando el nivel de criticidad de las líneas de producción podemos evidenciar que la línea de Hornos de clinkerización es la línea más crítica de la planta de cemento como muestra el análisis de la tabla 8:

Identificación de la línea de producción crítica en la planta cementera

Tabla 8

Identificación de la línea de producción crítica en la planta cementera

| LÍNEA DE PRODUCCION | IMPACTO OPERACIONAL | FLEXIBILIDAD OPERACIONAL | COSTO FALLA | IMPACTO SEGURIDAD | IMPACTO MEDIO AMBIENTE | FRECUENCIA DE FALLAS | CONSECUENCIA | NIVEL DE CRITICIDAD |
|--|---------------------|--------------------------|-------------|-------------------|------------------------|----------------------|--------------|---------------------|
| Línea de chancado Primario | 1 | 1 | 10 | 6 | 2 | 2 | 21 | Semi Critico |
| Línea de Chancado Secundario | 1 | 1 | 3 | 6 | 2 | 2 | 14 | No Critico |
| Línea de Molienda de Crudos | 3 | 2 | 10 | 6 | 2 | 3 | 27 | Semi Critico |
| Línea de Hornos de Clinkerización | 5 | 4 | 10 | 6 | 2 | 4 | 42 | Critico |
| Línea de Molienda de Cemento | 3 | 2 | 10 | 6 | 2 | 3 | 27 | Semi Critico |
| Línea de Envase y Despacho | 1 | 1 | 3 | 6 | 2 | 3 | 15 | No Critico |

Como se indicó en la descripción de la realidad problemática, la planta de cemento en estudio cuenta con 3 hornos, donde estudiaremos a la **línea del Horno 4** por ser actualmente el más importante para la empresa por tener mayor capacidad de producción de 2100 toneladas de clinker al día y es de mayor atención ante una parada correctiva.

3.2.1 Análisis de Incidencias de fallas del Horno.

El histórico de fallas y los indicadores de gestión de mantenimiento del Horno 4, lo obtenemos de nuestra fuente primaria (sistema ERP - SAP MANTENIMIENTO) y analizados en cuadros en Excel.

3.2.1.1 Indicadores de mantenimiento

Tenemos definidos los indicadores de gestión: Disponibilidad (A), Tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para la reparación (MTTR), y se calculan como se muestra en la figura 7.

Figura 7

Cálculo de indicadores de gestión mantenimiento planta de cemento.

| DISPONIBILIDAD | |
|----------------|--|
| A (%) | $\frac{\text{Horas cronológicas} - \text{Horas paradas mantenimiento}}{\text{Horas cronológicas}}$ |

| TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS | |
|---------------------------|---|
| MTBF | $\frac{\text{Horas de Operación}}{\text{Numero de Fallas}}$ |

| TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN | |
|---------------------------------|--|
| MTTR | $\frac{\text{Horas de Reparación}}{\text{Numero de Fallas}}$ |

En la tabla 9 muestra los valores de los indicadores del periodo del 2018 al 2023, podemos observar que la disponibilidad tiene valores menores del 90%, el MTBF en el año 2023 tuvo una caída del 65% pasando de valores de 223.04 a 144.68 horas y el MTTR en los dos últimos años aumento un 54% pasando de 5.92 a 9 horas. Es importante mencionar que el 2020 fue un año de operación irregular por tener paradas las líneas de producción por el COVID-19.

En la Figura 8 muestra la tendencia de la Disponibilidad; La Figura 9 muestra la tendencia del MTBF y la Figura 10 muestra la tendencia del MTTR, en históricos de los años 2018 al 2023.

Tabla 9

Indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad del Horno 4.

| AÑO | MTBF | MTTR | A (%) |
|------|--------|-------|-------|
| 2018 | 139.28 | 4.63 | 87.94 |
| 2019 | 211.96 | 4.73 | 92.60 |
| 2020 | 295.81 | 10.50 | 97.85 |
| 2021 | 173.75 | 5.92 | 89.89 |
| 2022 | 223.04 | 9.14 | 89.26 |
| 2023 | 144.68 | 9.00 | 88.61 |

Figura 8

Tendencias de los Indicadores: Disponibilidad del Horno 4.

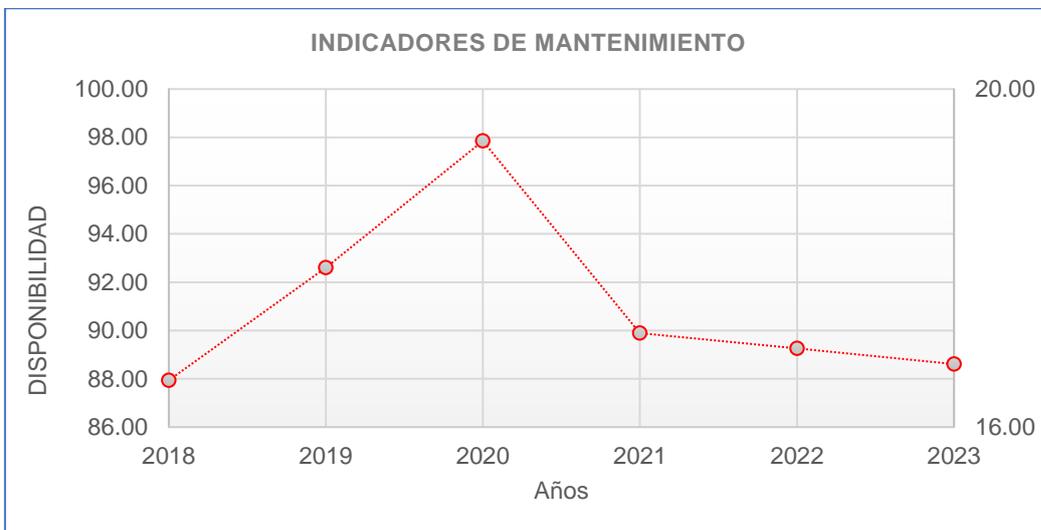


Figura 9

Tendencias de los Indicadores: MTBF del Horno 4.

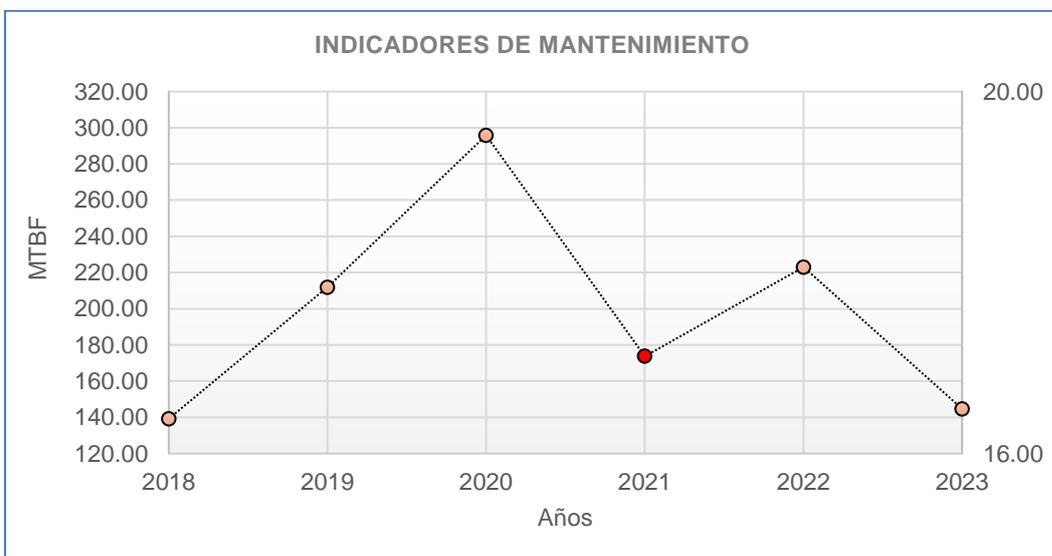


Figura 10

Tendencias de los Indicadores: MTTR del Horno 4.



3.3 Análisis de Pareto para las paradas correctivas de los sistemas del Horno.

Con el análisis de Pareto vamos a encontrar las fallas más representativas de la línea del Horno 4 analizando las ocurrencias de paradas correctivas de sus sistemas, donde identificaremos el 80% de las consecuencias que son el resultado del 20% de las causas.

En la tabla 10 muestra los códigos o tag de ubicación técnica de la línea del Horno 4 y sus sistemas según lo recomendado con la jerarquización de la ISO 14224

Tabla 10

Código de ubicación técnica de la línea del Horno 4

| CODIGO-TAG | SISTEMAS DEL HORNOS - CODIGO C04-5 |
|------------|---|
| C04-50 | ALIMENTACIÓN |
| C04-51 | PRECALENTADOR |
| C04-52 | CALCINACION |
| C04-53 | RECUPERACION DE POLVO |
| C04-55 | ALIMENTACIÓN DE PETROLEO |
| C04-57 | SILO ALMAC ALIMENT Y QUEMADO CARBON 4 |
| C04-58 | ENFRIAMIENTO, RECUPERACION DE CLINKER F |
| C04-59 | TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CLINKER |
| C09-9 | SUBESTACIONES |

El análisis de falla se realizará teniendo en cuenta las duraciones de las paradas correctivas en horas por sistema del Horno 4, se ordenará de mayor a menor y con porcentajes acumulados de paradas comprendidas en el periodo del 2018 al 2023 como se puede apreciar en la tabla 11.

Tabla 11

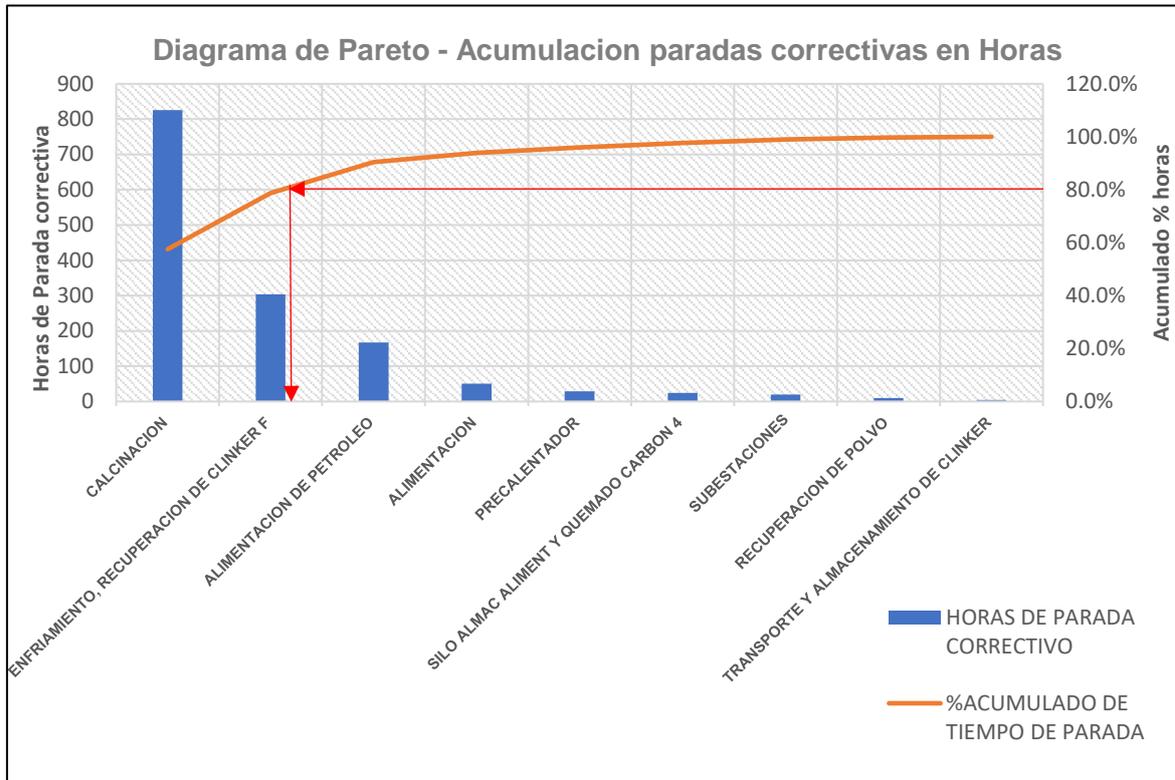
Paradas correctivas en Horas de los sistemas del Horno 4

| CODIGO | SISTEMAS DEL HORNO 4 - CODIGO C04-5 | HORAS DE PARADA CORRECTIVO | % HORAS DE PARADA | %ACUMULADO DE TIEMPO DE PARADA |
|---------------|--|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| C04-52 | CALCINACION | 825.49 | 57.5% | 57.5% |
| C04-58 | ENFRIAMIENTO, RECUPERACION DE CLINKER | 304.18 | 21.2% | 78.8% |
| C04-55 | ALIMENTACIÓN DE PETROLEO | 166.87 | 11.6% | 90.4% |
| C04-50 | ALIMENTACIÓN | 50.28 | 3.5% | 93.9% |
| C04-51 | PRECALENTADOR | 29.27 | 2.0% | 95.9% |
| C04-57 | SILO ALMAC ALIMENT Y QUEMADO CARBON 4 | 24.29 | 1.7% | 97.6% |
| C09-9 | SUBESTACIONES | 19.64 | 1.4% | 99.0% |
| C04-53 | RECUPERACION DE POLVO | 9.6 | 0.7% | 99.7% |
| C04-59 | TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CLINKER | 4.86 | 0.3% | 100.0% |

Analizando la gráfica de distribución de paradas por sistemas de la figura 11 evidenciamos que el 80% de horas por mantenimiento correctivo ha sido originado por el 20% de fallas de dos sistemas del horno: Calcinación y Enfriamiento, recuperación de clinker.

Figura 11

Diagrama de Pareto de las Paradas correctivas en Horas de los sistemas del Horno 4



3.3.1 Histórico de fallas de los sistemas analizados en Pareto.

Para nuestro estudio es necesario analizar las fallas de los sistemas resultados del análisis de Pareto, los datos son obtenidos del ERP-SAP y agrupados en Excel. En la tabla 12 se muestra el histórico de fallas de los sistemas en estudio donde están ordenados por ubicación técnica del sistema y detalla a los equipos puntuales que fallaron, indican también los motivos de paradas, inicio y fin de parada, duraciones y grupo planificación de mantenimiento que corresponde al tipo de falla como sigue, DM es falla tipo mecánico, DG es falla tipo civil, DI es falla tipo electrónico, DE es falla tipo eléctrico.

Tabla 12

Histórico de Fallas de los sistemas analizados en Pareto.

| Sistema | Ubicac.técnica | Descripción Ubicación técnica | Motivo de Parada | Inicio avería | Iní.avería | Fin de avería | Fin de avería | Duración parada | GP |
|---------|----------------|---|--|---------------|------------|---------------|---------------|-----------------|----|
| C04-52 | C04-5210AX01 | ACCIONAMIENTO PRINCIPAL | ENCLAVAMIENTO | 11/01/2023 | 23:47:00 | 11/01/2023 | 23:57:00 | 0.17 | DE |
| C04-52 | C04-5210BST02 | ESTACIÓN APOYO 2 TEMP COJINETE CHUM 2.2 | ENCLAVAMIENTO DE SEGURIDAD | 10/09/2022 | 14:26:00 | 10/09/2022 | 17:04:00 | 2.63 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | CHUMACERA DAÑADA CAMBIO/REPARACIÓN | 30/08/2018 | 11:15:00 | 30/08/2018 | 14:10:00 | 2.92 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | POLINES CAMBIO | 24/11/2018 | 14:09:00 | 30/11/2018 | 24:00:00 | 153.85 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | POLINES CAMBIO | 01/12/2018 | 00:00:00 | 02/12/2018 | 04:00:00 | 28.00 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | REVISIÓN/REPARACIÓN MECÁNICA | 14/08/2020 | 05:45:00 | 16/08/2020 | 19:10:00 | 61.42 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | CHUMACERA DAÑADA CAMBIO/REPARACIÓN | 07/10/2021 | 02:45:10 | 14/10/2021 | 13:51:00 | 179.10 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | CAMBIO SELLO HIDRÁULICO | 26/12/2021 | 09:28:00 | 26/12/2021 | 15:58:00 | 6.50 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | SOLDAR TOPES DE LLANTAS | 07/01/2022 | 00:00:00 | 11/01/2022 | 14:30:00 | 110.50 | DM |
| C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | ALTA TEMPERATURA | 11/09/2022 | 23:16:00 | 12/09/2022 | 00:25:00 | 1.15 | DM |
| C04-52 | C04-5210ME01 | MOTOR PRINCIPAL DEL HORNO 4 | FALLA MODULO CONVERSOR | 09/11/2021 | 14:11:00 | 09/11/2021 | 14:55:00 | 0.73 | DI |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | POLINES CAMBIO | 14/01/2020 | 07:12:00 | 17/01/2020 | 01:21:40 | 66.16 | DM |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | MARTILLOS-RODILLOS-CONO CAMBIO/REPARAC. | 03/01/2023 | 00:00:00 | 09/01/2023 | 18:30:00 | 162.50 | DM |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | CENTRADO/ALÍNEAMIENTO | 10/01/2023 | 00:00:00 | 10/01/2023 | 18:34:00 | 18.57 | DM |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | CENTRADO/ALÍNEAMIENTO | 11/01/2023 | 00:40:00 | 11/01/2023 | 11:55:00 | 11.25 | DM |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | FALLA SENSOR | 28/03/2023 | 16:05:00 | 28/03/2023 | 16:15:00 | 0.17 | DI |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | CAMBIO/REPARACIÓN POLÍN RETENCIÓN HORNO | 05/04/2023 | 07:12:00 | 05/04/2023 | 18:09:00 | 10.95 | DM |
| C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | ENCLAVAMIENTO | 14/09/2023 | 14:21:30 | 14/09/2023 | 14:40:00 | 0.31 | DM |
| C04-52 | C04-5232SP01 | PRESIÓN DE ACEITE SISTEM LONGITUDINAL H4 | REVISIÓN/REPARACIÓN MECÁNICA | 12/01/2023 | 08:27:00 | 12/01/2023 | 08:44:00 | 0.28 | DM |
| C04-52 | C04-5232SP01 | PRESIÓN DE ACEITE SISTEM LONGITUDINAL H4 | REVISIÓN/REPARACIÓN MECÁNICA | 11/02/2023 | 09:26:00 | 11/02/2023 | 10:17:00 | 0.85 | DM |
| C04-52 | C04-5240LK01 | SISTEMA LUBRICACIÓN REDUCTOR PRINCIPAL | FALLA PRESIÓN DE ACEITE | 11/12/2021 | 09:36:18 | 11/12/2021 | 09:53:00 | 0.28 | DM |
| C04-52 | C04-5240LK01 | SISTEMA LUBRICACIÓN REDUCTOR PRINCIPAL | FUGA DE ACEITE | 08/02/2023 | 08:42:24 | 08/02/2023 | 10:09:36 | 1.45 | DM |
| C04-52 | C04-5260HS01 | SELLO DE ENTRADA HORNO 4 | PERNO ROTO | 16/04/2021 | 18:00:00 | 16/04/2021 | 20:10:00 | 2.17 | DM |

