

PROYECTO
PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
PREDICTIVO PARA LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA LSB DEL CENTRO DE
ECONOMÍA CIRCULAR DE LA EMPRESA SKF LATIN TRADE SAS

DANILO ANDRÉS GONZÁLEZ LÓPEZ

DIRECTOR

EDWARD PARRA FLÓREZ

CODIRECTOR

MARÍA GABRIELA MAGO RAMOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
BOGOTÁ

2023

CONTENIDO

RESUMEN.....	4
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
3.1. OBJETIVO GENERAL	6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4. MARCO REFERENCIAL	7
4.1. MARCO CONCEPTUAL.....	7
4.2. MARCO TEÓRICO	8
4.2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	11
4.2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	12
4.2.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	12
4.3. ESTADO DEL ARTE	15
5. EQUIPOS, TAXONOMÍA, FICHAS TÉCNICAS Y HOJAS DE VIDA BASADOS EN LA NORMA ISO 14224.	19
5.1 Contexto operacional de cada equipo.....	19
5.2 Definición de la taxonomía, características físicas y técnicas de cada activo..	20
6. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF), ACTIVIDADES Y FRECUENCIAS DE INTERVENCIÓN PARA CADA EQUIPO.....	32
.1 Cálculo de frecuencias de colección de vibraciones	32
.1.1 Factor de Costo	33
.1.2 Factor de Falla	33
.1.3 Factor de Ajuste	33
.2.1 Programación de mantenimiento	34
.2.2 Técnicas RCM similares como base para el plan de mantenimiento.	35
.3 Elaboración de la matriz de criticidad bajo la norma ISO 14224.	35
6.2.4 Síntesis de resultados obtenidos en la matriz.	37
6.3 Definición de los parámetros del formato AMEF.	41
6.3.4 Análisis de resultados del formato AMEF	43
7. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL AMEF.	46
7.1 Descripción de la elaboración del plan.....	46
7.2 Indicadores de gestión el mantenimiento.....	48
A. Mesa de Pulimento Horizontal (SF-LSB-B1, 4):	49
7.3 Plan de mantenimiento.....	61

A.	Mesa de Pulimento Horizontal (SF-LSB-B1, 4):	68
7.4	Cronograma	89
8	ANÁLISIS FINANCIERO CONSIDERANDO EL ROI (RETORNO DE LA INVERSIÓN).....	92
8.1	Inversión asociada a la implementación del plan de mantenimiento.	92
8.2	Costos asociados a la implementación del plan de mantenimiento.....	96
8.3	ROI.....	99
8.3.1	Valor presente neto y Tasa de retorno de la inversión.	100
9	APLICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO ..	103
10	CONCLUSIONES	104
11	RECOMENDACIONES	107
12	REFERENCIAS	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fuente: Fotografía tomada de Microlog CMXA 80 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	14
Figura 2.	Fuente: Fotografía tomada de cámara térmica TKTI 20 y TKTI 21 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	14
Figura 3.	Fuente: Fotografía tomada de estetoscopio TMST3 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	15
Figura 4.	Fuente: Fotografía tomada de inspector de ultrasonido CMIN 400 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	15
Figura 5.	Clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos tomada de la norma ISO 14224 [1].....	19
Figura 6.	Mesa de pulimento horizontal y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	22
Figura 7.	Torno paralelo y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	23
Figura 8.	Torno pequeño y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	25
Figura 9.	Torno mediano y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	26
Figura 10.	Torno grande y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	27
Figura 11.	Compresor y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	29
Figura 12.	Tablero eléctrico de 220v y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.....	30
Figura 13.	Tablero eléctrico de 440v y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.....	31
Figura 14.	Mesa de pulimento horizontal y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	69

Figura 15. Torno paralelo y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF.	73
Figura 16. Torno pequeño y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	75
Figura 17. Torno mediano y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	79
Figura 18. Torno grande y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	82
Figura 19. Compresor y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	86
Figura 20. Tablero eléctrico de 220v y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF.	88
Figura 21. Tablero eléctrico de 440V y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.	88

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución de planta simplificada.	18
Ilustración 2. Formato de tarea de mantenimiento obtenida del software.	48
Ilustración 3. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento mesa de pulimento horizontal.	71
Ilustración 4. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno paralelo.	74
Ilustración 5. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno paralelo.	77
Ilustración 6. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno mediano.	80
Ilustración 7. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno grande.	84
Ilustración 8. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento compresor.	87

