

**Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas
transportadoras en una planta productora de concreto.**

Gerardo Alonso Cardona Álzate

Carlos Alfonso Garavito Torres

Universidad ECCI - Bogotá.

Dirección de posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá, D.C 2022

**Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas
transportadoras en una planta productora de concreto.**

Gerardo Alonso Cardona Álzate

cód. 109244

Carlos Alfonso Garavito Torres

cód.109348

Asesor

Fred Geovanny Murillo Rondon

Universidad ECCI

Dirección de posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá, D.C 2022

Agradecimientos

A nuestras familias por brindarnos el apoyo y siempre ser una ayuda en los momentos difíciles; a todos los docentes que nos brindaron su conocimiento para desarrollar este proyecto y poder crecer profesional y personalmente.

Introducción.

En Colombia, las empresas cementeras tienen como líneas de negocio; la producción y comercialización de cemento, concreto y agregados, además del suministro de otros materiales utilizados en la construcción.

Todas las plantas de concreto cuentan con modernas y amplias instalaciones, equipos con avanzada tecnología para operación y producción que ratifican y garantizan unos altos estándares de calidad, ofreciendo a los clientes un aliado para el desarrollo de sus negocios.

En cada una de las plantas de concreto, se encuentran equipos especializados para la fabricación de diferentes tipos de diseños, según los requerimientos del cliente; permitiendo una dosificación exacta de las diferentes materias primas y un proceso acorde de mezclado y homogeneización del producto; el control antes de salir la mezcla hacia el cliente se hace por medio de un laboratorio de calidad para corregir alguna desviación que se pueda presentar durante el proceso.

La gran mayoría de plantas productoras de concreto, cuentan con un plan de mantenimiento para los equipos de producción y transporte de materiales; pero debido al tamaño de este tipo de compañías, el número de activos es bastante amplio y se encontró la posibilidad de implementar de manera adicional un plan de mantenimiento predictivo para un grupo específico de estos activos.

Las bandas transportadoras son activos necesarios para la fabricación del concreto, cada banda se encarga de suministrar los agregados a las diferentes tolvas de las torres de producción, para realizar la mezcla y fabricar el hormigón; los motorreductores de las bandas por lo general no tienen un plan de mantenimiento; esto incrementa los tiempos de reparación, porque se interviene el motorreductor cuando presenta una falla funcional, como las fallas son inesperadas se debe ejecutar un mantenimiento correctivo; con una banda que se encuentre fuera de servicio, puede afectar la operación por muchas horas del día afectando el volumen de producción programado y el nivel de servicio hacia los clientes.

Resumen

Este trabajo consiste en la creación e implementación de un plan de mantenimiento predictivo para los motorreductores de las bandas transportadoras de agregados en una planta productora de concreto.

Las bandas transportadoras son activos de primera necesidad, para la producción de concreto en una compañía de este segmento de negocio, porque transportan los agregados a las tolvas y en algunas ocasiones al mixer para la fabricación del hormigón, si una banda falla se detiene la producción; afectando el ciclo del proceso y dejando fuera de servicio la torre de producción a la que este asignada la banda que presenta el problema.

Para la propuesta de solución se contempla realizar la caracterización del proceso de mantenimiento, la taxonomía de los equipos y la matriz de criticidad de cada uno de los activos objeto de estudio; para esto se toma como guía la Norma ISO 14224 (Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos).

En la recolección de la información se tienen en cuenta los manuales técnicos de los reductores, el historial de fallas y la información recopilada en otros trabajos de investigación similares, desarrollados en el ámbito nacional e internacional; también información sobre técnicas de mantenimiento predictivo, especialmente el análisis de aceite teniendo en cuenta la importancia para el desarrollo del trabajo.

Como resultado se obtiene un plan de mantenimiento predictivo con una frecuencia de cambio de aceite definida y una metodología para la recolección y análisis

de las muestras de aceite; la viabilidad financiera se determina al definir los costos de implementación del proyecto, el antes de las pérdidas de utilidad generadas por las fallas en los activos y el después de estas pérdidas al implementar el proyecto.

Abstract

This work consists of the creation and implementation of a predictive maintenance plan for the gear motors of the aggregate conveyor belts in a concrete production plant.

Conveyor belts are essential assets for the production of concrete in a company in this business segment, because they transport the aggregates to the hoppers and on some occasions to the mixer for the manufacture of concrete, if a belt fails, production is stopped; affecting the process cycle and leaving the production tower to which the band presenting the problem is assigned out of service.

For the solution proposal, it is contemplated to carry out the characterization of the maintenance process, the taxonomy of the equipment and the criticality matrix of each of the assets under study; for this, the ISO 14224 Standard (Collection and exchange of data on reliability and maintenance of equipment) is taken as a guide.

In the collection of the information, the technical manuals of the reducers, the history of failures and the information collected in other similar research works, developed nationally and internationally, are taken into account; also information on predictive maintenance techniques, especially oil analysis taking into account the importance for the development of the work.

As a result, a predictive maintenance plan is obtained with a defined oil change frequency and a methodology for the collection and analysis of oil samples; financial viability is determined by defining project implementation costs, before profit losses generated by asset failures, and after these losses when implementing the project.

Palabras claves

Mantenimiento predictivo, Análisis de aceite, Ferrografía, banda transportadora,
Análisis de criticidad.

Tabla de Contenido

1. Título de la Investigación.....	7
2. Problema de Investigación.....	7
2.1 Descripción del problema	7
2.2 Formulación del problema	9
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo General.....	10
3.2 Objetivos Específicos.....	10
4. Justificación y Delimitación	10
4.1 Justificación	10
4.2 Delimitación.....	12
4.3 Limitaciones.....	12
5. Marco Referencial.....	13
5.1 Estado del arte.....	13
5.1.1 Estado del arte nacional	13
5.1.2 Estado del arte internacional.....	18

5.2 Marco Teórico.....	23
5.2.1. Mantenimiento predictivo.....	23
5.2.1.4 Análisis por ultrasonido	28
5.2.2 Muestreo, límites y alarmas en el análisis de aceite	29
5.2.3. Cintas transportadoras.....	29
5.2.4. Análisis de Criticidad.....	30
5.2.5. Ferrografía Directa.....	33
5.2.6 Espectrofotometría de absorción atómica (Detección de elementos presentes) ..	34
5.2.7. La Tribología	36
5.3 Marco Legal	36
ASTM D6304.....	37
6. Marco Metodológico.....	38
6.1 Recolección de la información.....	38
6.1.1. Tipo de Investigación.....	38
6.1.2 Fuentes de obtención de la Investigación.	38
6.1.3 Herramientas para la investigación.....	39
Módulo de SAP PM.....	39
6.1.4 Metodología de la investigación.....	40
6.1.4.1 Desarrollo objetivo uno.....	40

6.1.4.2 Desarrollo objetivo dos	40
6.1.4.3 Desarrollo objetivo tres	40
6.1.5 Información Recopilada	41
6.1.5.1 Banda Transportadora	41
6.1.5.1.1 Banda tipo artesa	41
6.1.5.1.2 Banda tipo Radial	42
6.1.5.2 Motorreductor	42
6.1.5.3 Método de lubricación	43
6.1.5.3.1 Reductores Sumitomo	43
6.1.5.3.2 Procedimiento de suministro de aceite	46
6.1.5.3.3 Procedimiento de Descarga de Aceite	47
6.1.5.3.2 Reductores Dodge	48
6.1.5.3.2.1 Intervalo para cambio de aceite	49
6.2 Análisis de la Información	49
6.2.1 Estructura de Mantenimiento	49
6.2.2 Inspecciones periódicas mensuales	49
6.2.3 Taxonomía	50
6.2.4 Matriz de Criticidad	50
6.2.4.1 MTBF (Tiempo medio entre fallas)	50

6.2.4.2 Impacto a la producción.....	51
6.2.4.3 Salud y seguridad.....	51
6.2.4.4 Costos de reparación.....	52
6.2.4.5 Tiempo de Reparación.....	52
6.2.4.6 Tiempo de operación.....	52
6.2.4.7 Cálculo del índice de criticidad.....	52
6.3 Propuesta de Solución.....	53
6.3.1 Plan de Mantenimiento.....	53
6.3.2 Proceso para el análisis de aceite.....	56
6.3.3 Modelo hoja de vida.....	57
7. Impactos esperados y alcanzados.....	58
7.1 Impactos esperados.....	58
7.2 Impactos Alcanzados.....	59
8. Análisis Financiero.....	59
8.1 Costos de implementación de la propuesta.....	59
8.2 Pérdidas por producción.....	60
8.3 Aplicación del ROI.....	61
9. Conclusiones y recomendaciones.....	62
9.1 Conclusiones.....	62

9.2	Recomendaciones.....	62
10.	Bibliografía	63

Lista De Tablas

Tabla 1.	Ponderación de la frecuencia de fallas.....	31
Tabla 2.	Ponderación del impacto a la producción	32
Tabla 3.	Ponderación de la afectación a la salud y seguridad.....	32
Tabla 4.	Ponderación de los costos de reparación	32
Tabla 5.	Ponderación del tiempo de reparación.....	32
Tabla 6.	Ponderación del tiempo de operación	33
Tabla 7.	Marco Normativo y legal	36
Tabla 8.	Método de Lubricación para las Configuraciones Y1, Y2, Y3, Y5, Y6.....	44
Tabla 9.	Método de lubricación para configuración Y4	45
Tabla 10.	Aceites recomendados para reductores Sumitomo	45
Tabla 11.	Cantidades de aceite según modelo Galones EUA (litros).....	46
Tabla 12.	Intervalos para el cambio de aceite reductores Sumitomo	47
Tabla 13.	Volúmenes de aceite aproximados	48
Tabla 14.	Recomendaciones de aceites.....	49
Tabla 15.	Cálculo del MTBF	51
Tabla 16.	Cálculo del impacto a la producción.....	51
Tabla 17.	Cálculo de los costos de reparación	52
Tabla 18.	Cálculo del índice de criticidad	52

Tabla 19. Costo total para la implementación del proyecto.....	59
Tabla 20. Cálculo del costo por fallas en los equipos.....	60
Tabla 21. Pérdidas de producción después de la implementación.....	61

Lista De Figuras

Figura 1. Matriz de Criticidad.....	33
Figura 2. Proceso de Ferrografía Directa.....	34
Figura 3. Proceso Espectrofrometría de absorción atómica.....	35
Figura 4. Artesas para bandas transportadoras.....	41
Figura 5. Placa de Características.....	43
Figura 6. Ubicaciones de Llenado / Drenado de Aceite.....	47
Figura 7. Tipos de Montaje reductores Dodge.....	48
Figura 8. Clasificación y niveles taxonómicos.....	50

1. Título de la Investigación

Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras en una planta productora de concreto.

2. Problema de Investigación

2.1 Descripción del problema

La compañía productora de concreto tiene un plan de mantenimiento para los equipos de la planta de producción de hormigón basado en: mantenimientos preventivos, mantenimientos predictivos y mantenimientos correctivos; cada mes se realiza el listado por planta de los mantenimientos preventivos y predictivos, así como los correctivos programados al inicio de mes, asignados a los diferentes equipos, esta información queda documentada para su análisis y trazabilidad en el software de mantenimiento (SAP).

Cada orden de trabajo generada se carga a una lista de activos que ya se encuentran codificados según la taxonomía definida por la compañía, en la orden se especifica los repuestos requeridos para la intervención, la empresa que va ejecutar el trabajo, las horas estimadas para la ejecución del mismo y la fecha en la que se va programar la realización del mantenimiento.

Todas las plantas a nivel nacional tienen divididos los activos según el centro de costo a que pertenezcan para así poder realizar una adecuada trazabilidad de los recursos ejecutados para el mantenimiento y las diferentes tareas programadas para los equipos.