| | | | | | | | | | |
|--------|---------------|--|-----------------------------------|------------|----------|------------|----------|--------|----|
| C04-52 | C04-5260LV01 | SISTEMA DE LUBRICACIÓN SELLO DE ENTRADA | SISTEMA LUBRICACIÓN | 30/09/2018 | 20:54:00 | 30/09/2018 | 24:00:00 | 3.10 | DM |
| C04-52 | C04-5260ME01 | MOTOR BOMBA DE LUBRICACIÓN SELLO ENTRADA | ENCLAVAMIENTO | 28/03/2023 | 19:10:00 | 28/03/2023 | 19:15:00 | 0.08 | DI |
| C04-52 | C04-5264VC01 | VENTILADOR DEL SELLO DE SALIDA DEL HORNO | ENCLAVAMIENTO | 04/02/2020 | 01:13:09 | 04/02/2020 | 01:20:25 | 0.12 | DI |
| C04-52 | C04-5264VC01 | VENTILADOR DEL SELLO DE SALIDA DEL HORNO | DESCONEXIÓN ELÉCTRICA | 14/12/2022 | 13:04:10 | 14/12/2022 | 13:16:00 | 0.20 | DE |
| C04-52 | C04-5264VC01 | VENTILADOR DEL SELLO DE SALIDA DEL HORNO | REVISIÓN ELECTRÓNICA | 03/04/2023 | 01:40:00 | 03/04/2023 | 01:45:00 | 0.08 | DI |
| C04-58 | C04-5810AST01 | SENSOR TEMP 01 AIRE INT COMPARTIM 0 | FALLA SENSOR | 14/04/2019 | 11:35:00 | 14/04/2019 | 11:40:00 | 0.08 | DI |
| C04-58 | C04-5810BSP01 | SENSOR PRESIÓN 01 AIRE COMPARTIMIENTO 1 | ENCLAVAMIENTO | 30/03/2018 | 10:51:00 | 30/03/2018 | 10:56:00 | 0.08 | DI |
| C04-58 | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | FALSA SENAL DE ALARMA | 06/04/2018 | 02:10:00 | 06/04/2018 | 02:20:00 | 0.17 | DI |
| C04-58 | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | FALSA SENAL DE ALARMA | 19/05/2019 | 20:45:00 | 19/05/2019 | 21:04:00 | 0.32 | DI |
| C04-58 | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | SISTEMA HIDRÁULICO | 09/10/2019 | 20:56:00 | 14/10/2019 | 08:29:00 | 107.55 | DM |
| C04-58 | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | PARADA DEL ENFRIADOR DE PARRILLAS | 14/10/2019 | 21:59:28 | 15/10/2019 | 02:28:00 | 4.48 | DM |
| C04-58 | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | DESCONEXIÓN ELÉCTRICA | 10/09/2022 | 06:36:00 | 10/09/2022 | 11:45:00 | 5.15 | DE |
| C04-58 | C04-5812ABO01 | BOMBA (A) SIS HIDRÁULICO ENFRIADOR | SISTEMA HIDRÁULICO, BOMBA | 07/09/2023 | 13:53:00 | 07/09/2023 | 16:09:00 | 2.27 | DM |
| C04-58 | C04-5812AME01 | MOTOR BOMBA (A) SIS HIDRÁULICO ENFRADOR | ENCLAVAMIENTO | 23/08/2020 | 09:36:30 | 23/08/2020 | 09:40:00 | 0.06 | DI |
| C04-58 | C04-5812AME01 | MOTOR BOMBA (A) SIS HIDRÁULICO ENFRADOR | FALLA SENSOR | 15/10/2021 | 20:02:00 | 15/10/2021 | 22:21:00 | 2.32 | DI |
| C04-58 | C04-5812BBO01 | BOMBA (B) SIS HIDRÁULICO ENFRIADOR | ENCLAVAMIENTO | 09/10/2023 | 12:26:00 | 09/10/2023 | 13:03:00 | 0.62 | DI |
| C04-58 | C04-5812CI01 | PISTÓN SIS HIDRÁULICO 2DA. CAM L. CARBÓN | FALSA SENAL DE ALARMA | 16/12/2019 | 11:13:00 | 16/12/2019 | 12:17:00 | 1.07 | DI |
| C04-58 | C04-5812CI01 | PISTÓN SIS HIDRÁULICO 2DA. CAM L. CARBÓN | FALSA SENAL DE ALARMA | 16/12/2019 | 05:57:00 | 16/12/2019 | 06:35:00 | 0.63 | DI |
| C04-58 | C04-5812KE01 | PANEL DE CONTROL LOCAL ENFRIADOR HPU | CORTO CIRCUITO | 02/05/2019 | 05:55:00 | 02/05/2019 | 06:49:00 | 0.90 | DI |
| C04-58 | C04-5812PO01 | PARRILLA ENFRIADOR H4 | ENCLAVAMIENTO | 14/04/2019 | 15:33:05 | 14/04/2019 | 15:50:39 | 0.29 | DI |
| C04-58 | C04-5812PO01 | PARRILLA ENFRIADOR H4 | SISTEMA HIDRÁULICO | 01/09/2023 | 21:47:57 | 06/09/2023 | 16:42:00 | 114.90 | DM |
| C04-58 | C04-5812PO01 | PARRILLA ENFRIADOR H4 | DESCONEXIÓN ELÉCTRICA | 14/10/2023 | 21:36:00 | 14/10/2023 | 22:23:00 | 0.78 | DI |
| C04-58 | C04-5812ZD01 | SISTEMA HIDRÁULICO ACCIONAMI ENFRIAD H4 | DESCONEXIÓN ELÉCTRICA | 21/01/2019 | 02:54:14 | 21/01/2019 | 04:50:41 | 1.94 | DI |
| C04-58 | C04-5812ZD01 | SISTEMA HIDRÁULICO ACCIONAMI ENFRIAD H4 | REVISIÓN/REPARACIÓN MECÁNICA | 23/04/2022 | 13:37:00 | 23/04/2022 | 16:29:00 | 2.87 | DM |
| C04-58 | C04-5840BME01 | MOTOR VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO Nº 2 | DESCONEXIÓN ELÉCTRICA | 19/01/2019 | 11:13:00 | 19/01/2019 | 11:27:00 | 0.23 | DE |

| | | | | | | | | | |
|--------|---------------|---|--|------------|----------|------------|----------|-------|----|
| C04-58 | C04-5840BME01 | MOTOR VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO N° 2 | FALLA SELECTOR/INTERRUPTOR MANDO LOCAL | 29/11/2023 | 14:29:00 | 29/11/2023 | 14:32:00 | 0.05 | DM |
| C04-58 | C04-5870ME01 | MOTOR VENTILADOR FILTRO ENFRIADOR 14.17 | REVISIÓN ELECTRÓNICA | 04/01/2019 | 14:28:00 | 04/01/2019 | 14:57:00 | 0.48 | DI |
| C04-58 | C04-5870ME01 | MOTOR VENTILADOR FILTRO ENFRIADOR 14.17 | REVISIÓN ELECTRÓNICA | 26/11/2019 | 09:09:00 | 26/11/2019 | 09:39:00 | 0.50 | DI |
| C04-58 | C04-5870ME01 | MOTOR VENTILADOR FILTRO ENFRIADOR 14.17 | REVISIÓN ELECTRÓNICA | 05/12/2019 | 15:19:00 | 05/12/2019 | 16:50:00 | 1.52 | DI |
| C04-58 | C04-5870ME01 | MOTOR VENTILADOR FILTRO ENFRIADOR 14.17 | MOTOR CAMBIO | 28/01/2020 | 15:37:00 | 29/01/2020 | 09:48:50 | 18.20 | DE |
| C04-58 | C04-5870ME01 | MOTOR VENTILADOR FILTRO ENFRIADOR 14.17 | REVISIÓN ELÉCTRICA | 09/04/2021 | 16:42:00 | 09/04/2021 | 18:44:00 | 2.03 | DE |
| C04-58 | C04-5870RM01 | FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR HORNO 4 | FALLA SENSOR | 20/03/2018 | 21:30:00 | 21/03/2018 | 00:19:12 | 2.82 | DI |
| C04-58 | C04-5870RM01 | FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR HORNO 4 | FALLA POR VARIADOR | 26/02/2020 | 22:35:23 | 27/02/2020 | 04:50:10 | 6.25 | DI |
| C04-58 | C04-5870RM01 | FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR HORNO 4 | FALSA SENAL DE ALARMA | 10/01/2021 | 01:14:00 | 10/01/2021 | 02:06:00 | 0.87 | DI |
| C04-58 | C04-5870RM01 | FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR HORNO 4 | FALLA VISUALIZACIÓN SEÑALES | 10/04/2023 | 12:12:00 | 11/04/2023 | 12:40:00 | 24.47 | DI |
| C04-58 | C04-5870VT01 | VENTILADOR DE TIRO INTERC DEL ENF 10.17 | FALLA POR VARIADOR | 09/07/2019 | 14:45:00 | 09/07/2019 | 15:01:48 | 0.28 | DI |

Nota: Fuente: Realizada en base a datos del ERP-SAP (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

En el anexo 3, muestra la estructura de ordenes de trabajo en relación a los avisos de paradas correctivas.

En el anexo 4, muestra ejemplos de intervenciones del mantenimiento correctivo en paradas correctivas mayores a 100 horas, recolectadas del sistema ERP-SAP.

3.4 Optimización del mantenimiento Planificado PMO para el Horno

En esta sección vamos a mejorar los planes de mantenimiento, en base a los datos encontrado anteriormente como el historial de fallas que impactan más a la línea crítica de la planta cementera en estudio y poder mejorar los indicadores de mantenimiento disminuyendo las paradas correctivas; Para nuestro trabajo las tareas serán listadas como los planes de mantenimiento que es así como figura en la base de datos del SAP.

Los nueve pasos para la implementación del PMO, son los siguientes:

Paso 1: Recopilación de tareas.

Paso 2: Análisis de los Modos de Falla (FMA)

Paso 3: Racionalización y revisión del FMA

Paso 4: Análisis Funcional

Paso 5: Evaluación de las consecuencias

Paso 6: Determinación de las políticas de mantenimiento

Paso 7: Agrupación y revisión de los procesos funcionales

Paso 8: Aprobación e Implementación de los programas

Paso 9: Programa de Vida y de Mejoramiento Continuo.

El desarrollo de la presente tesis se realizará hasta el paso 7, los pasos 8 y 9 se deben realizar en la implementación en la empresa de estudio.

3.4.1 Recopilación de Tareas.

Para la recopilación de las tareas usaremos la información del ERP-SAP y se filtrara las tareas o planes de mantenimiento que tengan relación directa con el historial de fallas de los sistemas jerarquizados por el análisis de Pareto, se realiza:

- Filtrar las paradas correctivas del histórico de fallas de la tabla 12, ordenando por motivos de parada y por su ubicación técnica dentro del sistema.
- Filtrar los planes de mantenimiento de los sistemas: Calcinación C04-52 y Enfriamiento, recuperación de Clinker C04-58.
- Relacionar el histórico de fallas con los planes de mantenimiento actuales.

Figura 12

Paso 1. Recopilación de tareas - según la PMO.

| Tarea | Frecuencia | Responsable |
|--------------|-------------------|--------------------|
| Tarea 1 | Diario | Operador |
| Tarea 2 | Diario | Operador |
| Tarea 3 | 6 meses | Mecánico |
| Tarea 4 | 6 meses | Mecánico |
| Tarea 5 | Anual | Electricista |
| Tarea 6 | Semanal | Operador |

Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://es.scribd.com/document/412387448/5-Analisis-de-Criticidad>

En la tabla 13 se muestra los planes de mantenimiento actuales, relacionadas a las fallas en estudio, hay fallas que no tienen planes de mantenimiento, se resaltaron en naranja y se desarrollara en los pasos siguientes.

Tabla 13

Paso 1: Histórico De Fallas Críticas Ocurridas En El Horno Vs Planes De Mantenimiento Actual.

| HISTORICO DE FALLAS CRITICAS OCURRIDAS EN EL HORNO | | | | | PLANES DE MANTENIMIENTO ACTUAL | | |
|--|---------|---------------|--|------------------------------------|--|------------------|------------|
| Item | Sistema | Sub sistema | Descripción sub sistema | Texto Código Falla | Plan de mantenimiento actual | Responsable | Frecuencia |
| 1 | C04-52 | C04-5210BST02 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Enclavamiento | Mantenimiento anual a sensor de temperatura | Div. Electrónica | Anual |
| 2 | C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Cambio Sello Hidráulico | Asentar cojinete, reparar mecanismos internos y cambiar aceite | Div. Mecánica | Anual |
| 3 | C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Chumacera Dañada Cambio/Reparación | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 4 | C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Polínes Cambio | Ensayos NDT Polínes, ejes y llantas | Div. Preventivo | Anual |
| 5 | C04-52 | C04-5210HR01 | Llanta 1Era Base Del Horno | Revisión/Reparación Mecánica | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 6 | C04-52 | C04-5210HR01 | Llanta 3Era Base Del Horno | Soldar Topes De Llantas | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 7 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Centrado/Alineamiento | Mantenimiento Sistema de limpieza y cambio grasa | Div. Mecánica | Anual |
| 8 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Enclavamiento | Mantenimiento anual sistema desplazamiento: ajustes, contactores, prueba de arranque de bombas, sensores | Div. Electrónica | Anual |
| 9 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Polínes Cambio | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 10 | C04-52 | C04-5232SP01 | Presión De Aceite Sistem Longitudinal H4 | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento anual sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | Anual |
| 11 | C04-52 | C04-5240LK01 | Sistema Lubricación Reductor Principal | Fuga De Aceite | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 12 | C04-52 | C04-5260HS01 | Sello De Entrada Horno | Perno Roto | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Anual |
| 13 | C04-52 | C04-5260LV01 | Sistema De Lubricación Sello De Entrada | Sistema Lubricación | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Anual |
| 14 | C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual |
| 15 | C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Enclavamiento | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual |
| 16 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Desconexión Eléctrica | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 17 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Falsa Señal De Alarma | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Anual |
| 18 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema hidráulico y salas 1er y 2do nivel | Div. Mecánica | Anual |

| | | | | | | | |
|----|--------|---------------|---|------------------------------|--|------------------|-------|
| 19 | C04-58 | C04-5812ABO01 | Bomba (A) Sis Hidráulico Enfriador | Sistema Hidráulico, Bomba | No tiene plan de mantenimiento | | |
| 20 | C04-58 | C04-5812BBO01 | Bomba (B) Sis Hidráulico Enfriador | Enclavamiento | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Anual |
| 21 | C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador H4 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Anual |
| 22 | C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador Del Horno 4 | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Anual |
| 23 | C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Anual |
| 24 | C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Anual |
| 25 | C04-58 | C04-5840BME01 | Motor Ventilador De Enfriamiento N° 2 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual |
| 26 | C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Motor Cambio | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual |
| 27 | C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Revisión Eléctrica | Mantenimiento anual al motor | Div. Eléctrica | Anual |
| 28 | C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Por Variador | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Anual |
| 29 | C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Visualización Señales | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Anual |

3.4.2 Análisis de Modos de fallas (FMA).

En este paso se debe determinar para cada tarea, plan actual de mantenimiento el modo de falla que intenta prevenir o detectar.

Figura 13

Paso 2. Análisis de modos de falla, según la PMO.

| Tarea | Frecuencia | Responsable | Falla |
|--------------|-------------------|--------------------|--------------|
| Tarea 1 | Diario | Operador | Falla A |
| Tarea 2 | Diario | Operador | Falla B |
| Tarea 3 | 6 meses | Mecánico | Falla C |
| Tarea 4 | 6 meses | Mecánico | Falla A |
| Tarea 5 | Anual | Electricista | Falla B |

Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://es.scribd.com/document/412387448/5-Analisis-de-Criticidad>

Para registrar los modos de fallas de las tareas de mantenimiento, se hizo participar a las personas que mejor conocen estos equipos esencialmente el área de mantenimiento y operaciones.

El análisis de modos de fallas identificados para las fallas críticas se muestra en la tabla 14, en este paso del PMO se desarrolla a las fallas con planes de mantenimiento existentes o actuales.

Tabla 14*Paso 2: Análisis de modos de fallas.*

| Sistema | Sub sistema | Descripción sub sistema | Texto código Falla | Plan de mantenimiento actual | Responsable | Modo de Falla |
|---------|---------------|--|------------------------------|--|------------------|---|
| C04-52 | C04-5210BST02 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Enclavamiento | Mantenimiento anual a sensor de temperatura | Div. Electrónica | Error de medición de temperatura |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Cambio Sello Hidráulico | Asentar cojinete, reparar mecanismos internos y cambiar aceite | Div. Mecánica | Fuga de aceite entre eje y chumacera |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Polínes Cambio | Ensayos NDT Polínes, ejes y llantas | Div. Preventivo | Ruptura de extremo de eje de polín |
| C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Centrado/Alineamiento | Mantenimiento Sistema de limpieza y cambio grasa | Div. Mecánica | Atascamiento con la llanta de la 1era base |
| C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Enclavamiento | Mantenimiento anual sistema desplazamiento: ajustes, contactores, prueba de arranque de bombas, sensores | Div. Electrónica | Error de medición del movimiento longitudinal del horno |
| C04-52 | C04-5232SP01 | Presión De Aceite Sistem Longitudinal H4 | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento anual sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | Alta presión en sistema Hidráulico |
| C04-52 | C04-5260HS01 | Sello De Entrada Horno | Perno Roto | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Fuga de material de alimentación al horno |
| C04-52 | C04-5260LV01 | Sistema De Lubricación Sello De Entrada | Sistema Lubricación | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Atascamiento de componentes del sello |
| C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Falso contacto en las conexiones eléctricas |
| C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Enclavamiento | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Falso contacto en las conexiones eléctricas |
| C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Falsa Señal De Alarma | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema |

| | | | | | | |
|--------|---------------|---|------------------------------|--|------------------|---|
| C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel | Div. Mecánica | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire |
| C04-58 | C04-5812BBO01 | Bomba (B) Sis Hidráulico Enfriador | Enclavamiento | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de operación de la bomba |
| C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador H4 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema |
| C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador Del Horno 4 | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire |
| C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema |
| C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Fuga de aceite en manguera deteriorada |
| C04-58 | C04-5840BME01 | Motor Ventilador De Enfriamiento N° 2 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Desconexión de la sub estación |
| C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Motor Cambio | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Sobrecarga Falso contacto en el conexionado eléctrico |
| C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Revisión Eléctrica | Mantenimiento anual al motor | Div. Eléctrica | Mal conexionado eléctrico |
| C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Por Variador | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Parámetros de variador sin calibración Desconfiguración de módulos, tarjetas. |
| C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Visualización Señales | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Falta de visualización de señales |

3.4.3 Racionalización y revisión del FMA.

En este paso se debe ordenar los modos de fallas para identificar la duplicidad de tareas que se presenta cuando al mismo modo de fallas se aplican varios planes de mantenimiento. También se agregan modos de fallas faltantes según el historial de fallas.

Figura 14

Paso 3. Racionalización y revisión del FMA, según la PMO.

| Tarea | Frecuencia | Responsable | Falla |
|---------------------|--|--------------|---------|
| Tarea 1 | Diario | Operador | Falla A |
| Tarea 4 | 6 meses | Mecánico | Falla A |
| Tarea 7 | Semanal | Mecánico | Falla A |
| Tarea 2 | 6 meses | Operador | Falla B |
| Tarea 5 | Anual | Electricista | Falla B |
| Tarea 3 | Semanal | Mecánico | Falla C |
| Tarea 6 | Diario | Operador | Falla C |
| Modo de Falla Nuevo |  | | Falla D |

Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://es.scribd.com/document/412387448/5->

Analisis-de-Criticidad

Como se muestra en la tabla 15, sombreado en color amarillo se anotaron los modos de fallas faltantes a las fallas que no tenían plan de mantenimiento.

En recuadros de color rojo, se encontraron 3 modos de fallas iguales relacionadas con las llantas del horno, polines de rodadura del horno y el motor del ventilador del sello de salida del horno, con esto evitaremos tener tareas duplicadas.

Tabla 15

Paso 3: Racionalización y revisión del FMA.

| Sistema | Sub sistema | Descripción sub sistema | Texto código Falla | Plan de mantenimiento actual | Responsable | Modo de Falla |
|---------|---------------|---|------------------------------------|--|------------------|---|
| C04-52 | C04-5210BST02 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Enclavamiento | Mantenimiento anual a sensor de temperatura | Div. Electrónica | Error de medición de temperatura |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Llanta 1Era Base Del Horno | Revisión/Reparación Mecánica | No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Atascamiento de llanta por desalineamiento |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Llanta 3Era Base Del Horno | Soldar Topes De Llantas | No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Atascamiento de llanta por desalineamiento |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Cambio Sello Hidráulico | Asentar cojinete, reparar mecanismos internos y cambiar aceite | Div. Mecánica | Fuga de aceite entre eje y chumacera |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Chumacera Dañada Cambio/Reparación | No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Ruptura de extremo de eje de polín |
| C04-52 | C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Polínes Cambio | Ensayos NDT Polínes, ejes y llantas | Div. Preventivo | Ruptura de extremo de eje de polín |
| C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Centrado/Alineamiento | Mantenimiento Sistema de limpieza y cambio grasa | Div. Mecánica | Atascamiento con la llanta de la 1era base |
| C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Enclavamiento | Mantenimiento anual sistema desplazamiento: ajustes, contactores, prueba de arranque de bombas, sensores | Div. Electrónica | Error de medición del movimiento longitudinal del horno |

| | | | | | | |
|--------|---------------|--|------------------------------|---|------------------|---|
| C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Polínes Cambio | No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Ruptura de base del polín axial |
| C04-52 | C04-5232SP01 | Presión De Aceite Sistem Longitudinal H4 | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento anual sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | Alta presión en sistema Hidráulico |
| C04-52 | C04-5240LK01 | Sistema Lubricación Reductor Principal | Fuga De Aceite | No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Fuga de aceite |
| C04-52 | C04-5260HS01 | Sello De Entrada Horno | Perno Roto | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Fuga de material de alimentación al horno |
| C04-52 | C04-5260LV01 | Sistema De Lubricación Sello De Entrada | Sistema Lubricación | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Atascamiento de componentes del sello |
| C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Falso contacto en las conexiones eléctricas |
| C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Enclavamiento | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Falso contacto en las conexiones eléctricas |
| C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Falsa Señal De Alarma | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema |
| C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Desconexión Eléctrica | No tiene plan de mantenimiento | Div. Eléctrica | Línea puesta tierra sin energía |
| C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel | Div. Mecánica | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire |
| C04-58 | C04-5812ABO01 | Bomba (A) Sis Hidráulico Enfriador | Sistema Hidráulico, Bomba | No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Falta presión en bombas hidráulicas |
| C04-58 | C04-5812BBO01 | Bomba (B) Sis Hidráulico Enfriador | Enclavamiento | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de operación de la bomba |
| C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador H4 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema |

| | | | | | | |
|--------|---------------|---|------------------------------|--|------------------|---|
| C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador Del Horno 4 | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire |
| C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema |
| C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Fuga de aceite en manguera deteriorada |
| C04-58 | C04-5840BME01 | Motor Ventilador De Enfriamiento N° 2 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Desconexión de la sub estación |
| C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Revisión Eléctrica | Mantenimiento anual al motor | Div. Eléctrica | Mal conexionado eléctrico |
| C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Motor Cambio | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Sobrecarga Falso contacto en el conexionado eléctrico |
| C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Visualización Señales | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Falta de visualización de señales |
| C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Por Variador | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Parámetros de variador sin calibración Desconfiguración de módulos, tarjetas. |

3.4.4 Análisis Funcional.

En este paso se registra la función que se pierde con cada modo de falla según el historial de fallas que se está analizando.