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Criticidad de la línea. Fuente: Autor.	38
Grafica 2. Criticidad de la línea por equipos. Fuente: Autor.	38
Grafica 3. Criticidad ítems mantenibles sección de Aire Comprimido. Fuente: Autor.	40
Grafica 4. Criticidad ítems mantenibles sección de distribución eléctrica. Fuente: Autor.	40
Grafica 5. Criticidad ítems mantenibles sección de pulimento. Fuente: Autor.	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Criticidad. Fuente: Autor.	36
Tabla 2. Categorización por criticidad de ítems mantenibles por área de trabajo. Fuente: autor.	39
Tabla 3. Categorización por criticidad de ítems mantenibles po equipo. Fuente: autor.	39
Tabla 4. Criterios de severidad del formato AMEF. Fuente: Autor.	42
Tabla 5. Plan de mantenimiento en excel.	63

Tabla 6. Cronograma de mantenimiento preventivo. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS	89
Tabla 7. Instrucciones de mantenimiento preventivo. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS	90
Tabla 8. Recurso humano e insumos. Fuente: Autor	92
Tabla 9. Categorización por repuestos necesarios para dar cumplimiento al plan mensual. Fuente: autor.	94
Tabla 10. Categorización por tareas de mantenimiento. Fuente: autor.....	95
Tabla 11. Categorización por tareas de mantenimiento. Fuente: autor.....	95
Tabla 12. Mantenimientos hechos por la empresa. Fuente: SKF Latin Trade SAS.....	96
Tabla 13. Mantenimientos realizados por terceros. Fuente: SKF Latin Trade SAS.....	96
Tabla 14. Calculo promedio por hora. Fuente: SKF Latin Trade SAS.....	98
Tabla 15. Costos de la ejecución del plan a la fecha. Fuente: autor	99

RESUMEN

En este trabajo de grado, se presenta la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para los equipos de la línea LSB del centro de economía circular de la empresa SKF Latin Trade SAS que ha sido realizada de manera conjunta con el ingeniero encargado de la misma en Colombia, el ingeniero jefe del área de manufactura y un ingeniero de soporte. En la metodología utilizada se expone la información recolectada y clasificada bajo la norma ISO 14224, el formato AMEF (Análisis de modos y efectos de falla) donde se planteó específicamente cada tarea de mantenimiento según la falla que presente el equipo, el plan de mantenimiento basado en las tareas de mantenimiento y cálculo de inspección de colecciones predictivas con los equipos de la empresa e ingenieros de soporte de la misma basado en el AMEF, indicando los protocolos genéricos de mantenimiento que se requieren y el cálculo del retorno de la inversión (ROI) del plan de mantenimiento. Para investigaciones futuras, se exponen las conclusiones con base en los resultados de cada objetivo, junto con las recomendaciones para aplicar el plan de mantenimiento que ha resultado de esta investigación y durante la práctica en la empresa.

Palabras clave: Propuesta de plan de mantenimiento preventivo y predictivo, equipos de la línea LSB, ítem mantenible, colección de inspecciones predictivas, tiempo, dinero, retorno de la inversión, economía circular, empresa SKF.

ABSTRACT

In this degree work, the proposal of a preventive and predictive maintenance plan for the equipment of the LSB line of the circular economy center of the company SKF Latin Trade SAS is presented, which has been carried out jointly with the engineer in

charge of the same in Colombia, the chief engineer of the remanufacturing area and a support engineer. In the methodology used, the information collected and classified under the ISO 14224 standard, the AMEF (Failure Mode and Effects Analysis) format where each maintenance task was specifically proposed according to the failure of the equipment, the maintenance plan based on the maintenance tasks and calculation of inspection of predictive collections with the company's equipment and support engineers based on the AMEF, indicating the generic maintenance protocols that are required and the calculation of the return on investment (ROI) of the maintenance plan. For future research, conclusions are presented based on the results of each objective, along with recommendations for implementing the maintenance plan that has resulted from this research and during practice in the company SKF.