Los equipos de distribución y bombeo son importantes para la operación, pero estos tienen la ventaja de poder organizar su mantenimiento programando, la parada de equipos y activar vehículos de backup para suplir las necesidades de la operación; para los

equipos de producción no se tiene esta facilidad y las intervenciones a estos se deben realizar en tiempos muertos que no afecten la ejecución de la programación definida; por esto es de vital importancia manejar planes de mantenimiento que permitan aumentar la vida útil de los equipos y detectar de manera oportuna cualquier desviación que pueda generar una falla del activo.

Las plantas productoras de concreto, tienen muy pocos tiempos muertos para la ejecución de los mantenimientos en los equipos de producción; estos normalmente se ejecutan en fines de semana y así no afectan los altos volúmenes de pedidos que se hacen por esta planta.

Para el transporte de los agregados (materia prima) en la fabricación del concreto, se utilizan bandas transportadoras que constan de: motorreductores, rodillos y cintas de caucho, los motorreductores de las bandas transportadoras no cuentan con un plan de mantenimiento predictivo, que permita determinar de manera oportuna posibles anomalías que terminen en la falla del equipo.

Los motorreductores tienen piezas en movimiento (engranajes, piñones) que permiten transmitir movimiento a los equipos al cual están conectados; si estas piezas no cuentan con una adecuada lubricación pueden ocasionar desgastes anticipados en los componentes y por consiguiente reducir la vida útil del activo; si son controlados los parámetros del aceite que define el fabricante para su uso, se puede aumentar el ciclo de vida del activo y evitar paradas no programadas de los equipos.

El proveedor que suministra los lubricantes, da como valor agregado el análisis de las muestras de aceite recolectadas cuando se realiza el cambio de aceite en los equipos

móviles; basado en esta muestra, el proveedor entrega un informe donde se puede analizar qué pieza del motor puede estar presentando desgaste prematuro o que componentes encontrados dentro de la muestra afectan el funcionamiento normal del equipo.

Para los reductores de las bandas transportadoras de los equipos de producción, el principio es el mismo, tomar una muestra y verificar que pieza del reductor presenta desgaste, para que el área de mantenimiento genere una orden de trabajo y se realice el mantenimiento preventivo correspondiente, evitando fallas en los motorreductores y disminuyendo la probabilidad de paradas innecesarias en la planta de producción.

2.2 Formulación del problema

La implementación del plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras en la planta de hormigón, garantiza la disponibilidad de los equipos para el proceso de producción del hormigón.

Si la planta presenta averías o fallas, específicamente en los reductores de las bandas transportadoras, se detiene el proceso de fabricación de hormigón, generando pérdidas millonarias para la compañía, porque no se cumpliría con el despacho de los pedidos de concreto.

¿Cuál es la estrategia de mantenimiento más adecuada para generar confiabilidad en los reductores de las bandas transportadoras, garantizando continuidad en la producción y evitando los paros de planta?

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Generar un plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras de una planta productora de concreto.

3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar los procesos de mantenimiento que adelanta actualmente la compañía; Sistema de gestión, mapas de proceso, planeación estratégica; donde está ubicado el proceso de mantenimiento.

Identificar las causas recurrentes de las fallas asociadas a los reductores de las bandas transportadoras de una planta productora de concreto, analizando la matriz de criticidad de los equipos objeto de estudio.

Generar la documentación requerida para la implementación del plan de mantenimiento predictivo de los reductores de las bandas transportadoras de una planta productora de concreto.

4. Justificación y Delimitación

4.1 Justificación

Se cuenta con planes de mantenimiento para los equipos de producción y transporte; pero debido al tamaño de la compañía algunos activos no cuentan con plan de mantenimiento, por esto es indispensable implementar planes de mantenimiento predictivo para un grupo específico de los activos.

El caso de estudio se enfocará en reductores de las bandas transportadoras, las cuales se encargan de llevar los agregados (materia prima), hasta las tolvas de almacenamiento para la mezcla y fabricación del hormigón.

El plan de mantenimiento predictivo a desarrollar en este proyecto consiste en recolectar una muestra del aceite de los moto reductores, antes de hacer el cambio del lubricante; la muestra se obtiene por medio de un bomba de succión que extrae el aceite de la caja reductora y lo deposita en un frasco de muestra, esta probeta se envía al proveedor de lubricantes para que haga un análisis de los diferentes componentes del aceite y determinar partículas de ciertos materiales que puedan indicar fallas prematuras del equipo; con los resultados del análisis, se podrá programar actividades que garanticen la vida útil de los activos y disminuir los tiempos de paradas no programadas.

Las paradas no programadas implican un alto costo para los ingresos de la compañía, en una hora sin poder operar por una torre de producción se pueden dejar de producir alrededor de 80m³ de concreto, esto afecta considerablemente el ebitda de la planta; al disminuir los tiempos de los equipos fuera de servicio en la operación se pueden obtener más ganancias y ampliar el mercado a nuevos clientes por la alta confiabilidad que se puede tener al controlar las fallas no deseadas de los equipos.

Las fallas en los activos también incrementan el gasto de mano de obra subcontratada por las horas extras que estos generan, por eso es importante enfocar la gestión de mantenimiento en los planes de mantenimiento y no utilizar los recursos para corregir fallas, que desvían el enfoque de una correcta gestión del mantenimiento.

Si se facilita el trabajo del personal de mantenimiento, para que se enfoque en predecir y determinar posibles fallas en los activos y que se puedan corregir antes de que sucedan, se obtiene un clima laboral óptimo, reduciendo el estrés y la deserción o rotación de los empleados en el área de mantenimiento.

El desarrollo de los planes de mantenimiento predictivo de los reductores de las bandas transportadoras; pueden servir de ejemplo para el desarrollo de otras monografías en la especialización de Gerencia de Mantenimiento.

Para la sociedad cada vez es más importante ser amigable con el medio ambiente, por esto si se controla los daños de los equipos y el cambio oportuno del aceite en los reductores, se disminuyen los desechos generados de metales, polímeros entre otros materiales, que afectan al medio ambiente; además un activo trabajando en óptimas condiciones reduce el consumo de energía, impactando directamente los costos fijos de la operación y el control de los recursos naturales.

4.2 Delimitación

Este proyecto se realizará durante el segundo semestre del año 2021, para una planta productora de concreto ubicada en la ciudad de Bogotá.

4.3 Limitaciones

Normativa: La empresa no deja usar el nombre y datos sin una respectiva autorización, para realizar el proceso de autorización, dentro de la compañía no se tiene claro la persona que realiza dicho proceso.

Económica: Solo se cuenta con los recursos de los proponentes.

5. Marco Referencial

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte nacional

Propuesta de un Modelo de mejora en los planes de Mantenimiento de los Activos Fijos Productivos de la Planta de Aseo de la empresa Casa Luker S.A; Universidad ECCI, Rubiano Matoma Carlos, 2021.

Esta tesis, plantea una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad, debido al aumento de tiempos muertos por fallas en los equipos; la aplicación de dicha estrategia logra orientar los recursos de forma adecuada para garantizar la disponibilidad de las líneas de producción, revisando las fallas operacionales con otros aspectos como la productividad, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento entre otros.

Con base en la normativa SAE JA011 y SAE JA012 se realiza la categorización y evaluación de los niveles de falla determinando su nivel de criticidad (Matoma Rubiano, 2021).

La estrategia planteada en esta tesis sirve como base para determinar las diferentes estrategias que se pueden implementar para reducir los tiempos muertos generados por fallas en los reductores de las bandas transportadoras.

Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica; Universidad Católica de Colombia, Romero Guarín Angie Julieth- Soler Rodríguez Laura Viviana, 2017.

Este trabajo de grado plantea las diferentes metodologías de mantenimiento predictivo, tales como análisis de vibraciones, análisis de aceites, análisis estructural entre otras, que permiten

al personal de mantenimiento de una organización evitar fallas críticas en los equipos, disminuir el tiempo de reparación y aumentar el tiempo medio entre fallas.

Al caracterizar las centrales hidroeléctricas y determinar las principales fallas de estos activos se puede plantear adecuadamente un plan de mantenimiento predictivo que cumpla con las expectativas del objeto de estudio (Romero Guarín & Soler Rodríguez, 2017).

En este trabajo de grado se resalta la importancia de las técnicas de mantenimiento predictivo incluyendo el análisis de aceite que es el eje central a utilizar en el diseño del plan de mantenimiento predictivo para las bandas transportadoras; también aporta los diferentes factores a tener en cuenta cuando se realiza el análisis de aceite.

Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM; Universidad Nacional de Colombia, Maya Velásquez Jhonny Alexander, 2018.

Esta tesis propone el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) usando como estrategia la metodología TPM, específicamente integrando todos los aspectos de producción de galletas y la implementación de mantenimiento preventivo; con el fin de lograr nuevos planes de mantenimiento basados en condición, para esto se construyó la matriz de criticidad de los equipos en base a las apreciaciones del área de mantenimiento y viéndola desde las perspectivas de seguridad, calidad y medio ambiente (Maya Velásquez, 2018).

En este documento se puede apreciar lo importante de realizar una matriz de criticidad con el fin de determinar cuáles son los equipos que requieren mayor atención y así mismo de acuerdo a su clasificación definir un plan de mantenimiento basado en condición acorde a la criticidad del activo y las características propias; es bueno resaltar que la matriz de criticidad se

debe enfocar desde todos los aspectos no solo desde el punto de vista del área de mantenimiento, ya que esto aporta una visión más global de los activos dentro de la organización.

Plan de negocios de una empresa que brinda servicios de mantenimiento predictivo en Colombia; Universidad de los Andes, Márquez Vásquez Daniel, 2011.

Esta tesis de pregrado se evidencian los beneficios del mantenimiento predictivo en comparación con otros tipos de mantenimiento y se realiza el análisis de todo lo necesario para crear una empresa que preste servicios de mantenimiento predictivo a las empresas del sector productivo en Colombia, también se describen todos los servicios que puede ofrecer la empresa tales como Termografía, análisis de vibraciones, análisis de aceite u otros fluidos, ultrasonido, inspección de grietas, entre otros; finalmente se aclara que no todas las herramientas de mantenimiento predictivo se pueden utilizar en todos los equipos y que es importante analizar cuál es la más adecuada para predecir daños en los activos (Marquez Vasquez, 2011).

Para el desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo en cualquier activo de una organización, se debe conocer la importancia que tiene este tipo de mantenimiento, las ventajas, desventajas y la hoja de ruta para poder llevarlo a cabo; se debe analizar el costo-beneficio porque para implementar cualquier técnica de mantenimiento predictivo se debe invertir en equipos que no son económicos, pero si van a permitir, al utilizarlos de manera adecuada un aumento de la vida útil de los activos que al final del ejercicio aporta en ahorro a largo plazo en el presupuesto de mantenimiento en una compañía.

Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados;

Universidad ECCI, Gutiérrez Arismendy Leonardo Andrés- Bocanegra Galeano Holman, 2015.

En esta monografía se plantea la elaboración de un plan de mantenimiento basado en condición para mejorar la efectividad de los activos vehiculares críticos en una empresa productora de concretos, con el fin de disminuir las horas de paradas no programadas y minimizar los costos asociados a mantenimiento; para esto se realiza una caracterización de los equipos, se elabora un programa de análisis de lubricantes, y así poder determinar las herramientas predictivas a utilizar, los procedimientos de inspección, las rutas de muestreo, frecuencia de inspección y puntos de medición (Gutiérrez Arismendy & Bocanegra Galeano, 2015).

En este trabajo se plantean objetivos similares al proyecto propuesto por los autores y se implementa en el mismo sector productivo, la única diferencia es que el plan de mantenimiento predictivo para el caso de análisis no va ser en los vehículos transportadores de concreto, si no en los reductores de las bandas transportadoras; la monografía desarrollada por Gutiérrez y Bocanegra aporta una ruta a seguir clara para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo.