Figura 15

Paso 4. Análisis Funcional, según la PMO.

| Modo de Falla | Función |
|----------------------|----------------|
| Falla A | Función 1 |
| Falla B | Función 2 |
| Falla C | Función 3 |
| Falla D | Función 4 |

Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://es.scribd.com/document/412387448/5->

Analisis-de-Criticidad

La tabla 16, muestra el análisis funcional de las fallas criticas basado en confiabilidad.

Tabla 16

Paso 4: Análisis Funcional.

| Sub sistema | Descripción sub sistema | Texto código Falla | Plan de mantenimiento actual | Modo de Falla | Función |
|---------------|---|------------------------------------|--|--|--|
| C04-5210BST02 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Enclavamiento | Mantenimiento anual a sensor de temperatura | Error de medición de temperatura | Controlar la temperatura en operación de las chumaceras del horno, una alta temperatura podría indicar un problema mecánico en los componentes de las chumaceras con el eje. |
| C04-5210HR01 | Llanta 1Era Base Del Horno | Revisión/Reparación Mecánica | No tiene plan de mantenimiento | Atascamiento de llanta por desalineamiento | Alinear y centrar llanta para un correcto movimiento relativo entre llanta y horno. |
| C04-5210HR01 | Llanta 3Era Base Del Horno | Soldar Topes De Llantas | No tiene plan de mantenimiento | Atascamiento de llanta por desalineamiento | Alinear y centrar llanta para un correcto movimiento relativo entre llanta y horno. |
| C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Cambio Sello Hidráulico | Asentar cojinete, reparar mecanismos internos y cambiar aceite | Fuga de aceite entre eje y chumacera | Permitir el giro del horno por rodadura entre el polín, chumacera y llanta. |
| C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Chumacera Dañada Cambio/Reparación | No tiene plan de mantenimiento | Ruptura de extremo de eje de polín | Permitir el giro del horno por rodadura entre el polín, chumacera y llanta. |
| C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Polínes Cambio | Ensayos NDT Polínes, ejes y llantas | Ruptura de extremo de eje de polín | Permitir el giro del horno por rodadura entre el polín, chumacera y llanta. |
| C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Centrado/Alineamiento | Mantenimiento Sistema de limpieza y cambio grasa | Atascamiento con la llanta de la 1era base | Controla mecánicamente el desplazamiento axial, longitudinal del horno. |

| | | | | | |
|--------------|--|------------------------------|--|---|---|
| C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Enclavamiento | Mantenimiento anual sistema desplazamiento: ajustes, contactores, prueba de arranque de bombas, sensores | Error de medición del movimiento longitudinal del horno | Controlar el desplazamiento axial, longitudinal del horno |
| C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Polínes Cambio | No tiene plan de mantenimiento | Ruptura de base del polín axial | Controla mecánicamente el desplazamiento axial, longitudinal del horno, es una restricción física que evita que el horno caiga. |
| C04-5232SP01 | Presión De Aceite Sistem Longitudinal H4 | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento anual sistema de desplazamiento | Alta presión en sistema Hidráulico | Dar la presión necesaria para el movimiento axial del polín de retención |
| C04-5240LK01 | Sistema Lubricación Reductor Principal | Fuga De Aceite | No tiene plan de mantenimiento | Fuga de aceite | Lubricar los engranajes del reductor |
| C04-5260HS01 | Sello De Entrada Horno | Perno Roto | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Fuga de material de alimentación al horno | Sellar, evitar derrame de material caliente en la alimentación al horno |
| C04-5260LV01 | Sistema De Lubricación Sello De Entrada | Sistema Lubricación | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Atascamiento de componentes del sello | Lubricar los componentes del sello |
| C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Falso contacto en las conexiones eléctricas | Refrigerar el sello de salida que esta expuesto a alta temperatura. |
| C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Enclavamiento | Mantenimiento general al motor | Falso contacto en las conexiones eléctricas | Permitir la operación del ventilador |
| C04-5810EN01 | Enfriador | Falsa Señal De Alarma | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador |
| C04-5810EN01 | Enfriador | Desconexión Eléctrica | No tiene plan de mantenimiento | Línea puesta tierra sin energía | Dar energía fuerza para la operación del enfriador |
| C04-5810EN01 | Enfriador | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras |

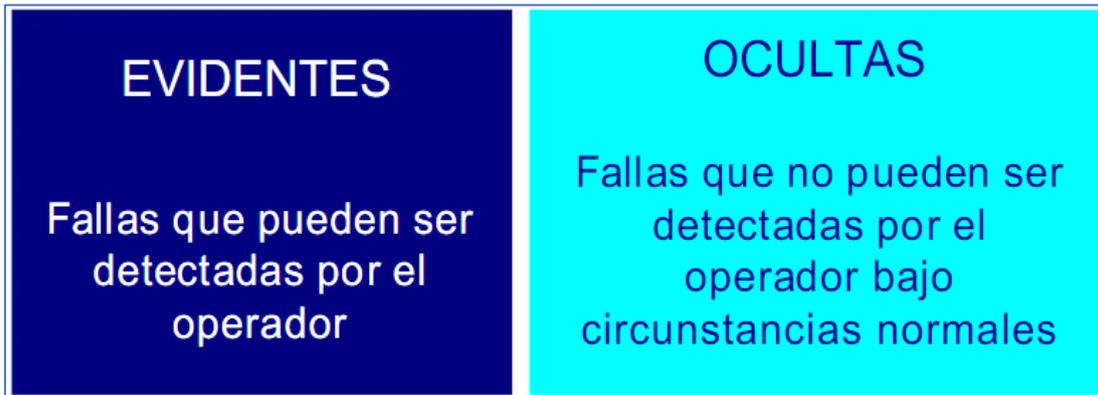
| | | | | | |
|---------------|---|------------------------------|--|---|---|
| C04-5812ABO01 | Bomba (A) Sis Hidráulico Enfriador | Sistema Hidráulico, Bomba | No tiene plan de mantenimiento | Falta presión en bombas hidráulicas | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras |
| C04-5812BBO01 | Bomba (B) Sis Hidráulico Enfriador | Enclavamiento | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Desconexión de señales de operación de la bomba | Controlar desde tableros la operación de la bomba |
| C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador H4 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador |
| C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador Del Horno 4 | Sistema Hidráulico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras |
| C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador |
| C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Revisión/Reparación Mecánica | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Fuga de aceite en manguera deteriorada | Asegurar la transmisión hidráulica al sistema |
| C04-5840BME01 | Motor Ventilador De Enfriamiento N° 2 | Desconexión Eléctrica | Mantenimiento general al motor | Desconexión de la sub estación | Dar energía fuerza para la operación del ventilador y enfriar el clinker |
| C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Revisión Eléctrica | Mantenimiento anual al motor | Mal conexionado eléctrico | Permite la operación del ventilador del filtro de mangas |
| C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Motor Cambio | Mantenimiento general al motor | Sobrecarga Falso contacto en el conexionado eléctrico | Dar la operación del ventilador para la operación del filtro. |
| C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Visualización Señales | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Falta de visualización de señales | Controlar desde tableros la operación del ventilador. |
| C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falla Por Variador | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Parámetros de variador sin calibración Desconfiguración de módulos, tarjetas. | Regular la velocidad de operación del motor |

3.4.5 Evaluación de Consecuencias.

En este paso evaluaremos de qué modo se manifiesta los modos de fallas y las consecuencias operacionales que causa; La metodología PMO y la SAE JA 1011 clasifica las consecuencias como Evidentes y Ocultas.

Figura 16

Paso 5. Evaluación de consecuencias, según la PMO.



Nota: Imagen sacada de la web. Fuente: <https://es.scribd.com/document/412387448/5-Analisis-de-Criticidad>

Se realiza el análisis de riesgos mediante el análisis del número de prioridad de riesgos o RPN, es un valor que permite priorizar los modos de fallos y sus causas, que fueron identificados en el FMA, y se obtiene a través de multiplicar las ponderaciones de la ocurrencia (O) por la de severidad (S) y la detectabilidad (D).

Tabla 17

Valoración para el número de prioridad de riesgos – RPN.

| Número de Prioridad de Riesgo (RPN) | | |
|-------------------------------------|----------|--|
| RPN = S x O x D | | |
| 1 al 24 | Bajo | |
| 25 al 74 | Moderado | |
| 75 al 125 | Alto | |

El valor del RPN nos ayuda a priorizar las acciones a realizar al modo de fallo identificado y lo clasifica en bajo, moderado y alto como se muestra en la tabla 17.

Tabla 18

Valoración para los Índices de Ocurrencia (O), Severidad (S) y la Detectabilidad (D).

| Índice de Severidad (S) | | |
|--------------------------------|--------------------------|-------------|
| Nivel | Descripción | Nota |
| Baja | Efecto no percibido | 1 |
| Moderada | Pérdida de productividad | 3 |
| Alta | Perdida de la función | 5 |

| Índice de Ocurrencia (O) | | |
|---------------------------------|-----------------------|-------------|
| Nivel | Descripción | Nota |
| Baja | Probabilidad baja | 1 |
| Moderada | Probabilidad moderada | 3 |
| Alta | Probabilidad alta | 5 |

| Índice de Detección (D) | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Nivel | Descripción | Nota |
| Baja | Superior al 90% de detección | 1 |
| Moderada | Entre del 50% - 90% de detección | 3 |
| Alta | Menos del 50% de detección | 5 |

La tabla 18 muestra la valoración para los índices de severidad, ocurrencia y detección, cada criterio nos brinda un valor que son datos para el cálculo del RPN.

A continuación, se muestra la tabla 19, donde hacemos el análisis de evaluación de consecuencias para cada modo de falla, analizando la Consecuencia, clasificándolas en fallas ocultas o evidentes, el Efecto que se tiene para cada modo de falla, donde el efecto es la parada de la línea del horno y el número de prioridad de riesgo RPN.

Tabla 19

Paso 5: Evaluación de consecuencias.

| Plan de mantenimiento actual | Responsable | Modo de Falla | Función | Análisis de Consecuencias | | | | | |
|--|------------------|---|--|---------------------------|--|-----|-----|-----|-----|
| | | | | Consecuencia | Efecto | (O) | (S) | (D) | RPN |
| Mantenimiento anual a sensor de temperatura | Div. Electrónica | Error de medición de temperatura | Controlar la temperatura en operación de las chumaceras del horno, una alta temperatura podría indicar un problema mecánico en los componentes de las chumaceras con el eje. | Oculto | Se detiene la operación del horno por enclavamiento de seguridad | 3 | 3 | 3 | 27 |
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Atascamiento de llanta por desalineamiento | Alinear y centrar llanta para un correcto movimiento relativo entre llanta y horno. | Evidente - Operacional | Ruptura de llanta por dilatación, detiene la operación del horno | 5 | 3 | 3 | 45 |
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Atascamiento de llanta por desalineamiento | Alinear y centrar llanta para un correcto movimiento relativo entre llanta y horno. | Evidente - Operacional | Ruptura de llanta por dilatación, detiene la operación del horno | 5 | 3 | 3 | 45 |
| Asentar cojinete, reparar mecanismos internos y cambiar aceite | Div. Mecánica | Fuga de aceite entre eje y chumacera | Permitir el giro del horno por rodadura entre el polín, chumacera y llanta. | Evidente - Operacional | Detiene la operación del horno, puede demandar varias horas de parada | 3 | 3 | 3 | 27 |
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Ruptura de extremo de eje de polín | Permitir el giro del horno por rodadura entre el polín, chumacera y llanta. | Evidente - Operacional | Detiene la operación del horno, puede demandar varias horas de parada | 1 | 5 | 5 | 25 |
| Ensayos NDT Polínes, ejes y llantas | Div. Preventivo | Ruptura de extremo de eje de polín | Permitir el giro del horno por rodadura entre el polín, chumacera y llanta. | Evidente - Operacional | Detiene la operación del horno, puede demandar varias horas de parada. | 1 | 5 | 5 | 25 |
| Mantenimiento Sistema de limpieza y cambio grasa | Div. Mecánica | Atascamiento con la llanta de la 1era base | Controla mecánicamente el desplazamiento axial, longitudinal del horno. | Evidente - Operacional | Choque y atascamiento con la estructura de entrada (arriba) y salida (abajo) del horno. Detiene la operación del Horno | 5 | 3 | 5 | 75 |
| Mantenimiento anual sistema desplazamiento: ajustes, contactores, prueba de arranque de bombas, sensores | Div. Electrónica | Error de medición del movimiento longitudinal del horno | Controlar el desplazamiento axial, longitudinal del horno | Oculto | Choque y atascamiento con la estructura de entrada (arriba) y salida (abajo) del horno. Detiene la operación del Horno | 5 | 3 | 5 | 75 |

| | | | | | | | | | |
|---|------------------|---|---|--------------------------------------|--|---|---|---|-----|
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Ruptura de base del polín axial | Controla mecánicamente el desplazamiento axial, longitudinal del horno, es una restricción física que evita que el horno caiga. | Evidente - Operacional | Caída del Horno longitudinalmente. Detiene la operación del Horno | 3 | 5 | 5 | 75 |
| Mantenimiento anual sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | Alta presión en sistema Hidráulico | Dar la presión necesaria para el movimiento axial del polín de retención | Evidente - Operacional | No permite una operación normal del sistema de desplazamiento porque da presión a un solo sentido. | 3 | 3 | 3 | 27 |
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Fuga de aceite | Lubricar los engranajes del reductor | Evidente - Operacional | Rozamiento de dientes de engranaje, ruptura de dientes de engranajes del reductor y paraliza el accionamiento del horno. | 1 | 3 | 3 | 9 |
| Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Fuga de material de alimentación al horno | Sellar, evitar derrame de material caliente en la alimentación al horno | Evidente - Seguridad, medio ambiente | Quemadura de gravedad para el personal y equipos. Contaminación del suelo. | 5 | 5 | 5 | 125 |
| Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Atascamiento de componentes del sello | Lubricar los componentes del sello | Evidente - Operacional | Daños de componentes del sello y fuga de material | 5 | 3 | 3 | 45 |
| Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Falso contacto en las conexiones eléctricas | Refrigerar el sello de salida que está expuesto a alta temperatura. | Evidente - Operacional | Sello de salida se pega con el horno, se detiene operación del horno | 5 | 3 | 5 | 75 |
| Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Falso contacto en las conexiones eléctricas | Permitir la operación del ventilador | Oculto | Sello de salida se pega con el horno, se detiene operación del horno | 5 | 3 | 5 | 75 |
| Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador | Oculto | Detiene la operación del horno | 5 | 3 | 5 | 75 |
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Eléctrica | Línea puesta tierra sin energía | Dar energía fuerza para la operación del enfriador | Oculto | Detiene la operación del horno | 1 | 5 | 5 | 25 |
| Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel | Div. Mecánica | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras | Evidente - Operacional | Parrillas del enfriador trancado, detiene la operación del horno. | 3 | 5 | 5 | 75 |
| No tiene plan de mantenimiento | Div. Mecánica | Falta presión en bombas hidráulicas | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras | Evidente - Operacional | Parrillas pierden fuerza para desplazar material, causa atoros y parada de horno. | 5 | 3 | 5 | 75 |

| | | | | | | | | | |
|--|------------------|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de operación de la bomba | Controlar desde tableros la operación de la bomba | Oculto | Parrillas pierden fuerza para desplazar material, causa atoros y parada de horno. | 5 | 3 | 5 | 75 |
| Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador | Oculto | Detiene la operación del horno | 5 | 3 | 5 | 75 |
| Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Pistones hidráulicos en mal estado. Falta presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras | Evidente - Operacional | Parrillas del enfriador trancado, detiene la operación del horno. | 3 | 5 | 5 | 75 |
| Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador | Oculto | Detiene la operación del horno | 5 | 3 | 5 | 75 |
| Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Fuga de aceite en manguera deteriorada | Asegurar la transmisión hidráulica al sistema | Evidente - Operacional - medio ambiente | parrillas pierden fuerza para desplazar material, contaminación de suelo. | 3 | 5 | 3 | 45 |
| Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Desconexión de la sub estación | Dar energía fuerza para la operación del ventilador y enfriar el clinker | Oculto | Material de descarga caliente porque no enfría, causa daños a componentes mecánicos, se detiene la operación del horno. | 3 | 5 | 3 | 45 |
| Mantenimiento anual al motor | Div. Eléctrica | Mal conexionado eléctrico | Permite la operación del ventilador del filtro de mangas | Evidente - Operacional | Polución del sistema de recuperación del filtro, parada de horno por enclavamiento. | 5 | 3 | 3 | 45 |
| Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Sobrecarga Falso contacto en el conexionado eléctrico | Dar la operación del ventilador para la operación del filtro. | Evidente - Operacional - medio ambiente | Polución, contaminación ambiental, se detiene el horno por enclavamiento. | 5 | 3 | 3 | 45 |
| Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Falta de visualización de señales | Controlar desde tableros la operación del ventilador. | Oculto | Polución del sistema de recuperación del filtro, parada de horno por enclavamiento. | 3 | 5 | 5 | 75 |
| Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Parámetros de variador sin calibración Desconfiguración de módulos, tarjetas. | Regular la velocidad de operación del motor | Oculto | Polución del sistema de recuperación del filtro, parada de horno por enclavamiento. | 5 | 5 | 5 | 125 |

3.4.6 Determinación de las Políticas de mantenimiento.

En este paso se entrega la propuesta de plan de mantenimiento que se realiza seleccionando las tareas de mantenimiento que cumplan con controlar los modos de fallas identificados, analizaremos los modos de fallas y seleccionaremos las políticas de administración para las fallas bajo el principio del mantenimiento centrado en confiabilidad según la norma SAE JA – 1011 Capítulo 5.6, 5.7 y 5.8.

En la figura 17 se muestra una tabla donde clasifica los tipos de falla, la relaciona con los patrones de falla según la SAE JA 1012 y en la parte superior el tipo de tarea según la RCM.

Figura 17

Paso 6. Definición de las políticas de mantenimiento, según la PMO.

| TIPO DE FALLA | | | TIPO DE TAREA | MBC | SUSTITUCIÓN CÍCLICA | REACOND. CÍCLICO | PRUEBA FUNCIONAL FFT | CORRECTIVO | REDISEÑO |
|---------------|-----------|-----------|---------------|-----|---------------------|------------------|----------------------|------------|----------|
| OCULTA | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| EVIDENTE | ALEATORIA | SUBITA | | | | | | ✓ | ✓ |
| | | INCIDENTE | | ✓ | | | | ✓ | ✓ |
| | | EDAD | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| | EDAD | SUBITA | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| | | INCIDENTE | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |

Nota: Imagen sacada de la web. Fuente:

https://www.youtube.com/watch?v=rmleyCFWxws&ab_channel=BIMAN

Las estrategias de mantenimiento a usar son:

- Mantenimiento basado en condición. (Mantenimiento preventivo y predictivo)
- Mantenimiento por sustitución cíclica y Reacondicionamiento cíclico.
(Mantenimiento preventivo)
- Mantenimiento Correctivo: Llevar a la falla
- Rediseños: Cambio de diseños de equipos o componentes; Implementar procedimientos, protocolos.