Keywords: Preventive and predictive maintenance plan proposal, LSB line equipment, maintainable item, predictive inspection collection, time, money, return on investment, circular economy, SKF company.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

SKF Latin Trade es la sucursal latinoamericana de una multinacional sueca encargada de vender y reacondicionar rodamientos, sellos, calibración de equipos de altísima precisión y múltiples trabajos de ingeniería. En Colombia, dentro de sus instalaciones en Siberia, se hace re manufactura de rodamientos para vagones de carga, bandas transportadoras y se manejan dos líneas de taller; rodamientos Train Bearing Units (TBU) y Large Size Bearings (LSB). La línea LSB usa siete equipos; mesa de pulimento horizontal, compresor, tableros de distribución eléctrica y cuatro tornos, los cuales son de uso diario y requieren un mantenimiento constante.

Por esta razón, los equipos de la línea LSB sufren de una parada constante. Además de que el área de mantenimiento carece de un seguimiento estricto sobre el estado de los equipos y, por lo general, son los operarios basados en su experiencia los que hacen mantenimientos correctivos por fallas de inestabilidad, falta de precisión y mal acabado del producto. Es por esto que se han presentado varias fallas debido a sobrecargas de trabajo, mal uso de los equipos y falta de seguimiento del estado de componentes. Dentro de las tareas de mantenimiento del software, existen actividades de bajo alcance técnico y sin rutas de mantenimiento que le den una guía clara al operario sobre cuándo debe hacerlo y en donde debe reportar los desgastes superficiales o alteraciones del funcionamiento de la máquina.

Según los informes de mantenimiento de la empresa, las máquinas cuentan con un mantenimiento preventivo mensual que consiste en parámetros de desgaste y limpieza del equipo. Los indicadores de mantenimiento están dados por las observaciones de los

operarios en anomalías durante el mantenimiento, por lo cual es de baja confiabilidad y no se basa en mediciones precisas como toma de temperatura o vibraciones. Tampoco se tiene en cuenta la vida útil de las partes mantenibles de cada equipo a partir de su instalación para facilitar el cálculo de la probabilidad de falla. Los repuestos más comunes dentro de los consumibles son: correas de transmisión, rodamientos, elementos de seguridad, sellos mecánicos.

Además de esto, luego de la pandemia por el COVID-19, desde el área de manufactura, se decidió contar con un stock anual, dado que se cuentan con los recursos y la planeación estratégica para administrar cada uno. El fin de planear el stock para un año, es por gestiones de compra, ya que desde el área de compras, son muy demorados los procesos de cotización, adquisición y arribo de repuestos. Son procesos que pueden durar de dos a seis meses, y es crítico por razones de productividad tener una máquina detenida debido a una falla imprevista que funciona ocho horas al día, los siete días de la semana.

Con base en esto, y teniendo en cuenta las 192 horas que laboran al mes, el recurso consume alrededor del 20% mensual entre la cantidad total de inspecciones. Sin embargo, los cambios de repuestos constantes indican una falla en el seguimiento que requiere ajustarse para obtener un mejor desempeño en producción y prever los cambios que deben realizarse, sin comprometer tiempos de entrega del producto. El costo por inspección cambia si es requerido un repuesto, sin embargo, el mantenimiento normalmente es de tipo autónomo, por lo cual no implica mano de obra externa, pero si compromete la productividad de la empresa.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta los parámetros establecidos para el desarrollo de este proyecto, se plantea la siguiente interrogante (pregunta problema);
¿Cómo mejorar el seguimiento de cada equipo para un mantenimiento oportuno de la línea LSB en la empresa SKF Latin Trade SAS?

2. JUSTIFICACIÓN

La industria manufacturera en Colombia requiere de una constante evolución, busca soluciones a problemas de ingeniería como; mantenimiento, seguimiento de productos y ventas. Para lograrlo, es necesario contar con un plan establecido y parametrizado según los requerimientos específicos de la empresa.

Ahora bien, la empresa realiza y posee los instrumentos necesarios para la inspección y verificación de cada equipo, esta es una forma de aplicar y evolucionar los procesos manejados sin necesidad de recurrir a otros equipos o proveedores en la mayoría de los casos.

Por tanto, la empresa requiere estandarizar un plan de mantenimiento predictivo que indique cada cuanto se deben realizar; análisis de vibraciones, ultrasonido y termografía. Para evaluar el comportamiento de las máquinas luego del uso rutinario y el desgaste común sin comprometer su funcionamiento y cronograma de entrega de servicios.

