

**Monitoreo en Línea del Desempeño de Rodamientos Axiales del Proceso de Amasado de
Caolín Cerámico**

Wilfer Andrés Restrepo Muñoz

Juan David López Serna

Asesor:

Martha Catalina Ospina

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI
Ingeniería Industrial

2023

Resumen

El proyecto pretende analizar, e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de la temperatura de los rodamientos axiales del proceso de amasado en una planta de Caolín en el municipio de La Unión (Antioquia) considerándola como variable influyente en su desempeño con la finalidad de generar alertas de forma oportuna, a través de una base de datos administrada desde la nube de manera automática y en tiempo real, el aplicativo estaría en capacidad de enviar alertas vía correo electrónico cuando se llegue a una temperatura determinada en la cual es necesario la intervención oportuna del técnico de mantenimiento para prevenir fallas.

El análisis realizado de las averías del proceso de amasado en 2023, permitió interpretar las variables influyentes en el desempeño de los rodamientos, tales como vibración, alineación y ajustes y la implementación de planes de mejoramiento que evidencian un positivo resultado en la disminución de los tiempos de averías y el aumento de vida útil sus componentes, considerando que las fallas de los rodamientos por encima de 60°C generalmente implican fusión de elementos, extendiendo el tiempo de reparación, y aumentando los niveles de riesgo por la manipulación de herramientas y cargas de considerables proporciones.

Palabras claves: rodamiento, lubricante, temperatura, datos.

Abstract

The project intends to analyze and implement a real-time monitoring system of the temperature of the axial bearings of the kneading process in a Kaolin plant in the municipality of La Unión (Antioquia) considering it as an influential variable in its performance with the purpose of generate alerts in a timely manner, through a database managed from the cloud automatically and in real time, the application would be able to send alarms via email when a certain temperature is reached in which intervention is necessary timely maintenance technician to prevent failures. The analysis carried out of the breakdowns of the kneading process in 2023, allowed us to interpret the influential variables in the performance of the bearings, such as vibration, alignment and adjustments, and the implementation of improvement plans that show a positive result in the reduction of times. of breakdowns and the increase in the useful life of its components, considering that bearing failures above 60°C generally imply fusion of elements, extending the repair time, and increasing the risk levels due to the manipulation of tools and loads of considerable proportions.

Keywords: bearing, lubricant, temperature, data.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Justificación	12
Objetivos	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos	14
Marco Conceptual.....	15
Confiabilidad	15
Disponibilidad del Proceso.....	15
Indicadores Relacionados con la Disponibilidad.....	15
MTTR-MTBF.....	16
Rodamientos	16
Rodamientos Axiales.....	16
Modos de Falla en Rodamientos	17
Tribología	17
Lubricación de Rodamientos	17
Punto de Goteo de Lubricante	18
Mantenimiento Preventivo	18
Mantenimiento Correctivo.....	18
Mantenimiento Predictivo	19
La Industria 4.0.....	19
Big Data.....	19

Desgaste.....	19
La Fricción.....	20
Tolerancia Dimensional.....	20
Marco Teórico.....	21
Proceso de Beneficio Mineral.....	21
Proceso del Caolín Cerámico	25
Proceso de Amasado de Caolín Cerámico.....	26
Amasadoras en la Industria Cerámica	28
Rodamientos Axiales en Amasadoras	29
Rangos de Temperatura de Operación de Rodamientos Axiales	30
Modos de Falla en Rodamientos Axiales	31
Tipos de Lubricantes para Rodamientos	33
Clase NLGI.....	34
Punto de Goteo (en °C).....	34
Valor de Cuatro Bolas	34
Valor DN	35
Valor SKF-Emcor.....	35
Efectos de la Temperatura en los Lubricantes.....	36
Mantenimiento Preventivo en Rodamiento	38
Inspección de los Rodamientos	38
Temperatura del Rodamiento	38

Principales Causas de Alta Temperatura en los Rodamientos	39
Vibración del Rodamiento.....	39
Selección del Lubricante	39
Relubricación.....	40
Planes de Mantenimiento.....	41
Lubricación por Grasa	43
Intervalo de Rellenado.....	44
Lubricación por Aceite	44
Las principales ventajas de la lubricación por aceite/aire son:.....	46
Metodología	48
Fase Experimental	48
Enfoque.....	49
Resultados.....	50
Etapa de Análisis	50
Estrategia de Mantenimiento en el Proceso de Amasado en 2022.....	52
Análisis de Avería en Rodamiento Axial de Febrero de 2023	56
Etapa de Control.....	63
Acciones de prevención desde planes de mantenimiento.....	65
Resultado de las Acciones Implementadas a Mayo de 2023.....	69
Recomendaciones	72
Apéndices.....	76

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Flujograma descriptivo del proceso del caolín</i>	23
Figura 2 <i>Proceso de Caolín Cerámico</i>	25
Figura 3 <i>Caolín visto desde un microscopio</i>	26
Figura 4 <i>Amasadora y sus componentes de una amasadora</i>	27
Figura 5 <i>Tiempo de averías del proceso de amasado en 2021 respecto a tiempo de averías en el proceso de amasado en 2022</i>	50
Figura 6 <i>Tiempo de averías del proceso de amasado en 2021 por rodamientos axiales respecto a tiempo de averías en el proceso de amasado en 2022 por rodamientos axiales</i>	51
Figura 7 <i>Disponibilidad mecánica de amasado 2022</i>	51
Figura 8 <i>Disponibilidad mecánica de amasado 2022</i>	52
Figura 9 <i>Hoja de ruta para los planes de mantenimiento de las amasadoras</i>	53
Figura 10 <i>Plan de lubricación</i>	54
Figura 11 <i>Punto de lubricación de rodamiento axial</i>	54
Figura 12 <i>Descripción de los planes de mantenimiento</i>	55
Figura 13 <i>Formato de análisis de avería por temperatura alta en rodamiento axial</i>	56
Figura 14 <i>Desgaste de un rodamiento axial</i>	57
Figura 15 <i>Buje para amasadoras en estado óptimo</i>	58
Figura 16 <i>Estados de buje para amasadoras con desgaste</i>	58
Figura 17 <i>Medidas del centro del buje en condiciones óptimas</i>	59
Figura 18 <i>Medidas de buje central en condiciones de desgaste</i>	59
Figura 19 <i>Anclajes de las mesas de las amasadoras</i>	60

Figura 20 <i>Anclaje de mesas de amasadoras después del mejoramiento al sistema de anclaje a piso</i>	61
Figura 21 <i>Acoples nuevos de cadena para reductor y eje de la amasadora garantizando la correcta alineación de la transmisión del equipo</i>	61
Figura 22 <i>Desgaste de los acoples</i>	62
Figura 23 <i>Acoples en condición óptima</i>	62
Figura 24 <i>Punto de instalación de Instrumento para lectura de temperatura del rodamiento axial</i>	63
Figura 25 <i>Lectura en grados centígrados del sensor de temperatura</i>	63
Figura 26 <i>Lectura en grados centígrados del sensor de temperatura</i>	64
Figura 27 <i>Modificación de planes de mantenimiento, incluyendo la revisión de los bujes y casquillos delanteros</i>	65
Figura 28 <i>Modificación de planes de mantenimiento e inclusión de análisis de vibraciones</i>	66
Figura 29 <i>Mantenimiento preventivo arrojado por el SAP</i>	66
Figura 30 <i>Monitoreo en tiempo real desde la nube</i>	67
Figura 31 <i>Alerta de temperatura alta, enviada a correo electrónico</i>	67
Figura 32 <i>Mensaje de texto vía telefonía celular de alarma de evento de aumento de temperatura en rodamiento axial de amasadora 3 igual o superior a 55°C</i>	68
Figura 33 <i>MTTR proceso de amasado Mayo de 2022 respecto a Mayo de 2023</i>	69
Figura 34 <i>Disponibilidad mecánica proceso de amasado a Mayo de 2023 respecto a Mayo de 2022</i>	69

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Cronograma de actividades</i>	76
Apéndice B <i>Ficha Técnica del Lubricante utilizado para las amasadoras</i>	79
Apéndice C <i>Siglas, Acrónimos y Abreviaturas</i>	80

Introducción

El beneficio de minerales no metálicos tienen diferentes aplicaciones en la industria, principalmente en los sectores cerámicos y de la construcción como base para la elaboración de productos tales como pintura, masillas aditivos para concretos, cuyo mineral principal es el caolín, el cual se procesa través de diferentes procesos de manufactura y transformación, entre los que se encuentra el proceso de amasado que implica ejercer esfuerzo mecánico en su conformación con el fin de modificar sus variables de desempeño en el producto final. Este proceso se realiza a través de máquinas extrusoras conocidas como amasadoras, las cuales cuentan con un rodamiento axial 29417K, cuya principal función es asimilar la carga y esfuerzos mecánicos que genera el material durante su tiempo de residencia en el equipo.

En el año 2022 se presenta en el proceso de amasado un total de 9 averías relacionadas con fallas de estos rodamientos, marcando así el foco de averías de este proceso, razón por la cual es fundamental la implementación de un sistema de monitoreo a las variables asociadas al desempeño y vida útil de los rodamientos axiales con el fin de administrar la información de forma oportuna logrando la prevención de paros del proceso.

Para el desarrollo del proyecto se pretende la definición e interpretación de los rangos de operación óptima de los componentes y variables asociadas al equipo a través de metodologías y herramientas de análisis que permitan la oportuna toma de acciones desde la perspectiva de la ingeniería industrial evidenciando los resultados obtenidos en el mejoramiento de la disponibilidad mecánica y la confiabilidad del proceso.

Con los actuales avances de la industria 4.0 y el internet de las cosas, se abre una amplia gama de posibilidades para la captura y manejo de datos e información asociadas a las variables de desempeño de los equipos de los diferentes procesos productivos en la industria manufacturera.

Planteamiento del Problema

¿Porque en el proceso de amasado de caolín cerámico se presenta el mayor número de averías en el 2022 puntualmente el rodamiento axial 29417K en los que independiente del número de horas de trabajo, se presenta de forma espontánea un incremento de su temperatura normal de operación, ocasionado la falla por la desintegración estructural de sus componentes?

Los equipos de amasado de caolín cerámico son fundamentales en la transformación de las características físicas del caolín a través de aplicación de esfuerzos mecánicos al mineral previamente filtrado, por lo que sus componentes están diseñados para ser sometidos a grandes cargas y esfuerzos. Entre estos componentes se destaca el rodamiento axial 29417K ya que cumple la función de disipar la carga axial generada por el avance del material a través de la cámara de amasado y su paso por los orificios de la boquilla; esta carga axial genera en el rodamiento una fricción mecánica que se refleja en el aumento su temperatura, la cual en condiciones normales de operación que sería una alimentación de 1.6 ton/h y una humedad del material de entrada entre el 33 y 35% oscilaría entre los 40 y 45°C.

En 2022 se presenta en este proceso un importante aumento en el número de averías por lo que es fundamental evaluar la eficacia de la estrategia de mantenimiento implementada, la cual es basada en desempeño, donde cada 600 horas se realiza la inspección y lubricación de los componentes del equipo buscando la identificación de cambios relevantes entre valores de las variables medibles tales como amperaje y temperatura, a través de una sistema de monitoreo en línea y de una frecuencia mucho mayor desde su instrumentación.

Justificación

Los equipos de amasado de caolín cerámico desempeñan un papel fundamental en la transformación de las características físicas del caolín, mediante la aplicación de esfuerzos mecánicos al mineral filtrado. Entre los componentes clave de estos equipos, destaca el rodamiento axial 29417K, cuya función principal es disipar la carga axial generada por el avance del material a través de la cámara de amasado y los orificios de la boquilla, lo que ejerce una fricción mecánica en el rodamiento que se traduce en un aumento de la temperatura que, en condiciones normales de operación, oscila entre los 40°C y 45°C.

Sin embargo, durante el año 2022 se ha observado un importante aumento en el número de averías en este proceso. Ante esta situación, es imprescindible evaluar la eficacia de la estrategia de mantenimiento implementada.

Las empresas tratan de optimizar la función de mantenimiento con la finalidad de conseguir los mayores niveles de disponibilidad y fiabilidad al menor costo posible mediante la combinación de estrategias correctivas, preventivas y predictivas. Aunque la tendencia actual es la de una migración progresiva hacia el mantenimiento predictivo se considera que el 60% del mantenimiento que se realiza en Colombia, de los equipos productivos es todavía mantenimiento al fallo o mantenimiento correctivo.

El mantenimiento predictivo es una estrategia de mantenimiento que se basa en la detección temprana de averías mediante la identificación de patrones de fallo, donde se persigue la eliminación de fallos imprevistos de manera que se pueda aumentar la disponibilidad y fiabilidad de los activos.

Su filosofía es la intervención de las máquinas sólo cuando es necesario, evitando así desmantelamientos de máquina que no aportan mayor fiabilidad, ya que se demuestra que casi el

70% de los fallos que se generan evolucionan de una manera totalmente aleatoria, se pueden presentar en cualquier momento, con lo cual el mantenimiento preventivo a intervalo fijo comienza a ser bastante cuestionable. (Integra, 2023)

Ventajas del mantenimiento predictivo

- Mejora la disponibilidad de los equipos.
- Mayor fiabilidad a nivel global.
- Se producen menos pérdidas de materias primas causadas por las paradas de emergencia cuando falla algún equipo.
- Se reduce el número de intervenciones de reparación de los sistemas.
- Se reduce el gasto que se ejecuta en comprar piezas de repuesto.
- Gracias a la monitorización y automatización de la actividad, se reducen los accidentes y aumenta la seguridad en la planta. Para aplicar todas estas técnicas de mantenimiento predictivo, se deben tener monitorizadas las máquinas y disponer de un histórico de datos que permita analizar el funcionamiento. (Integra, 2023)

Objetivos

Objetivo General

Aumentar la disponibilidad mecánica del proceso de amasado de caolín cerámico en un 3% mediante la reducción del 50% de los tiempos improductivos causados por averías.

Objetivos Específicos

Implementar de un sistema de monitoreo en tiempo real de la temperatura de los rodamientos axiales, que genere alertas inmediatas en el primer semestre de 2023.

Estructurar una base de datos en aplicativo en la nube que genere alertas en tiempo real por aumento de temperatura en rodamientos axiales 29417K en el proceso de amasado de caolín cerámico, vía correo electrónico.

Identificar las variables influyentes en el aumento de temperatura de los rodamientos axiales del proceso de amasado.

Complementar los planes de mantenimiento del proceso de amasado con actividades que permitan mantener la estabilidad de la temperatura de los rodamientos axiales.

Marco Conceptual

Confiabilidad

Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado. (N, 2011)

Disponibilidad del Proceso

Es el porcentaje de tiempo que está operativo o disponible para producción, respecto al tiempo planificado. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada. Una vez obtenido se divide el resultado entre el tiempo total del periodo considerando que la operación del proceso es de 24/7.

Indicadores Relacionados con la Disponibilidad

- Disponibilidad.
- Fiabilidad o confiabilidad.
- Tiempo medio entre paradas (se conoce a menudo como MTBF, aunque con este nombre haría solo referencia a paradas por fallas y no a paradas en general sea cual sea el motivo).
- Duración de las paradas (se conoce a menudo como MTTR, aunque con este nombre haría solo referencia a paradas por fallas y no a paradas en general sea cual sea el motivo). (N, 2011)

MTTR-MTBF

El MTBF dice qué paradas son las más frecuentes para un proceso, y el MTTR cuáles son las más graves. (EDINN, 2022)

MTBF es el acrónimo de las palabras inglesas Mean Time Between Failures, o tiempo medio entre fallos. El MTBF es el tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por fallo (o avería) de un proceso, o en otras palabras, la inversa de la frecuencia con que ocurre cada parada. (EDINN, 2022)

MTTR es el acrónimo de las palabras inglesas Medium Time To Repair, o tiempo medio hasta haber reparado la avería. Es decir, es el tiempo que se requiere para reparar un fallo en un activo de la empresa. (EDINN, 2022)

Rodamientos

Son elementos mecánicos que aseguran un enlace móvil entre dos elementos de un mecanismo, donde uno se encuentra en rotación con respecto a otro. Su función principal reside en permitir la rotación relativa de dichos elementos bajo carga, con presión y con un rozamiento mínimo, reduciendo la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este por medio de una rodadura, que hace de apoyo y facilita su desplazamiento. (SL, 2023)

Rodamientos Axiales

Los rodamientos axiales soportan cargas que actúan, principalmente, de manera axial a lo largo del eje. Según su diseño, los rodamientos axiales pueden soportar cargas puramente axiales en uno o en ambos sentidos y algunos pueden también soportar cargas radiales (cargas combinadas,

Los rodamientos axiales no admiten velocidades tan elevadas como los rodamientos radiales del mismo tamaño. (SL, 2023)

Modos de Falla en Rodamientos

En los principales modos de falla en rodamientos se encuentra el sobrecalentamiento que generalmente es el resultado de temperaturas de funcionamiento excesivas y lubricación inadecuada. Las altas temperaturas pueden causar sangrado de la grasa (salida de aceite), lo que reduce la eficiencia del lubricante. En condiciones de temperatura elevada, la oxidación puede conducir a la pérdida del aceite de la grasa, dejando un jabón seco y crujiente que puede hacer que el rodamiento se aferre. Las temperaturas elevadas también reducen la dureza del metal, causando una falla temprana.