Estudio diagnóstico de la caldera y sus equipos para la creación del plan de mantenimiento preventivo basado en condición; Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Rojas Lancheros Fabio Enrique, 2021.

En esta tesis de grado el autor describe la importancia de una caldera para cubrir la demanda de vapor y energía, la Caldera objeto de estudio ha presentado constantes fallas que limitan la producción, por esto es importante hacer un diagnóstico que ayude en la creación de un plan de mantenimiento que evite las paradas no programadas y aumente la vida útil de los

equipos que componen el activo; esto se realiza mediante el análisis de modo y efecto de falla (AMEF), determinando las fallas funcionales, logrando identificar la causa raíz y definiendo las consecuencias de las fallas (Rojas Lancheros, 2021).

Conocer las fallas funcionales de los equipos es el factor principal para poder crear un plan de mantenimiento predictivo o basado en condición, ya que permite identificar la causa raíz de las fallas y cuál puede ser la técnica apropiada a implementar para evitar recurrencia en las fallas encontradas.

Propuesta de implementación de rutas termográficas como herramienta de mantenimiento basado en condición en el proceso de fabricación de papel; Institución Universitaria Instituto Tecnológico Metropolitano, Barrientos Tamayo Leidy Carolina, 2019.

En este trabajo se presenta el proyecto para la implementación de análisis termo grafico en los equipos de la empresa PAPELSA; se realizan varias mediciones no destructivas para hacer seguimiento a la falla sin detener el proceso y así aumentar la disponibilidad y confiabilidad, este plan se implementó por 4 meses junto con rutinas de lubricación; los resultados obtenidos se utilizaron para capacitar al personal (Barrientos Tamayo, 2019)

Se puede rescatar de este trabajo que las técnicas de mantenimiento predictivo, independientemente de la que se utilice aportan en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, es importante aclarar que el mantenimiento predictivo solo no es suficiente y siempre debe usarse en conjunto con otras tareas de mantenimiento para lograr mejores resultados.

Técnicas de mantenimiento predictivo: metodología de aplicación en las organizaciones; Universidad Católica de Colombia, Sánchez Gómez Ana María, 2017.

En este trabajo de grado se realiza una investigación documental sobre las técnicas de mantenimiento predictivo, tales como, análisis de vibraciones, termografía, ultrasonido, análisis de aceite, el autor realiza una investigación sobre los diferentes tipos de mantenimiento y después describe a detalle cada una de las técnicas de mantenimiento predictivo, documentando las definiciones, principios y aplicación, finalmente plantea la metodología de aplicación de estas técnicas en el proceso productivo de una organización (Sanchez Gomez, 2017).

El estudio realizado por el autor aporta una hoja de ruta clara en la implementación del plan de mantenimiento predictivo para las bandas transportadoras, porque describe al detalle la técnica que se piensa implementar (análisis de aceite) y como se puede llevar a cabo en la industria, en 4 pasos principales, el análisis, el diagnóstico, la implementación y revisión de indicadores.

5.1.2 Estado del arte internacional

Plan de mantenimiento proactivo centrado principalmente en el análisis de aceites en los reductores de velocidad utilizados para calentamiento y enfriamiento uniforme en turbinas de gas de la Central Termoeléctrica Puerto Bravo, Mollendo – Arequipa (Perú); Universidad Católica de Santa María, Zeballos Benavidez Alonso Mauricio, 2021.

El plan de mantenimiento proactivo se centró en los reductores por un equipo crítico en el calentamiento y enfriamiento de las turbinas de gas; el muestreo y análisis de aceite es muy importante porque les permite observar como ampliar la frecuencia de los cambio de aceite generando ahorro; para el plan se tuvo en cuenta los manuales del fabricante del equipo, la experiencia del personal de operaciones y mantenimiento, con el fin de lograr un plan de

mantenimiento que permita identificar las posibles fallas y poder alargar la vida del activo (Zeballos Benavidez, 2021).

Se puede observar que este trabajo de grado realizado en Perú muestra al detalle la metodología de análisis de aceite, además aborda otras metodologías de mantenimiento predictivo que son importante conocerlas a si no se vayan a utilizar o implementar para el desarrollo del plan de mantenimiento objeto de estudio.

Implementación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en Reductores del Sistema Conveyor de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A; Universidad Católica de Santa María, Torres Huamani, Miguel Ángel, 2017.

En esta tesis de pregrado se muestra el proceso de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en los reductores de velocidad de la empresa minera Shougang Hierro Perú, debido a que en el momento del desarrollo del trabajo solo se utilizaba una estrategia reactiva para el mantenimiento, el autor se basó en la norma SAE J1012, donde determinó las funciones del activo, las fallas funcionales, efectos de falla y consecuencias de falla; finalmente se definió el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los modos de falla más críticos, estos se priorizaron en función de la frecuencia de ocurrencia, posibilidad de detención y severidad de la falla (Torres Huamani, 2017).

Este trabajo permite analizar la forma correcta de determinar los modos de falla para los diferentes activos y como esto es importante para categorizarlos y definir la estrategia de mantenimiento adecuada para cada equipo; además los activos en los que se implementó la tesis de grado son similares a los propuestos para esta monografía.

Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mediante el análisis de modos y efectos de fallas y criticidad para los componentes del equipo cuádruple, pertenecientes a la línea de producción de aserradero de la empresa Masisa Chile s.a; Universidad Técnica Federico Santa María, Acuña Cabezas Marcelo Pablo, 2018.

Este trabajo de pregrado busca crear una propuesta de un plan de mantenimiento por medio del análisis de modos y efectos de falla; este se dividió en 5 capítulos de la siguiente manera, el primero aborda antecedentes e información de la empresa, el segundo es el marco teórico donde se habla de los tipos de mantenimiento y los objetivos del mantenimiento, el tercero aborda la aplicación del análisis de modos y efectos de falla para jerarquizar los activos de análisis, en el cuarto capítulo se planifica las tareas de mantenimiento para dar solución a los modos de falla, por último en el capítulo final se realiza una comparación entre los costos asociados al mantenimiento preventivo vs las pérdidas de producción (Acuña Cabezas, 2018).

Conocer los modos de y efectos de falla es la base para analizar el funcionamiento de los activos y sus posibles fallas funcionales, y así determinar cuál es la mejor estrategia de mantenimiento para cada activo; es importante resaltar de este trabajo la comparación de los costos de mantenimiento vs las pérdidas económicas por perdida de producción; este análisis ayuda a mostrar a la gerencia la importancia de realizar un adecuado mantenimiento.

Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores recíprocos y de tornillo; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Toapanta Cunalata Oscar Gabriel, 2009.

En este trabajo se realizó el análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores recíprocos y de tornillo de la empresa petrolera REPSOL, estos equipos son importantes para la compañía por su continuo uso; el monitoreo de los compresores fue por medio de análisis de aceite y medición de vibraciones, técnicas importantes del mantenimiento predictivo; los resultados obtenidos del mantenimiento predictivo arrojaron tareas de mantenimiento que permiten ampliar la vida útil del equipo y prevenir fallas funcionales (Toapanta Cunalata, 2009).

El autor implementa una de las técnicas que se van a utilizar en el desarrollo de este trabajo de grado como lo es el análisis de aceite, mostrando la importancia de esta técnica en el mantenimiento predictivo y así poder adelantarse a posibles fallas críticas de los activos.

Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo y Preventivo en Función de la Criticidad de los Equipos del Proceso Productivo de una Empresa Empacadora de Camarón; Escuela Superior Politécnica del Litoral, Pesántez Huerta Álvaro Eduardo, 2007.

Este trabajo documenta como en una empresa productora de camarón no se realiza un mantenimiento adecuado, por eso se realiza una caracterización del proceso productivo y así conocer los equipos más críticos de la compañía a estos activos se les implementara técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo para reducir el porcentaje de mantenimiento correctivo, también se plantea una estructura organizacional para el departamento de mantenimiento que pueda realizar el adecuado soporte para la nueva estrategia de mantenimiento (Pesántez Huerta, 2007).

Viendo el desarrollo de este trabajo de grado se ve la importancia de una estrategia de mantenimiento adecuada, que busque eliminar los correctivos y así mismo las paradas no programadas dándole a la compañía un valor agregado y garantizando una correcta manutención de los equipos.

Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon Gym – Cajamarca; Universidad Nacional del Centro de Perú, Galarza Mendoza James Anderson, 2017.

Esta tesis tiene como finalidad mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL la estrategia utilizada para tal fin es la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite; el equipo objeto del estudio es un activo crítico para la empresa y se debe garantizar la mayor disponibilidad posible, los históricos de este indicador no cumplen con el valor estándar definido por la empresa, después de implementar el plan de mantenimiento predictivo se aumenta la disponibilidad en un 3 % logrando superar el estándar corporativo (Galarza Mendoza, 2017).

Las técnicas de mantenimiento predictivo permiten aumentar la disponibilidad de los equipos debido a que se descubren posibles fallas antes de su ocurrencia y se pueden corregir a tiempo; el análisis de aceite es una técnica que permite conocer por medio de unos valores predeterminados las posibles fallas del equipo que está sometiendo a este análisis.

Implementación del análisis de aceite usado, como herramienta de mantenimiento predictivo aplicado a las máquinas propulsoras del guardacostas GC-653 Azumanche, del Comando Naval del Pacífico; Universidad de San Carlos de Guatemala, Girón Álvarez Luis Francisco, 2017.

En este trabajo de Maestría se realiza la obtención de la información, referente a las horas de servicio y mantenimiento que actualmente se le brinda a las maquinas; después se coteja la información obtenida con el manual del equipo y se hacen entrevistas a los maquinistas; se realizan 5 análisis de aceite a las maquinas propulsoras en una frecuencia de 7 meses, para finalmente interpretar los resultados obtenidos del análisis viendo las tendencias de desgaste y se realiza protocolo de mantenimiento predictivo para las maquinas propulsoras.

Con este trabajo podemos concluir que el análisis de aceite se puede utilizar para verificar las tendencias de desgaste y posibles fallas funcionales en cualquier tipo de industria y equipo; siempre y cuando se realice una correcta caracterización del equipo para obtener el historial de fallas, la criticidad del equipo y el número de horas de trabajo entre otra información, que permite aplicar una correcta metodología de mantenimiento.

5.2 Marco Teórico

5.2.1. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo o también conocido como mantenimiento basado en condición consiste en una serie de técnicas que permiten detectar posibles fallas en los equipos y poder programar actividades de mantenimiento antes de llegar a fallas funcionales.

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas. Los ensayos que más utilizan en las industrias son los siguientes:

- Análisis de vibraciones
- Termografía
- Análisis por ultrasonido
- Análisis de acetite

A pesar del alto costo que implica el desarrollo del mantenimiento predictivo, hoy en día es el tipo de mantenimiento más implementado en las industrias gracias a la ventaja que posee de poder mostrar en cualquier instante de tiempo el estado general de cada una de las máquinas de la planta permitiendo controlar su óptimo funcionamiento (Olarte, Botero, & Cañon, 2010).

5.2.1.1 Análisis de Aceite

El análisis de aceites determina el estado de operación de las máquinas a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante. El aceite es muy importante en las máquinas porque la protege del desgaste, controla su temperatura y elimina sus impurezas. Cuando el aceite presenta altos grados de contaminación y/o degradación, no cumple con estas funciones y la máquina comienza a fallar. La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se

llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse.

El grado de contaminación del aceite está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y de sustancias extrañas, por tal razón es un buen indicador del estado en que se encuentra la máquina. El grado de degradación del aceite sirve para determinar su estado mismo porque representa la pérdida en la capacidad de lubricar, producida por una alteración de sus propiedades y la de sus aditivos

La contaminación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación de:

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustible
- Agua
- Materias carbonosas
- Insolubles

La degradación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Detergencia
- Basicidad
- Constante Dieléctrica.