Es importante resaltar la importancia de este proceso, ya que contribuye a ahorrar tiempo y dinero de nómina, permitiendo que los operarios estén concentrados en sus operaciones diarias de re manufactura y obedeciendo el cronograma de trabajo donde se especifican las fechas siendo necesario el estudio de cada activo para su análisis.

El aporte del autor desde la Ingeniería Mecánica en este proyecto es el conocimiento en relación con las normas ISO 14224 [1] y ASTM 1934-99 [2] (Análisis de termografía), D3580 [3] (Análisis de vibraciones), E114-10 [4] (Prueba de ultrasonido), que deben ser usadas, también los parámetros de estandarización, seguimiento y soporte del mantenimiento según carga de trabajo y optimización del plan actual de trabajo. Todo

esto para facilitar las tareas de los operarios y agilidad en tiempos de entrega, lo que se refleja en una mayor capacidad de producción en la planta.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos de la empresa SKF Latin Trade SAS

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar los equipos con los que cuenta la compañía, realizando la taxonomía, fichas técnicas y hojas de vida que sean requeridos utilizando la norma ISO 14224.
2. Realizar un AMEF (Análisis de modo y efecto de fallas) que incluya actividades y frecuencias de intervención para cada equipo.
3. Diseñar el plan de mantenimiento basado en el AMEF.
4. Elaborar un análisis financiero considerando el ROI (Retorno de la Inversión).

4. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se muestra el marco conceptual en donde se describirán los conceptos primordiales en el desarrollo del tema, luego el marco teórico y posteriormente, el Estado del arte.

4.1. MARCO CONCEPTUAL

- Ítem mantenible: son los repuestos que están diseñados para el correcto funcionamiento de cada sistema del activo, y son piezas que están diseñadas para ser reemplazadas cada ciclo de mantenimiento con base en el seguimiento o falla del mismo.
- Activo: máquina de la empresa que cumple una función específica y representa ganancias durante su uso o pérdidas por alguna detención inesperada.
- Taxonomía del activo: desglose de cada sistema, subsistema, componente y parte mantenible de la máquina que se va a analizar. Para obtener un esquema general sobre lo que se va a analizar y a dónde se quiere llegar con el alcance del mantenimiento que requiera.
- Línea de producción: es la base de la producción de cada empresa, donde se genera el producto que comercializa la empresa y cuenta con uno o más activos para su ejecución.
- Microlog: dispositivo de altísima precisión que es usado para el análisis de vibraciones de ítems mantenibles de un activo como; motores, bombas y equipos que involucren la alimentación de otros elementos de máquina.

- Cámara termográfica: dispositivo de altísima precisión que se encarga de medir la temperatura de cada ítem mantenible, arrojar una estadística y esquema gráfico el comportamiento del ítem.
- Dispositivo del ultrasonido: analizador de altísima precisión que mide a través de los decibeles, la criticidad que presenta el equipo según el exceso de ruido que este presentando.

4.2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del plan de mantenimiento, es necesario tener en cuenta los tres tipos de mantenimiento que se usarán principalmente dentro del proceso, sin embargo, a continuación; se indican los constructos teóricos que indican el desarrollo de estos tipos de mantenimiento:

Las primeras aplicaciones del mantenimiento tienen raíz a partir de la creación del tren a vapor. Fue a finales del siglo XVIII que se comenzaron a ver las primeras máquinas que requerían de un mantenimiento para su cuidado y manutención[16]. Entre ellos, se da origen al primer tipo de mantenimiento; el mantenimiento correctivo, el cual se encarga de reparar la máquina luego de que la misma presenta fallas o defectos de funcionamiento[17]. Ahora bien, con la llegada de la tercera revolución industrial con la creación de vehículos particulares, las empresas comenzaron a evidenciar problemas de producción y detenciones de líneas por las constantes fallas de activos que afectaban directamente los tiempos de entrega de sus productos.

Ahora bien, con la alta demanda de diferentes dispositivos y máquinas durante el siglo XX, también dio lugar a una mayor exigencia de la industria[18]. La cual requería de un

mejor plan de trabajo para satisfacer las necesidades del cliente y así mismo, garantizar la calidad de cada producto, sin embargo, las detenciones de línea obligaron a sacar lo mejor de sí a cada corporación[19]. La industria militar, también se vio involucrada en la acelerada producción de armas y vehículos que facilitarían el combate requeridos como en la segunda guerra mundial[9]. Teniendo en cuenta que para poder movilizarse o combatir era necesario contar con toda su dotación.