En condiciones normales de funcionamiento, los rodamientos tienen una vida útil sustancial, que se expresa como un período de tiempo o como el número total de rotaciones antes de que los elementos rodantes o los anillos internos y externos se fatigan o fallen. (SKF, 2023)

Tribología

Es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación, comprendiendo la interacción de las superficies en movimiento relativo, en sistemas naturales y artificiales. Esto incluye el diseño de cojinetes y su lubricación. (GGB, 2019)

Lubricación de Rodamientos

El objetivo de la lubricación de rodamientos es evitar el contacto metálico de las superficies deslizantes y de rodadura mediante una película lubricante, a fin de reducir la fricción de

deslizamiento de los rodamientos. Además, la lubricación del rodamiento conduce a un mejoramiento de la protección anti-desgaste. En consecuencia, se evitan los daños de cojinetes, se prolonga la vida útil del cojinete y aumenta la seguridad de funcionamiento. (GGB, 2019)

La selección de una grasa de rodamiento depende del tipo de cojinete y el material de la jaula del rodamiento (metal o plástico), así como de las condiciones de uso y aplicación tales como la temperatura de aplicación, el rango de velocidad, la carga de presión y las influencias de entorno (agua, polvo o medios corrosivos).

Punto de Goteo de Lubricante

El punto de goteo de una grasa es la temperatura a la que se produce la licuefacción de la grasa. Se encuentra esencialmente por encima de la temperatura de aplicación recomendada, que se determina en un rodamiento no solo por la temperatura ambiente, sino también por el calor que se desarrolla en el cojinete durante el funcionamiento del rodamiento.

Mantenimiento Preventivo

Es aquel mantenimiento enfocado a la prevención de fallos en equipos e instalaciones con el objetivo de reducir riesgos. Intenta reducir errores o averías con una revisión constante y planificada según las necesidades de cada industria. (OKS, 2022)

Mantenimiento Correctivo

Es aquel mantenimiento cuyo fin es corregir cualquier defecto que se presente en el equipo o instalación. Corrige acciones sólo cuando se ha detectado la avería. (Integra, 2023)

Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento es un mantenimiento más técnico y avanzado. Requiere de formación específica, conocimientos analíticos y necesita de equipos especializados. Al igual que el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo busca anteponerse a la avería. La diferencia es que se basa en la aplicación de herramientas o técnicas de detección de distintas variables que son indicio del estado de un equipo y que anticipan un futuro fallo como pueden ser la vibración, la presión o la temperatura. (Integra, 2023).

La Industria 4.0

Es la fusión del mundo real con el mundo virtual. Esta revolución digital está marcada por la tecnología que aprovecha el Big Data y la Inteligencia Artificial (IA) para nutrir sistemas de aprendizaje automático. (Integra, 2023)

Big Data

Es un término que describe el gran volumen de datos, tanto estructurados como no estructurados, que inundan los negocios cada día. Pero no es la cantidad de datos lo que es importante. Lo que importa con el Big Data es lo que las organizaciones hacen con los datos. Big Data se puede analizar para obtener ideas que conduzcan a mejores decisiones y movimientos de negocios estratégicos. (PowerData, 2022)

Desgaste

El desgaste se define como la pérdida irreversible de material resultante de la interacción entre superficies. Los procesos físicos y químicos básicos dentro del área de contacto de una

superficie deslizante que conduce posteriormente a un cambio en el material y la forma de las superficies en contacto se conocen como mecanismos de desgaste. (GGB, 2019).

La Fricción

Es la fuerza de resistencia al movimiento entre dos cuerpos en contacto. (GGB, 2019).

Tolerancia Dimensional

Es la que define los diámetros límite, diámetros mínimos y máximo de los asientos de los rodamientos (en el eje y el alojamiento). Por lo tanto, la tolerancia dimensional es la cantidad total que se permite variar el diámetro del asiento del rodamiento durante el proceso de su fabricación, respecto de la cota o medida nominal indicada en el plano. (SKF, 2023).

Marco Teórico

Proceso de Beneficio Mineral

La minería no metálica comprende la actividad de extracción de recursos minerales que, luego de un tratamiento especial, se transforman en productos que por sus propiedades físicas y/o químicas pueden aplicarse a usos industriales y agrícolas, es por eso que el interés público y privado por su desarrollo se orienta tanto a su fase productiva como a su uso final. La minería a cielo abierto es la que se desarrolla sobre la superficie de la tierra, de manera progresiva por capas o terrazas en terrenos previamente delimitados, dichos materiales explotados en su mayoría son No Metálicos tales como la arcilla, caolín, feldespatos, entre otros. (TELLO, 2020)

Entendido esto, actualmente nuestro proceso cuenta con equipos, tuberías, bandas y otros elementos que en su conjunto fueron denominados Torre de lavado por la forma de su estructura, en esta la materia prima (caolín), sufre una descomposición de sus elementos generando un lodo que de acuerdo a su receta puede servir para lojería y cerámicos. Con otros tipos de recetas se puede utilizar para pinturas y sus derivados, a su vez de estos tipos de caolín se pueden extraer varios materiales como: gravas, arena gruesa, arena fina, micas y borras, todos estos son aprovechados para todo tipo de industrias y funciones.

El mineral de caolín, tal como se obtiene en una explotación minera, posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que a veces no llega al 20%. Además, suele tener cuarzo, feldespatos, micas y, dependiendo de la roca madre, otro tipo de minerales accesorios. Por ello, una vez extraído en la mina, el caolín debe pasar por un proceso de beneficiado –mediante tamizado, separación magnética, hidrociclonado, centrifugado o deslaminación- que eleve el contenido en filosilicatos por encima del 80%. Con ello se consigue el caolín lavado, materia prima de la

industria. Los coproductos de la extracción de caolín (cuarcos, micas...) Se comercializan también por las empresas mineras gallegas. (galicia, 2023)

Basado en lo anterior se presenta un Flujograma descriptivo del proceso del caolín en el Municipio de la Unión-Antioquia.

Figura 1

Flujograma descriptivo del proceso del caolín

PROVEEDORES	ENTRADAS / REQUERIMIENTO DE ENTRADA <small>Nota: considere las entradas desde las 6M's (mano de obra, método, material, máquina, medición, medio ambiente)</small>	ACTIVIDAD (Viene del Mapeo Nivel I)	SALIDAS / REQUERIMIENTO DEL CLIENTE	CLIENTES	INDICADORES
Pilar EYE Minería Minería Operaciones Operaciones Mantenimiento EPM Calidad Operaciones Pilar EYE Calidad Fuente hídrica río piedras (CORNARE) Proceso de Sistemas de Gestión CIU SM Mantenimiento EPM Operaciones Operaciones EXRO, Conquímica	Personal entrenado y capacitado Módulos Materias primas aprobados por calidad Acuerdos Cliente - Proveedor Balanza camionera Calibrada Cargador. Programa de mantenimiento Energía Caracterización de receta de caolín.s ops. s olver Bodegas de almacenamiento Y90. Personal entrenado y capacitado Acuerdos Cliente - Proveedor Agua sin tratar (20 l/s) CBO Planta de aguas (Ver SOP IO MP-25) Programa de mantenimiento Energía Planta de tratamiento Equipos de medición de laboratorio Insumos químicos		Recetas Materia prima. Humedad < al 30%. Pilas almacenadas por módulos según la referencia. Cubiertas y debidamente marcadas con estado de inspección y ensayo de acuerdo al IO MP-02 Procedimiento identificación y trazabilidad Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)	Torre de lavado MIRS	Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos
Pilar EYE Calidad Proceso de Sistemas de Gestión CIU SM Calidad Planta de aguas EXRO Operaciones Operaciones Operaciones Mantenimiento KAESER EPM	Personal entrenado y capacitado Acuerdos Cliente - Proveedor CBO Torre de lavado (Ver SOP IO MP-27) Recetas de materias primas. Ver registro REMP IO-370 Proporciones de dosificaciones de materia prima. Insumos químicos Programa de producción Cargador Torre de lavado y pasaducto Programa de mantenimiento Aire Energía		Agua clarificada aprobada Ver plan de calidad PQMP09-601 (Tratamiento de agua) Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)	Clasificar Tamizado Planta MI MIRS	Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos
Pilar EYE Proceso de Sistemas de Gestión CIU SM Calidad Planta de aguas Torre de Lavado Mantenimiento Operaciones KAESER EPM Operaciones	Personal entrenado y capacitado CBO Proceso Tamizado (Ver SOP IO MP-28) Acuerdos Cliente - Proveedor Agua clarificada Ver plan de calidad PQMP09-601 (Tratamiento de agua) Caolín MI en suspensión Ver plan de calidad PQMP09-601 (Caolines) Programa de mantenimiento Sistema de almacenamiento y bombeo Aire Energía Tamizadoras malla 325		Caolín AVT F y MI en suspensión aprobado Ver plan de calidad PQMP09-601 (Caolines) Arenas OI Común, OI JIG y Fina Ver plan de calidad PQMP09-601 (Arenas) Macrocaolín Grueso y Macrocaolín Fino Caolín Esmalte en suspensión Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)	Filtro prensado Tamizado Bodegas Planta MI Minería MIRS	Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos
Proceso de Sistemas de Gestión CIU SM Calidad Planta de aguas Torre de Lavado Mantenimiento Operaciones KAESER EPM Operaciones	Personal entrenado y capacitado CBO Proceso Tamizado (Ver SOP IO MP-28) Acuerdos Cliente - Proveedor Agua clarificada Ver plan de calidad PQMP09-601 (Tratamiento de agua) Caolín MI en suspensión Ver plan de calidad PQMP09-601 (Caolines) Programa de mantenimiento Sistema de almacenamiento y bombeo Aire Energía Tamizadoras malla 325		Caolín MI Tamizado en suspensión aprobado Ver plan de calidad PQMP09-601 (Caolines) Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)	Planta MI MIRS	Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos

<p>Pilar EYE</p> <p>Personal entrenado y capacitado</p> <p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Filtroprensado (Ver SOP IOMP-29)</p> <p>Torre de Lavado</p> <p>Caolin AVTF suspension Ver plan de calidad PQMP09-601 (Caolines)</p> <p>Mantenimiento</p> <p>Programa de mantenimiento</p> <p>KAESER</p> <p>Aire</p> <p>EPM</p> <p>Energia</p> <p>Operaciones</p> <p>Sistema de filtracion y bombeo</p> <p>Pilar EYE</p> <p>Personal entrenado y capacitado</p>		<p>Caolin AVTF en galleta Ver plan de calidad P QMP 09-601 (Caolines)</p> <p>Agua clarificada sin solidos</p> <p>Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)</p>	<p>Anasado Clasificar MIRS</p>	<p>Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos</p>
<p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Proceso amasado (Ver SOP IOMP-30)</p> <p>Filtroprensado</p> <p>Caolin AVTF en galleta Ver plan de calidad PQMP09-601 (Caolines)</p> <p>EPM</p> <p>Energia</p> <p>Mantenimiento</p> <p>Programa de mantenimiento</p> <p>Operaciones</p> <p>Amasadoras</p> <p>Laboratorio Ceramico</p> <p>Analisis de laboratorio</p> <p>KAESER</p> <p>Aire</p> <p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Manejo de materiales con cargador (Ver SOP IOMP-50)</p> <p>Operaciones</p> <p>Cargador</p> <p>Pilar EYE</p> <p>Personal entrenado y capacitado</p>		<p>Caolin AVTF Amasado Ver plan de calidad P QMP 09-601 (Caolines)</p> <p>Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)</p>	<p>Bodegas de almacenamiento MIRS</p>	<p>Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos</p>
<p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Manejo de materiales con cargador (Ver SOP IOMP-50)</p> <p>Area Tecnica</p> <p>Acuerdos Cliente - Proveedor</p> <p>Amasado</p> <p>Estado de inspección y ensayo de acuerdo al IOMP-02 Procedimiento identificación y trazabilidad. (producto pendiente)</p> <p>Laboratorio Ceramico</p> <p>Analisis de certificación</p> <p>Operaciones</p> <p>Cargador</p> <p>Pilar EYE</p> <p>Personal entrenado y capacitado</p>		<p>Caolin AVTF Amasado aprobado Estado de inspección y ensayo de acuerdo al IOMP-02 Procedimiento identificación y trazabilidad. (producto aprobado) Ver IOMP-03 Procedimiento producto No conforme</p> <p>Certificados de Calidad Caolines</p> <p>Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)</p>	<p>Sanitarios y lavamanos Senco MIRS</p>	<p>Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos</p>
<p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Manejo de materiales con cargador (Ver SOP IOMP-50)</p> <p>Operaciones</p> <p>Cargador</p> <p>Pilar EYE</p> <p>Personal entrenado y capacitado</p>		<p>Arenas y Macrocaolines aprobados Estado de inspección y ensayo de acuerdo al IOMP-02 Procedimiento identificación y trazabilidad. (producto Aprobado).</p> <p>Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)</p>	<p>Secadero MI MIRS</p>	<p>Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos</p>
<p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Proceso de secado (Ver SOP IOMP-31)</p> <p>Calidad</p> <p>Acuerdos Cliente - Proveedor</p> <p>Bodegas de almacenamiento arenas y macrocaolines.</p> <p>Arenas y Macrocaolines Estado de inspección y ensayo de acuerdo al IOMP-02 Procedimiento identificación y trazabilidad. (producto Aprobado)</p> <p>Operaciones</p> <p>Secadero y silos de almacenamiento</p> <p>EPM</p> <p>Gas</p> <p>EPM</p> <p>Energia</p> <p>Proceso de Sistemas de Gestion CIU SM</p> <p>CBO Manejo de materiales con cargador (Ver SOP IOMP-50)</p> <p>KAESER</p> <p>Aire</p> <p>Operaciones</p> <p>Cargador</p>		<p>Arenas y macrocaolin secos y aprobados Ver plan de calidad P QMP 09-601 (Arenas) Estado de inspección y ensayo de acuerdo al IOMP-02 Procedimiento identificación y trazabilidad. (producto aprobado) Ver IOMP-03 Procedimiento producto No conforme</p> <p>Certificados de Calidad Arenas y Macrocaolines</p> <p>Residuos (No Reciclables - Reciclables - Residuos Peligrosos - Residuos Especiales)</p>	<p>TyM OTEK Nestle MIRS</p>	<p>Indicadores SGO: Seguridad Ambiental Calidad Entregas Costos</p>