Tabla 20

Paso 6: Determinación de las políticas de mantenimiento.

| Sistema | Descripción sub sistema | Modo de Falla | Función | Consecuencia | Tipo de Mantenimiento | Plan de Mantenimiento propuesto (PMO) | Responsable | Frecuencia |
|---------|---|--|--|------------------------|-----------------------------------|--|------------------|------------|
| C04-52 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Error de medición de temperatura | Controlar la temperatura en operación de las chumaceras del horno, una alta temperatura podría indicar un problema mecánico en los componentes de las chumaceras con el eje. | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de lectura de temperatura en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |
| C04-52 | Llanta 1Era Base Del Horno | Atascamiento de llanta por desalineamiento | Alinear y centrar llanta para un correcto movimiento relativo entre llanta y horno. | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Ensayos no destructivos: Ultrasonido y líquidos penetrantes a los topes de llantas de las 3 Estaciones del horno. | Div. Preventivo | 12 meses |
| C04-52 | Llanta 3Era Base Del Horno | | | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Soldar y reparar topes de llantas de las 3 Estaciones del horno según condición. | Div. Preventivo | 12 meses |
| C04-52 | Chumacera De Polín 2Da Base | Fuga de aceite entre eje y chumacera | Permitir el giro del horno por rodadura entre el Polín, chumacera y llanta. | Evidente - Operacional | Rediseño, procedimientos | Registrar en protocolos de calidad según procedimiento el estado de los sellos y componentes internos de las chumaceras de las Estaciones del horno. | Div. Mecánica | 12 meses |
| C04-52 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Ruptura de extremo de eje de Polín | Permitir el giro del horno por rodadura entre el Polín, chumacera y llanta. | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Ensayos no destructivos: Ultrasonido y líquidos penetrantes a los ejes de Polines y llantas de rodadura de las 3 Estaciones del horno. | Div. Preventivo | 12 meses |
| C04-52 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | | | | Mantenimiento basado en condición | Reparar eje de Polín según condición. | Div. Mecánica | 12 meses |
| C04-52 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | | | Evidente - Operacional | Rediseño | Cambiar diseño de extremo de eje de los Polines buscando una mejor resistencia a las fallas por fatiga | Div. Preventivo | |

| | | | | | | | | |
|--------|--|---|---|--------------------------------------|-----------------------------------|---|------------------|----------|
| C04-52 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Atascamiento con la llanta de la 1era base | Controla Mecánicamente el desplazamiento axial, longitudinal del horno. | Evidente - Operacional | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento general: Limpieza exterior y despiece de elementos internos. Calibrar rodamientos, cargar grasa nueva. Cambiar elementos gastados. Verificar conservación de pistón hidráulico (cilindro, vástago y émbolo), cambiar kit de sellos. Centrado y alineamiento de Polín de sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | 12 meses |
| C04-52 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Error de medición del movimiento longitudinal del horno | Controlar el desplazamiento axial, longitudinal del horno | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de lectura de desplazamiento en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |
| C04-52 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Ruptura de base del Polín axial | Controla Mecánicamente el desplazamiento axial, longitudinal del horno, es una restricción física que evita que el horno caiga. | Evidente - Operacional | Reacondicionamiento cíclico | Cambio de Polín de retención. Centrado y alineamiento de Polín de sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | 36 meses |
| C04-52 | Presión De Aceite Sistem Longitudinal H4 | Alta Presión en sistema Hidráulico | Dar la Presión necesaria para el movimiento axial del Polín de retención | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento a las bombas hidráulicas, verificar Presión de salida. | Div. Mecánica | 06 meses |
| C04-52 | Sistema Lubricación Reductor Principal | Fuga de aceite | Lubricar los engranajes del reductor | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Verificar estado de conexiones de tuberías de Lubricación de reductor, Cambiar tuberías en mal estado, prueba en operación. | Div. Mecánica | 12 meses |
| C04-52 | Sello De Entrada Horno | Fuga de material de alimentación al horno | Sellar, evitar derrame de material caliente en la alimentación al horno | Evidente - Seguridad, medio ambiente | Sustitución cíclica | Cambio total de pernos externos del sello del horno, ajustar tuercas según plano adjunto. Verificar sellado del sistema. | Div. Mecánica | 12 meses |
| C04-52 | Sistema De Lubricación Sello De Entrada | Atascamiento de componentes del sello | Lubricar los componentes del sello | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Relleno de grasa en cilindro de Lubricación. Ajustar conectores de mangueras. Mantto a bomba stand by | Div. Mecánica | 04 meses |
| C04-52 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Falso contacto en las conexiones Eléctricas | Refrigerar el sello de salida que está expuesto a alta temperatura. | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Revisión de circuito de arranque. Revisión de conexiones y borneras. Revisión de enclavamiento en línea | Div. Eléctrica | 02 meses |
| C04-52 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | | Permitir la operación del ventilador | Oculto | | | | |

| | | | | | | | | |
|--------|--|---|---|------------------------|-----------------------------------|---|------------------|----------|
| C04-58 | Enfriador | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |
| C04-58 | Enfriador | Línea puesta tierra sin energía | Dar energía fuerza para la operación del enfriador | Oculto | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento a línea puesta tierra del sistema enfriador del horno: verificar conexiones y borneras, medir resistencias ohm. | Div. Eléctrica | 06 meses |
| C04-58 | Enfriador | Pistones Hidráulicos en mal estado. Falta Presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras | Evidente - Operacional | Sustitución cíclica | Cambio de pistones Hidráulicos. Regulación de Presión salida de bombas. Purgar sistema Hidráulico. | Div. Mecánica | 12 meses |
| C04-58 | Bomba (A) Sis Hidráulico Enfriador | Falta Presión en bombas hidráulicas | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento a bomba stand by, verificar Regulación de Presión salida de bomba. | Div. Mecánica | 04 meses |
| C04-58 | Bomba (B) Sis Hidráulico Enfriador | Desconexión de señales de operación de la bomba | Controlar desde tableros la operación de la bomba | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación de las bombas en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |
| C04-58 | Parrilla Enfriador H4 | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación de la parrilla del enfriador en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |
| C04-58 | Parrilla Enfriador Del Horno 4 | Pistones Hidráulicos en mal estado. Falta Presión en bombas hidráulicas Sistema de mangueras con aire | Dar el movimiento longitudinal de avance y retroceso de las parrillas enfriadoras | Evidente - Operacional | Sustitución cíclica | Cambio de bombas hidráulicas. Regulación de Presión salida de bombas. Purgar sistema Hidráulico. | Div. Mecánica | 24 meses |
| C04-58 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Desconexión de señales de todo el sistema | Controlar desde tableros la operación del enfriador | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación del sistema Hidráulico del enfriador en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |

| | | | | | | | | |
|--------|---|---|--|---|-----------------------------------|--|------------------|----------|
| C04-58 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Fuga de aceite en manguera deteriorada | Asegurar la transmisión hidráulica al sistema | Evidente - Operacional - medio ambiente | Mantenimiento basado en condición | Verificar estado de conexiones de tuberías de aceite del sistema Hidráulico, ajustar conexiones, Cambiar tuberías en mal estado. | Div. Mecánica | 06 meses |
| C04-58 | Motor Ventilador De Enfriamiento N° 2 | Desconexión de la sub Estación | Dar energía fuerza para la operación del ventilador y enfriar el clinker | Oculto | Mantenimiento basado en condición | Inspección por termografía a patio llaves y sub Estación. Mantenimiento anual a sub Estación | Div. Eléctrica | 12 meses |
| C04-58 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Mal conexionado eléctrico | Permite la operación del ventilador del filtro de mangas | Evidente - Operacional | Mantenimiento basado en condición | Revisión de circuito de arranque. Revisión de conexiones y borneras. Revisión de enclavamiento en línea | Div. Eléctrica | 06 meses |
| C04-58 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Sobrecarga Falso contacto en el conexionado eléctrico | Dar la operación del ventilador para la operación del filtro. | Evidente - Operacional - medio ambiente | Rediseño | Instalar sistema de protección al motor | Div. Eléctrica | |
| C04-58 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Falta de visualización de señales | Controlar desde tableros la operación del ventilador. | Oculto | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación del variador en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses |
| C04-58 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Parámetros de variador sin calibración Desconfiguración de módulos, tarjetas. | Regular la velocidad de operación del motor | Oculto | Mantenimiento basado en condición | Verificación, actualización de parámetros Revisión de señales del variador y CEMAT Prueba de funcionamiento de arranque Prueba de Regulación de velocidad. Limpieza de las unidades de ventilación Mantenimiento de contactores y/o interruptores | Div. Electrónica | 06 meses |

La tabla 20, muestra el plan de mantenimiento optimizado por PMO, donde tenemos 30 tareas nuevas con la metodología PMO, la selección del tipo de tarea es según la RCM.

3.4.7 Agrupación y revisión de los procesos funcionales

En este paso se agrupan las tareas de mantenimiento por especialidad responsable y las frecuencias. Se establece el método más eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los equipos del horno, teniendo en cuenta limitantes de producción y otros. Debemos cumplir con los objetivos de la empresa en mantenimiento y producción.

En la tabla 21, muestra el plan de mantenimiento revisado y agrupado por Optimización del mantenimiento PMO a los equipos de los sistemas de Calcinación C04-52 y Enfriamiento, recuperación de clinker C04-58.

La lista final considera los planes de mantenimiento por PMO y los planes existentes actuales importantes (resaltados de celeste) que deben realizarse para el objetivo de reducir las paradas correctivas en el horno.

Tenemos 39 planes de mantenimiento, 09 son existentes y 30 planes por PMO.

Hasta este paso es el proceso de propuesta de la optimización de planes de mantenimiento del PMO, la implementación debe ser acompañada de un seguimiento y control en la ejecución de cada tarea del plan de mantenimiento que se realizara en el mantenimiento planificado del horno en la parada de planta.

Tabla 21

Paso 7: Agrupación y revisión de los procesos funcionales.

| Item | Sistema | Sub sistema | Descripción sub sistema | Tipo de Mantenimiento | Plan de Mantenimiento propuesto | Responsable | Frecuencia | Plan |
|------|---------|---------------|---|-----------------------------------|---|------------------|------------|--------|
| 1 | C04-52 | C04-5210BST02 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de lectura de temperatura en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses | PMO |
| 2 | C04-52 | C04-5210BST02 | Estación Apoyo 2 Temp Cojinete Chum 2.2 | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento anual a sensor de temperatura | Div. Electrónica | Anual | Actual |
| 3 | C04-52 | C04-5210HR01 | Llanta 1Era Base Del Horno | Mantenimiento basado en condición | Ensayos no destructivos: Ultrasonido y líquidos penetrantes a los topes de llantas de las 3 Estaciones del horno. | Div. Preventivo | 12 meses | PMO |
| 4 | C04-52 | C04-5210HR01 | Llanta 3Era Base Del Horno | Mantenimiento basado en condición | Soldar y reparar topes de llantas de las 3 Estaciones del horno según condición. | Div. Preventivo | 12 meses | PMO |
| 5 | C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Rediseño, procedimientos | Registrar en protocolos de calidad según procedimiento el estado de los sellos y componentes internos de las chumaceras de las Estaciones del horno. | Div. Mecánica | 12 meses | PMO |
| 6 | C04-52 | C04-5210HR01 | Chumacera De Polín 2Da Base | Mantenimiento basado en condición | Asentar cojinete, reparar mecanismos internos y cambiar aceite | Div. Mecánica | Anual | PMO |
| 7 | C04-52 | C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Mantenimiento basado en condición | Ensayos no destructivos: Ultrasonido y líquidos penetrantes a los ejes de Polínes y llantas de rodadura de las 3 Estaciones del horno. | Div. Preventivo | 12 meses | PMO |
| 8 | C04-52 | C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Mantenimiento basado en condición | Reparar eje de Polín según condición. | Div. Mecánica | 12 meses | PMO |
| 9 | C04-52 | C04-5210HR01 | Polín Chumacera De Polín 2Da Base | Rediseño | Cambiar diseño de extremo de eje de los Polínes buscando una mejor resistencia a las fallas por fatiga | Div. Preventivo | | PMO |
| 10 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento general: Limpieza exterior y despiece de elementos internos. Calibrar rodamientos, cargar grasa nueva. Cambiar elementos gastados. Verificar conservación de pistón hidráulico (cilindro, vástago y émbolo), cambiar kit de sellos. Centrado y alineamiento de Polín de sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | 12 meses | PMO |
| 11 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de lectura de desplazamiento en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses | PMO |

| | | | | | | | | |
|----|--------|---------------|--|-----------------------------------|---|------------------|----------|--------|
| 12 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento anual sistema desplazamiento: ajustes, contactores, prueba de arranque de bombas, sensores | Div. Electrónica | Anual | Actual |
| 13 | C04-52 | C04-5232HM01 | Sistema De Desplazamiento Longitudinal | Reacondicionamiento cíclico | Cambio de Polín de retención. Centrado y alineamiento de Polín de sistema de desplazamiento | Div. Mecánica | 36 meses | PMO |
| 14 | C04-52 | C04-5232SP01 | Presión De Aceite Sistem Longitudinal H4 | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento a las bombas hidráulicas, verificar Presión de salida. | Div. Mecánica | 06 meses | PMO |
| 15 | C04-52 | C04-5240LK01 | Sistema Lubricación Reductor Principal | Mantenimiento basado en condición | Verificar estado de conexiones de tuberías de Lubricación de reductor, Cambiar tuberías en mal estado, prueba en operación. | Div. Mecánica | 12 meses | PMO |
| 16 | C04-52 | C04-5260HS01 | Sello De Entrada Horno | Sustitución cíclica | Cambio total de pernos externos del sello del horno, ajustar tuercas según plano adjunto. Verificar sellado del sistema. | Div. Mecánica | 12 meses | PMO |
| 17 | C04-52 | C04-5260HS01 | Sello De Entrada Horno | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento sistema del sello y Revisar pista deslizamiento | Div. Mecánica | Anual | Actual |
| 18 | C04-52 | C04-5260LV01 | Sistema De Lubricación Sello De Entrada | Mantenimiento basado en condición | Relleno de grasa en cilindro de Lubricación. Ajustar conectores de mangueras. Manto a bomba stan by | Div. Mecánica | 04 meses | PMO |
| 19 | C04-52 | C04-5264ME01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual | Actual |
| 20 | C04-52 | C04-5264VC01 | Ventilador Del Sello De Salida Del Horno | Mantenimiento basado en condición | Revisión de circuito de arranque. Revisión de conexiones y borneras. Revisión de enclavamiento en línea | Div. Eléctrica | 02 meses | PMO |
| 21 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Eléctrica | 03 meses | PMO |
| 22 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento anual a tablero general panel HPU | Div. Electrónica | Anual | Actual |
| 23 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento a línea puesta tierra del sistema enfriador del horno: verificar conexiones y borneras, medir resistencias ohm. | Div. Eléctrica | 06 meses | PMO |
| 24 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Sustitución cíclica | Cambio de pistones Hidráulicos. Regulación de Presión salida de bombas. Purgar sistema Hidráulico. | Div. Mecánica | 12 meses | PMO |
| 25 | C04-58 | C04-5810EN01 | Enfriador | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento general al sistema Hidráulico y salas 1er y 2do nivel. | Div. Mecánica | Anual | Actual |
| 26 | C04-58 | C04-5812ABO01 | Bomba (A) Sis Hidráulico Enfriador | Mantenimiento basado en condición | Mantenimiento a bomba stand by, verificar Regulación de Presión salida de bomba. | Div. Mecánica | 04 meses | PMO |

| | | | | | | | | |
|----|--------|---------------|---|-----------------------------------|--|------------------|----------|--------|
| 27 | C04-58 | C04-5812BBO01 | Bomba (B) Sis Hidráulico Enfriador | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación de las bombas en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses | PMO |
| 28 | C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador H4 | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación de la parrilla del enfriador en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses | PMO |
| 29 | C04-58 | C04-5812PO01 | Parrilla Enfriador Del Horno 4 | Sustitución cíclica | Cambio de bombas hidráulicas. Regulación de Presión salida de bombas. Purgar sistema Hidráulico. | Div. Mecánica | 24 meses | PMO |
| 30 | C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación del sistema Hidráulico del enfriador en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses | PMO |
| 31 | C04-58 | C04-5812ZD01 | Sistema Hidráulico Accionami Enfriador | Mantenimiento basado en condición | Verificar estado de conexiones de tuberías de aceite del sistema Hidráulico, ajustar conexiones, Cambiar tuberías en mal estado. | Div. Mecánica | 06 meses | PMO |
| 32 | C04-58 | C04-5840BME01 | Motor Ventilador De Enfriamiento Nº 2 | Mantenimiento basado en condición | Inspección por termografía a patio llaves y sub Estación. Mantenimiento anual a sub Estación | Div. Eléctrica | 12 meses | PMO |
| 33 | C04-58 | C04-5840BME01 | Motor Ventilador De Enfriamiento Nº 2 | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual | Actual |
| 34 | C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Mantenimiento basado en condición | Revisión de circuito de arranque. Revisión de conexiones y borneras. Revisión de enclavamiento en línea | Div. Eléctrica | 06 meses | PMO |
| 35 | C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Rediseño | Instalar sistema de protección al motor | Div. Eléctrica | | PMO |
| 36 | C04-58 | C04-5870ME01 | Motor Ventilador Filtro Enfriador 14.17 | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento general al motor | Div. Eléctrica | Anual | Actual |
| 37 | C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Prueba Funcional y Rediseño | Contrastación de señales de operación del variador en campo y tablero control. Registrar en procedimiento de pruebas funcionales. | Div. Electrónica | 03 meses | PMO |
| 38 | C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Mantenimiento basado en condición | Verificación, actualización de parámetros Revisión de señales del variador y CEMAT Prueba de funcionamiento de arranque Prueba de Regulación de velocidad. Limpieza de las unidades de ventilación Mantenimiento de contactores y/o interruptores | Div. Electrónica | 06 meses | PMO |
| 39 | C04-58 | C04-5870RM01 | Filtro De Mangas Del Enfriador Horno 4 | Reacondicionamiento cíclico | Mantenimiento anual al variador: módulos, parámetros, señales, pruebas | Div. Electrónica | Anual | Actual |

3.4.8 Aprobación e Implementación de los programas

El resultado del análisis de la metodología es entregar un plan de mantenimiento optimizado, se debe presentar a la alta dirección de la empresa para su revisión, comentarios y aprobación.

Una vez aprobado se inicia con la etapa de implementación, es la etapa que consume más tiempo y en donde se puede presentar dificultades.

3.4.9 Programa de Vida y de Mejoramiento Continuo

La metodología se debe revisar periódicamente y sobre todo si aparecen nuevas fallas, el mejoramiento continuo depende del seguimiento a esta implementación en base a la gestión de indicadores que establecimos como la disponibilidad, MTBF y MTTR.

3.5 Diseño e Implementación del Mantenimiento planificado del Horno en Parada de planta.

3.5.1 Parada de planta del Horno de clinker.

Como se indicó en la descripción del problema de investigación, la línea de los hornos y su mantenimiento planificado se realiza anualmente en la denominada parada de planta del horno de clinker en los periodos de baja demanda de producción, la duración de la parada de cada horno está prevista en el rango de 20 a 25 días.

Esta parada de planta del mantenimiento planificado del horno demanda:

- Gran uso de recursos como mano de obra interna, mano de obra externa, especialistas, repuestos, insumos.
- Costos de mantenimiento elevados a comparación de las otras líneas de procesos.
- Perdidas de stock y producción de clinker para la empresa y estas se pueden traducir en términos monetarios importantes.

- En estos grandes mantenimientos se realizan trabajos de mejoras como reemplazo de equipos; Overhaul de equipos importantes; Trabajos de Mejoras para el medio ambiente y seguridad.

La parada de línea del horno por mantenimiento se puede planificar hacia una gestión de Paradas de planta con la metodología del PMBOK; Donde aplicaremos las buenas prácticas como las etapas de planificación y el sistema de seguimiento y control mediante el cronograma y curva "S".

El éxito del mantenimiento planificado del horno en parada de planta se basa en:

- Tareas de mantenimiento optimizado por PMO a las fallas en los equipos críticos de los sistemas del Horno, estas son las que impactan más para reducir el mantenimiento correctivo.
- Listado general de tareas de mantenimiento para la parada de planta del mantenimiento planificado del horno, provenientes de los planes actuales preventivas y predictivas de todos los sistemas del horno, tareas optimizadas de mantenimiento por PMO y otras tareas solicitadas por las áreas de producción, seguridad, medio ambiente y proyectos de mejora. Se listan por medio del ERP-SAP en Ordenes de trabajos llamados también Ots.
- Ejecución de los trabajos de mantenimiento de forma adecuada, controlando la calidad, alcance y tiempo; Esto se logra con el seguimiento y control de la parada del mantenimiento.
- Evaluar la efectividad del programa de mantenimiento optimizado pos parada del horno mediante los indicadores.

3.5.2 Procedimiento para la Planificación de la parada la parada de planta con PMO.

Para la planificación de la parada de planta al igual que la implementación de la optimización del mantenimiento planificado PMO es necesario involucrar a la alta dirección: gerentes y sub gerentes de mantenimiento y producción.

Se tiene que formar un equipo de trabajo multidisciplinario integradas por las divisiones de: Seguridad; Medio ambiente; Producción; Mantenimiento; Almacén; Compras y Servicios.

Para cubrir las etapas del proyecto de la parada de planta por mantenimiento planificado del horno mediante las buenas prácticas del PMBOK Se realizará un procedimiento global donde interviene el equipo de trabajo.

A continuación, se muestra el procedimiento propuesto para la parada de planta del mantenimiento planificado del Horno:

| Ítem | Fases | Plan | Resumen de Actividad |
|------|---------------------|--|---|
| 1 | Estrategia | Definición de la parada por la gerencia, subgerencias. | Planificación anual de paradas líneas de Hornos. |
| | | | Análisis de meses de baja demanda |
| | | | Llegada de repuestos críticos, disponibilidad de supervisión externa; Mantenimiento. |
| 2 | Inicio | Planificación de trabajos por mantenimiento. | Generación de Ots en SAP: PMO-optimización del mantenimiento; Mantenimiento preventivo: anuales de preventivas, predictivas, mejoras etc. |
| 3 | Alcance | Alcance de trabajos, presupuesto | Envío de Lista de Ots de la parada anual a las divisiones de mantenimiento, producción, compras, almacén, seguridad y medio ambiente. |
| | | | Divisiones de mantenimiento realizan presupuesto. |
| 4 | Programación | Programación de intervención de la parada. Mantenimiento y Producción. | Definir reuniones de coordinación, definir fecha y duración de parada, revisión de listado de Ots. |
| | | | Definir fecha máxima lista final de Ots agregar trabajos: lista de producción, mantenimiento, seguridad y medio ambiente) |
| | | | Actualización de cronograma: inicio, duración, enlaces, interferencias. |
| | | | Definir línea base, ruta crítica y curva "S" de seguimiento. |

| | | | |
|---------|----------------------------|---|---|
| | | Gestión de recursos | Coordinar personal contratista, personal propio, técnico especializado. Revisión stocks de repuestos; Generar solpes de repuestos o servicios. Coordinación: uso grúa, camión, etc. |
| 5 | Ejecución | Ejecución de la programación. | Coordinar condiciones requeridas para la parada del horno. |
| | | | Cumplir duración de la parada. |
| | | Seguimiento | Cumplir alcance de la parada, indicar si hay variación por trabajos adicionales. |
| | | | Definir reuniones de coordinación Inter diarias. |
| | | | Seguimiento trabajos curva "S" y Project. |
| | | | Control de acta de reunión. |
| | | | Trabajos adicionales, evaluar si afectan ruta crítica. |
| | | | Gestión de repuestos que salen en la ejecución. |
| 6 | Evaluación | Gestión de arranque | Informe de las divisiones de mantenimiento (supervisión de trabajos de la parada) |
| | | | Informe de seguridad y medio ambiente. |
| | | | Establecer procedimiento de arranque y Check list prueba y arranque de equipos. |
| | | Post parada | Revisión eventos anteriores. |
| | | | Seguimiento de equipos en operación |
| | | | Definir reunión |
| Soporte | Seguridad y Medio ambiente | Revisión y definir oportunidad de mejora. | |
| | | Realizar informe de la parada 15 después iniciado la operación. | |
| | | | Seguimiento de procedimientos, monitoreo, permisos de trabajo. Presentación de indicadores. |

Como se aprecia este procedimiento de mantenimiento del horno en parada de planta es detallado, en la columna "Resumen de actividad" detalla las actividades a realizar por fases en función de sus planes.