Con este en mente, a mediados de siglo se da origen al mantenimiento preventivo[20]. El cuál es el encargado de llevar una periodicidad de revisión de las máquinas para evitar involucrarse en mantenimientos correctivos que generaran imprevistos, facilitaría la detección de fallas, cambio de repuestos y reducción de costos.

Ahora bien, el mantenimiento preventivo, como su palabra lo indica, es el encargado de prever fallas utilizando inspecciones que contribuyan al seguimiento de las máquinas a partir de la periodicidad de este[7]. Donde se pueda observar y revisar el estado de los componentes internos y que probabilidades existen que falle. Sin embargo, es un mantenimiento que se basa en la experiencia y conocimiento de los operarios que están en contacto diario con la máquina[6], pero no cuenta con equipos de precisión o análisis cuantitativos de los valores comportamentales de la máquina en cuanto a excesos de vibración, recalentamientos o excesos de ruido.

A partir de 1960, basándose en sistemas mecánicos, eléctricos de lubricación o engrase, junto con mantenimientos preventivos y correctivos, la industria comenzó a darse cuenta de que las inspecciones rutinarias no serían suficientes para detectar las fallas probables de cada equipo[21]. Así que se crea el mantenimiento predictivo, para detectar fallas a través de sensores, indicadores y dispositivos de cada activo[22]. De

este modo, se comenzó a individualizar cada activo para su mejor análisis y prevención con base en la vida útil y funcionamiento de cada uno.

En ese orden de ideas, la norma ISO 14224 es la encargada de brindar una base para la recolección de datos de mantenimiento de la empresa, formato estándar como el AMEF, además de las indicaciones para la creación de la taxonomía y parámetros de confiabilidad para generar indicadores de mantenimiento.

También la norma ASTM 1934-99 [2] (Análisis de termografía) utiliza un método multifacético de inspección no destructivo, partiendo desde los principios físicos de la radiación infrarroja. Permite diagnosticar un equipo con base en el estado de sus ítems mantenibles y anomalías a partir de patrones de radiación superficial obtenidos en el termo-grama.

En esta investigación también se utiliza la norma D3580 [3] (Análisis de vibraciones), se basa en estándares de calidad para medición de vibraciones, donde se clasifica en tres escalas variables de X, donde X_1 va a ser la clasificación de vibración de menor valor o criticidad baja y a medida que aumenta la escala aumenta la criticidad del equipo y la frecuencia de inspección de colecciones.

Finalmente, la norma E114-10 [4] (Prueba de ultrasonido), explica los cuatro tipos de medición que existen; palpadores, contacto directo, inmersión o pulso. Las cuales indican bajo qué circunstancias y que equipos requieren cada tipo. De igual forma hace parte de los estudios más seguros y fáciles de implementar por su portabilidad y confiabilidad.

4.2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es el mantenimiento más antiguo e implementado a lo largo de la historia, debido a la evolución de la maquinaria y los requerimientos de ingeniería[5]. Sin embargo, es la categoría de mantenimiento que actualmente es preferible evitar, debido que existen nuevas categorías del mantenimiento que se encargan de anticipar situaciones que involucren la corrección del funcionamiento del activo.

Este tipo de mantenimiento se encarga de reparar máquinas ya averiadas por fallas durante su funcionamiento, ruptura de componentes o corregir un mal funcionamiento, requiere tener detenida la máquina y, en la mayoría de los casos, la línea de producción[6]. Sin embargo, las empresas que implementan ese tipo de mantenimiento, generalmente lo hacen con activos que poseen una criticidad baja o no afectan directamente la línea de producción[7]. Son activos de bajo costo y sencilla reparación, que no representan gran importancia a las tareas.

Ahora bien, no se descarta su uso, ya que existen máquinas de uso primordial para las plantas de producción que pueden presentar fallas en algún momento por las condiciones de trabajo, ambientales o tiempo de uso que se presenten en la máquina[5]. El proceso consiste en hacer una revisión del activo y un análisis de falla que indique por cual razón se presentó la falla y, en la mayoría de los casos, es una oportunidad de mejora para estandarizar un plan de mantenimiento que evite estas paradas de producción imprevistas.