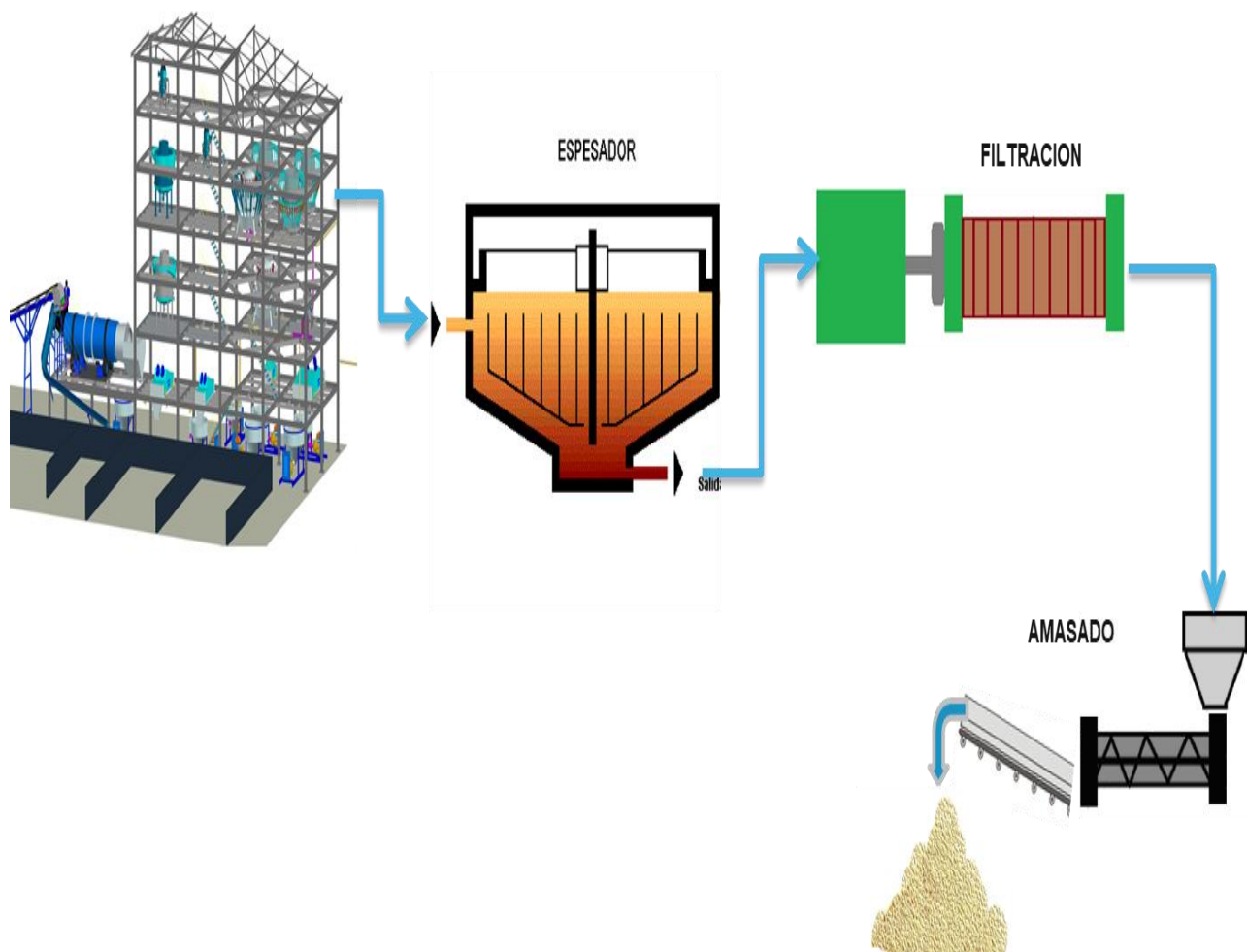
Fuente. I+D organización Corona.

Proceso del Caolín Cerámico

El Caolín AVT en suspensión almacenado en el espesador es bombeado al proceso de filtración con el fin de incrementar el porcentaje de sólidos, para este fin se realiza el proceso de filtro prensado el cual forma una galleta eliminando el agua y obteniendo una torta con un porcentaje de humedad final de máximo 34,9%, para que no afecte la calidad del siguiente proceso de amasado.

Figura 2

Proceso de Caolín Cerámico



Fuente. I+D organización Corona.

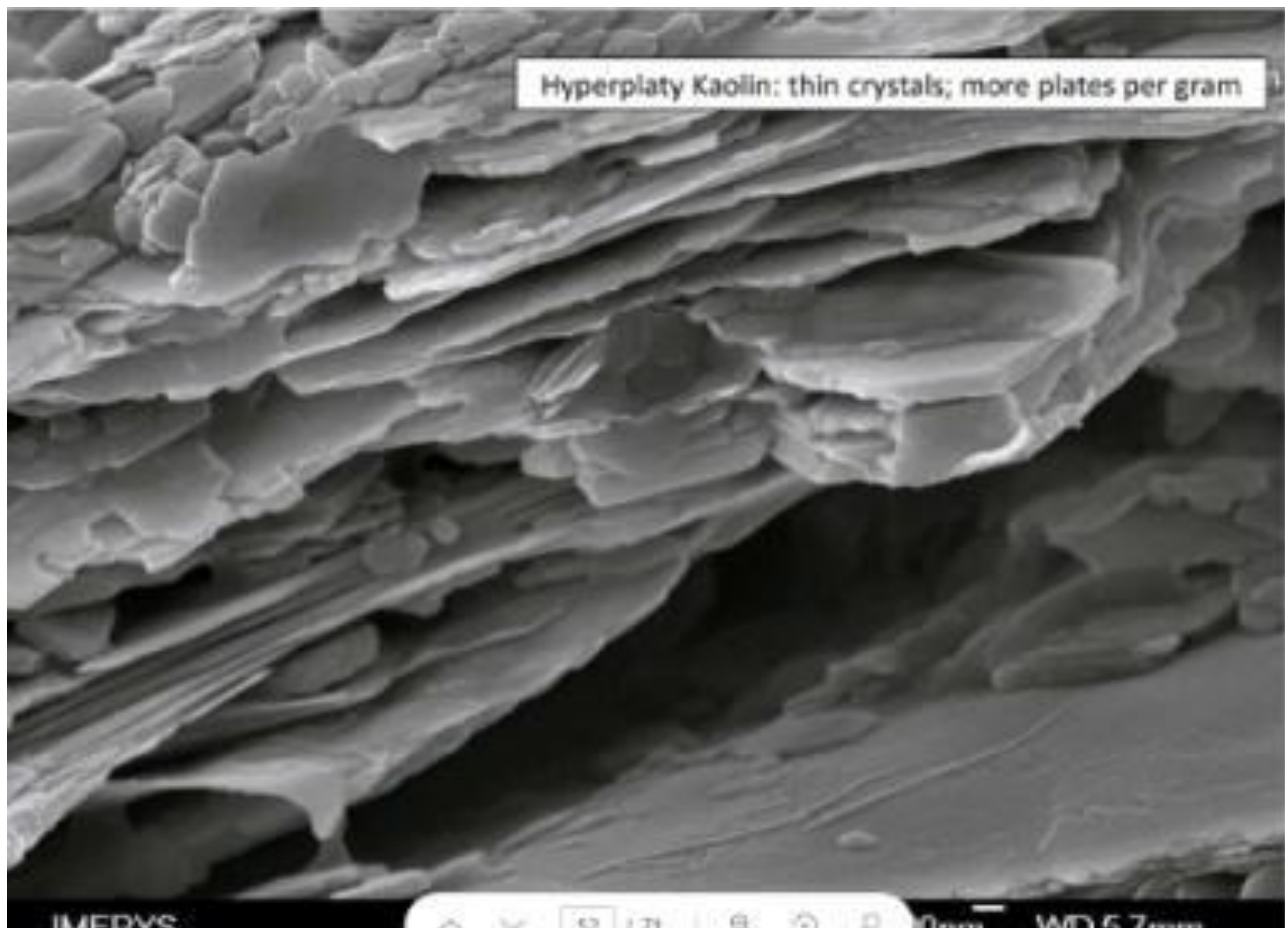
Proceso de Amasado de Caolín Cerámico

Para este proyecto nos enfocaremos en el proceso de Amasado y los cambios que sufre el caolín en su receta cerámica, para luego explicar la importancia de los equipos y componentes mecánicos en la transformación, disponibilidad, confiabilidad y la calidad de los productos, dando así una proyección y posible solución con la implementación del proyecto aplicado.

Imagen desde un microscopio del caolín en forma de galleta con un 34,9% de humedad y listo para seguir con el ciclo de amasado.

Figura 3

Caolín visto desde un microscopio



Fuente. I+D organización Corona.

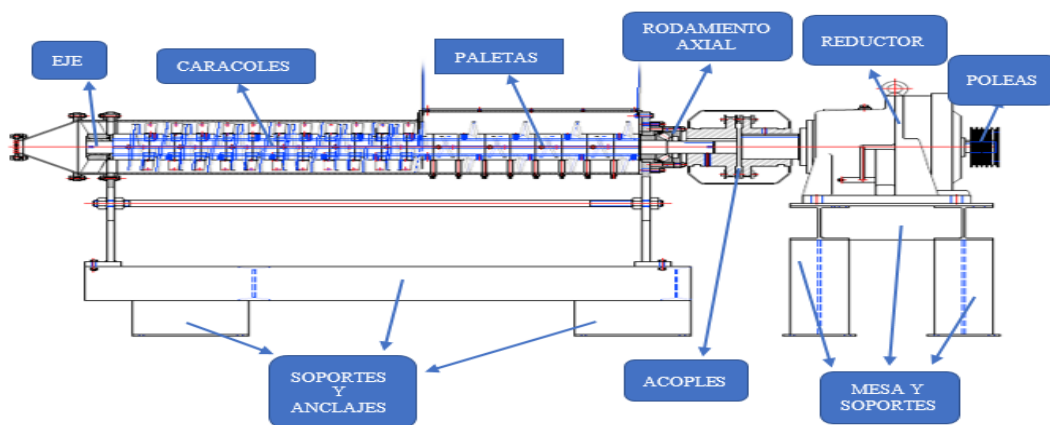
En los procesos de caolín, la materia prima debe cumplir con ciertos parámetros para que la calidad en todos los procesos y en los productos finales no se vean afectados.

La adecuación de las distribuciones granulométricas a estas materias primas debe procurar, a su vez, un máximo de porcentaje de fracciones finas, exigencia definida en las especificaciones industriales y característica favorable para el desarrollo de otras propiedades técnicas. La técnica elegida para la modificación granulométrica fue la deslaminación. El prototipo desarrollado y empleado fue un sistema de extrusión. En él, la deslaminación se realiza forzando la salida de la pasta de caolín, empujada por un «sinfín» a través de una boquilla provista de un orificio de tamaño variable. (Campillo, 1987, p.115)

De este modo, el procesamiento de materiales cerámicos empleando el método de extrusión para obtener un grado de plasticidad óptimo para la fabricación de piezas cerámicas, requiere de un alto esfuerzo mecánico llamado (amasado) que garantice que el trabajo realizado sobre el material es el necesario para que las variables físicas que se alteran permitan obtener un material estable donde sus partes y variables de desempeño no cambian permanentemente.

Figura 4

Amasadora y sus componentes de una amasadora



Fuente. I+D organización Corona.

Los componentes de estos equipos están sometidos a grandes esfuerzos mecánicos lo que con gran frecuencia ocasiona fallas asociadas a desgastes prematuros o deterioros forzados que ocasionan constantes paros al proceso productivo por la afectación de la disponibilidad mecánica y considerables costos de reparación y mantenimiento. Los equipos de mantenimiento, producción y calidad enfocarán sus conocimientos para mejorar las condiciones y controles en este proceso. Para conocer un poco más de las amasadoras, componentes y su funcionamiento, revisamos algunas aplicaciones de estos equipos en la industria.

Amasadoras en la Industria Cerámica

Las amasadoras son un equipo utilizado en la industria cerámica para mezclar materiales secos y líquidos, con el objetivo de obtener una masa homogénea que será utilizada para la fabricación de diferentes productos cerámicos como baldosas, azulejos, ladrillos, entre otros.

En la industria cerámica existen diferentes tipos de amasadoras, que se clasifican principalmente según su capacidad de producción y su sistema de mezcla. Algunas de las amasadoras más comunes en esta industria son:

Amasadoras de doble eje: Este tipo de amasadora se utiliza para la mezcla de materiales secos y líquidos de alta viscosidad. Cuenta con dos ejes horizontales que giran en direcciones opuestas, descubriendo un efecto de corte y amasado que permite obtener una masa homogénea.

Amasadoras de tipo cinta: Son equipos que mezclan los materiales mediante una cinta transportadora que los hace avanzar por un túnel mientras son mezclados por paletas o hélices.

Amasadoras planetarias: Se utilizan para la mezcla de materiales líquidos y semilíquidos, mediante la acción de una paleta o hélice que gira en torno a un eje central. Esta mezcla se realiza en un recipiente que se encuentra en el centro de la máquina.

Amasadoras de tipo Sigma: Estas amasadoras cuentan con dos ejes horizontales en forma de sigma que giran en direcciones opuestas. Se utilizan principalmente para la mezcla de materiales secos y líquidos de alta viscosidad, y permiten obtener una masa homogénea en poco tiempo.

En general, las amasadoras son equipos muy importantes en la industria cerámica, ya que permiten obtener una mezcla homogénea y uniforme de los materiales que se utilizarán para la fabricación de los productos cerámicos.

Además, su uso permite ahorrar tiempo y mejorar la eficiencia en la producción.

Rodamientos Axiales en Amasadoras

Los rodamientos axiales son componentes importantes en las amasadoras, ya que ayudan a soportar la carga axial por el proceso de extrusión. Estos rodamientos se utilizan en los extremos del eje de la extrusora para soportar la carga axial producida por la presión del material que se está extruyendo y pueden ser de diferentes tipos, como rodamientos de bolas o rodamientos de rodillos.

La elección del tipo de rodamiento axial depende de varios factores, como la carga axial que debe soportar, la velocidad de rotación del eje y la temperatura a la que se va a operar la extrusora.

En general, se recomienda utilizar rodamientos de alta calidad y diseñados específicamente para aplicaciones de extrusión, para garantizar un rendimiento óptimo y una larga vida útil.

Los rodamientos axiales se encuentran normalmente en conjuntos de dos, uno en cada extremo del eje, estos rodamientos están diseñados para soportar cargas pesadas y mantener el eje en su posición axial correcta. Además, también permite una rotación suave del eje y reduce la fricción y el desgaste en los componentes de la máquina Amasadora.

Es importante elegir el tipo correcto de rodamientos axiales para su aplicación específica. Esto incluye factores como la carga axial máxima, la velocidad de rotación y las condiciones ambientales en las que se utilizarán los rodamientos, también hay que tener en cuenta el realizar un mantenimiento regular de los rodamientos axiales de las extrusoras, como la limpieza y lubricación adecuada, para asegurarse de que estén funcionando de manera eficiente y evitar posibles fallas o desgaste prematuro y garantizar un rendimiento óptimo de la amasadora.

Rangos de Temperatura de Operación de Rodamientos Axiales

La relación entre la temperatura y la pérdida de potencia de los componentes de una aplicación es compleja, estos factores, a su vez, tienen interdependencias con muchos otros como los tamaños de rodamientos, las cargas y las condiciones de lubricación.

Influyen en muchas características de rendimiento de una aplicación y de sus piezas, y lo hacen de diversas maneras según el estado de funcionamiento, como en la puesta en marcha o durante el funcionamiento normal, una vez alcanzadas las condiciones estables.

Calcular la temperatura de funcionamiento y verificar las limitaciones de velocidad representa un aspecto crítico del análisis de una aplicación.

La temperatura tiene una gran influencia en muchas características del rendimiento de una aplicación. El flujo de calor hacia una aplicación, desde esta y dentro de esta determina la temperatura de sus piezas, la temperatura estable que alcanza cuando funciona y se encuentra en equilibrio térmico con sus elementos circundantes. La temperatura de funcionamiento es el resultado de lo siguiente:

El calor generado por el rodamiento, como resultado de la pérdida de potencia por fricción combinada del rodamiento y el sello, el cual es transferido al rodamiento a través del eje, el soporte, la base y demás elementos de su entorno.

La temperatura de funcionamiento del rodamiento depende tanto del diseño de la aplicación como de la fricción generada por el rodamiento. Por lo tanto, el rodamiento, las piezas adyacentes y la aplicación deben analizarse térmicamente en conjunto. (SKF, 2023)

La temperatura normal de un rodamiento puede variar dependiendo de factores como la velocidad de rotación, la carga aplicada, la cantidad y calidad de lubricación, el diseño del rodamiento, entre otros. En general, la temperatura de un rodamiento en operación suele estar entre 60 y 80 grados Celsius. Es importante monitorear la temperatura de los rodamientos regulares durante su funcionamiento para detectar cualquier aumento anormal de temperatura, si la temperatura excede los valores normales, se deben tomar medidas para solucionar el problema, cómo revisar el nivel y calidad de lubricación, verificar la correcta instalación del rodamiento y los componentes circundantes, o reemplazar el rodamiento si es necesario.

Es recomendable que, si la temperatura supera los 100 grados Celsius, puede haber una falla inminente en el rodamiento, lo que puede provocar daños graves y la necesidad de reemplazar el rodamiento.