El procedimiento se ordena según las etapas vistos en proyectos y el PMBOK:

Viabilidad: Según el procedimiento lo vemos en la fase de "Estrategia"

Planificación del trabajo: Según el procedimiento lo vemos en las fases de "Inicio, Alcance y Programación"

Ejecución: Según el procedimiento lo vemos en la fase de "Ejecución de la programación"

Seguimiento y control: Según el procedimiento lo vemos en la fase de "Ejecución - Seguimiento"

Cierre: Según el procedimiento lo vemos en la fase de "Evaluación"

3.5.2.1 Esquema de planificación de la parada en periodos de tiempo

La planificación de la parada del mantenimiento del horno se debe esquematizar en una línea de tiempo, con periodos para cada fase según el procedimiento, en la figura 18 muestra los roles desde la dirección de la empresa y las divisiones de mantenimiento, producción, seguridad, medio ambiente, compras, almacén y servicios.

Figura 18

Esquema de planificación de la parada de planta en periodos de tiempos.



| Responsable | Octubre año anterior | Parada Horno - 02 meses y medio | Parada Horno - 02 meses | 45 días antes de Parada Horno y culmina 15 días antes de la ejecución | Parada Horno (duración 20-25 días) | Fin parada horno - 05 días | Fin parada Horno + 15 días |
|--------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Dirección de la empresa | X | | | X | X | | X |
| Mantenimiento Preventivo | | X | X | X | X | | X |
| Mantenimiento: Ejecución | | | X | X | X | X | X |
| Producción | | | X | X | X | X | X |
| Compras | | | X | X | X | | X |
| Almacén | | | X | X | X | | X |
| Servicios | | | X | X | X | | X |
| Seguridad | | | X | X | X | | X |
| Medio Ambiente | | | X | X | X | | X |

En la columna “Responsable” está el equipo de la parada y su intervención en cada fase según el periodo de tiempo establecido. Mantenimiento ejecución son las divisiones ejecutoras: división de mantenimiento mecánico, ingeniería, eléctrico, electrónico.

3.6 Sistema de Seguimiento y Control mediante la guía del PMBOK.

Según P. Lledó (2013) en su libro Administración de proyectos menciona: Para asegurar que un proyecto termine siempre en el plazo estimado es necesario desarrollar los siete procesos de la gestión del tiempo:

1. Planificar la gestión del cronograma: definir los procesos para desarrollar, gestionar y controlar la agenda del proyecto.
2. Definir las actividades: identificar cada una de las actividades que se deben realizar para lograr un proyecto exitoso.
3. Secuenciar las actividades: analizar qué tipo de dependencias existe entre las distintas actividades.
4. Estimar los recursos de las actividades: determinar cuáles son los recursos necesarios y disponibles para llevar a cabo cada actividad.
5. Estimar la duración de las actividades: estimar el tiempo necesario para completar las actividades.
6. Desarrollar el cronograma: analizar la integración existente entre la secuencia, los recursos necesarios, las restricciones y la duración de cada actividad.
7. Controlar el cronograma: administrar los cambios en el cronograma. (p. 94).

En la figura 19 muestra los siete procesos de planificación del tiempo, los procesos del 1 al 6 se ve en las fases de Alcance y Programación del procedimiento de parada de planta del mantenimiento planificado del Horno y serán plasmados en el cronograma con línea base; El proceso 7 se controlará con el seguimiento de la curva “S”.

Figura 19

Los 7 procesos de gestión del tiempo.

| Procesos de Tiempo | | | | | |
|---------------------------|---------------|---|------------------|----------------------|---------------|
| | Inicio | Planificación | Ejecución | Control | Cierre |
| Integración | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Alcance | | 4 | | 2 | |
| Tiempo | | . Planificar cronog. . Definir actividades . Secuenciar activ. . Estimar recursos . Estimar duración . Desarrollar cronog. | | Controlar cronograma | |
| Costo | | 3 | | 1 | |
| Calidad | | 1 | 1 | 1 | |
| RRHH | | 1 | 3 | | |
| Comunicaciones | | 1 | 1 | 1 | |
| Riesgos | | 5 | | 1 | |
| Adquisiciones | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Interesados | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| TOTAL | 2 | 24 | 8 | 11 | 2 |

Fuente: Libro de Pablo Lledó: *Administración de proyectos*, pág. 94, año 2013

3.6.1 Cronograma del mantenimiento del Horno

En el mantenimiento del Horno, la división de mantenimiento preventivo lista las ordenes de trabajos finales después de las reuniones de coordinación previas al inicio de la parada; Esta lista de Ots son registradas en el Cronograma Project y las áreas de mantenimiento mecánico, ingeniería, eléctrica y electrónica realizan los procesos del 1 al 5 de la gestión del tiempo.

En la integración se analiza las interferencias entre áreas de mantenimiento, producción, seguridad, medio ambiente y otros interesados que tengan alguna intervención, culminando el proceso 6 de la gestión del tiempo.

Los procesos del 1 al 6 culminan dando resultado a la línea base del cronograma. En la Figura 20 muestra el listado de ordenes de trabajo (Ots), se filtró las Ots más relevantes para el mantenimiento planificado del horno, el listado total se extrae del ERP-SAP y de ahí se alimenta al cronograma Project.

Figura 20

Lista de Ordenes de trabajos para el mantenimiento anual del horno.

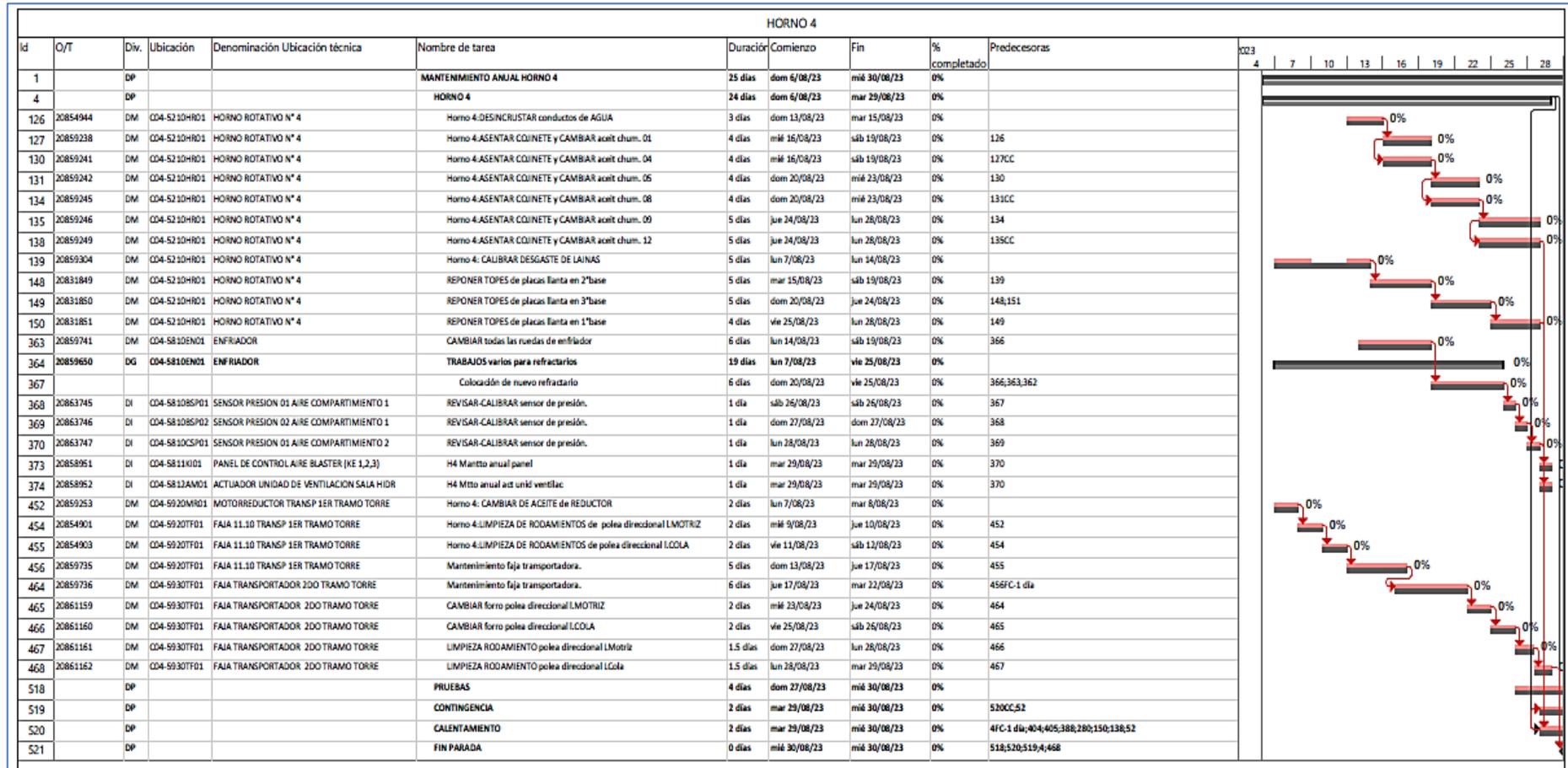
| Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM | | | | |
|---|-----------|-------------------|--|--|
| Orden | Gpo.plan. | Ubicación técnica | Denominación de la ubicación técnica | Texto breve |
| 20854912 | DM | C04-5020TB01 | TOLVA DE PESAJE | CAMBIAR LONAS de canaletas interiores. |
| 20858570 | DI | C04-50405F01 | BALANZA DE ALIMENTACION A BOMBA NEUM. H4 | H4 FM/BBTI/02SET Manto anual balanza |
| 20860418 | DM | C04-5060ABN01 | BOMBA NEUMATICA FK N° 1 | MANTTO. compuerta descarga |
| 20854915 | DM | C04-5064RM01 | FILTRO DE MANGAS 7.15 HORNO 4 | Horno 4: CAMBIAR MANGAS de filtro jet |
| 20859305 | DM | C04-5070ACV01 | COMPRESOR N° 1 DE BOMBA NEUMATICA | Horno 4:DESCARBONIZAR INTERIOR de Compre |
| 20861016 | DM | C04-5110ACC01 | CICLON I DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | AMPLIAR longitud ducto inmersión 500mm |
| 20859302 | DM | C04-5110BCC01 | CICLON II DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | Horno 4: CAMBIAR tubo de inmersión. |
| 20859282 | DM | C04-5110FCC01 | CICLON VI DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | Horno 4: CAMBIAR PLACAS de tubo de inner |
| 20859318 | DG | C04-5110IT01 | INTERCAMBIADOR DE CALOR | TRABAJOs varios para refractarios INTERC |
| 20823302 | DE | C04-5120ME01 | MOTOR VENTILADOR DE TIRO INTERC 8.1 | 1 CDO 4 Manto gnral motor EQ: 1012081 |
| 20859250 | DM | C04-5120VT01 | VENTILADOR DE TIRO INTERCAMBIADOR 8.1 | H4: CALIBRAR y CAMBIAR ACEITE ventilador |
| 20859319 | DM | | VENTILADOR DE TIRO INTERCAMBIADOR 8.1 | MANTENIMIENTO junta dilatación y flautas |
| 20858597 | DI | C04-5120VV01 | VARIADOR MOTOR VENT DE TIRO INTERC | H4 FM/BBTI/31AGO Manto anual variador |
| 20859646 | DG | C04-5150CL01 | CALCINADOR | Trabajos varios refractarios |
| 20860310 | DM | C04-5205HU01 | CAMARA DE ENLACE | CAMBIAR CUCHARA alimentación, según insp |
| 20854930 | DM | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | Horno 4: CAMBIAR SEGEMENTOS boca de sali |
| 20854945 | DM | | HORNO ROTATIVO N° 4 | Horno 4: CAMBIAR PLACAS del cono ENTRADA |
| 20859647 | DG | | HORNO ROTATIVO N° 4 | TRABAJOs varios para refractarios |
| 20868846 | DG | | HORNO ROTATIVO N° 4 | DESTAJE en boca salida por rozamiento |
| 20860420 | DM | C04-5210RD01 | REDUCTOR PRINCIPAL DEL HORNO | Horno 4: CAMBIO ACEITE DEL REDUCTOR |
| 20858645 | DI | C04-5210VV01 | VARIADOR MOTOR PRINCIPAL DEL HORNO | H4 FM/BBTI/31AGO Manto anual variador |
| 20870068 | DM | C04-5211HC01 | BOVEDA DE SALIDA DEL HORNO | CAMBIAR planchas quemadas ventana inspec |
| 20859648 | DG | C04-5230DU01 | DUCTO DE AIRE TERCIARIO | TRABAJOs varios para refractarios |
| 20854931 | DM | C04-5232CM01 | COMPUERTA REGULACIÓN DUCTO AIRE TERCIARI | Horno 4: CAMBIAR COMPUERTA aire terciari |
| 20860337 | DM | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | MANTENIMIENTO anual sist. desplazamiento |
| 20854923 | DM | C04-5240GG01 | CORONA DENTADA DEL HORNO 4 | Horno 4:MEDICIONES y ALINEAMIENTO de cor |
| 20859660 | DP | | CORONA DENTADA DEL HORNO 4 | REALIZAR pruebas NDT corona, piñón y eje |
| 20859766 | DM | C04-5260HS01 | SELLO DE ENTRADA HORNO 4 | IAR pista deslizamiento fijo-móvil, |
| 20854946 | DM | C04-5264HS01 | SELLO DE SALIDA HORNO 4 | CAMBIAR LAMINILLAS de sello |
| 20854916 | DM | C04-5320RM01 | FILTRO DE MANGAS PRINCIPAL HORNO 4 | Horno 4: CAMBIAR MANGAS por inspección |
| 20859251 | DM | C04-5340VT01 | VENTILADOR DE TIRO FILTRO HORNO 5.43 | CAMBIAR ACEITE ventilador L.A.-L.L. |
| 20858926 | DI | C04-5340VV01 | VARIADOR MOTOR VEN FILTRO MANGAS PRINC | H4 FM/BBTI/31AGO Manto anual variador |
| 20855622 | DE | C04-5502HE01 | CALENTADOR DE PETROLEO DEL TANQUE N° 1 | 1 H4 Mto anual calent |
| 20855623 | DE | C04-5515RT01 | RESISTENCIA ACOMPAÑAMIENTO TUB ALIM PET | 1 H4 Mto anual resist |
| 20855653 | DE | C04-5525HE01 | CALENTADOR DE PETROLEO DEL QUEMADOR | 1 H4 Mto anual Calent |
| 20859649 | DG | C04-5540QB01 | QUEMADOR COMBINADO DE HORNO 4 | TRABAJOs varios para refractarios. |
| 20859742 | DM | | QUEMADOR COMBINADO DE HORNO 4 | 30mo 4: REVISION ESTADO DE TUBOS de Qu |
| 20858932 | DI | C04-5550VV01 | VARIADOR MOTOR VENTILADOR AIRE PRIMARIO | H4 FM/BBTI/31AGO Manto anual variador |
| 20858936 | DI | C04-5710CV01 | VARIADOR MOTOR SOPLADOR (C) STAND BY | H4 JV/BBTI/31Ago Manto anual variador |
| 20855004 | DM | C04-5710ZK01 | SILO DE CARBON N°4 DE ALIM AL HORNO 4 | LIMPIAR, insp. cordones y CAMBIO filtros |
| 20858942 | DI | C04-5730ABL01 | BALANZA PFISTER (A) CARBON AL CALCINADOR | H4 JV/EH/01SET Manto anual balanza |
| 20859287 | DM | | BALANZA PFISTER (A) CARBON AL CALCINADOR | Horno 4:LIMPIEZA, VERIFICACIONES Y AJUST |
| 20858944 | DI | C04-5730BBL01 | BALANZA PFISTER (B) CARBON AL QUEMADOR | H4 JV/EH05SET Manto anual balanza |
| 20858946 | DI | C04-5730CBL01 | BALANZA PFISTER (C) DE STAND BY | H4 JV/RA/EH/01 Manto anual balanza |
| 20870220 | DM | C04-5762CM01 | COMPUERTA DE DOS VIAS TUBERIA QUEMADOR | DESMONTAR compuerta dos vias, se adjunta |
| 20859650 | DG | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | TRABAJOs varios para refractarios |
| 20859738 | DM | | ENFRIADOR | CAMBR placas y barras desgastadas |
| 20855033 | DM | C04-5812ZD01 | SISTEMA HIDRAULICO ACCIONAMI ENFRIAD H4 | MANTTO. sist. hidráulico (salas 1er y 2d |
| 20858956 | DI | C04-5820AV01 | VARIADOR DEL MOTOR RODILLO (A) TRITURAD | H4 JV/BBTI/18Ago Manto anual variador R |
| 20858957 | DI | C04-5820BV01 | VARIADOR DEL MOTOR RODILLO (B) TRITURAD | H4 JV/BBTI/19AGO Manto anual variador R |
| 20858958 | DI | C04-5820CV01 | VARIADOR DEL MOTOR RODILLO (C) TRITURAD | H4 JV/BBTI/19AGO Manto anual variador R |
| 20860423 | DM | C04-5820GR01 | TRITURADORA DE RODILLOS | CAMBIAR aros dentados según desgaste. |
| 20855661 | DE | C04-5840AME01 | MOTOR VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO N° 1 | 2 H4 Mto general mot |
| 20859273 | DM | C04-5840AVC01 | VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO N° 1 | CAMBIAR GRASA rodamiento - REVISAR acopl |
| 20855662 | DE | C04-5840DME01 | MOTOR VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO N° 3 | 1 H4 Mto general mot |
| 20855663 | DE | C04-5840DME01 | MOTOR VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO N° 4 | 2 H4 Mto general mot |
| 20860399 | DM | C04-5860IT01 | INTERCAMBIADOR AIRE - AIRE | CAMBIAR INSERTOS y tubería, según desgas |
| 20854917 | DM | C04-5870RM01 | FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR HORNO 4 | Horno 4: CAMBIAR TODAS las mangas de fil |
| 20858962 | DI | C04-5870VV01 | VARIADOR MOTOR VEN FILTRO MANG ENFRIADOR | H4 JV/BBTI/31Ago Manto anual variador |

Nota: Fuente: Realizada en base a datos del ERP-SAP (ERP: Software de planificación de recursos empresariales).

En la Figura 21 el cronograma de la parada de planta del horno donde muestra las tareas de mantenimiento, duraciones, inicio y fin de actividad, enlaces y ruta crítica con línea base. El cronograma con línea base da paso al inicio de la ejecución del mantenimiento planificado del horno en parada de planta.

Figura 21

Cronograma previsto del mantenimiento planificado del horno en parada de planta.



Nota: Cronograma realizado en el MS-Project de la empresa cementera en estudio.

3.6.2 Curva “S” para el seguimiento y control del mantenimiento del Horno.

Para el proceso 7 de “Controlar el cronograma” y los días de parada del mantenimiento de 20-25 días, es necesario llevar reuniones Inter diarias de coordinación y registrarlas en el acta de reunión, teniendo el cronograma previsto culminado y con línea base se puede generar la curva “S”.

La curva “S” sirve para comparar el avance físico real vs el avance físico previsto en periodos acumulados a la fecha; Se construye a partir de las tareas del cronograma Project y hace un acumulado de avances diarios teniendo porcentajes de avance de 0% a inicios de la parada y 100% al finalizar la parada.

El seguimiento y control con la curva “S” funciona si se tiene actualizado diariamente los avances reales en el cronograma Project, el valor del avance diario del cronograma Project se registra en la curva “S” con el objetivo de establecer desviaciones del programa y tomar las acciones para llegar a la meta de culminar en el tiempo establecido.

En la figura 22 se muestra un ejemplo de la curva “S”, en línea azul el avance previsto y en línea roja el avance real, vemos que en el día 4 hay un avance real del 10% y el previsto es de 25% teniendo un retraso del 15%, en este caso el equipo de la parada de mantenimiento debe tomar acción y reprogramar las tareas siguiendo los procesos de la gestión del tiempo, la línea verde muestra la curva “S” reprogramada para cumplir con la meta de terminar en el tiempo estimado el mantenimiento.

En la figura 23 vemos la curva “S” de un mantenimiento planificado del horno por parada de planta, como vemos la línea azul es el previsto, la línea naranja es la real y la verde la reprogramada, se puede notar lo descrito anteriormente que usualmente hay atrasos al avance previsto en el cronograma, pero a la vez es una oportunidad de revertir los atrasos, analizar riesgos para poder cumplir con el plazo en tiempo de entrega del mantenimiento.