4.2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El objetivo de este tipo de mantenimiento es llevar un control de cada activo, tener en cuenta el estado en el que se encuentra su funcionamiento[8], cada parte mantenible y prevenir fallas eventuales que involucren la integridad, funcionamiento y producción de la empresa[9].

Además, es usado por grandes compañías de re manufactura, construcción, movilidad y demás campos de la industria, para tener una mayor seguridad durante el uso de cada máquina[10]. Ahora bien, este tipo de mantenimiento puede ser diario, semanal o mensual según la criticidad de cada equipo[6]. Para esto se tiene en cuenta el uso y tiempo de operación de cada uno para definir el tipo de seguimiento que requiere.

Este tipo de mantenimiento se basa en una inspección que indique si se debe cambiar algún repuesto o realizar un ajuste de la máquina para su correcto funcionamiento, los reportes de inspección son un seguimiento que contribuye para saber que repuestos deben cambiarse en el momento que la máquina lo requiera para un correcto funcionamiento y previendo una falla[11]. Para evitar que la línea de producción se vea comprometida por la falla de componentes internos de la máquina y fallas que pueden ser evitadas por un plan que prediga a vida útil de cada componente según su uso[12].

4.2.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Este tipo de mantenimiento se centra en un servicio programado especial según la situación de cada activo[13], para esto se basa en un análisis de criticidad, el cual requiere de una documentación técnica que ayuda a un mejor análisis técnico de:

- Hojas de vida de los activos

- Taxonomía de los activos
- Matriz de criticidad

Las hojas de vida indican el modelo, serie, potencia, fecha de llegada a la empresa y descripción de componentes que facilite la compra de las partes mantenibles junto con su proveedor[2]. La taxonomía hace una descripción muy detallada de la máquina, la cual indica los tipos de sistema (eléctrico, mecánico, neumático, etc.), subsistema (control, rotación, lavado, etc.), componentes (motor, bomba, ventilador, etc.) y subcomponentes mantenibles (rodamientos, sellos mecánicos, correas de transmisión, etc.)[14]. Esto facilita la comprensión del funcionamiento de cada uno, para un mejor análisis y planteamiento del plan de mantenimiento[15]. A partir de esto, se establece la matriz de criticidad, la cual se encarga de tener en cuenta el riesgo al que se somete cada máquina y así plantear estudios que revelen el estado de funcionamiento de la máquina como:

- Análisis de vibraciones
- Prueba de ultrasonido
- Termografía

Los cuales son estudios hechos con equipos de alta precisión para tener un diagnóstico exacto y determinar la periodicidad del mantenimiento, elementos para tener en cuenta, tiempo para cambio de repuestos e instrucciones de mantenimiento.

A medida que van pasando los años y trae consigo nuevos retos, se construyen equipos de alta precisión como Microlog (figura 1), cámaras termográficas (figura 2) y dispositivos de ultrasonido (figura 3 y 4) que arrojan señales de altísima precisión,

usando rangos en micras de lo que esté sucediendo en el interior de cada máquina[13]. Estos análisis se realizan con base en el funcionamiento de la máquina y se determina un margen de criticidad, el cual indica al encargado cada cuanto deben realizarse y establecer el cambio de cada componente según su vida útil.



Figura 1. Fuente: Fotografía tomada de Microlog CMXA 80 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.



Figura 2. Fuente: Fotografía tomada de cámara térmica TKT1 20 y TKT1 21 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.



Figura 3. Fuente: Fotografía tomada de estetoscopio TMST3 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.



Figura 4. Fuente: Fotografía tomada de inspector de ultrasonido CMIN 400 en el centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

4.3. ESTADO DEL ARTE

SKF en Colombia entró en operaciones en el año 1927 con el nombre de “Chumaceras y bolas”, y su función era importar rodamientos, maquinaria y artículos como repuestos para automotores. En 1929 se cambió su razón social con el nombre de “SKF Latin

American Ltda”, y hoy en día; cuenta con sus instalaciones en el Centro de Economía Circular en Siberia, donde se encarga de hacer re manufactura de rodamientos para vagones de carga, metro de transporte de Medellín, bandas transportadoras, rodamientos para torretas de fundición, entre muchos otros[1]. Dentro de sus aplicaciones de alta tecnología se destacan la calibración, reparación y mantenimiento de equipos de altísima precisión como analizadores de vibraciones, cámaras termográficas, equipos de ultra sonido, alineadores de ejes y demás equipos dedicados al mantenimiento predictivo y optimización de sistemas mecánicos[2].