(Olarde, Botero, & Cañon, 2010)

5.2.1.2 Análisis de Vibraciones

Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración, aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo, cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo. Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomarán las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

Las vibraciones pueden analizarse midiendo su amplitud o descomponiéndolas de acuerdo a su frecuencia, así cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los límites permisibles o cuando el espectro de vibración varía a través del tiempo, significa que algo malo está sucediendo y que el equipo debe ser revisado. Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son:

- Desalineamiento
- Desbalance
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas en bombas
- Anormalidades en engranes

- Problemas eléctricos asociados con motores
- Problemas de bandas

(Olarte, Botero, & Cañon, 2010).

5.2.1.3 Termografía

La Termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta. La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que, a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía.

Gracias a las imágenes térmicas que proporcionan las cámaras termográficas, se pueden analizar los cambios de temperatura. Un incremento de esta variable, por lo general representa un problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina. Las áreas en que se utilizan las Cámaras Termo gráficas son las siguientes (Olarte, Botero, & Cañon, 2010):

- Instalaciones Eléctricas
- Equipamientos Mecánicos
- Estructuras Refractarias

5.2.1.4 Análisis por ultrasonido

El análisis por ultrasonido está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema. El oído humano puede percibir el sonido cuando su frecuencia se encuentra entre 20 Hz y 20 kHz, por tal razón el sonido que se produce cuando alguno de los componentes de una máquina se encuentra afectado, no puede ser captado por el hombre porque su frecuencia es superior a los 20 kHz. Las ondas de ultrasonido tienen la capacidad de atenuarse muy rápido debido a su corta longitud, esto facilita la detección de la fuente que las produce a pesar de que el ambiente sea muy ruidoso. Los instrumentos encargados de convertir las ondas de ultrasonido en ondas audibles se llaman medidores de ultrasonido o detectores ultrasónicos. Por medio de estos instrumentos las señales ultrasónicas transformadas se pueden escuchar por medio de audífonos o se pueden observar en una pantalla (Olarte, Botero, & Cañon, 2010).

El análisis de ultrasonido permite:

- Detectar fricción en máquinas rotativas
- Detectar fallas y/o fugas en válvulas
- Detectar fugas en fluidos
- Detectar pérdidas vacío
- Detectar arco eléctrico
- Verificar la integridad de juntas de recintos estancos

5.2.2 Muestreo, límites y alarmas en el análisis de aceite

La toma de la muestra es el primer paso para el análisis de aceite, pero también el más importante, ya que, si no se toma la muestra de manera correcta o se contamina durante su obtención, los resultados del análisis pueden ser erróneos y llevar a tomar decisiones equivocadas en el equipo.

El propósito principal de las alarmas o límites es filtrar la información para que el analista invierta su tiempo en administrar y corregir situaciones excepcionales en vez de tener que examinar atentamente toda la información tratando de encontrar las excepciones (Saldivia, 2013).

Las alarmas pueden ser absolutas o estadísticas, las absolutas son límites condenatorios que se aplican al estado de contaminación del lubricante, y se pueden tomar las recomendaciones del fabricante del equipo, en el caso que las hubiera o en su defecto las recomendaciones del Laboratorio de Análisis de Lubricantes, mientras que las alarmas estadísticas están basadas en los propios valores registrados en el equipo. El análisis de la tendencia estadística permite identificar fallas incipientes (Saldivia, 2013).

5.2.3. Cintas transportadoras

Determinan un rol muy importante en la industria debido a que puede transportar materiales a grandes distancias, se adapta fácil al terreno, puede mover grandes cantidades de material y diferentes tipos como (alimentos, minerales, vegetales, materiales de construcción, etc).

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es transportar, elevar o distribuir materiales hacia otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que las manipule directamente de forma continua.

Las cintas transportadoras sirven para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas dos ventajas principales son: gran velocidad y grandes distancias. Su función más importante, a nivel de transporte, es hacerlo de forma continua, tanto de materiales homogéneos como mezclados, a distancias que pueden oscilar entre algunos metros y decenas de kilómetros. Uno de los componentes principales de los transportadores es la banda de goma, que ejerce una doble función; Contener el material transportado y Transmitir la fuerza necesaria para transportar la carga. Los ramales, superior y de retorno de la banda, descansan sobre una serie de rodillos soportados por estructuras metálicas. En los dos extremos del transportador, la banda se enrolla en tambores, uno de los cuales, acoplado a un motorreductor, transmite el movimiento (Salinero Gervaso, 2013).

5.2.4. Análisis de Criticidad

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados (generalmente) con: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo del mantenimiento y seguridad y medio ambiente; para realizar este análisis se pueden utilizar técnicas cualitativas, cuantitativas o semi- cuantitativas; las cualitativas dan un escala relativa que no tiene rangos numéricos para determinar la probabilidad de ocurrencia de falla, las cuantitativas se basan en la ponderación de diferentes criterios mencionados anteriormente para determinar la criticidad del

equipo; y finalmente las semi-cuantitativas mezclan las dos técnicas descritas previamente para determinar un valor numérico que define la criticidad del equipo.

A continuación, se describirá una técnica semi-cuantitativa que por medio de encuestas a diferentes personas de la organización permite ponderar unos criterios ya definidos para el cálculo de la matriz de criticidad.

El índice de criticidad se determina por medio de la ecuación (1)

$$IC = FF \times CF$$

Donde, FF es la frecuencia de fallas y CF es la consecuencia de la falla; para determinar el CF se utiliza la ecuación (2)

$$CF = (IP + SS + CR + TR + TO)$$

Donde, IP es el impacto a la producción, SS es la afectación a la salud y la seguridad, CR es los costos de reparación, TR es el tiempo de reparación y TO es el tiempo de operación (Gasca, Camargo, & Medina, 2017).

Tabla 1.

Ponderación de la frecuencia de fallas: Determina la cantidad de veces en un periodo de tiempo que el equipo entra a falla.

Frecuencia de fallas (FF)	Ponderación
Menos de 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	2
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (más de una por semana)	4

Fuente: Propia

Tabla 2.

Ponderación del impacto a la producción: Se utiliza para definir en qué grado afecta una falla a la producción.

Impacto a la producción (IP)	Ponderación
Menor al 25 %	1
25 % de impacto	2
50 % de impacto	3
75 % de impacto	4

Fuente: Propia

Tabla 3.

Ponderación de la afectación a la salud y seguridad: Se utiliza para definir en qué grado afecta una falla a la Salud y la seguridad

Salud y seguridad (SS)	Ponderación
No hay algún riesgo de lesión	1
Lesiones leves sin incapacidad	2
Lesiones con incapacidad entre 1 y 30 días	3
Lesiones con incapacidad mayor a 30 días	4

Fuente: Propia

Tabla 4.

Ponderación de los costos de reparación: Se utiliza para definir cuanto puede costar solucionar una falla.

Costos de Reparación (CR)	Ponderación
Menos de 1.000 dólares	1
Entre 1.000 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 10.000 dólares	3
Más de 10.000 dólares	4

Fuente: Propia

Tabla 5.

Ponderación del tiempo de reparación: Se utiliza para definir cuanto es el tiempo utilizado para solucionar una falla.

Tiempo de Reparación (TR)	Ponderación
Menor a 4 horas	1
Igual o mayor a 4 horas y menor a 6 horas	2
Igual o mayor a 6 horas y menor a 12 horas	3
Mayor a 12 horas	4

Fuente: Propia

Tabla 6.
Ponderación del tiempo de operación: se utiliza para definir el tiempo que se pierde de operación a raíz de una falla.

Tiempo de Operación (TO)	Ponderación
Opcionalmente	1
Un turno de trabajo	2
Dos turnos de trabajo	3
24 horas	4

Fuente: Propia

Figura 1.
Matriz de Criticidad

Frecuencia	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Consecuencia															

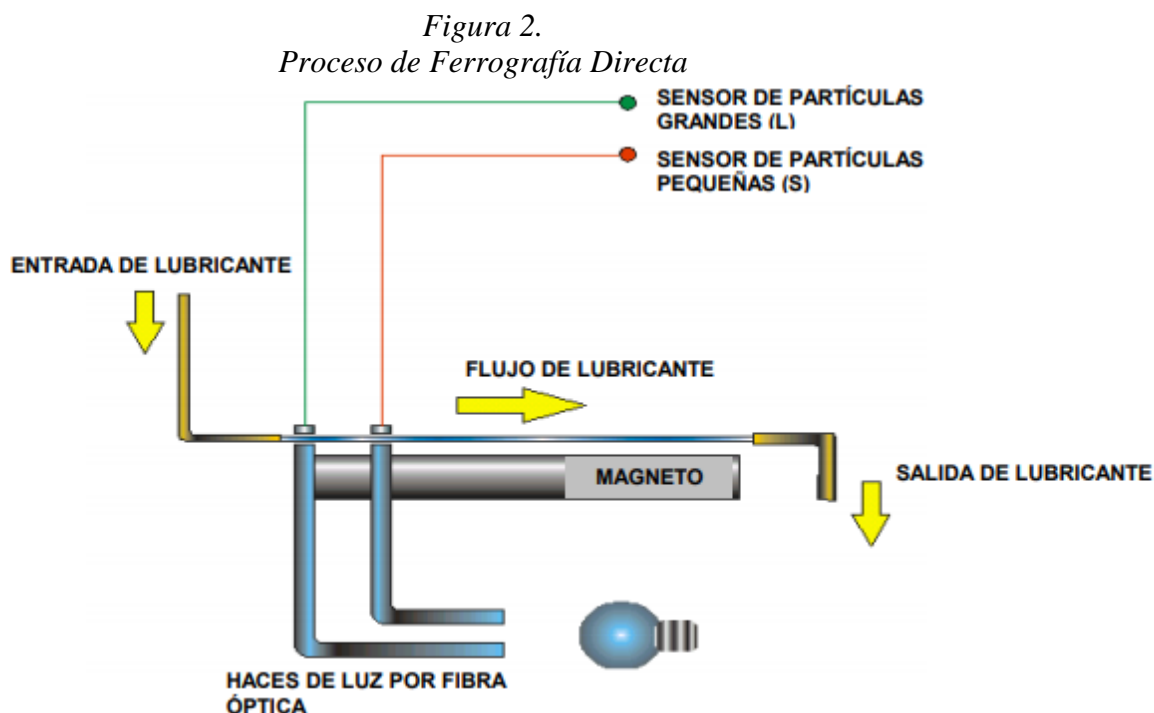
Nota: Matriz con las diferentes escalas para determinar la criticidad de los equipos;

Fuente: Propia

5.2.5. Ferrografía Directa

La ferrografía directa consiste en una medición cuantitativa de la concentración de las partículas ferrosas en una muestra de fluido a través de la precipitación de esas partículas en un tubo de vidrio sometido a un fuerte campo magnético. Dos rayos de luz transportados por fibra óptica impactan sobre el tubo en dos posiciones correspondientes a la localización en la cual las partículas grandes y las pequeñas serán depositadas por el campo magnético. La luz es reducida en relación a las partículas depositadas en el tubo de vidrio y ésta reducción es monitoreada y medida electrónicamente. Dos conjuntos de lecturas son obtenidos de las grandes y pequeñas

partículas (partículas por encima de 5 micras y partículas por debajo de 5 micras). Por lo general más de 20,000 partículas mayores de 5 micras indican una alerta de seguimiento y más de 40,000 son excesivas e indican problemas de desgaste en componentes ferrosos de la máquina (A-MAQ S.A. Análisis de maquinaria, 2005).