Modos de Falla en Rodamientos Axiales

Cuando un rodamiento se manipula correctamente, puede ser utilizado hasta agotar su vida de fatiga, pero en ocasiones es posible que se rompa de forma imprevista debido a situaciones previsibles. Algunas de las causas de estos fallos anticipados suelen ser debido a montaje inapropiado, manipulación o lubricación incorrecta, contaminantes o calor

inusual. Para determinar las medidas preventivas es necesario estudiar la naturaleza del fallo y sus posibles causas. Es preciso conocer todas las condiciones antes y después del fallo, incluyendo la aplicación, las condiciones de funcionamiento y el entorno. (NSK, 2023)

Los daños en los rodamientos pueden producirse por muchas razones, problemas como la desalineación, el desequilibrio, el aflojamiento, la fricción y la temperatura que se transmiten a través del rodamiento, lo que a veces desemboca en una falla.

Los rodamientos suelen ser los componentes más importantes de la maquinaria, las fallas pueden provocar costosas paradas, daños a las piezas adyacentes y significativos costos de reparación. La buena noticia, sin embargo, es que cada falla deja su propia huella especial en el rodamiento. La mayoría de las veces, los signos de daño pueden ayudar a establecer la causa raíz, definir las medidas correctivas y evitar que se repita. (SKF, 2023)

En los anteriores referentes el punto que coincide en los síntomas principales que presenta un rodamiento cuando va a presentar un fallo es la temperatura, el cual es un foco importante para tener en cuenta en los tipos de fallas de los rodamientos, aparte de los otros mencionados como la manipulación e instalación del rodamiento el cual puede determinar su vida útil, las condiciones del ambiente, desalineación, fricción, vibración, lubricación entre otros.

Es importante monitorear periódicamente la temperatura del rodamiento para detectar problemas a tiempo y tomar medidas para corregirlos. También se debe seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la carga, la velocidad y la lubricación para garantizar un óptimo funcionamiento del rodamiento y evitar sobrecalentamientos, fallas o averías muy prolongadas y frecuentes.

Tipos de Lubricantes para Rodamientos

Por lo general, los rodamientos axiales de rodillos a rótula SKF pueden lubricarse con aceite o grasa que contengan aditivos para presión extrema (extreme pressure, EP).

En los casos en que se utiliza grasa, los contactos entre el extremo del rodillo y la pestaña deben lubricarse con una cantidad adecuada de grasa. Asegúrese de utilizar una grasa con elevada separación de aceite, como SKF LGWM 1, LGWM 2 o LGEP 2. (SKF, 2023)

Los rodamientos se lubrican generalmente con grasa o con aceite y, excepcionalmente, con otros lubricantes. En condiciones normales de velocidad y temperatura se elige la grasa, ya que requiere un sistema más sencillo y barato, mejor adhesión y protección contra la humedad y los contaminantes del entorno de trabajo. El aceite se emplea en condiciones en las que no es posible usar grasa, cuando es necesaria la función refrigerante o debido a requisitos de otros componentes como engranajes, obturaciones, etc. (LH, 2023)

Elegir los lubricantes para rodamientos es una decisión que no se debe tomar a la ligera. Se trata de elementos que aseguran un movimiento suave y controlado de las cargas y los pesos, una función que ‘obliga’ a seleccionar los productos indicados para su lubricación.

Los rodamientos ayudan a separar las superficies metálicas, minimizando la fricción y permitiendo la transmisión de movimiento. Para que el funcionamiento del rodamiento sea óptimo es fundamental ‘controlar este rozamiento’, de ahí la importancia de elegir lubricantes de calidad y adecuados al desempeño de estas piezas.

Hay diferentes tipos de rodamientos en función de su uso: rodamientos de agujas, para altas cargas radiales y nulas cargas axiales, rodamientos de rodillo cónicos o cilíndricos, rodamientos combinados... Todos tienen en común que la transmisión de movimientos y cargas se realiza siempre a través de elementos rodantes, dispuestos entre anillos o discos de rodadura.

Su aplicación es muy diversa y se emplean, por ejemplo, en turbinas eólicas o ejes con ruedas. Las condiciones de operación fiables y seguras y la vida útil de los rodamientos dependen, en gran medida, del mantenimiento que se realice en términos de lubricación. (Lufilsur, 2022)

La selección de una grasa de rodamiento depende del tipo de cojinete y el material de la jaula del rodamiento (metal o plástico), así como de las condiciones de uso y aplicación tales como la temperatura de aplicación, el rango de velocidad, la carga de presión y las influencias de entorno (agua, polvo o medios corrosivos).

Clase NLGI

En las grasas lubricantes, la consistencia es la característica que refleja la estabilidad de una grasa. La clasificación de las grasas según NLGI abarca los valores desde muy blando (clase 000) hasta muy resistente (clase 6). Para el uso en rodamientos son adecuadas las grasas lubricantes clase 1-4 de NLGI.

Punto de Goteo (en °C)

El punto de goteo de una grasa es la temperatura a la que se produce la licuefacción de la grasa. Se encuentra esencialmente por encima de la temperatura de aplicación recomendada, que se determina en un rodamiento no solo por la temperatura ambiente, sino también por el calor que se desarrolla en el cojinete durante el funcionamiento del rodamiento.

Valor de Cuatro Bolas

El aparato de 4 bolas VKA es un dispositivo de comprobación de lubricantes utilizados a altas presiones superficiales. Consta de una bola móvil que se desliza sobre tres bolas estacionarias. Para examinar la carga máxima admisible del lubricante, se aplica una fuerza de comprobación sobre la bola móvil. Dicha fuerza se aumenta gradualmente hasta que el calor de fricción suelda el conjunto de 4 bolas.

Valor DN

El valor DN (factor de velocidad) indica hasta qué velocidades periféricas máximas se puede utilizar una grasa lubricante en un rodamiento. Se calcula a partir de la velocidad de rodamiento, el diámetro medio del rodamiento (en mm) y un factor que tiene en cuenta la proporción de fricción de deslizamiento del tipo de rodamiento.

Valor SKF-Emcor

El método SKF-Emcor se utiliza para evaluar las propiedades de protección anticorrosión de las grasas de rodamientos. Aquí la grasa se añade al agua y en rodamientos oscilantes de bolas se examina en cuanto a corrosión con el tiempo de funcionamiento, la velocidad y algún tiempo de inactividad definidos según la norma DIN 51802. Si el resultado de la inspección visual de los anillos de prueba no indica corrosión, el grado de corrosión es 0. En caso de una corrosión extrema, el grado de corrosión es 5. (OKS, 2023)

De acuerdo con lo anterior los lubricantes son esenciales para los rodamientos porque reducen la fricción y el desgaste entre las superficies de contacto de las piezas en movimiento, lo que prolonga la vida útil de los rodamientos y reduce la necesidad de mantenimiento. Los lubricantes también ayudan a disipar el calor generado por la fricción, lo que evita el sobrecalentamiento de los rodamientos y la posible deformación o daño de las piezas.

Además, los lubricantes pueden ayudar a proteger los rodamientos de la corrosión y la oxidación, lo que puede ser especialmente importante en entornos con alta humedad o exposición a elementos corrosivos.

La selección del tipo de lubricante adecuado para un rodamiento depende de varios factores, como fabricante, las condiciones de funcionamiento, el tipo de carga, la velocidad y la temperatura

de funcionamiento, en general, existen dos tipos de lubricantes que se utilizan en los rodamientos: los lubricantes líquidos y los lubricantes sólidos.

Los lubricantes líquidos, como los aceites y las grasas, son los más comunes y se aplican a menudo mediante sistemas de lubricación centralizados, los aceites son especialmente adecuados para rodamientos de alta velocidad, mientras que las grasas se utilizan en rodamientos que operan a velocidades más bajas o en aplicaciones en las que la lubricación es difícil de aplicar de manera constante.

Por otro lado, los lubricantes sólidos, como los recubrimientos y los lubricantes sólidos en polvo, se utilizan en algunas aplicaciones específicas en las que los lubricantes líquidos pueden no ser adecuados, estos tipos de lubricantes son útiles especialmente en aplicaciones de alta temperatura o en entornos de alta carga. En cualquier caso, es importante seleccionar el lubricante adecuado para las condiciones de operación específicas del rodamiento, con el fin de garantizar un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada, es recomendable seguir las especificaciones del fabricante del rodamiento y del lubricante para obtener los mejores resultados.

Efectos de la Temperatura en los Lubricantes

Temperatura de servicio. De un conjunto de rodamientos aumenta después de la puesta en marcha y se mantiene constante si entre la producción de calor y la evacuación de este se ha establecido un equilibrio (temperatura de servicio).

Temperatura de régimen t . Puede determinarse con la ecuación del flujo calorífico QR [W] producido por el rodamiento y del flujo calorífico QL [W] emitido al ambiente, la temperatura del rodamiento depende en alto grado de las condiciones de transmisión térmica entre rodamiento, partes adyacentes y ambiente.

En el caso de lubricación por circulación, el aceite evacúa calor adicionalmente. El flujo calorífico emitido se obtiene a partir de las temperaturas de entrada t_E y de salida t_A del aceite, de la densidad ρ y del calor específico del aceite c , así como de la cantidad de aceite m [cm^3/min] que pasa por unidad de tiempo. La densidad está comprendida normalmente entre 0,86 y 0,93 kg/dm^3 ; el calor específico depende del tipo de aceite y vale entre 1,7 y 2,4 $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$.

Una base satisfactoria se obtiene cuando se determina la temperatura de régimen en una marcha de prueba y a partir de ésta se calcula el factor de refrigeración. Con este factor y en montajes con condiciones de servicio similares podrá determinarse la temperatura de servicio con suficiente aproximación de los rodamientos de distinto tipo montados y funcionando bajo solicitudes de carga y de velocidad diferentes.

Densidad relativa del flujo calorífico referida a las siguientes condiciones del rodamiento: 70 °C en el aro en reposo; 20 °C en el ambiente; sollicitación a carga entre 4 y 6 % de C_o . (FAG, 2023)

Cuando un lubricante se somete a altas temperaturas, puede experimentar cambios en su estructura molecular y física, lo que puede alterar su capacidad para reducir la fricción y el desgaste, así como para proteger las superficies metálicas de la corrosión.

Por otro lado, una temperatura demasiado baja también puede afectar negativamente el rendimiento del lubricante, ya que puede espesarlo y hacerlo menos efectivo para proteger las superficies metálicas.

En resumen, los lubricantes y su temperatura adecuada son esenciales para mantener el correcto funcionamiento de las máquinas y prolongar la vida útil de los rodamientos o componentes en los cuales se estén utilizando, lo que a su vez contribuye a la confianza y eficiencia de los equipos.

Mantenimiento Preventivo en Rodamiento

Inspección de los Rodamientos

Las rutinas de inspección de los rodamientos de la maquinaria durante el funcionamiento son importantes para prevenir fallos innecesarios. Los siguientes métodos son generalmente adoptados para inspeccionar los rodamientos.

Inspección durante el funcionamiento. Para determinar si es necesario volver a suministrar /cambiar el lubricante, debe de verificar la temperatura del rodamiento y el ruido/vibración.

Inspección de los rodamientos tras el funcionamiento. Los rodamientos deben ser cuidadosamente examinados después del funcionamiento y durante las inspecciones periódicas para detectar cualquier daño posible y se deberán de tomar medidas para prevenir la recurrencia. Es importante determinar los procedimientos de inspección y establecer intervalos de inspección regulares de acuerdo con la importancia del sistema o el equipo.

Temperatura del Rodamiento

La temperatura del rodamiento generalmente se eleva durante el arranque y se estabiliza a una temperatura un poco menor que durante el mismo (normalmente 10° a 40°C más alta que la temperatura ambiente) en un periodo de tiempo determinado. El tiempo necesario para la estabilización de la temperatura de operación dependerá del tamaño, tipo, velocidad, lubricación y las condiciones de disipación de calor alrededor del rodamiento. La estabilización de la temperatura puede variar entre 20 minutos hasta varias horas. La operación debe ser detenida y una apropiada acción correctiva debe ser llevada a cabo. Una alta temperatura en el rodamiento no es deseable en virtud de mantener una vida en servicio adecuada y prevenir el deterioro del lubricante. Una temperatura deseable en el rodamiento se sitúa generalmente por debajo de los 100°C.

Principales Causas de Alta Temperatura en los Rodamientos

- Extremadamente poco o excesivo lubricante.
- Instalación incorrecta de los rodamientos.
- Juego interno pequeño o carga extremadamente pesada.
- Elevada fricción entre el labio y la ranura de la junta.
- Tipo de lubricante inapropiado.
- Deslizamiento entre las superficies de ajuste.

Vibración del Rodamiento

El deterioro del rodamiento puede ser detectado en sus inicios midiendo la vibración de la máquina. El grado de deterioro es inferido del análisis cuantitativo de la amplitud y frecuencia de la vibración. Sin embargo, los valores medidos difieren dependiendo del punto de medición y las condiciones de operación del rodamiento. Es preferible acumular medidas y establecer criterios de evaluación para cada máquina o equipo.

Selección del Lubricante

El propósito de lubricar el rodamiento es para cubrir las superficies de rodadura con una fina película de aceite para evitar el contacto directo de metal con metal. Una lubricación efectiva de los elementos rodantes del rodamiento tiene los siguientes efectos.

- Reducir la fricción y abrasión.

- Extraer el calor generado por la fricción.
- Prolongar la vida de servicio.
- Prevenir la oxidación (corrosión).
- Mantener cuerpos extraños (o contaminación) fuera de los elementos rodantes y las pistas.

Relubricación

En la lubricación con grasa, las características de lubricación de la grasa se deterioran con las horas de operación, por lo que es necesario relubricar el rodamiento en intervalos apropiados. Los intervalos de relubricación de la grasa dependen del tipo, dimensiones y velocidad del rodamiento, y del tipo de grasa. Un diagrama de líneas que sirve como una guía de intervalos de relubricación con grasa está dado en la sección técnica del catálogo general de NTN. (NTN, 2023)

Teniendo en cuenta nuestro referente anterior el cuidado y mantenimiento preventivo de los rodamientos axiales se refiere a la atención y precaución que se debe tener para garantizar el buen funcionamiento y prolongar su vida útil.

El cuidado y mantenimiento adecuado puede evitar averías costosas, es importante tener en cuenta que el cuidado y mantenimiento no solo se refiere a reparaciones o correcciones después de que algo se rompa o se dañe.

También se refiere a la prevención y el cuidado proactivo para evitar problemas, por lo tanto, es recomendable establecer una rutina de cuidado y mantenimiento regular para este tipo de equipos y componentes.

El mantenimiento para los rodamientos axiales se debe tener en cuenta algunos factores como:

Seguir las instrucciones del fabricante: es importante leer las instrucciones y recomendaciones del fabricante para saber cómo cuidar y mantener adecuadamente los rodamientos, esto puede incluir información sobre la limpieza, el almacenamiento, las reparaciones y las piezas de repuesto.

Realizar tareas de mantenimiento periódico: es recomendable realizar tareas de mantenimiento periódico, cómo ajustar piezas, revisión de anclajes del equipo, estado de las cadenas y sistemas de transmisión, según las indicaciones del fabricante o las necesidades específicas del rodamiento.

Proteger de daños y elementos externos: es importante proteger objetos, equipos o sistemas de daños y elementos externos, como la humedad, el polvo, las temperaturas extremas, los golpes o los roces.

Realizar reparaciones y sustituciones necesarias: si se detecta algún problema o avería en un rodamiento, equipo o sistema, es recomendable repararlo o sustituirlo lo antes posible para evitar daños mayores o un mal funcionamiento. Es importante acudir a un profesional o seguir las indicaciones del fabricante para realizar reparaciones y sustituciones adecuadas.

Planes de Mantenimiento

Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos. Hay todo un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva. (Irim, 2023)

Podemos definir que un plan de mantenimiento es un documento que establece un conjunto de procedimientos y estrategias para mantener en óptimas condiciones un equipo, sistema o instalación. El objetivo principal de un plan de mantenimiento es garantizar el funcionamiento eficiente y seguro del equipo, reducir los tiempos de inactividad y minimizar los costos asociados con las reparaciones y el mantenimiento correctivo.