Figura 22

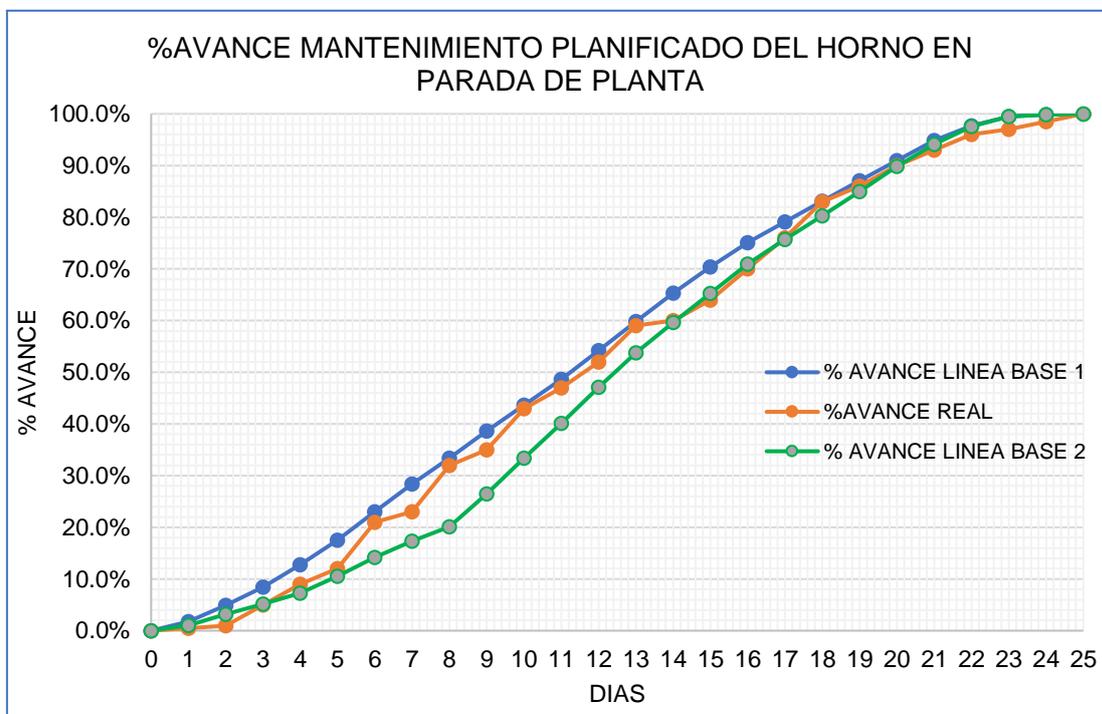
Curva "S" con avance previsto, real y reprogramación para llegar a la meta.



Fuente: Web: <https://q-inpro.com/como-se-reprograma-un-proyecto-con-project-o-primavera-p6/>

Figura 23

Cronograma Project del mantenimiento del horno por parada de planta.



CAPITULO IV: Análisis y Discusión de Resultados

4.1 Resultados de la Investigación

Como se ha localizado los equipos de los sistemas del horno con fallas que no tenían mantenimiento y al implementar el PMO en la zona de pareto, va a conducir que se reduzca los mantenimientos correctivos, los resultados de la presente investigación se muestra a continuación.

Tabla 22

Resultados de la Investigación.

| Año | Horas Mantenimiento correctivo | Disponibilidad | MTBF | MTTR |
|-------------|--------------------------------|----------------|------------|----------|
| 2018 | 212.94 | 87.94% | 139.28 | 4.63 |
| 2019 | 146.62 | 92.60% | 211.96 | 4.73 |
| 2021 | 242.55 | 89.89% | 173.75 | 5.92 |
| 2022 | 274.23 | 89.26% | 223.04 | 9.14 |
| 2023 | 369.17 | 88.61% | 144.68 | 9.00 |
| 2024 | 127.62 | 94.00% | 250 | 4 |

Los resultados de la tabla 22 muestra valores de los indicadores, el estudio se basa a los datos históricos de los años 2018 al 2023 y los resultados de la implementación del PMO y del sistema de seguimiento y control para el 2024.

La figura 24 muestra el comportamiento de los valores de la disponibilidad y las Horas de mantenimiento correctivo, se puede visualizar que cuando las horas de mantenimiento correctivo disminuye la disponibilidad aumenta.

La figura 25 muestra el comportamiento de los valores del MTBF y MTTR, para el último año se ve un aumento del MTBF y disminución del MTTR.

A continuación, se tiene los resultados que apoyaran al cumplimiento de objetivos y a lo descrito en la operacionalización de variables, esto se logra al Implementar el PMO y el sistema de seguimiento y control en parada de planta para el mantenimiento planificado del horno.

Figura 24

Resultados indicadores: Disponibilidad y Mantenimiento correctivo en horas.

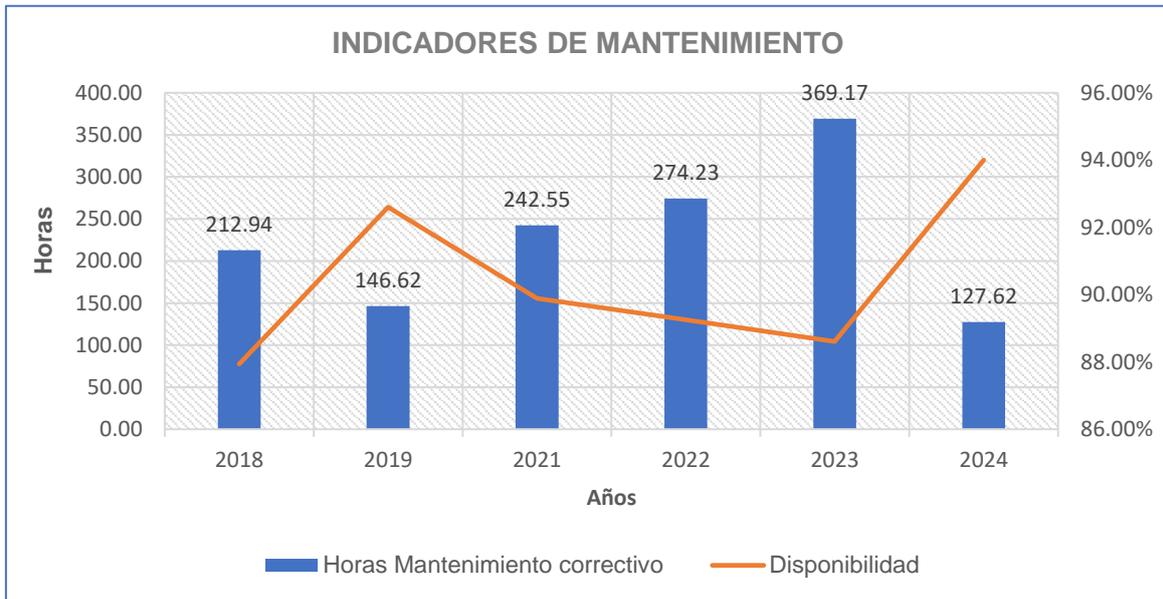
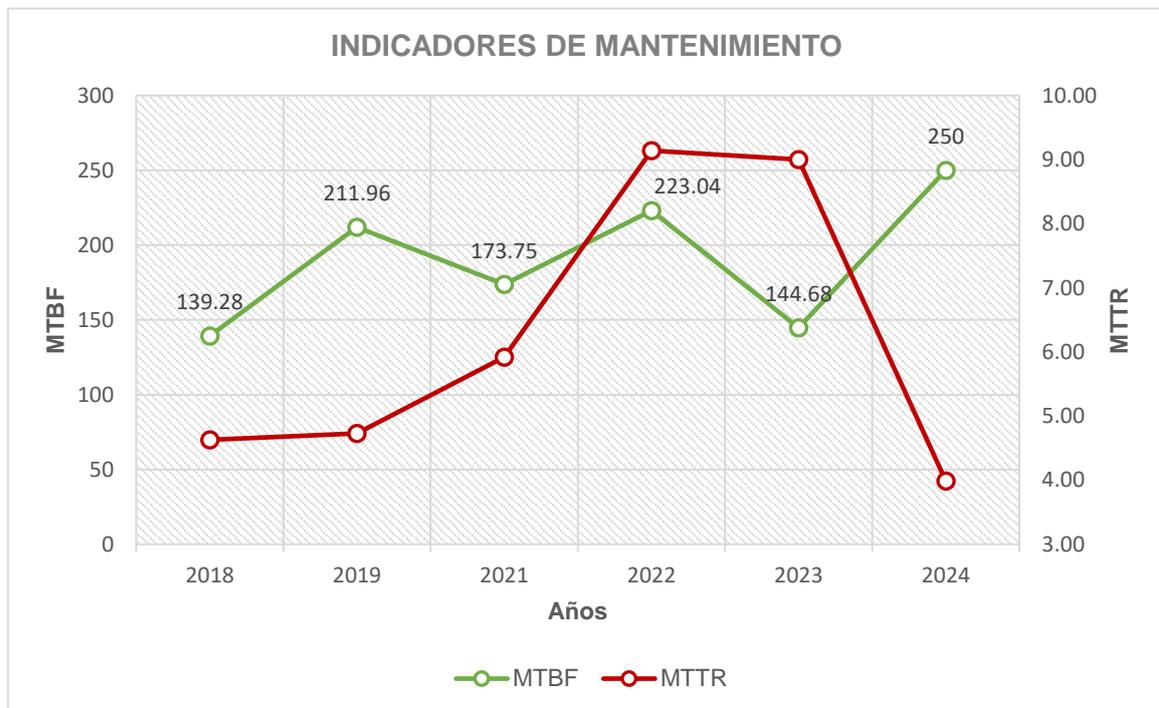


Figura 25

Resultados indicadores: MTBF y MTTR.



4.1.1 Fallas post mantenimiento

Con la implementación del PMO y el sistema de seguimiento y control en parada de planta, los mantenimientos correctivos se reducen a un valor de 127 horas, disminuye un 13% respecto al año 2019 y 65% respecto al año 2023.

4.1.2 Tiempo medio entre fallos MTBF

Con la implementación del PMO y el sistema de seguimiento y control en parada de planta, el MTBF tiene como valor objetivo de 250 horas, que equivale a una mejora donde aumenta un 18% respecto al año 2019 y 73% respecto al año 2023.

4.1.3 Tiempo medio para reparar MTTR

Con la implementación del PMO y el sistema de seguimiento y control en parada de planta, el MTTR tiene como valor objetivo de 04 horas, que equivale a una mejora donde disminuye un 16% respecto al año 2019 y 56% respecto al año 2023.

4.1.4 Disponibilidad Horno

Con la implementación del PMO y el sistema de seguimiento y control en parada de planta, el valor de la disponibilidad es de 94%, que equivale a una mejora del 3.3% al promedio histórico.

4.1.5 Cantidad equipos con historial de fallas

Como muestra en la tabla 12 del capítulo 3.3.1, tenemos 59 eventos en nuestro histórico de fallas para los sistemas jerarquizados por pareto, comprendido en los sistemas de Calcinación con 28 eventos y Enfriamiento, recuperación de clinker con 31 eventos, que suman en total una duración de 1129.67 horas de mantenimiento correctivo.

4.1.6 Cantidad de equipos que se realiza el AMEF

En el paso 5 de la metodología del PMO, capítulo 3.4.5, se realizó el AMEF (análisis de modos y efectos de falla) a 29 equipos de los sistemas del horno. Según lo muestra en la tabla 19.

4.1.7 Actualización de planes de mantenimiento

Según los resultados del PMO, capítulo 3.4.7, se adicionaron 30 tareas nuevas como muestra en la tabla 21. Esto contribuirá a la reducción de los mantenimientos correctivos a las fallas que no tenían un plan de mantenimiento existente.

4.1.8 Cronograma Project

El cronograma de la parada de planta cumple con los procesos del 1 al 6 de la gestión de tiempo según el sistema de seguimiento y control descrito en la presente tesis capítulo 3.6 y asegura que el mantenimiento culmine dentro de lo planificado en 25 días.

4.1.9 Curva "S"

La curva "S" de la parada de planta cumple con el proceso 7 de la gestión de tiempo según el sistema de seguimiento y control descrito en la presente tesis capítulo 3.6, se analizan riesgos y se toma acción para una desviación de avance $\leq -10\%$ para cumplir con el tiempo, alcance, calidad de trabajos del mantenimiento.

4.2 Contrastación de la Hipótesis

4.2.1 Contrastación de Hipótesis General

Hi: La Optimización del mantenimiento planificado (PMO) durante la parada de planta del horno de clinker influye en la reducción del mantenimiento correctivo en una Cementera en Tarma.

Ho: La Optimización del mantenimiento planificado (PMO) durante la parada de planta del horno de clinker No influye en la reducción del mantenimiento correctivo en una Cementera en Tarma.

Decisión: En base a los resultados vistos en la tabla 22 de ver propuesto la optimización del mantenimiento PMO como acción correctiva a los modos de fallas identificados, esto permite una mejora de la disponibilidad, aumenta el MTBF, y reduce el MTTR, con lo cual las horas de los mantenimientos correctivos disminuye, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

1.1.2 Contrastación de las Hipótesis Específicas

4.2.2.1 Primera hipótesis específica:

Hi: La Recopilación de información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas utilizando la norma ISO 14224 mejora la planificación del mantenimiento del horno de clinker.

Ho: La Recopilación de información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas utilizando la norma ISO 14224 No mejora la planificación del mantenimiento del horno de clinker.

Decisión: En base a los resultados de ver propuesto el estudio de los componentes críticos con historial de fallas como acción correctiva, permite una mejora en la planificación del mantenimiento, se realizó el análisis de modos y efectos de fallas a 29 equipos del sistema del horno, se encontró fallas que no tenían planes de mantenimiento, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

4.2.2.2 Segunda hipótesis específica:

Hi: La Programación de los trabajos de mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta mediante el PMO reduce las paradas no programadas.

Ho: La Programación de los trabajos de mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta mediante el PMO No reduce las paradas no programadas.

Decisión: En base a los resultados, la programación de los trabajos de mantenimiento por PMO, permite una mejora en la programación, como se muestra en la tabla 21 del capítulo 3.4.7, se agregaron 30 tareas nuevas a fallas sin mantenimiento, se actualizo los planes de mantenimiento existentes dando como resultado 39 planes de mantenimiento para las fallas críticas del horno y se analizó el número de prioridad de riesgos RPN para las frecuencias de ejecución, con lo cual se reduce las paradas no programadas, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

4.2.2.3 Tercera hipótesis específica:

Hi: El sistema de seguimiento y control de cada actividad mediante los criterios de la guía del PMBOK mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta.

Ho: El sistema de seguimiento y control de cada actividad mediante los criterios de la guía del PMBOK No mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta.

Decisión: En base a los resultados de ver propuesto el sistema de seguimiento y control mediante los criterios de la guía del PMBOK, se implementa el procedimiento de la parada de planta, el cronograma y curva "S" que forman parte de los procesos de la gestión del tiempo según los criterios de PMBOK, esto permite asegurar la ejecución del programa de mantenimiento con calidad y analizar, controlar riesgos para una desviación de avance $\geq -10\%$, con lo cual mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

4.2.2.4 Cuarta hipótesis específica:

Hi: La Determinación del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación permite mejorar la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta.

Ho: La Determinación del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación No permite mejorar la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta.

Decisión: En base a los resultados de ver propuesto la optimización del mantenimiento PMO como acción correctiva en los modos de fallas identificados, permite aumentar el MTBF reduciendo así mismo el MTTR, con lo cual la disponibilidad aumenta a 94% que es un incremento de 3.3% al promedio histórico, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

4.3 Discusión de Resultados

En este estudio se propuso implementar la Optimización del mantenimiento planificado (PMO) en la línea de hornos de una planta cementera durante la parada de planta. El objetivo fue reducir los mantenimientos correctivos, para este fin se identificó los equipos de los sistemas del horno con historial de fallas que no tenían mantenimiento y se implementó el PMO en la zona de Pareto, los resultados mostraron como se muestra en la tabla 22 una disminución de las horas de mantenimiento correctivo después de ejecutado la parada de mantenimiento anual del horno, con un valor para el 2024 de 127 horas, que es un 13% de reducción respecto al año 2019 y 65% respecto al año 2023, mejorando la disponibilidad, que tiene similitud con la optimización en la reducción del número de paradas en 42.81% del artículo Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado de García (2007), se enfocó a la reducción del número de paradas de mantenimiento correctivo a comparación de nuestro trabajo de investigación que nos enfocamos en las duraciones de los mantenimientos correctivos, ambas investigaciones se alinean con la teoría del PMO que es método diseñado para revisar los requerimientos del mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación y se desarrollan a través de los planes de mantenimiento existentes para optimizarlos y de sus objetivos que al igual que el RCM es mejorar los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad, eliminar fallas y paradas imprevistas.

El estudio también propone un sistema de seguimiento y control para garantizar la correcta ejecución del mantenimiento y la importancia de llevar el mantenimiento planificado del horno a una gestión de parada de planta, alineándose con la teoría de la gestión del tiempo según la PMBOK; Junto con la metodología del PMO se obtuvieron mejoras en los indicadores de la disponibilidad a 94% que es un incremento del 3.3% del promedio histórico, el MTBF tiene como valor objetivo de 250 horas, aumenta un 18% respecto al año 2019 y 73% respecto al año 2023 y el MTTR con un valor objetivo de 4 horas disminuye un 16% respecto al año 2019 y 56% respecto al año 2023. que tiene

similitud con los resultados obtenidos en el trabajo de investigación de Salas (2021) que con la implementación de la metodología del PMO y RCM mejoro la disponibilidad de la flota de tractores de orugas en una mina aumentando de 87.63% a 91.58%. Los indicadores del MTBF mejoro y el MTTR; Y con Tavella (2022) en su trabajo de investigación llevo la ejecución del mantenimiento hacia una planificación de parada de planta, donde busca mejorar los indicadores, teniendo como resultados la mejora de la disponibilidad pasando de 90% a 94%, aumento del MTBF y la reducción del MTTR.

Conclusiones

- Se logró una reducción de mantenimientos correctivos implementando la metodología de Optimización del mantenimiento PMO durante la parada de planta del horno de clinker, disminuyendo un 13% respecto al año 2019 y 65% respecto al año 2023; Esta disminución de mantenimientos correctivos contribuye a una mejora de la disponibilidad a un valor de 94%, el MTBF aumento 18% respecto al año 2019 y 73% respecto al año 2023 y el MTTR bajo a 16% respecto al año 2019 y 56% respecto al año 2023. Esta implementación se realizó desarrollando lo siguiente: Determinar la línea de producción crítica; Analizar las incidencias e indicadores de la línea crítica de producción; Analizar las fallas y jerarquizar; Historial de fallas según la jerarquización encontrada; Aplicar el PMO; Implementar un sistema de seguimiento y control para la ejecución del mantenimiento.
- Se mejoró la planificación del mantenimiento del horno de clinker, la recopilación de información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas, permitió encontrar fallas que no tenían planes de mantenimiento y realizar el análisis de modos y efectos de fallas.
- Se mejoró la programación del mantenimiento porque se tiene un plan de mantenimiento optimizado por PMO, se agregaron 30 tareas nuevas a fallas sin mantenimiento, se actualizó los planes de mantenimiento existentes dando como resultado 39 planes de mantenimiento para las fallas críticas del horno, el resultado es la reducción de las paradas no programadas.
- Con el sistema de seguimiento y control mediante los criterios de la guía del PMBOK, se asegura una correcta ejecución del programa de mantenimiento con calidad, analizando y controlando riesgos para desviaciones al avance $\geq -10\%$, mejorando y cumpliendo los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta; se implementó el procedimiento de la parada de planta, el cronograma y curva "S".

- Se comprueba que mejora los indicadores de mantenimiento, MTBF (tiempo medio entre fallas) aumento a 250 horas y el MTTR (tiempo medio de reparación) disminuyo a 04 horas, conduciendo al aumento de la disponibilidad del horno de clinker a valores de 94%.

Recomendaciones

- Otros estudios deben seguir analizando los sistemas y equipos de la línea del horno que no están contemplados en Pareto y aplicar la metodología de la optimización del mantenimiento PMO.
- Es importante los beneficios que se tiene al implementar la metodología del PMO para optimizar los planes de mantenimiento y mejorar los indicadores de mantenimiento, se sugiere para otros estudios, hacer la implementación del PMO en las otras líneas de proceso de cemento, se puede priorizar según el análisis de criticidad.
- Para la planificación de la parada de planta por mantenimiento planificado, se sugiere, formar un equipo multidisciplinario para la ejecución del PMO y aplicar el Sistema de seguimiento y control del presente trabajo de investigación, esto se puede replicar en otros grandes mantenimientos de la industria cementera y otras industrias nacionales e internacionales.
- El historial de fallas debe ser actualizado permanentemente a medida que ocurran nuevos modos de fallas y a las fallas que no tienen planes de mantenimiento.
- Para otros estudios se sugiere utilizar como herramienta la metodología PMO, en cualquier industria nacional e internacional, porque su implementación es más rápida que el RCM, tienen los mismos objetivos, y diseñada para plantas en operación, se analizan los modos de fallas de los históricos de paradas y parte de los planes de mantenimiento existentes.