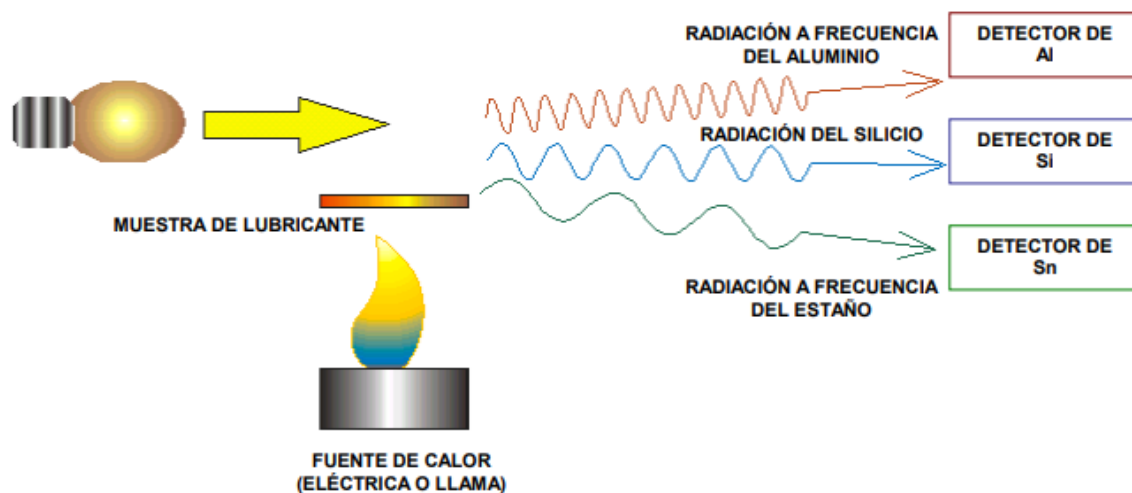
Nota: Ferrografía para determinar partículas ferrosas en el aceite; fuente: (A-MAQ S.A. Análisis de maquinaria, 2005).

5.2.6 Espectrofotometría de absorción atómica (Detección de elementos presentes)

Este análisis, en conjunto con el conteo de partículas, es el más popular en la implementación de programas de mantenimiento predictivo, debido a que, en los centros industriales, los proveedores de lubricante ofrecen el servicio como un valor agregado a la venta. El principio básico consiste en someter la muestra de lubricante a una fuente alto voltaje (15 kV) en la cual se calienta y libera energía. Fenómenos especiales de radiación se generan, en los

cuales se pueden diferenciar y asignar las radiaciones a diferentes frecuencias a elementos específicos constituyentes del lubricante. La intensidad de radiación a una frecuencia específica es proporcional a la concentración de su respectivo elemento (A-MAQ S.A Análisis de maquinaria, 2005).

*Figura 3.
Proceso Espectrofotometría de absorción atómica*



Nota: Espectrofotetría para determinar los porcentajes de los constituyentes del lubricante; fuente: (A-MAQ S.A Análisis de maquinaria, 2005).

Algunos de los elementos detectados más importantes son Silicio, Calcio, Bario, Magnesio, Hierro, Cobre, Cromo, Aluminio, Estaño, Cobre, Plata, Vanadio, Sodio, Plomo; con este análisis también se pueden determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite, como, la oxidación, viscosidad, contenido de agua y apariencia.

5.2.7. La Tribología

Es la ciencia que estudia las superficies en movimiento relativo. Se compone de tres aspectos principales: fricción, desgaste y lubricación. Estos tres fenómenos son los principales causantes del deterioro de máquinas y de la consiguiente reducción de la optimización funcional; lo que se traduce en trabajos de calidad inferior, pérdida de productividad y, en último término, averías.

Por tanto, unas condiciones tribológicas adecuadas son de suma importancia en el funcionamiento de equipamientos críticos. Para asegurar un conocimiento profundo de la tribología, es necesario poner en práctica conocimientos de tecnología de materiales, además de otros relativos a la física y la química, para reducir las paradas por incidencias técnicas y aumentar así la productividad. Prolongar la vida útil de las máquinas críticas por medio de la tribología es posible aplicando una serie de buenas prácticas de optimización tribológica en cada una de las áreas especificadas anteriormente mencionadas. Existen una serie de estudios internacionales que demuestran la importancia económica de la aplicación de la tribología en la industria; es importante controlar los tres parámetros fundamentales para asegurar un buen comportamiento tribológico en funcionamiento: la degradación del lubricante, la contaminación del sistema tribológico y el desgaste producido en la máquina (Martinez , 2018).

5.3 Marco Legal

En la siguiente tabla se relaciona la normativa aplicable a la presente investigación.

Tabla 7.

Marco Normativo y legal: Aquí se encuentran las principales normas que aplican en el desarrollo del proyecto.

Norma/Reglamento	Numeral	Observaciones
-------------------------	----------------	----------------------

ISO 14224	Completo	Esta norma brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en la industria del petróleo gas y otras industrias.
SAE J1011	Completo	Esta norma establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM
SAE J1012	Completo	Esta norma amplifica y clarifica los criterios basados en el mantenimiento centrado en la confiabilidad y resume problemas adicionales que deben ser aplicados para un correcto desempeño del RCM
ISO 4021	Completo	Esta norma brinda una guía para la toma de muestras de aceite en servicio, analizando los diferentes métodos de extracción
ASTM D445	Completo	Esta norma establece el procedimiento para determinar la viscosidad Cinemática de productos derivados del petróleo.
ASTM D664	Completo	Esta norma establece el método para determinar el índice de acidez de un aceite
ASTM D6304	Completo	Esta norma establece los procedimientos para determinar el contenido de agua en productos petrolíferos, lubricantes y aditivos
ISO 4406	Completo	Esta norma establece parámetros técnicos que expresan el nivel de contaminación de aceites y fluidos.

ISO 9001

Esta norma determina los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones.

6. Marco Metodológico.

6.1 Recolección de la información

6.1.1. Tipo de Investigación.

El tipo de investigación está basado en un paradigma cuantitativo, ya que se basa en hechos y los hechos nos ayudan a explicar y solucionar futuras fallas de los reductores de las bandas transportadoras en una planta productora de concreto.

6.1.2 Fuentes de obtención de la Investigación.

La fuente principal serán las obtenidas por la compañía dedicada a la fabricación y comercialización de concreto y sus derivados.

6.1.2.1 Fuentes primarias.

Como fuente primaria para la obtención de la información, se contará con los informes de los equipos, los manuales, los reportes de los técnicos y contratistas, el módulo de SAP de mantenimiento de la compañía y se desarrollará la taxonomía de los equipos.

Se realizará un cronograma para la toma de muestra de aceite de los reductores, llevar las muestras al laboratorio y realizar el estudio para determinar que partículas extrañas tiene el

aceite; así realizar un mantenimiento basado en el resultado del aceite en cada uno de los reductores.

6.1.2.2 Fuentes secundarias.

Se implementará la información registrada en este trabajo en el estado del arte y por otros trabajos de grado, utilizando las normas nacionales e internacionales y los métodos investigados en la toma de muestras de aceites en reductores.

6.1.3 Herramientas para la investigación.

Módulo de SAP PM

Manual Motorreductores Dodge.

Manual Motorreductores Sumitomo.

Manual Motorreductores Flender.

Análisis de tiempo medio entre fallas

Análisis de tiempo medio de reparación

Inventario de activos.

La norma ISO 55000 define los activos de una compañía como *“Algo que posee valor potencial o real para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero.”* (Instituto de Normas Técnicas ICONTEC, 2015). Los activos de interés para el trabajo son los motorreductores de las bandas transportadoras, si un motorreductor falla la operación de producción de la planta se detiene, por esto se define que son activos con un valor potencial para la compañía. En ese sentido, mediante un recorrido por las instalaciones se corrobora el

inventario de equipos de misión crítica revisando además de la ubicación, la marca, potencia y serial.

6.1.4 Metodología de la investigación.

6.1.4.1 Desarrollo objetivo uno

El objetivo número uno “Caracterizar los procesos de mantenimiento que adelanta actualmente la compañía; Sistema de gestión, mapas de proceso, planeación estratégica; donde está ubicado el proceso de mantenimiento”. Se realizará la taxonomía de los equipos de estudio, reductores de las bandas transportadoras.

6.1.4.2 Desarrollo objetivo dos

El objetivo número dos “Identificar las causas recurrentes de las fallas asociadas a los reductores de las bandas transportadoras de una planta productora de concreto, analizando la matriz de criticidad de los equipos objeto de estudio” Se va realizar una matriz de criticidad general para todos los equipos esto con el fin de determinar el nivel de afectación para la operación en caso de fallas no programadas

6.1.4.3 Desarrollo objetivo tres

El objetivo número tres “Generar la documentación requerida para la implementación del plan de mantenimiento predictivo de los reductores de las bandas transportadoras”. Se va a realizar cronogramas de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras y determinar la frecuencia de cambio de aceite y actividades que se van a contemplar dentro del plan de mantenimiento.

6.1.5 Información Recopilada.

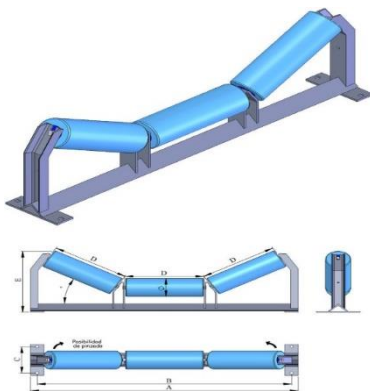
6.1.5.1 Banda Transportadora.

Una banda transportadora es un sistema de transporte consistente en una cinta que se mueve continuamente entre dos tambores. Esta banda es arrastrada por fricción por uno de los dos tambores, que es accionado por un motor. El otro tambor gira libremente y tiene como función el de servir de retorno a la banda. Entre los dos tambores la banda es soportada por rodillos.

6.1.5.1.1 Banda tipo artesa.

Banda con filas de tres rodillos, lo cual hace que tenga un aspecto de artesa o canal. Ideal para el movimiento y carga de grava, cemento, concreto, arena y otros productos.

Figura 4.
Artesas para bandas transportadoras



Nota: Las artesas para bandas transportadoras permiten asegurar la rodillera a la estructura; Tomado de: <https://www.plantasconcreto.com/banda>.

6.1.5.1.2 Banda tipo Radial.

Esta banda es parecida a la banda artesana, ya que los rodillos hacen que la forma de la banda tenga aspecto de canal, gracias a las filas de 3 rodillos, pero, además, esta banda cuenta con un sistema

motorizado en las llantas de la cabrilla para que la banda gire sobre la base, resultando ideal para hacer pilas más robustas del producto a transportar.

6.1.5.2 Motorreductor.

Una máquina muy compacta que combina un reductor de velocidad y un motor. Estos van unidos en una sola pieza y se usa para reducir la velocidad de un equipo de forma automática.

Un motorreductor se caracteriza por tener varios elementos. Sin embargo, destacan tres principales. Cuando decimos que un par o torque son parte del funcionamiento óptimo de esta máquina es porque sin ellos no podrían girar. Se trata de la fuerza que acciona al equipo para que este gire a una velocidad determinada.

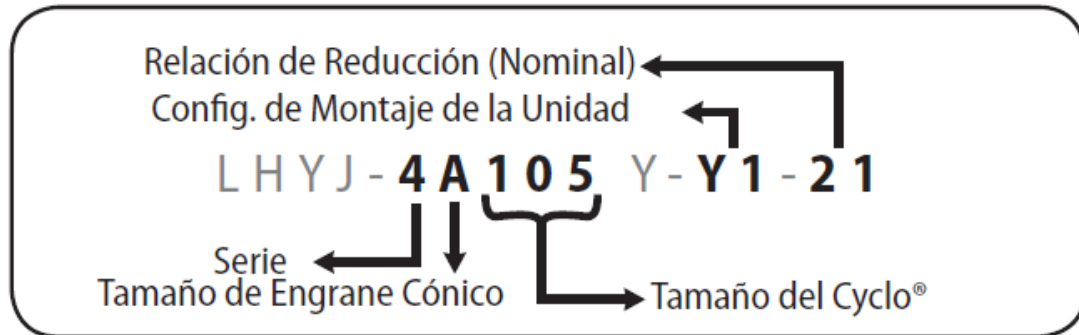
Cuando esta fuerza se activa se le conoce como flecha de salida que es lo mismo a la fuerza con que gira un motor. Sus unidades de medida son en kilogramos, metro o libra, pie, pulgadas, entre otras. Cuando este primer elemento se une con un tiempo determinado en que se ejecuta el giro, es lo que se conoce como potencia de un motorreductor.