Un plan de mantenimiento seguirá los siguientes elementos:

- Identificación del equipo o sistema a mantener.
- Frecuencia de las inspecciones y los procedimientos de mantenimiento preventivo a realizar.
- Procedimientos de mantenimiento correctivo y reparación en caso de fallas.
- Lista de repuestos y herramientas necesarias para la ejecución del mantenimiento.
- Responsabilidades de los operarios, técnicos o personal encargado de la ejecución del mantenimiento. Registro y documentación de las inspecciones y el mantenimiento realizado.
- Programa de capacitación y entrenamiento para el personal encargado del mantenimiento.
- Revisión y actualización periódica del plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento puede variar de acuerdo con el tipo de equipo o sistema, su uso y las condiciones ambientales a las que está expuesto. Es importante contar con un plan de

mantenimiento bien diseñado y documentado para garantizar la continuidad del funcionamiento del equipo y reducir los costos asociados con las reparaciones y el mantenimiento correctivo.

Lubricación por Grasa

La cantidad de grasa a colocar en un alojamiento depende del diseño del alojamiento y del espacio libre, de las características de la grasa y de la temperatura ambiente. Por ejemplo, los rodamientos para los ejes de los cabezales de máquinas herramienta, en las que la precisión puede verse afectada por una pequeña variación en la temperatura, sólo necesitan de una pequeña cantidad de grasa. La cantidad de grasa para los rodamientos normales se determina de la forma siguiente.

Debe colocarse grasa suficiente en el interior del rodamiento incluyendo la cara guía de la jaula. El espacio libre en el interior del alojamiento que debe contener la grasa depende de la velocidad de la forma siguiente:

- 1/2 a 2/3 del espacio cuando la velocidad es inferior al 50% del límite.
- 1/3 a 1/2 del espacio cuando la velocidad es superior al 50% del límite.

El cambio de la grasa, una vez aplicada, en general no será necesario añadir más durante un largo período de tiempo; sin embargo, en condiciones de funcionamiento duras, deberá añadirse o cambiarse la grasa con frecuencia. En tales casos, el alojamiento del rodamiento debe diseñarse para facilitar el rellenado y sustitución de la grasa.

Cuando los intervalos de rellenado son cortos, deberán incluirse vías para rellenar con grasa fresca y descargar la grasa usada en los puntos adecuados. Por ejemplo, el espacio del alojamiento en la cara de suministro de grasa se puede dividir en varias secciones por medio de particiones. La grasa de las caras particionadas pasa gradualmente a través de los rodamientos y la grasa vieja se ve

forzada desde el mismo rodamiento a descargarse a través de una válvula. Si no se usa una válvula para la grasa, el espacio en el lado de descarga será mayor que en el lado particionado de manera que pueda retener la grasa vieja, de forma que se pueda vaciar la grasa vieja retirando la cubierta periódicamente.

Intervalo de Rellenado

Aunque se use grasa de alta calidad, siempre hay deterioro de sus propiedades con el tiempo; por lo tanto, se necesita de un relleno periódico. Los intervalos de relleno para varios tipos de rodamientos giran a distintas velocidades. Estas cifras se aplican sólo si la temperatura del rodamiento es inferior a 70°C; el intervalo de relleno debe reducirse a la mitad por cada 15 grados C de subida de la temperatura de los rodamientos.

Lubricación por Aceite

Lubricación por Baño de Aceite. La lubricación por baño de aceite se usa ampliamente en velocidades medias o bajas. El nivel de aceite debe estar en el centro del elemento rodante más bajo. Es aconsejable disponer de un indicador de nivel óptico de forma que se pueda controlar fácilmente el nivel de aceite.

Lubricación por Goteo de Aceite. La lubricación por goteo de aceite se usa ampliamente en pequeños rodamientos de bolas que funcionan a velocidades relativamente altas. El aceite se almacena en un depósito de aceite visible. La frecuencia de goteo se controla por medio del tornillo en la parte superior.

Lubricación por Salpicadura. Con este método de lubricación, se salpica aceite en los rodamientos mediante engranajes o un simple disco giratorio instalado cerca de los rodamientos, sin sumergir los rodamientos en aceite. Se utiliza normalmente en transmisiones de automóviles y engranajes de transmisión finales.

Lubricación por Circulación. La lubricación por circulación se utiliza normalmente para operaciones de alta velocidad que requieren el enfriamiento de los rodamientos, y para rodamientos utilizados a altas temperaturas. El aceite entra por el acceso situado en el lado derecho, pasa a través del rodamiento y sale por el acceso del lado izquierdo. Después de enfriarse en un depósito, vuelve al rodamiento a través de una bomba y un filtro. El orificio de descarga del aceite debería ser mayor que el acceso de suministro, para que no se acumule una cantidad excesiva de aceite en el alojamiento.

Lubricación por Chorro. La lubricación por chorro se utiliza a menudo para rodamientos de velocidades ultra altas, como los rodamientos de los motores a reacción con un valor dmn (dm : diámetro de paso del elemento rodante en mm; n : velocidad de rotación en rpm) superior a un millón. El aceite lubricante se pulveriza a presión desde uno o más inyectores directamente dentro del rodamiento.

El aceite lubricante se pulveriza en el anillo interior y en la cara guía de la jaula. En caso de funcionamiento a alta velocidad, el aire de alrededor del rodamiento gira con él y causa desviaciones en el chorro de aceite. La velocidad del chorro de aceite desde el inyector debería ser superior al 20% de la velocidad circunferencial de la superficie exterior del anillo interior (que también es la cara guía para la jaula).

Se puede obtener una refrigeración más uniforme y una mejor distribución de la temperatura utilizando más inyectores para una determinada cantidad de aceite. Es preferible que el aceite se descargue por la fuerza, para que se reduzca la resistencia de oxidación del lubricante y el aceite pueda reducir el calor de forma eficaz.

La lubricación por niebla de aceite pulveriza una niebla de aceite sobre el rodamiento. Este método tiene las siguientes ventajas:

- Debido a la pequeña cantidad de aceite requerida, la resistencia del aceite a la agitación es baja y se permiten velocidades superiores.
- La contaminación del entorno del rodamiento es baja porque las pérdidas de aceite son reducidas.
- Es relativamente fácil suministrar aceite fresco de forma continuada, aumentando así la vida del rodamiento. Este método de lubricación se utiliza en los rodamientos de los husillos de alta velocidad de las máquinas herramienta, en bombas de alta velocidad, en cuellos de cilindros para laminación, etc.

Utilizando el método de lubricación por aceite/aire, se descarga de forma intermitente una cantidad muy pequeña de aceite mediante un pistón de cantidad constante en un tubo que conduce un flujo constante de aire comprimido. El aceite fluye por la pared del tubo y se acerca a un flujo constante.

Las principales ventajas de la lubricación por aceite/aire son:

- Se suministra la cantidad mínima necesaria de aceite, por lo que este método resulta adecuado para altas velocidades porque se genera menos calor.
- Se suministra de forma continua la cantidad mínima de aceite, por lo que la temperatura del rodamiento permanece estable. Además, y debido a la pequeña cantidad de aceite, prácticamente no existe contaminación atmosférica.
- Sólo se suministra aceite fresco a los rodamientos, por lo que no debe tenerse en cuenta el deterioro del aceite.

- Siempre se suministra aire comprimido a los rodamientos, por lo que la presión interna es elevada y evita que, entre polvo, fluido de corte, etc. (Rodamientos.pe., 2023)
- Es importante seleccionar el lubricante adecuado para la aplicación y las condiciones de operación específicas, teniendo en cuenta la temperatura a la que estará expuesta. Además, se deben seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a los límites de temperatura y los intervalos de cambio de aceite o tiempos de lubricación porque estos determinan el tiempo de vida útil de los rodamientos y componentes a lubricar.

Metodología

Con el objetivo de controlar el número de averías en los rodamientos axiales del proceso de amasado, se llevó a cabo la identificación y análisis de las variables influyentes en el aumento de la temperatura de los rodamientos y posterior falla tales como el esfuerzo mecánico, la falta de lubricación, la sobrecarga y la vibración como las más relevantes en las causas de avería.

Fase Experimental

Durante la fase experimental se realiza el análisis del efecto de las variables asociadas a la variación de temperatura a través de la revisión documental histórica en el proceso, como lo son análisis de avería e indicadores de eficiencia del proceso de amasado, los cuales son utilizados como insumo para la investigación y planteamiento de estrategias de mejoramiento a través del mantenimiento preventivo y predictivo.

Como estrategia aplicativa relevante en el mejoramiento del desempeño de los rodamientos axiales y la estabilidad de su temperatura normal de operación, se evaluó las características de los lubricantes y estableció una frecuencia de lubricación basada en horas de funcionamiento que además incluyen actividades de inspección visual y limpieza regular en las cuales es posible identificar algunos modos de falla en los rodamientos axiales previo a la ocurrencia de averías.

También se realizó el mejoramiento de los anclajes de las bases de los equipos con el fin de mitigar los efectos de la vibración y la generación de esfuerzos por desalineación.

La identificación de una temperatura superior a 60°C en los rodamientos axiales que presentaron fallas con destrucción de sus componentes implicó un tiempo de intervención mucho mayor por la adherencia entre los elementos del mecanismo, lo cual fue determinante en la

programación de paro del equipo y generación de alertas oportunas a los 55°C, previniendo así la destrucción de los componentes del rodamiento.

Se llevó un registro detallado de las actividades de mantenimiento, los datos de rendimiento y las averías ocurridas. Esto permitió identificar patrones, analizar tendencias y tomar decisiones para mejorar el desempeño y control de las averías en los rodamientos axiales.

En base retrospectiva de la recolección y análisis de datos estadísticos, gráficos de tendencia y análisis de fallos, se determinó con qué frecuencia ocurrían las averías y qué factores debían abordarse para reducirlas y disminuir sus tiempos.

Enfoque

De acuerdo con el análisis cuantitativo de la documentación y la observación realizada en campo se llegó a la conclusión que los valores de temperatura de los rodamientos axiales se encuentran en rango de operación normal entre los 40°C y 45°C considerando esta variación como un factor fundamental para el buen funcionamiento de las amasadoras por debajo de los 55°C.

Por lo tanto, se implementaron sistemas de monitoreo en tiempo real utilizando sondas de censado de temperatura, con lectura desde un sistema SCADA, para monitorear este factor e identificar de manera oportuna el aumento de temperatura y tomar acciones previo a la falla de los componentes, y disminuyendo los tiempos de reparación.

La administración de las alarmas por temperatura de los rodamientos axiales del proceso de amasado a través de la nube se convirtió en una herramienta de la industria 4.0, que resultó ser una excelente alternativa para el registro y control de otras variables críticas en los procesos industriales, con el fin de optimizarlos.

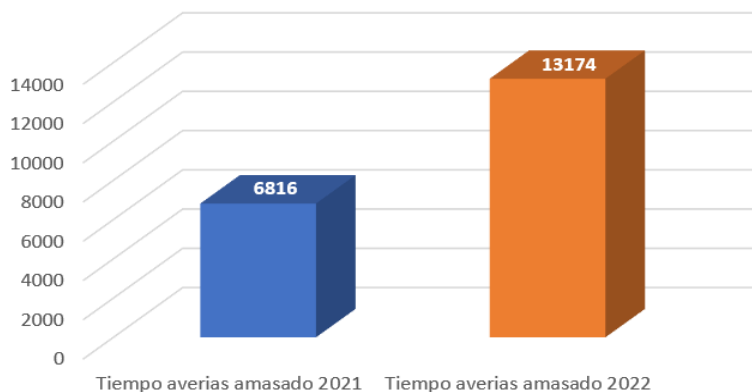
Resultados

Etapa de Análisis

El aumento en los tiempos de intervención en 2022 representa un aumento del 53% en comparación con el año anterior.

Figura 5

Tiempo de averías del proceso de amasado en 2021 respecto a tiempo de averías en el proceso de amasado en 2022



Fuente. Planes de mantenimiento planta.

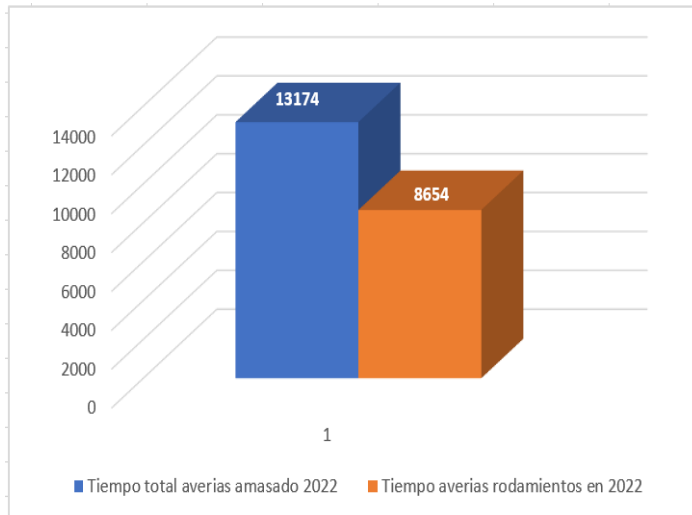
En la totalidad de las averías que se presentaron en 2022 en rodamientos axiales se pudo evidenciar un aumento la temperatura de operación por encima de 60°C, lo que ocasiona la degradación de las características químicas del lubricante, llevando el componente a su falla estructural, por lo que consideramos la temperatura de operación como una variable crítica en el desempeño y vida útil de este componente.

En el año 2022 se presenta en el proceso de amasado un total de 26 averías que representaron un tiempo de parada equivalente a 13174 minutos, de las cuales 9 averías estuvieron asociadas a falla de rodamientos axiales 29417K con paros en equivalentes a de 8654 minutos por

intervenciones en reparación, lo que representa un 66% del tiempo total de averías.

Figura 6

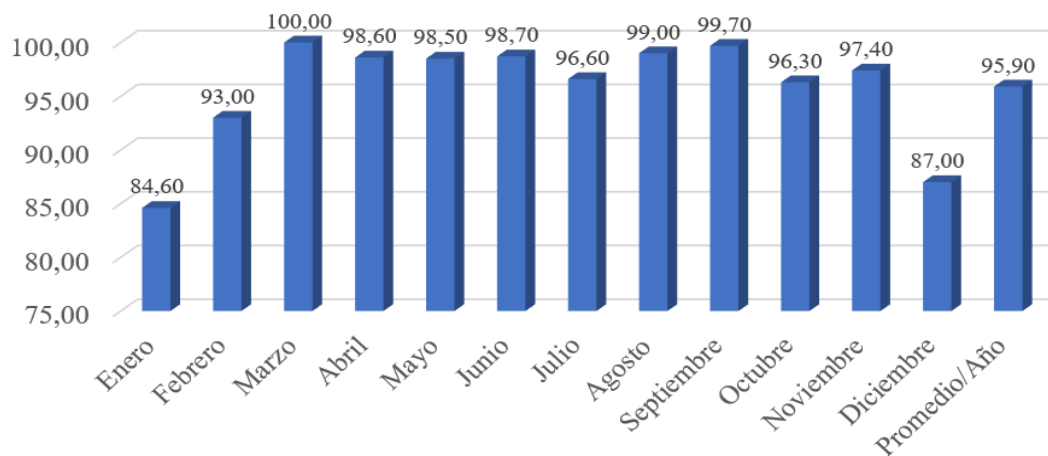
Tiempo de averías del proceso de amasado en 2021 por rodamientos axiales respecto a tiempo de averías en el proceso de amasado en 2022 por rodamientos axiales



Fuente. Planes de mantenimiento planta.

Figura 7

Disponibilidad mecánica de amasado 2022



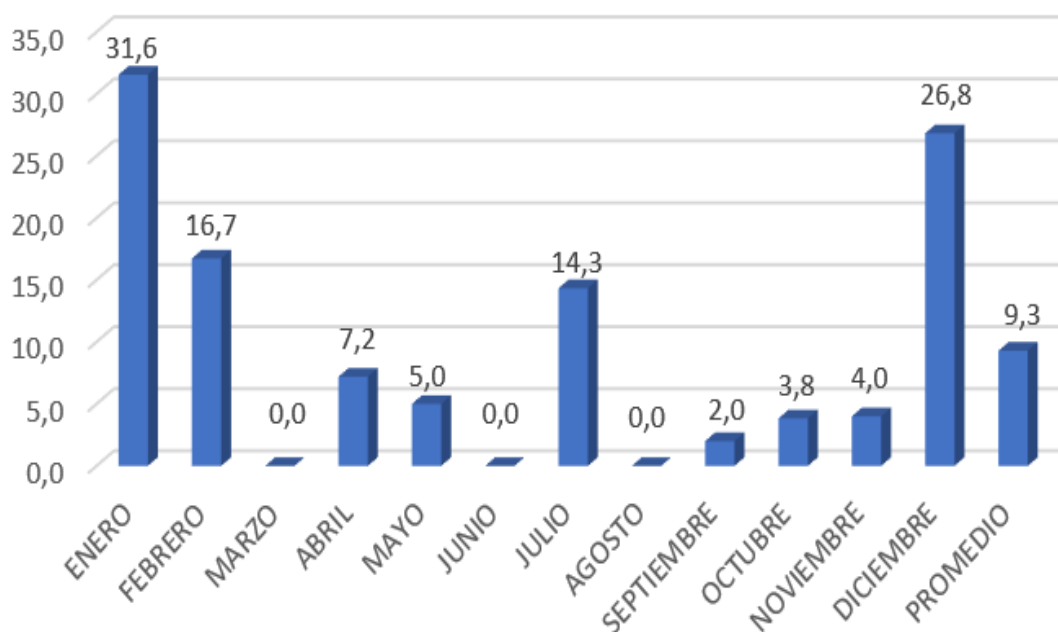
Fuente. Planes de mantenimiento planta.