Referencias

- Amendola, L. (2005). Dirección y Gestión de Paradas de Planta Turnaround, Shutdown and Outage Management. Editora PMM Institute for learning
- Curso de Co-Procesamiento Público- Privado. (2014, 20 de febrero). Proceso productivo del cemento. [Fotografía]. Docplayer. <https://docplayer.es/71106075-Proceso-productivo-del-cemento.html>
- Decruz, G., y Haron, H. (2020). The Impact of Kiln Downtime on the Variable Cost Elements of Clinker Production-A Case Study. Journal of Advanced Research in Business and Management Studies, 18(1), 1-6. <https://akademiabaru.com/submit/index.php/arbms/article/view/1346>
- Díaz, Á. (1992). Confiabilidad en mantenimiento. Caracas Ediciones.
- Dinis, D., Barbosa, A., & Palos, A. (2019). A Supporting Framework for Maintenance Capacity Planning and Scheduling: Development and Application in the Aircraft MRO Industry. International Journal of Production Economics, 218(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.04.029>
- Etece (2021, 5 de agosto). Gestión de proyectos. <https://concepto.de/gestion-de-proyectos/#ixzz7NBeLNJq9>
- Hernández, G. (2012, 24 de abril). Industrias productoras de cemento. [Fotografía]. Slideshare. <https://es.slideshare.net/Galia35/industrias-de-cemento>
- García, O. (2007). El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado. Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad Operacional, 1(1), 1-17. https://www.researchgate.net/publication/320540199_El_Sistema_PMO_Optimizacion_Real_del_Mantenimiento_Planeado
- Guía del PMBOK (2021). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) - Séptima edición y El Estándar para la Dirección de Proyectos
- Leal, C., y Vargas, G. (2017). Diseño de una guía que permita mejorar el proceso de gestión y planificación en los proyectos de paradas de planta en el CDF Cupiagua, aplicando fundamentos del PMBOOK. [Tesis de grado para optar el Título de Especialista en Gestión de Proyectos). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12272>

- Lifeder. (2019, 3 de diciembre). Evolución del mantenimiento industrial: desde origen hasta la actualidad. <https://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial/>.
- Mora, A. (1999). Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas. Universidad Politécnica de Valencia.
- Mora, A. (2009). Mantenimiento Planeación, ejecución y control. Alfaomega.
- Mendoza, C. (2016). Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctricos de inducción. [Tesis de maestría, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología / Unidad de Posgrado]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12310>.
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC.
- Norma UNE-EN 13306. (2002, 22 de febrero). Norma española: Terminología del mantenimiento. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0026303>
- Norma ISO-14224:2016. (2016, 01 de diciembre). Normalización española. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057422>
- Norma SAE JA1011. (1999, agosto). Norma americana: Riesgo de mantenimiento basado y clasificación de consecuencia. <https://es.scribd.com/document/378923523/356073812-SAE-JA1011-en-Espanol-pdf>
- Norma NORSOK Z-008. (2011, 03 de noviembre). Norma americana: Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. <https://enovalevante.es/ingenieria-de-mantenimiento-analisis-de-criticidad-parte-1/>
- Navarro, E., Pastor, L., Tejedor, A., y Mugaburu, J. (1997). Gestión integral de mantenimiento. Marcombo Boixareu.
- Lledó, P. (2013). Administración de proyectos. Universidad Técnica Federica Santa maría.
- Penha, D. (2021). Processo de planejamento e programação de manutenção em uma empresa de mineração em são luís do maranhão: Estudo de caso. [Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos –Mestrado Profissional. Universidade Federal do Pará, Brasil]. <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/13695>

- Pistarelli, A. (2010). Manual de mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. Pistarelli.
- Quintanilla, J. (s.f). Mantenimiento Historia. [Fotografía]. Academia. https://www.academia.edu/10558328/Mantenimiento_Historia
- Salas, P. (2021). Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores de orugas Caterpillar D11T en una empresa minera de Tacna. (Tesis de maestría en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa). <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f4d9f3f9-42aa-447b-9c20-443fa6ffcbab/content>
- Silva, P., & Orrego, C. (2014). Confiabilidad en la Práctica - Lo que un Gerente de Confiabilidad tiene que Saber. Editora Colombia.
- Tavella, A. (2022). Planificación y Programación del Mantenimiento Preventivo Anual para garantizar la sustentabilidad de las operaciones. [Tesis de Maestría en Gestión de Operaciones, Universidad Austral]. <https://riu.austral.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2045/Tesis%20Final%20Ariel%20Tavella.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valencia, N. (2023). Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP. (Tesis de maestría en Producción y Operaciones Industriales, Universidad Politécnica Salesiana). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24994/1/UPS-GT004387.pdf>

Anexos

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Matriz: problema, objetivos, hipótesis y variables generales:

| Problema general | Objetivo general | Hipótesis general | Variables | Metodología |
|---|---|--|--|--|
| ¿De qué manera se reduce el mantenimiento correctivo en una cementera en Tarma? | Optimizar el mantenimiento planificado (PMO) durante la parada de planta del horno de clinker para Reducir el mantenimiento correctivo en una Cementera en Tarma. | La Optimización del mantenimiento planificado (PMO) durante la parada de planta del horno de clinker influye en la reducción del mantenimiento correctivo en una Cementera en Tarma. | VI: Optimización de mantenimiento planificado. VD: Reducción del mantenimiento correctivo | Tipo de investigación: Aplicada. Nivel de investigación: Descriptivo Métodos: Cuantitativo Diseño: No experimental y transversal. |

Matriz: problema, objetivos, hipótesis y variables específicas:

| Problemas específicos | Objetivos específicos | Hipótesis específicas | Variables | Metodología |
|--|--|---|---|---|
| a) ¿De qué manera se mejora la planificación del mantenimiento del horno de clinker? | a) Recopilar información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas utilizando la norma ISO 14224 para mejorar la planificación del mantenimiento del horno de clinker. | a) La Recopilación de información técnica y operativa de los componentes críticos con historial de fallas utilizando la norma ISO 14224 mejora la planificación del mantenimiento del horno de clinker. | VI: Recopilación de información técnica y operativa. VD: Mejorar la Planificación del mantenimiento del horno. | Poblacion y muestra: Línea de producción del Horno de clinkerización Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Sistema de información gerencial, ERP-SAP 760. (ERP: Software de planificación de recursos empresariales). |

| | | | | |
|---|--|---|--|---|
| <p>b) ¿De qué manera se reducen las paradas no programadas del horno de clinker?</p> | <p>b) Programar los trabajos de mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta mediante el PMO para reducir las paradas no programadas.</p> | <p>b) La Programación de los trabajos de mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta mediante el PMO reduce las paradas no programadas.</p> | <p>VI: Programación de trabajos con PMO</p> <p>VD: Reducción de paradas no programadas.</p> | <p>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</p> <p>a) Exportaciones de la data proporcionada por el ERP-SAP y sus transacciones.</p> <p>b) Registros de producción, selección de datos para la investigación.</p> <p>c) Microsoft Excel que permite analizar el comportamiento de las variables de proceso a través de gráficos estadísticos.</p> |
| <p>c) ¿De que manera se mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta?</p> | <p>c) Establecer un sistema de seguimiento y control de cada actividad mediante los criterios de la guía del PMBOK para mejorar los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta.</p> | <p>c) El sistema de seguimiento y control de cada actividad mediante los criterios de la guía del PMBOK mejora los tiempos de ejecución del mantenimiento del horno de clinker durante la parada de planta.</p> | <p>VI: Sistema de seguimiento y control.</p> <p>VD: Mejora de tiempos del mantenimiento del horno en parada de planta.</p> | |
| <p>d) ¿De que manera se mejora la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta?</p> | <p>d) Determinar el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación para mejorar la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta.</p> | <p>d) La Determinación del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación permite mejorar la disponibilidad del horno de clinker después de la parada de planta.</p> | <p>VI: Tiempo medio entre fallos (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR).</p> <p>VD: Disponibilidad del Horno de clinker</p> | |

Anexo 2: Operacionalización de Variables Específicas.

| Variables | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala |
|--|---|---|--|---|-------------------|
| VI: Recopilación de información técnica y operativa. | Proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones (ISO 14224 – 2004). | Recopilar una base de datos de equipos críticos con historial de fallas y sus modos de fallas en la línea del horno de clinker. | Equipos críticos con historial de fallas. | Cantidad equipos con historial de fallas | Und |
| VD: Mejorar la Planificación del mantenimiento del horno. | Planificar todos los trabajos de mantenimiento planificado. | Planificar los trabajos de mantenimiento de la parada del horno. | Definición de programa de mantenimiento | Actualización de planes de mantenimiento | Und |
| VI: Programación de trabajos de mantenimiento | El programa de trabajo tiene como finalidad hacer productivo el mantenimiento. Con la programación se logra ser eficiente, gracias a la disponibilidad de recursos, oportunos y con la menor afectación en la producción. | Programación de ejecución de trabajos de la parada de planta. | Programación considerando la jerarquización del AMEF de la parada del horno. | Lista de trabajos críticos, considerando el NPR. | Und |
| VD: Reducción de paradas no programadas. | Horas no planificadas; Frecuencia de fallas que afectan la continuidad de un proceso productivo. | Horas no planificadas; Frecuencia de fallas que afectan la producción y disponibilidad del horno. | Control de paradas no programadas. | Horas paradas no programadas por año Frecuencia de fallas por año. | Horas N°Fallas |
| VI: Sistema de seguimiento y control. | Procesos requeridos para hacer seguimiento, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes. (PMBOK 7ma edición) | Sistema que permitirá tener un seguimiento diario en la ejecución de trabajos en la parada de planta para controlar el tiempo de ejecución. | Control de tiempo. | Cronograma | % |
| VD: Mejora de tiempos de la parada del horno. | Garantizar y controlar que se cumpla con el tiempo previsto de duración de la parada. | Garantizar y controlar que se cumpla con el tiempo previsto de duración de la parada. | Cumplimiento de plazos del mantenimiento. | Curva S | Días |

| | | | | | |
|---|--|---|------------------------------------|---|--------------|
| VI: Tiempo medio entre fallos (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR). | <p>MTBF: Es un indicador que permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos. Es el promedio que un equipo, máquina, línea o planta cumpla su función sin interrupción debido a una falla funcional.</p> | <p>MTBF: Tiempo medio para que vuelva a fallar un equipo de la línea de hornos, causando una parada no programada.</p> | <p>Tiempo de una falla a otra.</p> | <p>Tiempo medio entre fallos (MTBF)</p> | <p>Horas</p> |
| | <p>MTTR: es un indicador que mide la capacidad de mantenimiento de las máquinas y componentes reparables. Calcula el tiempo medio para reparar un activo averiado, incluyendo el tiempo que se tarda en probar y diagnosticar.</p> | <p>MTTR: Tiempo medio que demanda en reparar un equipo de la línea de hornos.</p> | <p>Tiempo para reparar.</p> | <p>Tiempo medio para reparar (MTTR)</p> | <p>Horas</p> |
| VD: Disponibilidad del Horno de clinker | <p>Disponibilidad: capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado.</p> | <p>Disponibilidad: Es la confianza que el Horno tiene para ejercer su función satisfactoriamente en un tiempo dado.</p> | <p>Disponibilidad del horno.</p> | <p>Disponibilidad</p> | <p>%</p> |

Anexo 3: Estructura de ordenes de trabajo en paradas correctivas

Avisos de paradas correctivas con sus órdenes de trabajo para fallas mayores a 100 horas.

| Aviso | OT | Sistema | Ubicac.técnica | Descripción Ubicación técnica | Texto Código Problema | Inicio avería | Duración parada | GP |
|----------|----------|---------|----------------|--|---|---------------|-----------------|----|
| 10947545 | 10009918 | C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | POLINES CAMBIO | 24/11/2018 | 153.85 | DM |
| 11139598 | 10013208 | C04-58 | C04-5810EN01 | ENFRIADOR | SISTEMA HIDRAULICO | 09/10/2019 | 107.55 | DM |
| 11516775 | 10020198 | C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | CHUMACERA DAÑADA CAMBIO/REPARACION | 07/10/2021 | 179.10 | DM |
| 11564124 | 10020842 | C04-52 | C04-5210HR01 | HORNO ROTATIVO N° 4 | SOLDAR TOPES DE LLANTAS | 07/01/2022 | 110.50 | DM |
| 11892602 | 10023803 | C04-52 | C04-5232HM01 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | MARTILLOS-RODILLOS-CONO CAMBIO/REPARAC. | 03/01/2023 | 162.50 | DM |
| 12142162 | 20859738 | C04-58 | C04-5812PO01 | PARRILLA ENFRIADOR H4 | SISTEMA HIDRAULICO | 01/09/2023 | 114.90 | DM |

Estructura de ordenes de trabajo para las fallas correctivas mayores a 100 horas. Fuente ERP-SAP

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM

| Orden | StatUsu | Texto breve | Ubicac.técnica | Equipo | Denominación de la ubicación técnica | Denominación de objeto técnico | Inic.extr. | Clorden | GP | Autor | TotGenReal |
|----------|---------|--|----------------|---------|---|---|------------|---------|----|-------------|------------|
| 10009918 | CTEC | Cambio de Polin por rotura del anillo | C04-5210HR01 | 1012062 | HORNO ROTATIVO N° 4 | CHUMACERA N° 12 LADO CERRO SANTANA | 22.12.2018 | ZMC1 | DM | JSANCHEZ | 147,935.96 |
| 10013208 | CTEC | CAMBIO VALVULAS PROPORCIONAL, SANGRADO | C04-5812ZD01 | | SISTEMA HIDRAULICO ACCIONAMI ENFRIAD H4 | | 10.11.2019 | ZMC1 | DM | HGONZALES | 3,023.67 |
| 10020198 | CTEC | CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado | C04-5210HR01 | 1012054 | HORNO ROTATIVO N° 4 | CHUMACERA N° 05 LADO PASADISO | 28.10.2021 | ZMC1 | DM | MCAPARACHIN | 216,336.91 |
| 10020842 | CTEC | REPARAR y REPONER topes linaas 2da base | C04-5210HR01 | 1012022 | HORNO ROTATIVO N° 4 | HORNO ROTATIVO 4 | 08.02.2022 | ZMC1 | DM | MCAPARACHIN | 6,338.98 |
| 10023803 | CTEC | Cambiar polín de retención por rotura | C04-5232HM01 | 1012098 | SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL | SIST. DESPL. LONG. F.SERVICIO X RUPTURA | 06.02.2023 | ZMC1 | DM | LMAZA | 213,321.35 |
| 20859738 | CTEC | CAMBR placas y barras desgastadas | C04-5810EN01 | 1012278 | ENFRIADOR | ENFRIADOR DE CLINKER | 06.08.2023 | ZMP1 | DM | MCAPARACHIN | 180,955.66 |

Anexo 4: Intervenciones de mantenimiento correctivo

Parada correctiva de 179 horas. Aviso Z6 parada N° 11516775, fuente ERP-SAP

Visualizar aviso-MT: Solicitud Parada Lin

Nuevamente en trat.

Aviso: 11516775 Z6 Paró horno 4.
 Status mensaje: MECE

Aviso Parada Datos emplazamiento

Datos de usuario
 Circuito Prod.: C04-5

Objeto de referencia
 Ubic.técn.: C04-5210HR01 HORNO ROTATIVO N° 4

Circunstancias
 Descripción: Paró horno 4.
 14.10.2021 19:09:09 UTC-5 (PRODUCCION4)
 PARO HORNO POR ROTUIRA DE ESPEJO INTERIOR DE LA CHUMACERA 3 EN LA SEGUNDA BASE.
 03.11.2021 11:41:58 UTC-5 (HGONZALES)
 CAMBIO POLIN DE LA 2DA BASE

Responsabilidades
 Grupo planif.: DM U002 Div.Mecanico

Visualizar aviso-MT: Solicitud Parada Lin

Nuevamente en trat.

Aviso: 11516775 Z6 Paró horno 4.
 Status mensaje: MECE

Aviso Parada Datos emplazamiento

Posición
 Parada: ZPM99 M404 CHUMACERA DAÑADA CAMBIO/REPARACION
 Entrada 1 De 1

Datos avería
 Inicio avería: 07.10.2021 02:45:10 Parada
 Fin de avería: 14.10.2021 13:51:00 Duración parada: 179.10 H

OT. 10020198, relacionada a parada correctiva

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Cabecera central

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado
 Est.sist.: CERR DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific.

Responsable: Gpo.plan. DM / U002 Div.Mecanico
 Rs.pto.tr. INGMEC01 / U002 ING.MECANICO
 Aviso: 11512557
 Costes: 0,00 PEN
 Cl.activ.PM: ZEM Correctiva Eme...
 Dirección:

Fechas: Inic.extr. 28.07.2024 Prioridad Alta
 Fin extr. 28.07.2024

Objeto de referencia: Ubic.técn. C04-5210HR01 HORNO ROTATIVO N° 4
 Equipo: 1012054 CHUMACERA N° 05 LADO PASADISO

Datos avería SíntomaAvería Fechas aviso

Ini.avería 07.10.2021 08:02:54 Parada
 FinAvería 28.10.2021 00:00:00 Duración parada 179,10 H

Primera operación: Operación *CAMBIAR eje y polín por ROTURA.
 Pto Trab/Ce MAEMEC01 / U002 ClvCtrl ZPM2 Cl.activ. MECI01 MAF
 TrabInvert 0 H Cantidad 0 Dur.oper. 0 H Comp...
 Nº pers. 0

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Resumen de componentes

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado
 Est.sist.: CERR DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control Ampliación

| Dat.gral. | Compras | Rec. | Catál. | T... | C... | Ctd.neces. | Cantidad toma | UM | T. | S. | A |
|-----------|-------------|------|--------|------|------|------------|---------------|--------|-----|----|---|
| 0010 | 01-00017238 | | | | | | 2,000 | 2,000 | UND | I | A |
| 0020 | 05-00007711 | | | | | | 1,000 | 1,000 | UND | I | A |
| 0030 | 03-00018940 | | | | | | 6,000 | 6,000 | UND | I | A |
| 0040 | 03-00003867 | | | | | | 16,000 | 16,000 | UND | I | A |
| 0050 | 03-00003306 | | | | | | 14,000 | 14,000 | UND | I | A |
| 0060 | 03-00003308 | | | | | | 20,000 | 20,000 | UND | I | A |
| 0070 | 03-00003617 | | | | | | 20,000 | 20,000 | UND | I | A |
| 0080 | 03-00004309 | | | | | | 8,000 | 8,000 | UND | I | A |
| 0090 | 01-00006585 | | | | | | 2,000 | 2,000 | UND | I | A |
| 0100 | 01-00006601 | | | | | | 1,000 | 1,000 | UND | I | A |
| 0110 | 01-00017488 | | | | | | 1,000 | 1,000 | UND | I | A |
| 0120 | 01-00017104 | | | | | | 1,000 | 0,000 | UND | I | A |
| 0130 | 03-00006182 | | | | | | 0,10 | 0,00 | PLA | I | A |

Modif.Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Resumen operaciones

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polin ROTURA 2da base Lado
 Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control Ampliación

| General | Pr. | Ext. | Fechas | Dat.real. | Ampliación | Catál. | |
|---------|-----|----------|--------|-----------|------------|----------------------------------|--------------------|
| Op. | SOp | PstoTbjo | Cen... | Clav... | CTexEs | E... Txt.br.v.operación | Te... Trabajo real |
| 0010 | | MAEMEC01 | U002 | ZPM2 | | *CAMBIAR eje y polin por ROTURA. | |

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Resumen de costes

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polin ROTURA 2da base Lado
 Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Gsts. estimados: 0.00 PEN
 Valores moneda obj. PEN
 Valores mon.soc.CO USD

Informe pl./real Informe pres./compr.

Resumen Costes Cantidades Ratios

| Grupo/Denomin. | CstEstim. | Cst.plan | Cst.reales | M... |
|----------------------|-----------|------------|------------|------|
| Costes | 0.00 | 271,450.89 | 216,336.91 | PEN |
| Mano de Obra Interna | 0.00 | 0.00 | 31,718.14 | PEN |
| Materiales | 0.00 | 241,734.39 | 154,902.27 | PEN |
| Servicios Externos | 0.00 | 29,716.50 | 29,716.50 | PEN |

Modif.Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Cabecera datos adicional

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Organización

| | | |
|---------------------|--------------|--------------------------|
| Sociedad | PE01 | UNACEM PERU SA |
| División | UCON | Condorcocha |
| Sociedad CO | PE00 | Grupo - Rizo Patrón - PE |
| CeCo responsable | UCC1030000 | DIV. MANTO.MEC.CO |
| Centro de beneficio | 120103 | Producción |
| Clase de objeto | Gastos gen.. | |
| Área funcional | FU01 | Producción |
| Elemento PEP | | |
| Definición proyecto | | |
| Subgrafo p./Oper. | | |
| Elem.ref.DM/PS | | |

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Datos de gestión/Parám

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Datos de gestión

| | |
|----------------|-------------|
| Autor | MCAPARACHIN |
| Fecha creación | 07.10.2021 |
| Modificado por | DREYES |
| Fecha modif. | 29.07.2024 |

Indicador de planif.

Orden planificada
 Orden inmediata
 Orden no planific.