Este sería el segundo elemento de la máquina que junto a la velocidad permiten que el motor se libere. En otras palabras, el par o torque dependen directamente de la fuerza de giro y para esto la carga debe ser proporcional a ella. La velocidad de giro que toma la máquina depende de esa potencia aplicada al motorreductor.

6.1.5.3 Método de lubricación.

6.1.5.3.1 Reductores Sumitomo

Figura 5. Placa de Características

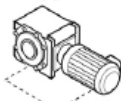
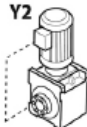
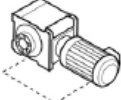
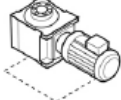
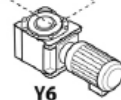


Nota: Placa de características para determinar las diferentes configuraciones del reductor;
tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

Usando el número de modelo y la configuración de montaje; se determina el método de lubricación de la unidad.

Tabla 8.

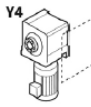
Método de Lubricación para las Configuraciones Y1, Y2, Y3, Y5, Y6: En esta tabla se observa el método de lubricación para las diferentes posiciones de montaje.

Configuración de Montaje	Tamaño de la Unidad		Método de Lubricación	
	Tamaño de Caja BBB	Tamaño de Parte Cyclo®		
    	4A - 4F	100, 105, 110, 115, 120, 125, 140, 145, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190, 195 10DA, 12DA, 12DB, 14DA, 14DB, 14DC, 16DA, 16DB, 17DA, 17DB, 17DC	Unidad completa (Caja BBB y Parte Cyclo®)	Sumidero Común de Aceite

Tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

Tabla 9.

Método de lubricación para configuración Y4: En esta tabla se observa el método de lubricación para la configuración de montaje Y4 en los diferentes tamaños de cajas reductoras.

Configuración de Montaje	Tamaño de la Unidad		Método de Lubricación	
	Tamaño de Caja BBB	Tamaño de Parte Cyclo®		
	4A-4F	100, 105, 110, 105, 120, 125, 140, 145	Porción Cyclo®	Grasa que no requiere mantenimiento
		10DA, 12DA, 12DB	Porción de Caja BBB	Aceite
		140, 145, 160, 165, 170, 175 180, 185, 190, 195	Porción Cyclo®	Grasa
		12DA, 12DB, 14DA, 14DB, 14DC, 16DA, 16DB, 17DA, 17DB, 17DC, 18DA, 18DB, 19DA, 19DB	Porción de Caja BBB	Aceite

Tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

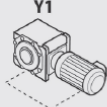
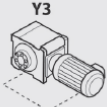
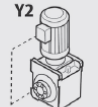
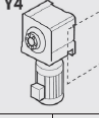
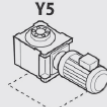
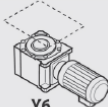
Tabla 10.

Aceites recomendados para reductores Sumitomo según el fabricante del lubricante y la temperatura de trabajo.

Temp. Ambiente °F (C)	Fabricante					
	Aceite Gulf	Aceite Esso	Aceite Mobil	Aceite Shell	Aceite Caltex	Aceite BP
14° – 41°F (-10° – 5°C)	Lubricante EP HD 68	Spartan EP 68	Mobilgear 600 XP 68 (ISO VG 68)	Omala S2 G 68	—	Energol GR-XP 68
32° – 95°F (0° – 35°C)	Lubricante EP HD 100 HD150	Spartan EP 100 EP 150	Mobilgear 600 XP 100, 150 (ISO VG 100, 150)	Omala S2 G 100 150	Meropa 100 150	Energol GR-XP 100 GR-XP 150
86° – 122°F (30° – 50°C)	Lubricante EP HD 220 HD 320 HD 460	Spartan EP 220 EP 320 EP 460	Mobilgear 600 XP 220, 320, 460 (ISO VG 220, 320, 460)	Omala S2 G 220 320 460	Meropa 220 320 460	Energol GR-XP 220 GR-XP 320 GR-XP 460

Tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

Tabla 11.
Cantidades de aceite según el modelo y la configuración de montaje Galones EUA (litros)

Tamaño de la Unidad de Engrane Cónico	Configuración de Montaje						
	Y1	Y3	Y2	Y4	Y5	Y6	
							
				Salida	Entrada		
4A10DA	0.4 (1.65)		0.8 (3.20)	0.3 (1.13)	G	0.4 (1.39)	0.5 (1.87)
4A12DA	0.5 (1.74)		0.9 (3.38)			0.4 (1.48)	0.5 (1.96)
4A12DB	0.5 (1.78)		0.9 (3.43)	0.5 (1.72)	G	0.4 (1.52)	0.5 (2.00)
4B12DA	0.9 (3.32)		1.7 (6.53)			0.9 (3.37)	0.9 (3.26)
4B12DB	0.9 (3.36)		1.7 (6.57)			0.9 (3.41)	0.9 (3.30)
4B14DA	0.9 (3.52)		1.8 (7.00)			0.9 (3.57)	0.9 (3.46)
4B14DB	0.9 (3.56)		1.9 (7.04)			1.0 (3.61)	0.9 (3.50)
4C14DA	1.5 (5.55)		2.9 (11.2)			0.7 (2.72)	G
4C14DB	1.5 (5.59)		3.0 (11.2)	1.4 (5.37)	1.6 (5.95)		
4C14DC	1.5 (5.64)		3.0 (11.3)	1.4 (5.42)	1.6 (6.00)		
4C16DA	1.6 (6.03)		3.1 (11.8)	1.5 (5.81)	1.7 (5.39)		
4C16DB	1.6 (6.08)		3.1 (11.9)	1.5 (5.86)	1.7 (6.44)		
4C17DA	1.7 (6.41)		3.3 (12.6)	1.6 (6.19)	1.8 (6.77)		
4D16DA	2.7 (10.1)		5.3 (20.0)	1.2 (4.61)	G	2.6 (9.76)	2.8 (10.5)
4D16DB	2.7 (10.2)		5.3 (20.0)			2.6 (9.81)	2.8 (10.6)
4D17DB	2.8 (10.5)		5.4 (20.6)			2.7 (10.2)	2.9 (10.9)
4D17DC	2.8 (10.7)		5.5 (20.7)			2.7 (10.3)	2.9 (11.0)
4E17DA	3.9 (14.6)		7.6 (28.8)	1.7 (6.26)	G	3.5 (13.1)	4.3 (16.1)
4E17DB	3.9 (14.7)		7.6 (28.9)			3.5 (13.2)	4.3 (16.2)
4E17DC	3.9 (14.8)		7.7 (29.0)			3.5 (13.3)	4.3 (16.3)

Tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

6.1.5.3.2 Procedimiento de suministro de aceite

Siempre detenga la unidad antes de añadir aceite; el nivel de aceite puede bajar durante la operación, dependiendo de la viscosidad del aceite, la temperatura y la dirección de rotación. En esos casos no es necesario agregar aceite. Verifique el nivel de aceite cuando la unidad esté parada para asegurarse de que tenga la cantidad correcta.

Lleva algo de tiempo que el aceite se asiente cuando tiene alta viscosidad. Tenga cuidado de no agregar demasiado aceite.

Puede haber dos sitios diferentes de llenado de aceite en algunas combinaciones; consulte los detalles en la figura de las ubicaciones de llenado / drenado.

1. Retire el tapón de llenado de aceite. Consulte la Figura 1.
2. Agregue aceite lentamente mientras verifica el nivel a través del indicador de nivel de aceite.
3. Después que se asiente el aceite, asegúrese de que el nivel esté a la mitad entre las marcas alta y baja del indicador.
4. Inserte el tapón de llenado de aceite después de envolverlo en un compuesto sellador o cinta. (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

Tabla 12.

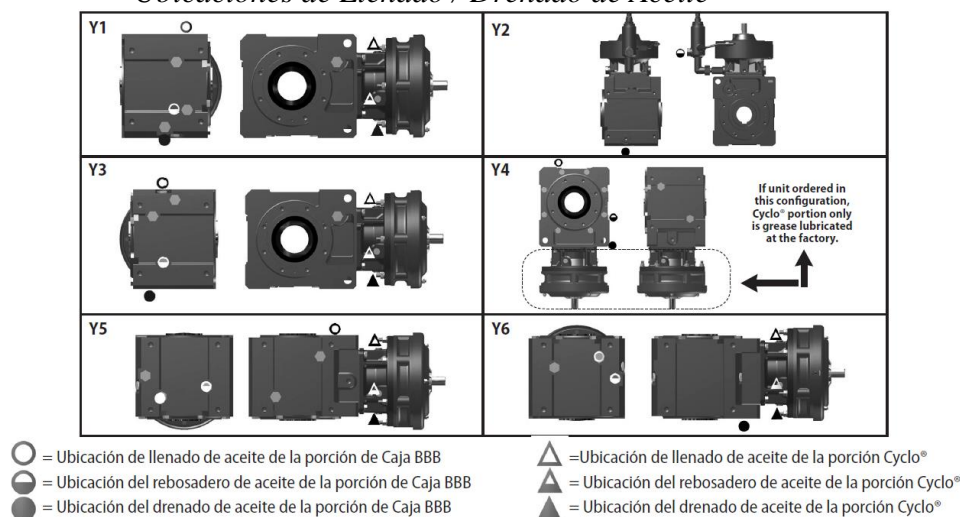
Intervalos para el cambio de aceite en reductores Sumitomo

Tarea	Intervalo de Cambio	Condiciones de Uso
Suministro de Aceite	Al momento de la instalación	Todas
Cambio de Aceite	Primer Cambio	500 hrs. de operación o 6 meses, lo que ocurra primero.
	Segundo cambio y subsecuentes	5000 hrs. de operación o 1 año, lo que ocurra primero.
		Temperatura interior de 32°– 95°F (0° – 35° C)
		Lugares donde la temperatura no pueda mantenerse en 32°– 95°F (0° – 35° C)

Tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

Figura 6.

Ubicaciones de Llenado / Drenado de Aceite



Nota: Ubicación del llenado y drenado de los diferentes tipos de reductores sumitomo;

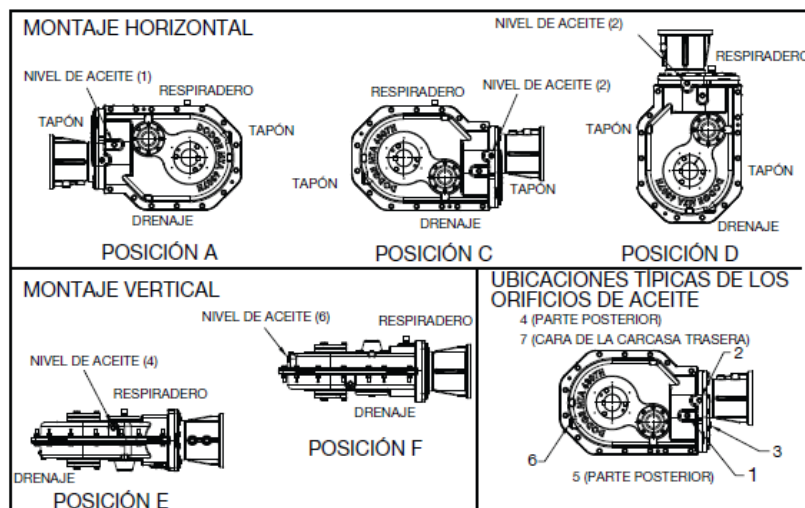
tomado de: (Sumitomo Drive Technologies, 2014)

6.1.5.3.3 Procedimiento de Descarga de Aceite

1. Retire el tapón de drenado como se muestra en la Figura 6, para descargar el aceite.
2. Deseche o recicle apropiadamente el lubricante de acuerdo con los reglamentos aplicables.
3. Coloque de nuevo el tapón de drenado con compuesto sellador o cinta.