Ahora bien, dentro de los equipos en stock descritos anteriormente, se destacan los Microlog (Analizadores de vibraciones), los cuales son usados por los ingenieros de soporte para analizar equipos de otras empresas que contratan a SKF para planes de mantenimiento y seguimiento de estado de los equipos[3]. Además de esto, los equipos cuentan con disponibilidad para ser usados cuando sean requeridos, el ingeniero encargado simplemente debe acercarse a solicitar el equipo en el laboratorio y de esa forma cumplir con el cronograma estipulado para tener un correcto plan de mantenimiento.

En la actualidad, el mantenimiento predictivo es usado por la empresa, se encarga de advertir el tipo de mantenimiento que debe usar según la criticidad del equipo, teniendo en cuenta tiempo de uso, cargas manejadas y finalidad con base en el diseño de la máquina[17]. El tipo de mantenimiento también se basa en los costos que implique realizarlo, ya que existen equipos de mayor uso o con mayor relevancia productiva que otros[23]. Es por esto por lo que algunos equipos se dejan llegar hasta el uso de

mantenimiento correctivo, debido que la reparación será más económica que el costo de equipos de un mantenimiento predictivo.

La empresa también ofrece línea de servicios- productos, estos servicios son; la re manufactura de rodamientos, calibración de equipos, enseñanza y explicación de parámetros para mediciones de análisis predictivos como vibraciones y seguimiento de equipos de planta por ingenieros de soporte [25]. También provee rodamientos a empresas comercializadoras, dispositivos de lubricación automatizada para rodamientos, sellos de sellado para sistemas neumáticos e hidráulicos, entre otros [19].

4.4. Descripción general de la empresa

El mantenimiento de la planta es de tipo autónomo, el operario Edgar Gómez es el encargado de realizar los mantenimientos mensuales preventivos programados. Se encarga de las siete rutas de mantenimiento programadas y deja comentarios sobre el estado en el que queda el equipo para tener una recolección de datos más clara.

Los mantenimientos generales, como el caso del compresor, son realizados por el proveedor del equipo, el cual cuenta con personal encargado de desmontarlo totalmente, revisar el estado de envejecimiento de los componentes, limpiar y lubricar las partes móviles y todo esto queda registrado en un informe dentro de las instalaciones de la empresa.