Parámetros

| | | | |
|-----------------|--------|-----------------|----------|
| Esq.cálc.coste | PP-PC1 | Perfil estado | ZPMCO001 |
| Clave recargos | | Cl.prioridad | ZU |
| Var.cálc.cost.p | ZPM1 | Categoría | |
| VarCálCos real | ZPM2 | Perfil manten. | ZPM0001 |
| Clv.periodif. | | Perfil act.ext. | ZPM0001 |
| Incremento op. | 0010 | Perfil material | ZPM0002 |

Reservas/Solicitudes de pedido

Res./SolPed: Inmediatamente

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10020198: Datos emplazamiento

Orden: ZMC1 10020198 CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Datos de emplazamiento

| | | |
|-----------------|------|-------------|
| Ce.emplazam. | U002 | CONDORCOCHA |
| Emplazamiento | E001 | Planta |
| Local | | |
| Área de empresa | | |
| Puesto trabajo | | |
| Indicador ABC | 3 | Critico |
| Campo clasif. | | |

Imputación

| | | | |
|-----------------|------------|----------------|------------------|
| Sociedad | PE01 | UNACEM PERU SA | Perú |
| Activo fijo | | | |
| División | UCON | Condorcocha | |
| Centro de coste | UCC2032400 | HORNO 4 - CO | Sociedad CO PE00 |
| Elemento PEP | | | |

Informe de Trabajo realizado por el Contratista OT 10020198

*CAMBIAR eje y polín por ROTURA.
*Prueba en operación, limpieza del área de trabajo e informe de trabajo realizado.

DIVISION DE MANTENIMIENTO MECANICO

INFORME TECNICO

Atención: Ing. Juan Lara Galindo
De: Ing. José C. Ramos Denegri
Recibido: Ing. Edil Gamarra
OT: 10020198
Equipo: C04-5210HR01 - HORNO ROTATIVO
Asunto: CAMBIAR eje y polín ROTURA 2da base Lado
Fecha: 7/10/2021

ANTECEDENTES

El día 14/03/2021 se programó la OT 20622933 - 2da BASE: cambiar laines, topes de llanta

EVALUACION Y DIAGNOSTICO

Causa de la intervención, por mantto. Correctivo, para cambio de eje y polín por rotura

Se diagnostica rotura de eje y polín por tiempo de trabajo; requiere cambio por requerimiento del cliente

TRABAJO REALIZADO

Selección, traslado y montaje de 3 cuerpos de andamio y 1 baranda; en la segunda estación del horno 4
Aflojado de pernos de soportes de polín, trazo y marcado de distancia
Desplazamiento del polín en orientación lateral
Desmontaje de tuercas de fijación de plataforma; desmontaje del limpiador del polín
Trazado y corte de plancha A-36 de 1.1/4", según esquema
Montaje de planchas habilitadas en el soporte del polín de retención
Ubicación y traslado de rodillo, cojinete y espejo; desde almacén 4 hacia el Horno 4 con ayuda de la grúa TEREX
Armado de carpa; pulido de eje de rodillo por encontrarse con exceso de óxido
Desmontaje de plataforma, mampara y base de la mampara; con apoyo de la grúa TEREX
Izaje de calzas, gatas, bomba hidráulica hacia la estación 2 para instalación de maniobra; con apoyo del camión grúa
Limpieza y pulido de eje de polín; aplicado de azul de Prusia
Verificación de asentado de cojinete a un contacto mínimo de 70%
Rascado de 2 cojinetes; posterior asentado de los mismos; limpieza y Montaje de 2 espejos
Trazado y corte de 1 disco de plancha de 1.1/2" X 680 X 500; entrega al torno para el maquinado
Desmontaje de tuberías y mangueras de refrigeración
Drenado de aceite usado, retiro de tapas laterales de soportes
Desmontaje de tapa superior de chumacera y sistema de

lubricación a eje
 Desmontaje de polín, cojinetes y soportes hacia el nivel cero
 Traslado de soporte nuevo, desmontaje de tapa y limpieza interior
 Izaje y montaje de soporte nuevo, montaje de cojinetes nuevos a soportes
 Instalación de maniobra, izaje y montaje de polín nuevo; desplazamiento usando tecles
 Drenado de aceite usado de chumacera 5-7 y desmontaje de tapas
 Instalación de brida partida, que sujetan al espejo de la chumacera 5-7
 Instalación de levantador de aceite de las 2 chumaceras; instalación de bandejas de lubricación al eje
 Instalación de maniobra; montaje de tapas de las chumaceras y sellado con silicona roja
 Centrado de chumaceras, Montaje de pernos de sujeción de base de chumacera
 Corte de topes de chumaceras, regulación de luz axial del espejo-cojinete a 6mm lado salida y 0 lado entrada
 Ajuste de pernos de base de chumacera, montaje de tapas laterales
 instalación de tuberías de agua para enfriamiento de chumacera
 Habilitado y montaje de 2 sellos V-ring de 1 X 1 X 1500, para ambas chumaceras, instalación de brida de sujeción de sello
 Montaje de 2 topes de chumacera, traslado de aceite; cargado de aceite nuevo a las chumaceras
 Izaje y montaje de mamparas y estructuras de los ventiladores, ajuste de pernos de sujeción
 Desmontaje de gatas hidráulicos y soportes del horno
 Retiro e izaje de gatas, bombas y soportes con la ayuda del camión grúa
 Montaje de guarda superior de chumacera, montaje de limpiador de polín; retiro de maniobra
 Guía a la grúa TEREX para trasladar el rodillo usado hacia zona de contenedores
 Desmontaje, traslado y apilado de 3 cuerpos de andamio y 1 baranda; hacia el almacén

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO

| | |
|-------------------------|--------------|
| Velocidad RPM | 4.10 rpm |
| Longitud total M | 60.00 m |
| Inclinación ‰ | 4.00‰ |
| Diámetro nominal M | 4.00 m |
| Diámetro exterior M | 4.05 m |
| capacidad Nominal TON/d | 2000.00 TN/d |

REPUESTOS UTILIZADOS

| | | | |
|---|--|---|--------|
| 1 | 01-00017238 ANILLO DE TOPE PENGFEI CHUM. BASES 2 Y 3 | 2 | UND |
| 2 | 05-00007711 SELLO HSA9 D 2222.5X2283X22 | | 1 UND |
| 3 | 03-00018940 PERNO HEX. M36 X 90MM CL.8.8 C/T. | | 6 UND |
| 4 | 03-00003867 PERNO HEX. M24 X 50MM CL.8.8 C/T. | | 16 UND |
| 5 | 03-00003306 PERNO HEX. M8 X 20MM CL.5.8 C/T. | | 14 UND |
| 6 | 03-00003308 PERNO HEX. M8 X 30MM CL.5.8 C/T. | | 20 UND |

| | | | |
|----|-------------|--|--------|
| 7 | 03-00003617 | PERNO HEX. M8 X 25MM CL.8.8 C/T | 20 UND |
| 8 | 03-00004309 | PRISIONERO ALLEN M8X20MM CL.12.9 | 8 UND |
| 9 | 01-00006585 | BUSHING Ø450 (COJINETE) DE POLIN PENGFEI 2 UND | |
| 10 | 01-00006601 | RODILLO RODADURA 1500x850 EJE 450 BASE 2 1 UND | |
| 11 | 01-00017488 | SOPORTE POLIN EJE Ø450 POS.1 - BASE 2Y3 | 1 UND |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó limpieza exterior de equipo, instalación de maniobra para cambio de polin, asentado de cojinete, cargado de aceite nuevo; para garantizar el funcionamiento del equipo dentro de los parámetros establecidos

Fotos trabajos de la OT 10020198



Parada correctiva de 162.50 horas. Aviso Z6 parada N° 11892602, fuente ERP-SAP

Visualizar aviso-MT: Solicitud Parada Lin

Nuevamente en trat.

Aviso: 11892602 Z6 Paro horno 4
 Status mensaje: MECE

Aviso Parada Datos emplazamiento

Datos de usuario
 Circuito Prod.: C04-5

Objeto de referencia
 Ubic.téc.: C04-5232HM01 SISTEMA DE DESPLAZA...

Circunstancias
 Descripción: Paro horno 4
 03.01.2023 01:12:29 UTC-5 (PRODUCCION4)
 PARO POR PROBLEMAS MECÁNICOS CON EL RODILLO DE RETENCION DEL HORNO, SE SALIO DE SU EJE Y UQEDO PRESIONANDO EL SHELL DEL HORNO.

Visualizar aviso-MT: Solicitud Parada Lin

Nuevamente en trat.

Aviso: 11892602 Z6 Paro horno 4
 Status mensaje: MECE

Aviso Parada Datos emplazamiento

Posición
 Parada: ZPM99 M415 MARTILLOS-RODILLOS-CONO CAMBIO/REPARAC.
 Entrada 1 De 1

Datos avería
 Inicio avería: 03.01.2023 00:00:00 Parada
 Fin de avería: 09.01.2023 18:30:00 Duración parada: 162.50 H

OT. 10023803, relacionada a parada correctiva

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10023803: Cabecera central

Cierre comercial

Orden: ZMC1 10023803 Cambiar polín de retención por rotura

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific.

Responsable: Gpo.plan. DM / U002 Div.Mecanico
Rs.pto.tr. MAEMEC01 / U002 MAESTRO MECAN...

Aviso: 11892865
Costes: 0,00 PEN
Cl.actv.PM: ZEM Correctiva Eme...

Dirección:

Fechas: Inic.extr. 06.02.2023 Prioridad Alta
Fin extr. 06.02.2023

Objeto de referencia: Ubic.téc. C04-5232HM01 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL
Equipo: 1012098 SIST. DESPL. LONG. F.SERVICIO X RUPTURA

Datos avería SíntomaAvería Fechas aviso

Ini.avería 03.01.2023 07:30:14 Parada
FinAvería 10.03.2023 00:00:00 Duración parada 1.576,50 H

Primera operación: Operación Cambiar polín de retención por rot... Clv.cálc. Calcular duración
PtoTrab/Ce MAEMEC01 / U002 ClvCtrl ZPM2 Cl.actv. MECI01 MAF
TrabInvert 0 H Cantidad 0 Dur.oper. 0 H Comp.
Nº pers. 0

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10023803: Resumen de componentes

Cierre comercial

Orden: ZMC1 10023803 Cambiar polín de retención por rotura

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control Ampliación

| Po... | Componente | Descripción | T... | C.. | Ctd.neces. | Cantidad toma | UM | T. | S.. |
|-------|-------------|--|------|-----|------------|---------------|------|----|-----|
| 0010 | 01-00016356 | SISTEMA COMPLETO DE EMPUJE AXIAL HORNO 4 | | | 1,00 | 1,00 | JGO | L | A |
| 0020 | 03-00005010 | TORNILLO CBZ. HEX. 48X230 MM DIN 931 | | | 8,000 | 8,000 | UND | L | A |
| 0030 | 03-00005323 | TUERCA CORONA 48 MM DIN 935 | | | 2,000 | 2,000 | UND | L | A |
| 0040 | 03-00005010 | TORNILLO CBZ. HEX. 48X230 MM DIN 931 | | | 0,000 | 0,000 | UND | L | A |
| 0050 | 01-00016356 | SISTEMA COMPLETO DE EMPUJE AXIAL HORNO 4 | | | 1,00 | 1,00 | JGO | L | A |
| 0060 | 03-00000084 | ACERO PLASTICO DEVCON SF-10240 5 MINUTOS | | | 1,00 | 1,00 | JGO | L | A |
| 0070 | 03-00004481 | REDUCCION CAMPANA FE. GALV. 1" - 1/4 | | | 1,000 | 1,000 | UND | L | A |
| 0080 | 03-00006190 | PLANCHA FE. 3/4"X5"X10' ASTM A36 | | | 1,00 | 1,00 | PLA | L | A |
| 0090 | 03-00006707 | PLANCHA FE. 1/16"X4"X8' ASTM A36 | | | 2,00 | 2,00 | PLA | L | A |
| 0100 | 03-00000237 | ANGULO FE. 3/16"X2"X20' ASTM A36 | | | 2,00 | 2,00 | ANGL | L | A |
| 0110 | 03-00004446 | REDUCCION BUSHING FE. GALV. 1/2" - 1/4" | | | 1,000 | 1,000 | UND | L | A |
| 0120 | 03-00004506 | REDUCCION CAMPANA FE. GALV. 3/4" - 1/2" | | | 1,000 | 1,000 | UND | L | A |
| 0130 | 03-00010145 | MANOMETRO C/GLICERINA 0-200 BAR 1/2 NTP | | | 1,000 | 1,000 | UND | L | A |
| 0140 | 03-00003423 | PERNO HEX. 1/2" X 1.1/4" GR.5 C/T. | | | 10,000 | 10,000 | UND | L | A |
| 0150 | 03-00000532 | ARANDELA PLANA FE. 1/2" | | | 10,000 | 10,000 | UND | L | A |
| 0160 | 03-00017885 | GRAFITO EN BARRA 550X80X60MM GRADO 6503 | | | 1,000 | 1,000 | UND | L | A |
| 0170 | 03-00003164 | PERNO HEX. M20 X 60MM CL.8.8 C/T. | | | 4,000 | 4,000 | UND | L | A |
| 0180 | 03-00006181 | PLANCHA FE. 1"X5"X10' ASTM A36 | | | 0,900 | 0,900 | UND | L | A |
| 0190 | 03-00017564 | PLANCHA FE. 1.1/4"X5"X10' ASTM A36 | | | 0,10 | 0,10 | PLA | L | A |
| 0200 | 03-00003125 | PERNO HEX. M12 X 80MM CL.5.8 C/T | | | 0,000 | 0,000 | UND | L | A |

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10023803: Datos emplazamiento

Orden: ZMC1 10023803 Cambiar polin de retención por rotura

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Co

Datos de emplazamiento

Ce.emplazam. U002 CONDORCOCHA
 Emplazamiento E001 Planta
 Local
 Área de empresa
 Puesto trabajo
 Indicador ABC 3 Critico
 Campo clasif.

Imputación

Sociedad PE01 UNACEM PERU SA Perú
 Activo fijo
 División UCON Condorcocha
 Centro de coste UCC2032400 HORNO 4 - CO Sociedad CO PE00
 Elemento PEP

Modif.Orden de Correctivos UNACEM 10023803: Cabecera datos adicionales

Orden: ZMC1 10023803 Cambiar polin de retención por rotura

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Cont

Organización

Sociedad PE01 UNACEM PERU SA
 División UCON Condorcocha
 Sociedad CO PE00 Grupo - Rizo Patrón - PE
 CeCo responsable UCC1030000 DIV. MANTO.MEC.CO
 Centro de beneficio 120103 Producción
 Clase de objeto Gastos gen.
 Área funcional FU01 Producción
 Elemento PEP
 Definición proyecto
 Subgrafo p./Oper.
 Elem.ref.PM/PS

Modificar Orden de Correctivos UNACEM 10023803: Datos de gestión

Orden: ZMC1 10023803 Cambiar polin de retención por rotura

Est.sist.: CTEC DMNV JBFI MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific.

Datos de gestión

Autor LMAZA
 Fecha creación 03.01.2023
 Modificado por AGCHIPANA
 Fecha modif. 13.04.2023

Indicador de planif.

Orden planificada
 Orden inmediata
 Orden no planific.

Parámetros

Esq.cál.coste PP-PC1 Perfil estado ZPMCO001
 Clave recargos Cl.prioridad ZU
 Var.cál.cost.p ZPM1 Categoría
 VarCálCos real ZPM2 Perfil manten. ZPM0001
 Clv.periodif. Perfil act.ext. ZPM0001
 Incremento op. 0010 Perfil material ZPM0002

Reservas/Solicitudes de pedido

Res./SolPed Inmediatamente

Informe de Trabajo realizado por el Contratista, OT. 10023803

Cambiar polín de retención por rotura

DIVISIÓN DE MANTENIMIENTO MECÁNICO

INFORME TÉCNICO

Atención: Ing. David Dios Hidalgo

De: Ing. Freddy M. Rendón Palomino
Recibido: Ing. Víctor Ramírez
OT: 10023803

Equipo: C04-5232HM01 - SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO
LONGITUDINAL
Asunto: Cambiar polín de retención por rotura
Fecha: 03/01/2023

EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO

Se requiere el cambio de polín de retención por ruptura.

TRABAJO REALIZADO

Traslado de polín de retención reparado de pacchon a Horno 4, nivel 0.

Búsqueda de viga H de 8" x 50 (2 unidades), viga de 6" x 50" en pacchon y traslado a horno 4"

Se presenta vigas para deslizar polín de retención inferior.
Esmerilado de rababas de vigas e instalación de vigas.
Corte de canal y viga de 4" x 12".

Traslado de elementos de izaje.

Desmontaje de mampara y soporte lado cerro santana.

Desmontaje de cañerías de ingreso de aceite a gata hidráulica.
Apuntalado de vigas una sobre otra.
Montaje de vigas para instalación de soporte para polín de retención.

Instalación de elementos de maniobra.

Desmontaje de honguito de retención.

Movilización de la grúa TEREK que brinda apoyo para realizar los trabajos.

Desmontaje o traslado a nivel 0 el polín de retención con apoyo de la grúa TEREK.

Traslado de polín de retención hacia almacén HAUG.

Montaje de polín nuevo en su punto de trabajo.

Laminado de polín de retención para contacto de polín hacia llanta.

Traslado de pernos del polín de retención para la toma de medidas de los pernos y maquinado de pernos nuevos.

Instalación de vigas para el desmontaje de polín de retención. Apuntalado y soldeo de vigas.

Instalación de elementos de maniobra.

Desmontaje de contra ejes de polín de retención
Izaje de polín de retorno de horno 4 2da nivel a nivel 0.
Instalado de sensor de temperatura con soldadura depco de 5mm.
Montaje de polín de retención.

Instalación de tubería de lubricación.

Perforado de agujero Ø5mm x 25mm.

Se pasa macho de 1/4"

Montaje de abrazadera para lado 1/4"

Montaje de pernos M48 x 170mm (8 unidades), en base de polín de retención.

Ajuste de pernos.

Montaje de soporte de grafito dejando que no da pase chocha con la mampara de chumacera.

Montaje de gata en base para nivelar base inferior.

Modificación de tubería de ingreso y salida de aceite.
Corte de grafito.

Alineado de polín de retención.
Desmontaje de 1 plancha del sistema de desplazamiento longitudinal, y modificación de agujeros.

Taladrado de plancha con broca Ø16mm (1 agujero)
Armado de plancha en el hongo del horno, instalando 2 pernos M16 x 30mm.

Se procede a armar la caja de sensores del limitador de subida y bajada del horno.

Soldeo de plancha que sirve como soporte de la caja de sensores. Instalación de 4 pernos de 5/8" x 1.1/2" que se asegura la baja de sensores.

Se habilita 1 platina de 2" x 200mm y se realiza el agujereado en ambos extremos (agujeros de 5/8")

Instalación de la platina en la contrapesa del limpiador del polín de retención e instalar 2 pernos de 3/8" x 1.1/4" y se realiza su ajuste.

Se taladro con taladro Hilti, se perfora el piso para instalar 4 pernos de expansión Hilti de 5/8". Se instala el soporte de tablero de energía de la caja de sensores.

Se recogió ángulo de 3/16" x 2" (2 piezas) y plancha galvanizada de almacén UNACEM.

Se habilito ángulo de 3/16" x 2" x 1400mm (2 piezas)
Se habilito ángulo de 3/16" x 2" x 1200mm (4 piezas)
Se habilito ángulo de 3/16" x 2" x 1040mm (2 piezas)
Se habilito ángulo de 3/16" x 2" x 920mm (2 piezas)

Se realizó el destaje de los ángulos de 1400mm a uno en 3. Se cortó platina de 3/8" x 2" x 4" (4 piezas)

Se cortó platina de 3/8" x 2" x 2.1/2" (4 piezas)
Se trazó en la platina para los agujeros de Ø14mm.

Se perforo la platina de 8 agujeros de Ø14mm.

Se trazó en el ángulo de 3/4" x 2" ambos extremos y se perforo de agujero de Ø14mm.

Se cortó plancha de 3/8" x 250mm (1 pieza)

Se trazó para taladrar agujero de Ø14mm (4 agujeros)
Se hizo ojo chino en los agujeros.

Limpieza mecánica de la base de polín de retención.

Desajuste de pernos M48 x 17mm de base de polín de retención. Instalación de gata hidráulica para levantar el polín de retención y lainado con plancha de 3/4" de espesor para ambas patas.

Pegado de sensor de temperatura en polín ingreso de rodamiento en tope.

Alineado de polín de retención con respecto al eje de la virola
polín de retención dividido en 3.0mm para lado de giro del
horno.

Ajuste de pernos de base.

Montaje de soporte de mampara.

Montaje de soporte de grafito de polín N° 2.
Montaje de reducción campana en tubería 1.9mm de lubricación.
Montaje de tubería de retorno.
Corte de 02 piezas de ~~lajina~~ con plancha de 3/4"x650mmx1350mm
Traslado de ~~lajinas~~ habilitadas al punto de trabajo
Armado y apuntalado de 01 mampara

Se habilito plancha de 1/16" x 770mm (4 piezas)

Se trazó en la plancha para el doble S, ambos lados de la
plancha (4 piezas)

Se pasó al plegado de la plancha 4 piezas.

Se trasladó al punto de trabajo a fuerza hombre horno 4.
Se sacó bloque canal 4 piezas.

Se cortó de 40 x 610 x 683mm, 4 piezas.

Se pasó al armado y punto de soldadura 2 piezas.
Se pasó al armado como protector en la mampara.

Soldeo de la guarda cortada en dos partes de 180
Armado de 2 cartelas para que no se mueva el honguito.
Montaje de la mampara y soldeo de cartelas ángulo.

Soldeo de la flecha de la regla.

Asegurado de una plancha levantado con soldadura.
Limpieza mecánica de la parte afectada.

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Presión nominal BAR: 120.00 bar

Diámetro polín MM: 1254.00 - 1380.00 mm

Ancho de polín MM: 220.00 mm

Fotos trabajos de la OT 10023803



Anexo 5: Plano diagrama flujo del Horno