6.1.5.3.2 Reductores Dodge

Figura 7.
Tipos de Montaje reductores Dodge



Nota: Posiciones de montaje en reductores Dodge; tomado de: (Baldor Electric Company, 2013).

Tabla 13.
Cantidad de aceite a utilizar según el tipo de caja y la posición de montaje

Caja Tamaño	Volumen de aceite en cuartos ①②③④⑤⑥						Volumen de aceite en litros ①②③④⑤⑥					
	Horizontal				Vertical		Horizontal				Vertical	
	A	B	C	D	E (Arriba)	F (Abajo)	A	B	C	D	E (Arriba)	F (Abajo)
MTA2115H	4-1/4	⑤	3-5/8	7	5-3/8	5-5/8	3-3/4	⑤	3-1/2	6-5/8	5	5-3/8
MTA3203H	6-3/8	⑤	4-3/8	9-3/4	7-3/8	7-5/8	6	⑤	4-1/8	9-1/4	7	7-1/8
MTA4207H	8-1/4	⑤	6-3/4	13-1/8	9-1/4	9-5/8	7-7/8	⑤	6-3/8	12-3/8	8-7/8	9-1/8
MTA5215H	14	⑤	10-1/8	21	16	16-7/8	13-1/4	⑤	9-5/8	20	15-1/8	16
MTA6307H	18-3/8	⑤	15-3/8	30-1/8	23-1/2	24-7/8	17-3/8	⑤	14-1/2	28-1/2	22-1/4	23-1/2
MTA7315H	25	⑤	19-5/8	38-1/4	23-1/4	26-1/2	23-5/8	⑤	18-1/2	36-1/2	22	25-1/8
MTA8407H	29-1/8	⑤	22-5/8	52	31-3/4	31-3/4	27-5/8	⑤	21-3/8	49-1/4	30	30

Tomado de: (Baldor Electric Company, 2013)

Tabla 14.
Recomendaciones de aceites para reductores Dodge Torque Arm según el tamaño del reductor

Salida RPM	Tamaño del reductor Torque-Arm II						
	MTA2115H	MTA3203H	MTA4207H	MTA5215H	MTA6307H	MTA7315H	MTA8407H
151 – 200	320	220	220	220	220	220	220
126 – 150	320	220	220	220	220	220	220
101 – 125	320	320	220	220	220	220	220
81 – 100	320	320	320	220	220	220	220
41 – 80	320	320	320	220	220	220	220
11 – 40	320	320	320	320	320	320	320
1 – 10	320	320	320	320	320	320	320

Tomado de: (Baldor Electric Company, 2013).

6.1.5.3.2.1 Intervalo para cambio de aceite

En condiciones habituales de operación industrial, se debería cambiar el lubricante cada 2500 horas de operación o cada 6 meses, lo que ocurra primero. Drene el reductor e irríguelo con queroseno, limpie el tapón de drenaje magnético y vuelva a llenar el hasta el nivel adecuado con lubricante nuevo. (Baldor Electric Company, 2013)

6.2 Análisis de la Información.

6.2.1 Estructura de Mantenimiento.

El departamento de mantenimiento depende de un jefe de mantenimiento, apoyado por un planeador de mantenimiento, un supervisor de mantenimiento y un equipo de 8 técnicos, los cuales son contratistas: técnicos eléctricos y técnicos mecánicos, los técnicos se les encarga la labor de las rutinas (inspecciones) y la ejecución de los diferentes tipos de mantenimiento.

6.2.2 Inspecciones periódicas mensuales.

Para las inspecciones de los motorreductores de las bandas transportadoras en la compañía de estudio, se diseñará una rutina ya que no se cuenta con ella en la actualidad.

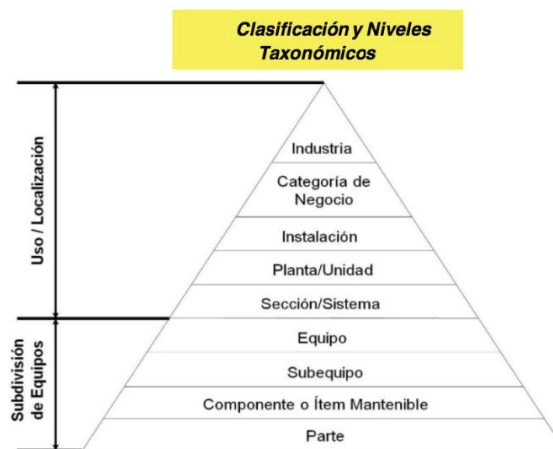
La rutina solicita el nombre del técnico, el equipo a revisar, el serial, la ubicación, fecha y toma de la muestra de aceite, se debe registrar el consecutivo de la muestra con la bomba vampiro.

6.2.3 Taxonomía.

Para organizar los activos y diseñar una jerarquía se utiliza un sistema de clasificación llamado taxonomía, para los activos de estudio de la compañía se va a implementar este método de clasificación.

La Taxonomía es definida por la norma ISO 14224:2016 como una “clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores comunes a varios de los ítems”

*Figura 8.
Clasificación y niveles taxonómicos*



Nota: Niveles para realizar la taxonomía de los equipos en planta

6.2.4 Matriz de Criticidad

6.2.4.1 MTBF (Tiempo medio entre fallas)

*Tabla 15.
Cálculo del MTBF o el tiempo medio entre fallas; es decir cada cuantas horas de operación falla el equipo.*

MTBF (horas)	1998
Tiempo de trabajo (horas)	8064
Tiempo de avería (horas)	72
# de averías al año (Días)	2,02
Días trabajados	576
Horas promedio de producción	14
# de paradas	4

Fuente: propia

6.2.4.2 Impacto a la producción

*Tabla 16.
Cálculo del impacto a la producción en porcentaje según la cantidad de horas que se dejó de producir y la cantidad de m³ que no se produjeron mientras la falla.*

IP (Impacto a la producción)	85,71%
Producción por día (m3)	1200
Horas promedio de producción	14
Tiempo fuera de servicio (horas)	12
Producción perdida (m3)	1028,6
Producción por hora (m3)	85,71

Fuente: propia

6.2.4.3 Salud y seguridad

Según la matriz de identificación de peligros y valoración de riesgos, al realizar trabajos en los reductores de las bandas se pueden generar lesiones leves sin incapacidad; al revisar la tabla 3 esto nos da una ponderación de 2, para el cálculo del índice de criticidad.

6.2.4.4 Costos de reparación

Tabla 17.

Cálculo de los costos de reparación totales en las diferentes varadas que presento el equipo durante un año.

CR (Costos de reparación)	\$	4.487.367
Varada 1	\$	863.467
Varada 2	\$	11.200.000
Varada 3	\$	586.000
Varada 4	\$	5.300.000

Fuente: Propia

6.2.4.5 Tiempo de Reparación

Según el historial del tiempo de reparación para fallas en los reductores de las bandas transportadoras; el personal de mantenimiento gasta en promedio 12 horas para solucionar la avería; al revisar la tabla 5 esto nos da una ponderación de 3, para el cálculo del índice de criticidad.

6.2.4.6 Tiempo de operación

Según el historial del tiempo de operación en las plantas productoras de concreto, el promedio de operación son dos turnos de trabajo; al revisar la tabla 6 esto nos da una ponderación de 3, para el cálculo del índice de criticidad.

6.2.4.7 Cálculo del índice de criticidad

Tabla 18.

Cálculo del índice de criticidad cruzando la frecuencia de las fallas vs la consecuencia

IC (Índice de Criticidad)	28
FF (Frecuencia de fallas)	2
CF (Consecuencia de fallas)	14

IP (impacto a la producción)	4
SS (Salud y seguridad)	2
CR (Costos de reparación)	2
TR (Tiempo de reparación)	3
TO (Tiempo de operación)	3

 Baja

 Media

 Alta

6.3 Propuesta de Solución.

Se realiza la documentación requerida para la implementación del plan de mantenimiento predictivo de los reductores de las bandas transportadoras, diseñar un formato donde se ingrese la información de la inspección y toma de muestra de aceite, diseñar la hoja de vida de cada reductor, para archivar los mantenimientos y las fallas, recolectando esta información, podemos recolectar e identificar cuáles son las fallas recurrentes en los motorreductores, la compañía no cuenta con la información de base y lo que se realiza es mantenimiento correctivo, sin saber cuánto tiempo se demorara y que repuestos deben solicitar al almacén de la compañía para tener en stock, porque cuando ocurre la falla, los repuestos no se encuentran en el almacén de la planta y esto aumenta la demora en las reparaciones.

Realizando la clasificación y documentando el motivo de las fallas de los motorreductores, eliminamos la demora en las reparaciones y mitigamos el tiempo entre fallas.

6.3.1 Plan de Mantenimiento

Recursos necesarios para la ejecución del plan de mantenimiento.

Contratista: 2 técnicos Calificados

Tiempo de Ejecución: 2 Horas

Procedimiento De Seguridad

- 1- Realice el análisis de riesgo de la tarea a ejecutar y diligencie ATS
- 2- Utilice los siguientes elementos de protección personal: casco, mono gafas, tapabocas con elemento filtrante, overol con banda reflectiva, Tapa oídos de inserción o tipo copa.
- 3- Desenergice el equipo, compruebe ausencia de tensión o arranque desde campo, coloque su candado y tarjeta en el dispositivo indicado.

Herramientas

- 1- Juego de llaves Bristol
- 2- Atornillador de pala
- 3- Atornillador de estrella
- 4- Grata
- 5- Bomba de vacío o vampiro
- 6- Embudo
- 7- Pinza Voltiamperimetrica

Materiales

- 1- Aceite ISO 100 o el indicado por el fabricante.
- 2- Recipiente o balde para drenar aceite usado.
- 3- Estopa o paño absorbente.
- 4- Kit de derrames (Pala, material absorbente, bolsa roja, etc.)
- 5- Recipiente para muestra de aceite.

Procedimiento Con Equipo Energizado

- 1- Verifique la corriente de trabajo del equipo con carga y sin carga.
- 2- Detecte vibraciones y ruidos extraños tanto en la caja reductora como en el motor.
- 3- Verifique la temperatura externa del equipo
- 4- Revise movimientos anormales del reductor con respecto al eje.

Procedimiento Con Equipo Bloqueado

- 1- Verifique que no existan fugas
- 2- Retire el tapón de drenado, para descargar el aceite.
- 3- Coloque el recipiente de almacenamiento de la muestra en la bomba de vacío, verificando que quede bien asegurado.
- 4- Introduzca el tubo flexible por el orificio de drenado.
- 5- Accione la manija de la bomba para comenzar a extraer el aceite, llene el recipiente hasta $\frac{3}{4}$ partes.
- 6- Retire el tubo flexible del orificio de drenado.
- 7- Retire el recipiente de la bomba de vacío y coloque la tapa.
- 8- Coloque el balde debajo del orificio de drenado para comenzar a extraer el aceite usado.
- 9- Coloque el tapón de drenado del aceite.
- 10- Retire el tapón de llenado del aceite.
- 11- Introduzca el embudo en el orificio de llenado.
- 12- Agregue la cantidad indicada por el fabricante lentamente, verificando el nivel.
- 13- Coloque el tapón de llenado.

- 14- Deseche o disponga el aceite usado en el lugar de disposición de residuos de la empresa.
- 15- Marque el recipiente de la muestra con los datos del equipo y el tipo de aceite.
- 16- Revisé las conexiones en la bornera del motor y de ser necesario ajuste y reapreté.
- 17- Revisé las conexiones en el guaradamotor y contactor y de ser necesario reapreté.
- 18- Desbloquear el equipo y realizar pruebas.
- 19- Entregue la muestra al supervisor de mantenimiento o encargado del área para que sea enviado a análisis.
- 20- Envié la muestra de aceite al proveedor de lubricantes y registré la muestra en el software definido, para que una vez realizado el análisis se puedan observar los resultados y tomar las acciones pertinentes.