Las averías que se presentaron en 2022 relacionadas con fallas de rodamiento axial representan un 26% del número total de averías del proceso de amasado y el 66% de los tiempos de reparaciones, generando una afectación de la disponibilidad mecánica de 4,1% en promedio.

El tiempo medio de reparaciones del proceso de amasado fue de 9.3 horas en 2022.

Figura 8

Disponibilidad mecánica de amasado 2022



Fuente. Propia

Estrategia de Mantenimiento en el Proceso de Amasado en 2022

Los planes de mantenimiento de estos equipos se administran desde programación a través del software SAP por medio de la estrategia PBM o mantenimiento basado en desempeño, donde las actividades preventivas se realizan cada cierto número de horas trabajadas, las cuales determinan cuál de las líneas planeadas en la hoja de ruta creada en el sistema se debe ejecutar.

Figura 9

Hoja de ruta para los planes de mantenimiento de las amasadoras

GrHRuta HR-E.AMA HOJA RUTA MTO PREVENTIVO AMASADORAS SM10 ContGrpoHR 1

Resumen general operación

Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T. Trabajo	Un. Nº	Dur.	Un. C %	DistTrbInt	Fac	CIAct
0010		TEC-ME07	SM10	PM01	MANTENIMIENTO PREVENTIVO AMASADORA	✓ 300	MIN	300	MIN		1	ZP05
0030		TEC-ME07	SM10	PM01	VERIFICAR TRANSMISION AMASADORA	✓ 60	MIN	60	MIN		1	ZP05
0040		TEC-ME07	SM10	PM01	VERIFICAR SISTEMA DE EXTRUSION AMASADO...	✓ 480	MIN	480	MIN		1	ZP05
0050		TEC-ME07	SM10	PM01	MEGUEAR EL MOTOR	✓ 60	MIN	60	MIN		1	ZP05
0060		TEC-ME07	SM10	PM01	MEDIR EL RENDIMIENTO DE LA AMASADORA	✓ 240	MIN	240	MIN		1	ZP05
0080		TEC-ME07	SM10	PM01	RECOLECCION MUESTRA ACEITE	✓ 60	MIN	60	MIN		1	ZP05
0090		TEC-ME07	SM10	PM01	MEDICION ESPESOR CARACOLES	✓ 300	MIN	300	MIN		1	ZP05
0100		TEC-ME07	SM10	PM01	LUBRICACION RODAMIENTO AXIAL	✓ 30	MIN	30	MIN		1	ZP05

Fuente. Planes de mantenimiento planta.

Para el caso de la lubricación de los rodamientos axiales, está establecida la posición #0100 en SAP y estándar de máquina en los cual se describe el procedimiento para la lubricación de este componente.

Durante el año 2022, se llevó a cabo el procedimiento de lubricación con una frecuencia de 450 horas utilizando grasa a base de litio. Este método de lubricación se basa en la aplicación de una grasa con propiedades lubricantes que contienen litio, lo que proporciona una mayor resistencia a la fricción y la corrosión, el uso de la grasa a base de litio puede mejorar significativamente la eficiencia y durabilidad del sistema de lubricación en comparación con otros tipos de lubricantes.

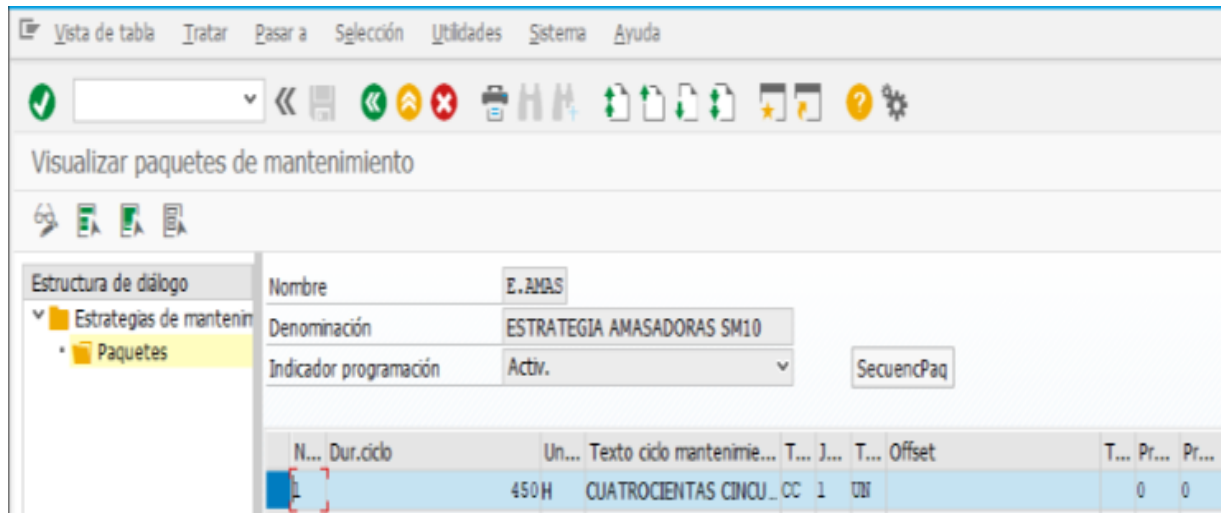
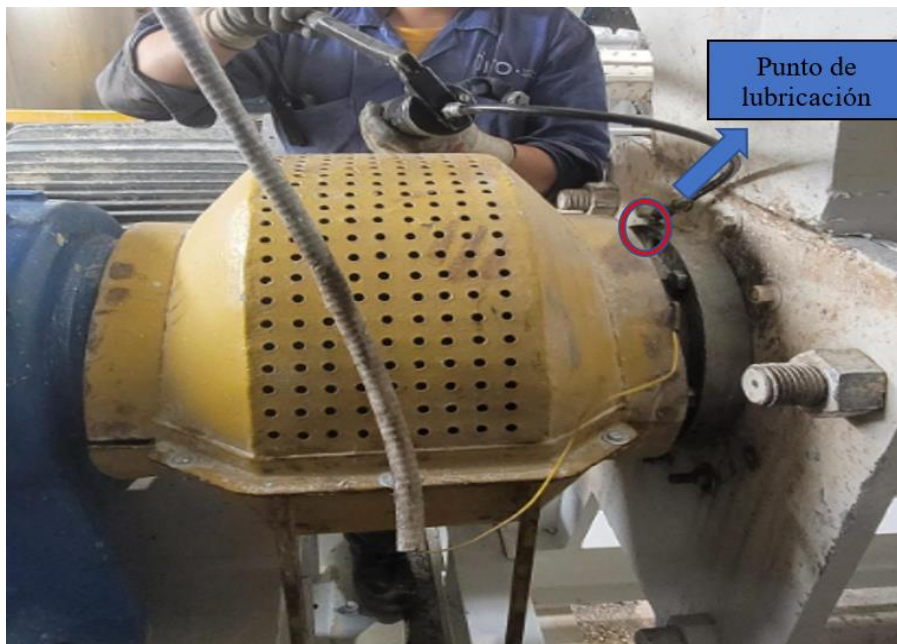
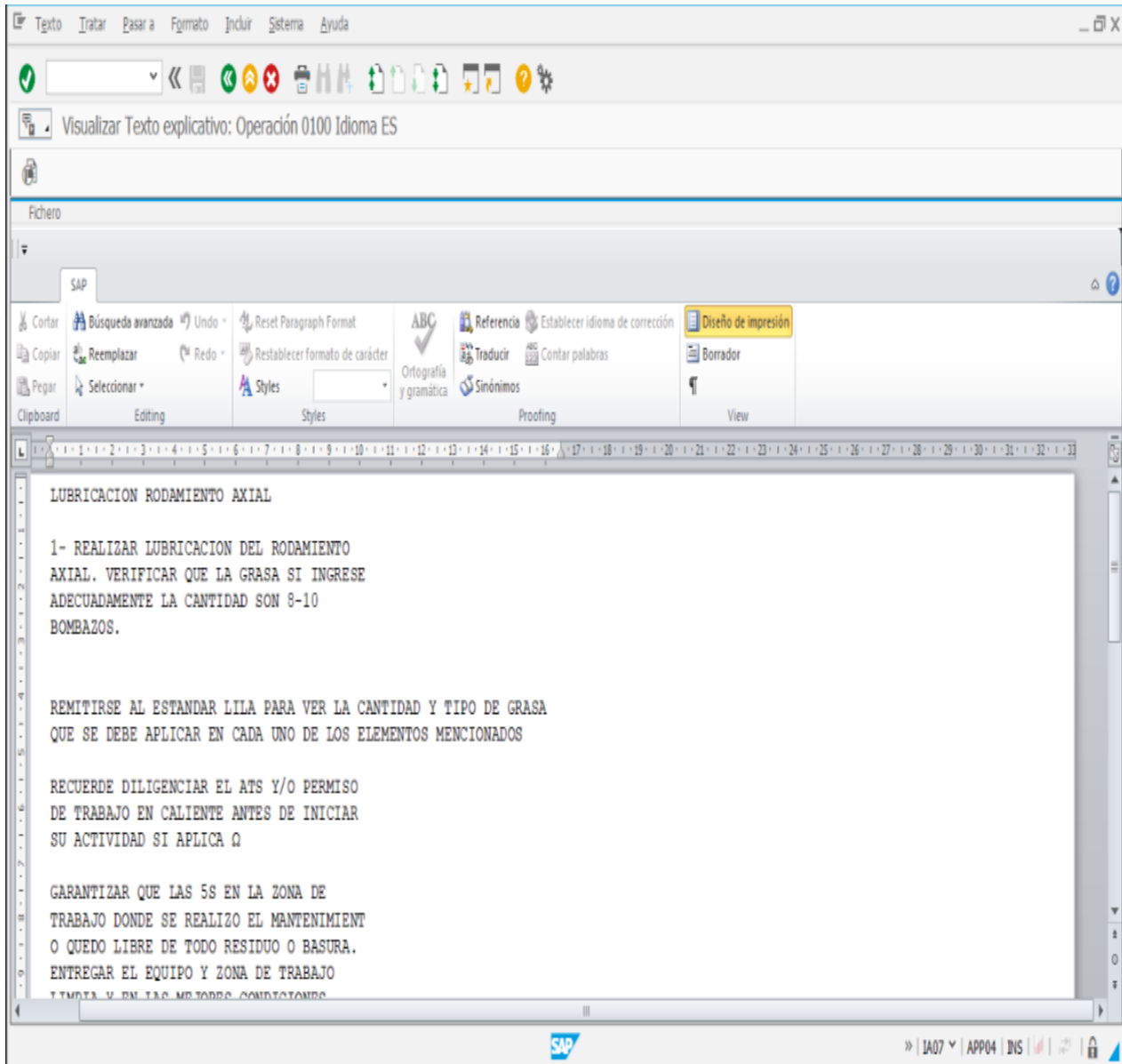
Figura 10*Plan de lubricación**Fuente. Planes de mantenimiento planta.***Figura 11***Punto de lubricación de rodamiento axial**Fuente. Propia*

Figura 12*Descripción de los planes de mantenimiento*

Fuente. Planes de mantenimiento planta.

Cada hoja de ruta dentro del plan de mantenimiento de las amasadoras tiene de forma detallada las actividades a realizar en cada orden de trabajo.

Análisis de Avería en Rodamiento Axial de Febrero de 2023

Figura 13

Formato de análisis de avería por temperatura alta en rodamiento axial

Código	N/A		Registro de actividades para mantenimiento de emergencia tipo avería			Registro No. 01
Vigente desde:	N/A					Firma/ Sello (Responsable)
Hora de parada del equipo	Año	Mes	Día	Hora (Formato 24 horas)	Tiempo total de parada (Especificar en minutos el tiempo de pérdida de disponibilidad del objeto técnico)	N/A
		2023	Febrero	7		
Hora de arranque del equipo del equipo	Año	Mes	Día	Hora (Formato 24 Horas)	28:20 Min	N/A
		2023	Febrero	9		
Descripción del problema	Amasadora # 2 frena el rodamiento axial					
	Durante la producción de caolín AVT turno 1					
	Registra alta temperatura					
	El rodamiento axial evidencia alta y sus componentes se encuentran destruidos por deficiencia de lubricación durante su operación.					
Acción inmediata para solucionar la avería (Haga una descripción secuencial de las operaciones, incluyendo la hora de inicio y fin de cada una. Tenga en cuenta el manejo del formato de 24 horas)	Hora Inicio	Hora Fin	Descripción de operaciones			
	6:00	7:00	Se realiza la inspección del equipo y se detecta alta temperatura en el rodamiento axial.			
	7:00	8:00	Se procede a realizar el desarme de la caja porta rodamiento, encontrando deficiencia en <u>los componentes del lubricante</u> .			
	8:00	10:00	Se revisa el estado del rodamiento axial, encontrando sus componentes deteriorados, <u>desarmados y con una temperatura muy elevada</u> .			
	10:00	12:00	Se retiran todos los componentes afectados y se procede a cambiarlos.			
	14:00	22:00	Se realiza el cambio del rodamiento del equipo para posteriormente ponerlo en marcha.			
Clasificación del potencial de la avería	Det. Natural () Det. Forzado (X) Sobrecarga () Pto. débil de diseño () Error humano ()					
Acción para prevenir la recurrencia (eliminar la causa raíz) (Haga una descripción de las actividades de carácter proactivo que se pueden realizar para evitar la recurrencia)	Se instalan sensores de temperatura a los rodamientos axiales para monitorearlos.					
	Se actualizaron planes de mantenimiento incluyendo inspección de bujes de bronce					
	Se modifica frecuencia de lubricación					
Repuestos	Servicios			Síntomas		
1. Rodamiento Axial	1. Programación de pantalla PLC y sistema SCADA para incluir lectura de temperatura en rodamientos para monitoreo de temperaturas de los rodamientos Axiales en las			() 010 Afecta el medio ambiente		
2. Sensor de temperatura	2. Cableado de sensores de temperatura desde los rodamientos hasta el gabinete eléctrico.			(X) 020 Componente desajustado		
3. Lubricante	3.			(X) 030 Componente de lubricación		
4.	4.			() Componente sucio		
5.	5.			() Condición insegura		
				() Daño eléctrico		
				(X) Daño mecánico		
				() Falta el componente		
				() Genera un problema de calidad		
				(X) Requiere cambio de componente		
Análisis 5 w - 1h y por qué - por qué						
5- Porque	¿Por qué? (Búsqueda de hechos)			Respuesta		
Porque-1	¿Por que la amasadora # 2 frena el rodamiento?			Porque el rodamiento sus componentes fueron destruidos		
Porque-2	¿Porque los componentes del rodamiento axial fueron destruidos?			Porque el rodamiento fue sometido a grandes esfuerzos mecánicos		
Porque-3	¿Porque el rodamiento fue sometido a grandes esfuerzos mecánicos?			Porque se presenta exceso de fricción		
Porque-4	¿Porque se presenta exceso de fricción?			Porque el lubricante pierde sus características		
Porque-5	¿Porque el lubricante pierde sus características?			Porque hubo aumento de temperatura		
Porque-4	¿Porque hubo aumento de temperatura?			Por desalineación del eje		
Porque-5	¿Por desalineación del eje?			Por desgaste en buje de bronce delantero		

Fuente. Formatos sistema de gestión de planta.