Nota: Realice esta rutina de mantenimiento cada 2500 horas de trabajo del equipo o cada 6 meses lo que primero ocurra.

6.3.2 Proceso para el análisis de aceite

El análisis de aceite se hace con el fin de analizar 4 factores claves en la muestra; viscosidad del aceite, degradación del lubricante, desgaste de componentes de la máquina, entrada de contaminantes; para esto se realizan diferentes pruebas al aceite con el fin de determinar valores anormales en la muestra que puedan afectar el correcto funcionamiento del equipo.

En los reductores se pueden encontrar altos niveles de residuos ferrosos que pueden darse por desgaste interno de los componentes; si los niveles de Silicio, Sodio y Calcio son altos significa que el aceite está contaminado por diferentes factores externos al lubricante.

Al encontrar valores fuera de los parámetros se debe realizar una contra muestra para descartar que la primera muestra al obtenerse no fue contaminada, de continuar los valores fuera de su límite normal se debe proceder hacer las correcciones para evitar daños más críticos en el equipo.

Por último, se debe llevar un historial de los resultados obtenidos en las diferentes muestras de aceite durante toda la vida útil del equipo.

6.3.3 Modelo hoja de vida

1. IDENTIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE EQUIPO
Ubicación Técnica
Modelo
Serie
Fabricante
Localización
Potencia Motor
Tipo de montaje
RPM de salida
Relación nominal de reducción
Fecha de la muestra de aceite

2. IMAGEN

3. REPUESTOS Y LUBRICANTES	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

--	--

4. HISTORIAL DE MANTENIMIENTO	
FECHA	ACTIVIDADES DESARROLLADAS

7. Impactos esperados y alcanzados

7.1 Impactos esperados

Implementar un plan de mantenimiento predictivo (análisis de aceite) para cualquier activo hace parte de un desarrollo dentro de la estructura de mantenimiento y permite a las organizaciones tener un control de sus equipos y aumentar la vida útil de los mismos.

Al implementar el plan de mantenimiento se espera poder caracterizar los equipos objeto de estudio, esto incluye realizar la taxonomía, la matriz de criticidad y un análisis de los modos y efectos de falla; ya teniendo caracterizado cada equipo se espera definir, según el manual técnico y el historial de mantenimiento la frecuencia de cambio de aceite.

Cuando se realicen los cambios de aceite se debe tomar muestra del aceite usado y enviar al laboratorio para su respectivo análisis; con los resultados obtenidos se debe programar las labores de mantenimiento pertinentes para evitar fallas funcionales que puedan afectar los volúmenes de producción de la planta.

7.2 Impactos Alcanzados

Los impactos alcanzados durante el desarrollo de este proyecto se enfocan en el manejo de la información obtenida y la propuesta del plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadores; con la información recolectada se realiza el análisis de criticidad de cada uno de los equipos, teniendo en cuenta las variables descritas en el marco teórico; las cuales son frecuencia de fallas, el impacto a la producción, afectación a la salud y la seguridad, costos de reparación, tiempo de reparación y tiempo de operación se realizó la matriz de criticidad de cada equipo con el fin de determinar cuáles son los activos más críticos para la operación y así mismo poder programar las tareas de mantenimiento para cada activo.

Se logra plantear una propuesta documental para la inspección de los reductores de las bandas transportadoras, incluyendo los componentes que se deben revisar y los posibles hallazgos que se pueden encontrar en cada equipo al obtener la muestra de aceite y realizar su respectivo análisis.

8. Análisis Financiero

8.1 Costos de implementación de la propuesta

Tabla 19.

Costo total para la implementación del proyecto teniendo en cuenta materiales y mano de obra necesarios.

Costos para la implementación del proyecto			Total por ítem
Capacitación del personal (mensual)			\$ 6.074.800
	Salario base	Salario con prestaciones	
Ingeniero Mecatrónico	\$ 4.000.000	\$ 6.074.800	

Gastos de insumos		\$
		215.000
Bomba de extracción (Vampiro)	\$ 120.000	
Kit de muestras de aceite	\$ 95.000	
Transporte de muestras		\$
		1.623.014
	Salario base	Salario con prestaciones
Mensajero	\$ 908.526	\$ 1.623.014
Muestreo Cruzado		\$
		287.600
Preparación de muestras en conjunto (10un)	\$ 21.600	
Espectrofotometría	\$ 266.000	
Total Proyecto		\$
		8.200.414

Fuente: Propia

8.2 Pérdidas por producción

Tabla 20.

Cálculo del costo de producción perdida por fallas en los equipos

Pérdidas de producción por fallas			
Equipo	Costo x m³	m³ no producidos	Costo volumen perdido
Banda 1	\$ 328.000	60	\$ 19.680.000
Banda 2	\$ 328.000	120	\$ 39.360.000
Banda 3	\$ 328.000	30	\$ 9.840.000
Banda 4	\$ 328.000	240	\$ 78.720.000
Banda 5	\$ 328.000	50	\$ 16.400.000
Banda 6	\$ 328.000	10	\$ 3.280.000
Banda 7	\$ 328.000	40	\$ 13.120.000
Total			\$ 180.400.000

Fuente: Propia

Tabla 21.

Pérdidas de producción después de la implementación; en esta tabla se evidencia la disminución de costos perdidos por no producción.

Pérdidas de producción por fallas después de la implementación			
Equipo	Costo x m ³	m ³ no producidos	Costo volumen perdido
Banda 1	\$ 328.000	48	\$ 15.744.000
Banda 2	\$ 328.000	96	\$ 31.488.000
Banda 3	\$ 328.000	24	\$ 7.872.000
Banda 4	\$ 328.000	192	\$ 62.976.000
Banda 5	\$ 328.000	40	\$ 13.120.000
Banda 6	\$ 328.000	8	\$ 2.624.000
Banda 7	\$ 328.000	32	\$ 10.496.000
Total			\$ 144.320.000

Fuente: Propia

8.3 Aplicación del ROI

Determinando el costo del volumen perdido después de implementar el proyecto se puede evidenciar una reducción en el dinero que deja de percibir la empresa por las fallas de los reductores.

$$\text{Ganancia Neta} = \$ 180.400.000 - \$ 144.320.000$$

$$\text{Ganancia Neta} = \$ 36.080.000$$

$$\text{ROI} = (\$ 36.080.000 - 8.200.414) / 8.200.414$$

$$\text{ROI} = \$ 3$$

Por cada peso invertido el retorno es 3 pesos; es decir el ROI es del 300%

$$\text{ROI} = \$ 8.200.414 \times 365 \text{ días} / \$36.080.000 = 82,95 \text{ días}$$

La inversión se va recuperar en 83 días

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

- Recopilar la información de los activos permitió caracterizar cada uno de ellos, definiendo su ubicación técnica y conocer las fallas funcionales que son la base para poder realizar un adecuado mantenimiento de cada equipo.
- Para la implementación del plan de mantenimiento predictivo, se escogió el análisis de aceite, ya que es una técnica adecuada para descubrir posibles desgastes en los componentes internos del equipo en comparación con las otras técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo.
- Al identificar las causas recurrentes de fallas asociadas a los reductores se puede hacer un correcto análisis de la frecuencia óptima para realizar el cambio y el análisis del aceite.

9.2 Recomendaciones

- Establecer la programación de lubricación, basada en la condición de los equipos y progresivamente eliminar la lubricación basada en horas.
- Continuar con la implementación del plan de mantenimiento diseñado, con el fin de mejorar la efectividad de las bandas transportadoras y poder alcanzar los niveles de producción esperados.
- Capacitar al personal de mantenimiento para la recolección de información con el fin de que se haga de manera adecuada y disminuir posibles alteraciones de los resultados del análisis de aceite.

10. Bibliografía

- Acuña Cabezas, M. P. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mediante el análisis de modos y efectos de fallas y criticidad para los componentes del equipo cuádruple, pertenecientes a la línea de producción de aserradero de la empresa Masisa Chile s.a.* Concepción (Chile): Universidad Técnica Federico Santa María.
- A-MAQ S.A Análisis de maquinaria. (Enero de 2005). TUTORIAL DE FERROGRAFÍA DIRECTA. *TUTORIAL DE FERROGRAFÍA DIRECTA, ANÁLISIS DE ELEMENTOS PRESENTES Y FERROGRAFÍA ANALÍTICA* . Medellín: Mantenimiento Planificado.
- Baldor Electric Company. (2013). Manual de instalación y repuestos para reductores de velocidad. *MOTORIZADOS TORQUE-ARM II™ – MTA2-MTA8 acoplados con brida C,*. Greenville, EE.UU: Baldor A MEMBER OF THE ABB GROUP.
- Barrientos Tamayo, L. C. (2019). *Propuesta de implementación de rutas termográficas como herramienta de mantenimiento basado en condición en el proceso de fabricación de papel.* Cartagena: Institución Universitaria Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Galarza Mendoza, J. A. (2017). *Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon Gym – Cajamarca.* Huancayo (Perú): Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en. *Información tecnológica*, 111-124.

- Girón Álvares, L. F. (2017). *Implementación del análisis de aceite usado, como herramienta de mantenimiento predictivo aplicado a las máquinas propulsoras del guardacostas GC-653 Azumanche, del Comando Naval del Pacífico*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gutiérrez Arismendy, L. A., & Bocanegra Galeano, H. (2015). *Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados*. Bogotá: Universidad ECCI.
- Marquez Vasquez, D. (2011). *Plan de negocios de una empresa que brinda servicios de mantenimiento predictivo en Colombia*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Martinez , E. (2018). La tribología, una ciencia que prolonga la vida útil de las maquinarias críticas. *Dyna Ingenieria e Industria*.
- Matoma Rubiano, C. (2021). *Propuesta de un Modelo de mejora en los planes de Mantenimiento de los Activos Fijos Productivos de la Planta de Aseo de la empresa Casa Luker S.A*. Bogotá: ECCI.
- Maya Velasquez, J. A. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA. *Scientia et Technica*, 223-226.
- Pesántez Huerta, A. E. (2007). *Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo y Preventivo en Función de la Criticidad de los Equipos del Proceso Productivo de una Empresa Empacadora de Camarón*. Guayaquil (Ecuador): Escuela Superior Politecnica del Litoral.

- Rojas Lancheros, F. E. (2021). *Estudio diagnóstico de la caldera y sus equipos para la creación del plan de mantenimiento preventivo basado en condición*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Romero Guarín , A. J., & Soler Rodríguez, L. V. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Saldivia, F. (2013). APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. CASO. *XI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 2-3.
- Salinero Gervaso, M. (2013). *DISEÑO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Sanchez Gomez, A. M. (2017). *Técnicas de mantenimiento predictivo: metodología de aplicación en las organizaciones*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Sumitomo Drive Technologies. (2014). *Manual de operación y mantenimiento Ciclo BBB4. Reductor de Velocidad de Engranajes Cónicos Espirales en*. Mexico: Sumitomo Machinery Corporation of America.
- Toapanta Cunalata, O. G. (2009). *Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores reciprocantes y de tornillo*. Riobamba (Ecuador): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Torres Huamani, M. Á. (2017). *Implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en reductores del sistema conveyor de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.* Arequipa (Perú): Universidad Católica Santa María.

Zeballos Benavidez, A. M. (2021). *Plan de mantenimiento proactivo centrado principalmente en el análisis de aceites en los reductores de velocidad utilizados para calentamiento y enfriamiento uniforme en turbinas de gas de la Central Termoeléctrica Puerto Bravo*. Arequipa (Perú): Universidad Católica de Santa María .