En el análisis realizado a los componentes afectados se pudo evidenciar en el rodamiento afectado, que presenta evidencia de herrumbre, la cual se asocia a de excesos de fricción o deficiencia de lubricación, además de marcas de adhesión o desgaste adhesivo que por lo general obedece a sobrecargas o esfuerzos puntuales en los componentes de acero.

Figura 14

Desgaste de un rodamiento axial



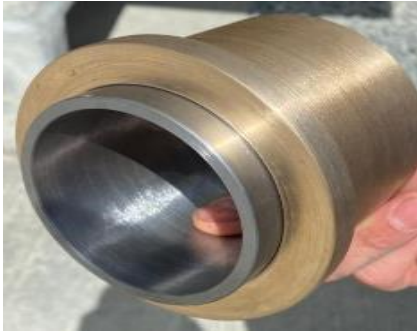
Fuente. Propia

Una vez descartados los ajustes en las diferentes partes del mecanismo, tales como eje y caja porta rodamientos, se procede a verificar el buje frontal, el cual cumple función de dar soporte al eje y de igual manera permite el giro entre los casquillos como componente de rodadura y

desgaste, ya que al tratarse un elemento de bronce reduce la fricción entre los metales y actual como elemento de sacrificio.

Figura 15

Buje para amasadoras en estado óptimo



Fuente. Propia

Figura 16

Estados de buje para amasadoras con desgaste



Fuente. Propia

El buje frontal presenta una diferencia en su diámetro exterior una diferencia de aproximadamente 4mm, lo que genera un efecto de movimiento excéntrico del eje desde la parte frontal.

Figura 17

Medidas del centro del buje en condiciones óptimas



Fuente. Propia

Figura 18

Medidas de buje central en condiciones de desgaste



Fuente. Propia

Este efecto de desalineación del eje se transmite directamente al rodamiento como esfuerzo puntual en sus componentes elevando la temperatura de estos y afectando el desempeño del lubricante, lo que ocasiona su deterioro por fricción, como lo evidencia la figura 14.

Como variable asociada al modo de falla se consideró el exceso de vibración, por lo que se realizó la respectiva medición donde se observan niveles de hasta 15.3 mm/s pico, que son

asociados a deficiencia en el anclaje de la estructura de la mesa que soporta el motor, el reductor ya transmisión.

Figura 19

Anclajes de las mesas de las amasadoras



Fuente. Propia

Como acción de mejoramiento se realizó el cambio de las placas de fijación a piso de 3/8” que soportaban las patas de forma individual por placas de acero completas 1/2” con pernos expansivos de 7/8”x7”, a las cuales se fijan las patas de soporte de la mesa a través de soldadura, garantizando el adecuado y nivel anclaje en cada una de ellas con el fin de garantizar la correcta altura y alineación del acople.

Figura 20

Anclaje de mesas de amasadoras después del mejoramiento al sistema de anclaje a piso



Fuente. Propia

Como punto de concentración de vibración se identificó la transmisibilidad desde el conjunto motor y reductor por desalineación evidenciada en acople del mecanismo, también se descarta soldura o desajuste mecánico respecto al eje central.

Figura 21

Acoples nuevos de cadena para reductor y eje de la amasadora garantizando la correcta alineación de la transmisión del equipo



Fuente. Propia

Los acoples presentan un excesivo desgaste, que se evidencia en la geometría de la corona del piñón siendo un factor influyente en las condiciones de vibración identificadas, por lo que se considera su inspección dentro de las actividades planeadas de mantenimiento.

Figura 22

Desgaste de los acoples



Fuente. Propia

Figura 23

Acoples en condición óptima



Fuente. Propia

Etapa de Control

Inicialmente se realiza la instrumentación de la variable temperatura en rodamientos axiales por medio de la instalación de una termocupla de tipo tornillo en la caja porta rodamiento, cuya señal es llevada al PLC con visualización en pantalla para monitoreo de la variable de temperatura.

Figura 24

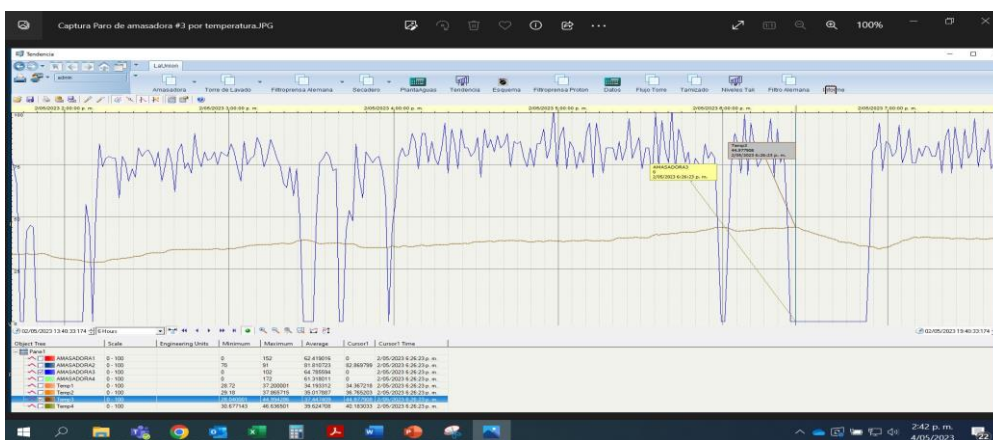
Punto de instalación de Instrumento para lectura de temperatura del rodamiento axial



Fuente. Propia

Figura 25

Lectura en grados centígrados del sensor de temperatura

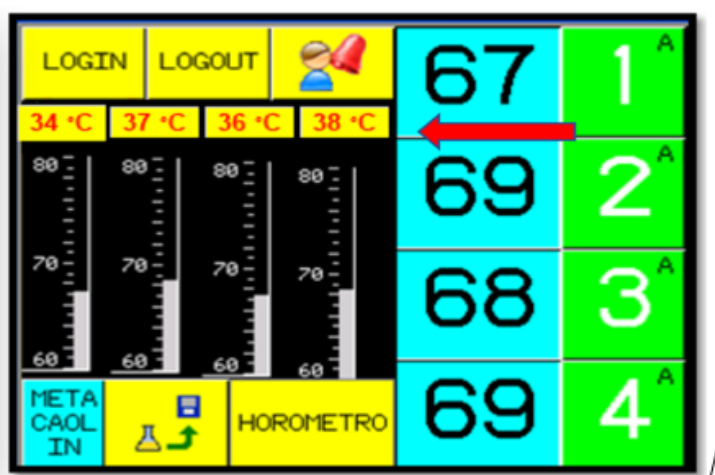


Fuente. Propia

Se instala termocupla en la caja porta rodamiento que censa la temperatura de forma continua y cuya señal llega a través de cable de comunicación hasta es sistema SCADA del proceso de amasado donde se captura la información de cada una de las amasadoras con una frecuencia de 1 segundo.

Figura 26

Lectura en grados centígrados del sensor de temperatura



Fuente. Propia

En la pantalla de control del proceso de amasado se incluye la indicación de la temperatura real del rodamiento de forma continua para cada una de las amasadoras.

Al analizar los datos de los valores de temperatura registrados durante el mes de marzo de 2023, se determina que la temperatura máxima de operación se promedia en 38°C con una humedad del material de entrada del 34.6%, lo que sería una condición ideal para la operación.

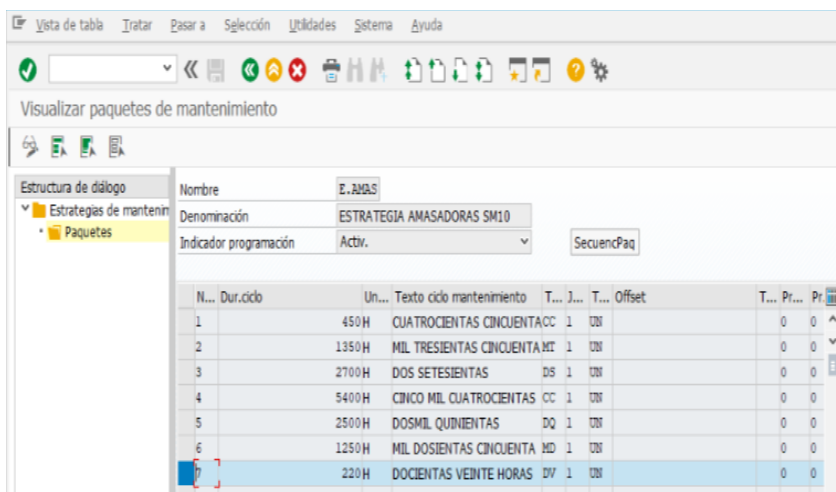
Se realizó la programación de paro del equipo por protección térmica a los 45°C logrando así la intervenir el equipo antes de que rodamiento entrará en modo de falla, disminuyendo así el tiempo y costo de la intervención.

Acciones de prevención desde planes de mantenimiento.

Los planes de mantenimiento se actualizaron con la inclusión de actividades de inspección de los componentes identificados como influyentes en los modos de falla del rodamiento tales como la frecuencia de lubricación que pasó de 450 a 220 horas.

Figura 27

Modificación de planes de mantenimiento, incluyendo la revisión de los bujes y casquillos delanteros



N...	Dur.ciclo	Un...	Texto ciclo mantenimiento	T...	J...	T...	Offset	T...	Pr...	Pr...
1	450 H		CUATROCIENTAS CINCUENTA	ACC	1	0	0		0	0
2	1350 H		MIL TRESIENTAS CINCUENTA	MT	1	0	0		0	0
3	2700 H		DOS SETESIENTAS	DS	1	0	0		0	0
4	5400 H		CINCO MIL CUATROCIENTAS	CC	1	0	0		0	0
5	2500 H		DOSMIL QUINIENTAS	DQ	1	0	0		0	0
6	1250 H		MIL DOSIENTAS CINCUENTA	MD	1	0	0		0	0
7	220 H		DOCIENTAS VEINTE HORAS	DV	1	0	0		0	0

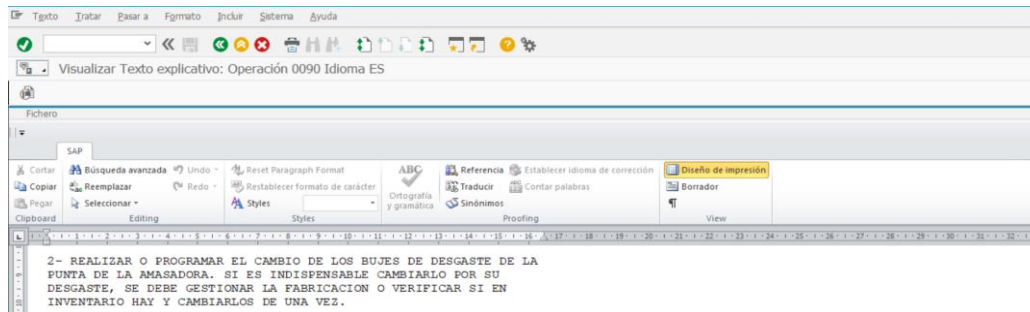
Fuente. Propia

En las actividades incluidas en el plan de mantenimiento se realizó la inclusión de la rutina de inspección del estado del buje o casquillo frontal, con una tolerancia de máximo 2mm de desgaste respecto al diámetro del buje protector del eje principal.

Ajuste en el inventario la categorización del buje frontal como material crítico en el almacén de repuestos, garantizando la existencia mínima de 1 buje frontal como repuesto.

Figura 28

Modificación de planes de mantenimiento e inclusión de análisis de vibraciones

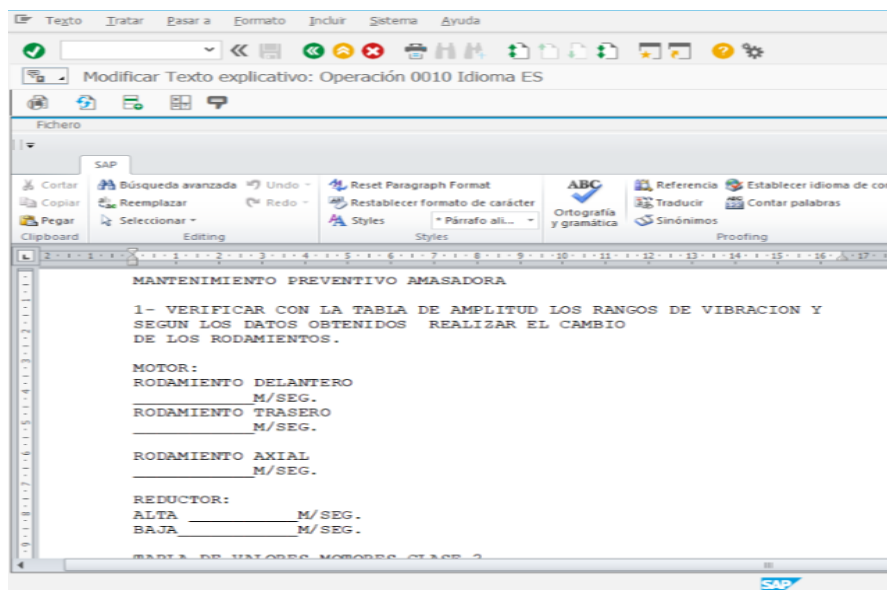


Fuente. Propia

Se define en la estrategia de plan de mantenimiento la vibración como variable influyente, por lo que incluyó en las actividades de la rutina planeada de mantenimiento la medición de vibraciones en diferentes puntos del equipo que son susceptibles a su variación tales como rodamientos de motor, rodamientos del reductor y rodamiento axial.

Figura 29

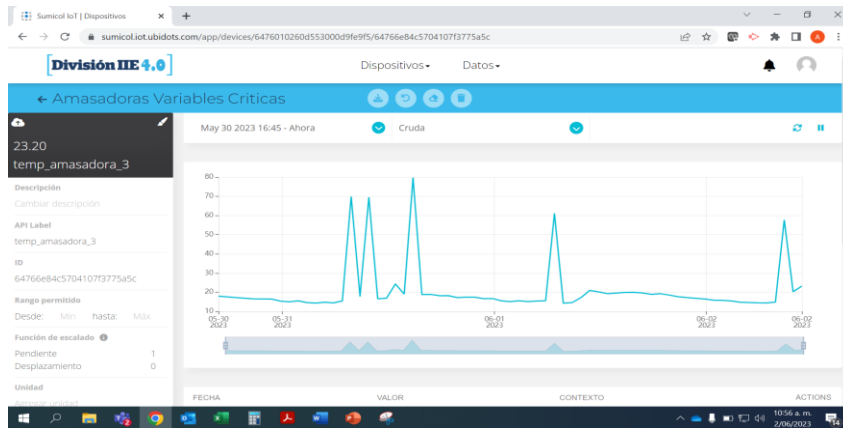
Mantenimiento preventivo arrojado por el SAP



Fuente. Propia

Figura 30

Monitoreo en tiempo real desde la nube



Fuente. Propia

Histórico de temperatura en rodamientos axiales de las amasadoras que permiten identificar la tendencia de la variable y eventos de aumento de temperatura.

Figura 31

Alerta de temperatura alta, enviada a correo electrónico

temp_amasadora_3 alerta!



no-reply@iot-notifications.com

Para ● Wilfer Andres Restrepo Muñoz

i Mensaje reenviado el 2/06/2023 9:26 a. m..

Hola, temp_amasadora_3 fue 57.72 a las 2023-06-02 08:47:11 -0500.

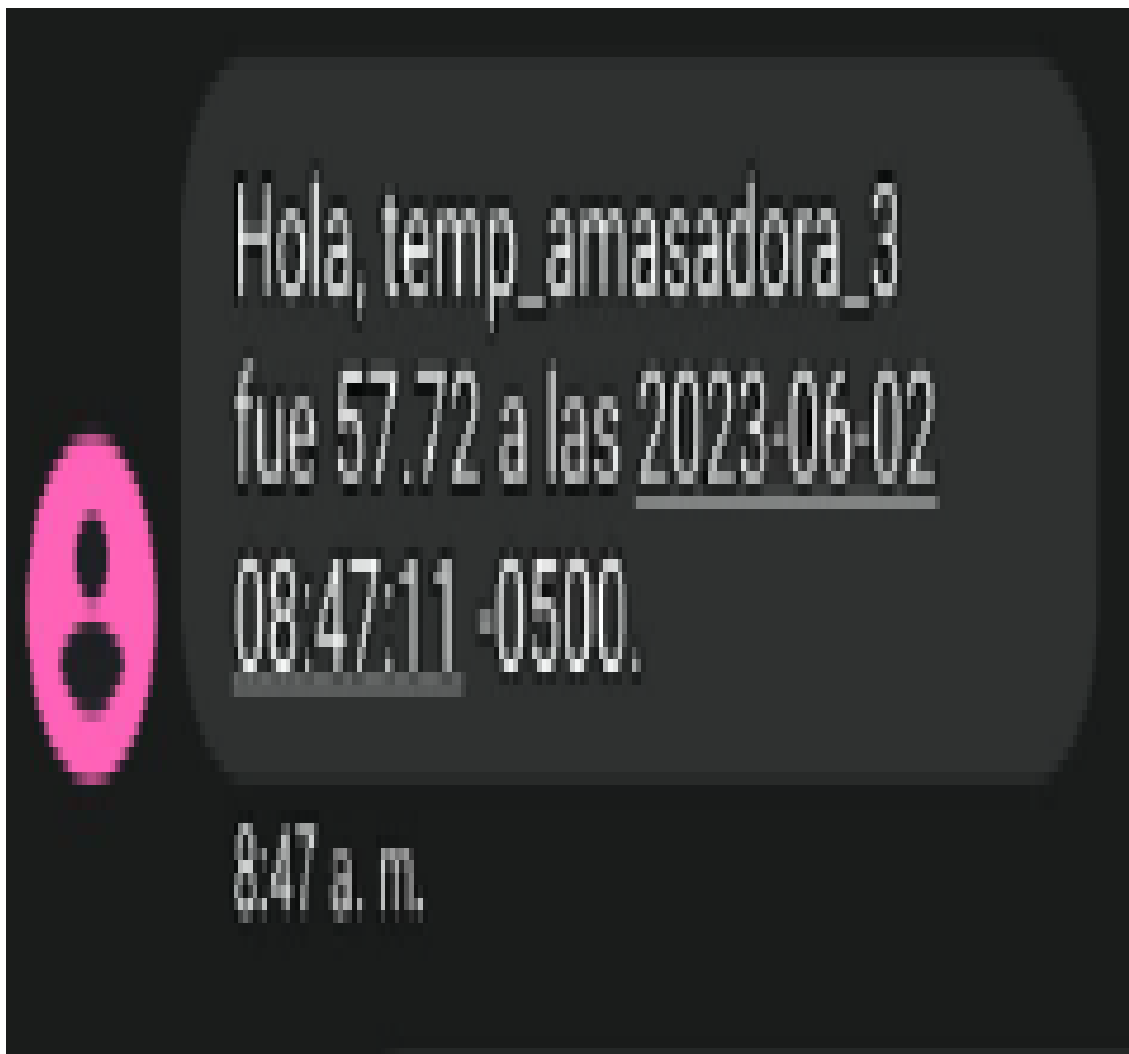
Fuente. Propia

Correo de alarma de evento de aumento de temperatura en rodamiento axial de amasadora 3 igual o superior a 55°C.

El sistema de monitoreo genera alarmas vía correo electrónico y mensaje de texto vía celular cuando la temperatura de los rodamientos axiales iguala o sobrepasa los 55°C, lo que permite al equipo de mantenimiento intervenir el equipo de forma oportuna sin que se afecte el rodamiento.

Figura 32

Mensaje de texto vía telefonía celular de alarma de evento de aumento de temperatura en rodamiento axial de amasadora 3 igual o superior a 55°C

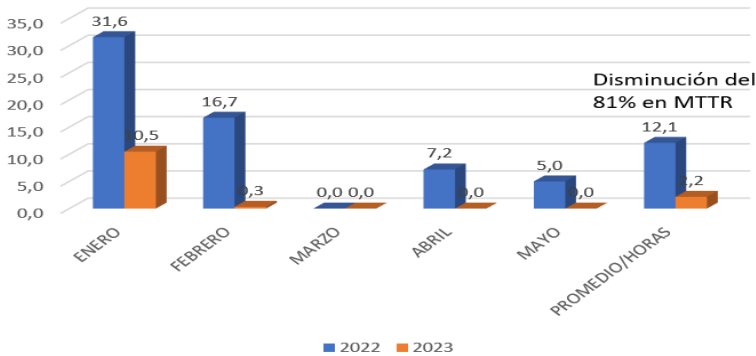


Fuente. Propia

Resultado de las Acciones Implementadas a Mayo de 2023

Figura 33

MTTR proceso de amasado Mayo de 2022 respecto a Mayo de 2023

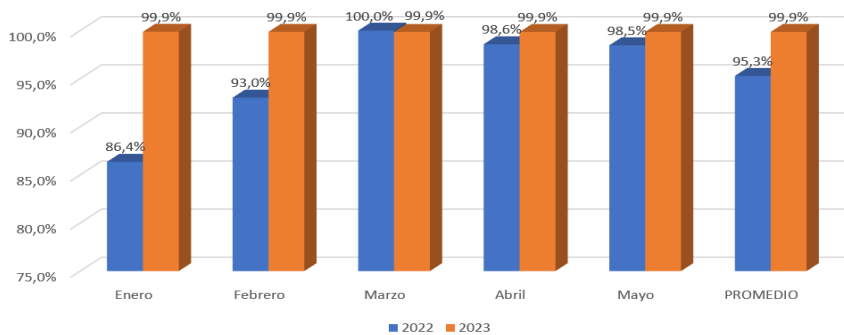


Fuente. Propia

Para mayo de 2023 se evidencia una reducción del MTTR en el proceso de amasado del 81% tomando como referencia el mismo periodo en 2022 como comparativo por la similitud en la demanda del proceso y la estabilidad productiva en estos periodos.

Figura 34

Disponibilidad mecánica proceso de amasado a Mayo de 2023 respecto a Mayo de 2022



Fuente. Propia

Para el mes de mayo de 2023, se evidencia en el proceso de amasado un aumento de 4,7% en la disponibilidad mecánica en comparación al mismo periodo en 2022.

Conclusiones

El monitoreo en línea de la de la temperatura de los rodamientos axiales del proceso de amasado permitió disminuir en un 81% el tiempo de reparaciones (MTTR) al mes de mayo de 2023 en comparación al mismo periodo en 2022, dado que las averías en 2023 relacionadas a rodamientos axiales de este proceso se lograron reparar en poco tiempo ya que no llegaron a temperatura de destrucción de sus componentes.

Para el mes de mayo de 2023 se evidencia un aumento del 4,7% en la disponibilidad mecánica del proceso de amasado, en comparación con el mismo periodo de tiempo en 2022. Este mejoramiento está directamente relacionado con las acciones preventivas y correctivas realizadas de forma previa a un aumento significativo de la temperatura, lo que permitió disminuir tanto el número de averías como el tiempo de reparación por la oportuna intervención de los equipos.

Las acciones de mejoramiento identificadas en los análisis de las averías en rodamientos axiales del proceso de amasado en 2023 complementaron las actividades de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, como insumo para la detección y corrección de defectos en los componentes del mecanismo, para el aumento de su vida útil.

La implementación de herramientas para manejo de información a través de plataformas administradas desde la nube en tiempo real, utilizando tecnologías de la industria 4.0 permitió garantizar una continua captura de información histórica de la variable temperatura de los rodamientos axiales, como insumo para identificar su comportamiento y tendencia a través del tiempo.

El sistema de alertas en tiempo real representa una herramienta confiable de prevención de averías en los rodamientos axiales y ofrece una alternativa que se puede aplicar a otras variables críticas en las diferentes áreas y procesos de las industrias.

Recomendaciones

Considerando el positivo resultado obtenido y enfocando al mejoramiento continuo de los procesos productivos, se recomienda el uso de sistemas de monitoreo en línea y alarmas en tiempo real, para otros procesos que puedan ser vulnerables de presentar averías por diversas variables que se pueden medir e instrumentar.

También se recomienda la divulgación al personal técnico y operativo de las acciones implementadas en el mejoramiento de la disponibilidad mecánica del proceso de amasado, para que sean sostenibles en el tiempo y replicables en otros procesos con aplicaciones similares.

Para finalizar se pone a consideración de la empresa la posibilidad de continuar con la aplicación de sistemas de monitoreo en línea para los aspectos legales o ambientales como emisiones, vertimientos consumos energéticos, energía activa y reactiva entre otras variables en la que la herramienta pueda contribuir en la optimización de recursos, cumplimiento de norma y eficiencia energética.

Referencias Bibliográficas

Big Data: ¿En qué consiste? Su importancia, desafíos y gobernabilidad. (s. f.). Powerdata.Es.

<https://www.powerdata.es/big-data>

Campillo, G., Conde-Pumpido, R., Ferron, J. J., Guitian, F., Várela, A., & Baltar, C. R.

(1987). *ESTUDIO DE LA APLICACIÓN INDUSTRIAL DE CAOLINES DE GALICIA.*

Secv.es. <https://boletines.secv.es/upload/198726109.pdf>

Cervantes, C. C. V. (s. f.). *CVC. Diccionario de términos clave de ELE. Metodología cuantitativa.*

https://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/metodologiacuantitativa.htm

C. N. (s/f). *Cuidado y Mantenimiento de los Rodamientos.* Ntn-snr.com. [https://www.ntn-](https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2019-11/ntn-care-and-maintenance3017-ii_s.pdf)

[snr.com/sites/default/files/2019-11/ntn-care-and-maintenance3017-ii_s.pdf](https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2019-11/ntn-care-and-maintenance3017-ii_s.pdf)

Digital Transformation Open Platform - Industry 4.0, MES System & Work Management; edinn.

<https://edinn.com/mtbf-mttr/>

España, F. S. E. I. (s/f). *LUBRICACION DE RODAMIENTOS.* Rodaunion.es.

<https://www.rodaunion.es/media/imagenes/Catalogos/Rodamientos%20y%20accesorios/FA G/Lubricacion Rodamientos wl 81115 4 es es.pdf>

Jimenez N, A. J. (s. f.). *Mantenimiento LA.* Blogspot.com.

<https://maintenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html>

Klotz, C. (2017, octubre 10). *Ubidots y NxtIoT se asocian para darle vida a los objetos.* Ubidots

Blog. <https://ubidots.com/blog/ubidots-y-nxtiot-se-asocian-para-darle-vida-a-los-objetos/>

Lubricación de Rodamientos. (s/f). Rodamientos.pe.

http://www.rodamientos.pe/lubricacion_de_rodamientos.html

Lubricación de rodamientos. (s/f). Birt.eus.

https://ikastaroak.birt.eus/edu/es/DFM/DPM/DPM02/es_DFM_DPM02_Contenidos/webseite_2229_lubricacion_de_rodamientos.html

LUFILSUR →, V. T. las E. (2022, mayo 17). *Lubricantes para rodamientos y la importancia de una*

selección adecuada. LUFILSUR. <https://www.lufilsur.es/lubricantes-para-rodamientos/de>

minerales no metálicos: arcilla, “análisis de Costos y. Gastos en la Explotación, Caolín, F.

y., & de la provincia del Azuay”, en la I. C. (s. f.). *ESCUELA DE INGENIERÍA EN*

MINAS. Edu.ec. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10454/1/16058.pdf>

L. E. G. es un I. C., de la estabilidad global de un proceso productivo con máquinas. Mide la

producción de piezas buenas a la primera, Q. C. U. M. F., & del tiempo planificado para

producción., C. un P. (s. f.). *La eficiencia global de los equipos (OEE).* Leanesi.es.

<http://www.leanesi.es/Art%C3%ADculos/Articulo%20sobre%20el%20OEE.pdf>

NexusAdministraIntegra. (2020, septiembre 30). *La importancia del mantenimiento industrial en las*

fábricas inteligentes. Nexus Integra. <https://nexusintegra.io/es/la-importancia-del->

[mantenimiento-industrial-en-las-fabricas-inteligentes/](https://nexusintegra.io/es/la-importancia-del-mantenimiento-industrial-en-las-fabricas-inteligentes/)

OKS Spezialschmierstoffe GmbH. (s. f.). *Lubricación de rodamientos.* Oks-germany.com.

[https://www.oks-germany.com/es/actualidad/temas-de-maximo-interes/lubricacion-de-](https://www.oks-germany.com/es/actualidad/temas-de-maximo-interes/lubricacion-de-rodamientos/)

[rodamientos/](https://www.oks-germany.com/es/actualidad/temas-de-maximo-interes/lubricacion-de-rodamientos/)

OKS Spezialschmierstoffe GmbH. (s/f). *Lubricación de rodamientos.* Oks-germany.com.

[https://www.oks-germany.com/es/actualidad/temas-de-maximo-interes/lubricacion-de-](https://www.oks-germany.com/es/actualidad/temas-de-maximo-interes/lubricacion-de-rodamientos/)

[rodamientos/](https://www.oks-germany.com/es/actualidad/temas-de-maximo-interes/lubricacion-de-rodamientos/)

Parra, A. (2020, septiembre 13). *Técnicas de investigación cuantitativa para recolectar datos.*

QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/tecnicas-de-investigacion-cuantitativa/>

RENOVETEC. (s/f). *¿Qué es un plan de mantenimiento?* Renovetec.com.

<http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/que-es-un-plan-de-mantenimiento>

SKF. (s. f.). Skf.com. <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/operating-temperature-and-speed/bearing-friction-power-loss-and-starting-torque>

Sostenible, M. (2018, noviembre 5). *Caolines*. Minería Sostenible de Galicia; Minería Sostenible.

<https://minariasostible.gal/es/caolines/Tipos de Falla>. (s/f). Nskamericas.com.

<https://www.nskamericas.com/es/services/troubleshooting/damage-by-type.html>

Tipos de rodamientos y cómo saber cuál necesito en mis accionamientos. (2017, febrero 28).

Clr.es. <https://clr.es/blog/es/tipos-de-rodamientos-accionamientos/>

Tribología. (s. f.). Ggbearings.com. Recuperado 6 de mayo de 2023, de

<https://www.ggbearings.com/es/tribou/tribologia>

Apéndice B

Ficha Técnica del Lubricante utilizado para las amasadoras

Características típicas

Mobilgrease Special	
Grado NLGI	2
Tipo de espesante	Hidroxiestearato de litio
Color, visual	Gris negro
Penetración, trabajada, 25° C, ASTM D 217, mm/10	280
Punto de goteo, °C, ASTM D 2265	190
Viscosidad del aceite, ASTM D 445	
cSt @ 40° C	160
Presión extrema 4-bolas, ASTM D 2596, Punto de soldadura, Kg	250
Prueba de desgaste con método de 4 bolas, ASTM D 2266, muesca, mm	0,4
Carga Timken OK, ASTM D 2509, lb.	40
Prueba de herrumbre, ASTM D 1743	Pasa

Apéndice C

Siglas, Acrónimos y Abreviaturas

PBM: Mantenimiento basado en desempeño (Performance based maintenance).

PLC: Control Lógico Programable.

SQL: Consiste en un lenguaje de definición de datos, un lenguaje de manipulación de datos y un lenguaje de control de datos.

SCADA: Es una herramienta de automatización y control industrial utilizada en los procesos productivos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante una aplicación informática. Su principal función es la de evaluar los datos con el propósito de subsanar posibles errores.

Ubidots: Es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) que habilita la toma de decisiones a empresas de integración de sistemas a nivel global. Este producto permite enviar datos de sensores a la nube, configurar tableros y alertas, conectarse con otras plataformas, usar herramientas de analítica y arrojar mapas de datos en tiempo real.

Big data: Es un término que describe el gran volumen de datos, tanto estructurados como no estructurados, que inundan los negocios cada día.

MTBF: Tiempo Medio entre Fallos (Mean Time Between Failures).

MTTR: Tiempo Medio para Reparar (Medium Time To Repair).

EP: Presión Extrema (extreme pressure).

NLGI: Instituto Nacional de Grasas Lubricantes (National Lubricating Grease Institute).

VKA: Es un dispositivo de comprobación de lubricantes utilizados a altas presiones superficiales. Consta de una bola móvil que se desliza sobre tres bolas estacionarias.

DN: Este valor indica hasta qué velocidades periféricas máximas se puede utilizar una grasa lubricante en un rodamiento.

QR [W]: Flujo calorífico producido por el rodamiento.

QL [W]: Flujo calorífico emitido al ambiente.

tE: Temperatura de entrada del aceite.

tA: Temperatura de salida del aceite.

Ref: Referencia.

Dmn: (dm: diámetro de paso del elemento rodante en mm; n: velocidad de rotación en rpm).