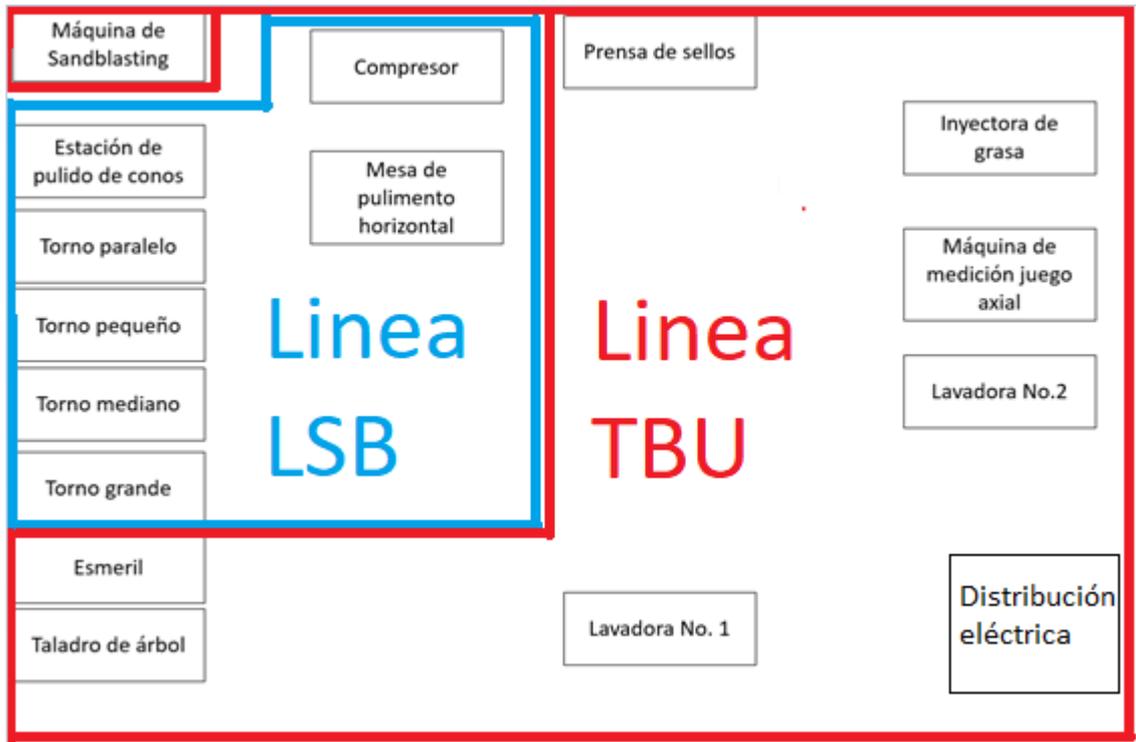


Ilustración 1. Distribución de planta simplificada.

5. EQUIPOS, TAXONOMÍA, FICHAS TÉCNICAS Y HOJAS DE VIDA BASADOS EN LA NORMA ISO 14224.

5.1 Contexto operacional de cada equipo

El contexto operacional de este documento contiene la taxonomía según la clasificación de la norma ISO 14224, donde; se empieza por el uso/ubicación del nivel cuatro en la imagen, el cual sería el Centro de Economía Circular de SKF, el nivel cinco es donde se pone la línea de producción con la descripción de su funcionamiento. Dentro de la subdivisión de la clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos de la norma, se hace el contexto operacional del nivel seis; el cual es la descripción del equipo completo, especificando su función dentro de la línea y la carga laboral a la que está sometido. Dentro del formato AMEF (Anexo 2), se encuentra la clasificación desde el cuarto apartado hasta el octavo de la figura 5, que de igual forma, puede contrastarse con el contexto operacional de este documento y sus imágenes explicativas para cada equipo.

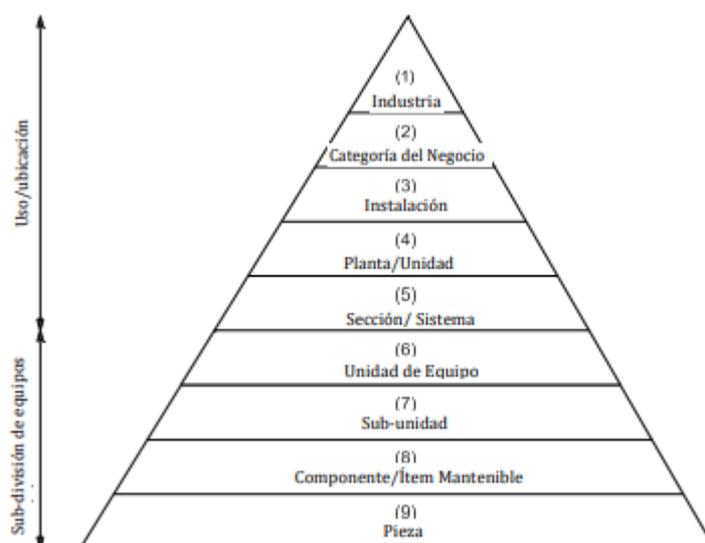


Figura 5. Clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos tomada de la norma ISO 14224 [1].

Dentro de este apartado, se explicarán las especificaciones técnicas, datos encontrados en el historial de mantenimiento correctivo y su taxonomía. De igual forma, está plasmado en el apartado 5.2 a continuación para cada uno de los siete equipos analizados, las condiciones de trabajo para cada uno y la función que debe cumplir según la exigencia de SKF. De igual forma, en la hoja de vida de los equipos (Anexo 1), se encuentra la nomenclatura, listado de ítems mantenibles del equipo, mantenimiento preventivo, inspecciones programadas, repuestos y consumibles e historial de mantenimiento del equipo bajo los estándares de la norma ISO 14224, que tiene en cuenta el historial de cada activo para facilitar un análisis causa raíz que facilitaría el trabajo de los ingenieros de soporte en caso de ser requerido. En el archivo sobre historial de mantenimiento correctivo, también se podrá consultar el estado de cada equipo a lo largo de su historia dentro de la empresa.

5.2 Definición de la taxonomía, características físicas y técnicas de cada activo

5.2.1 **Línea - LSB:** Es una de las dos líneas de producción con las que cuenta el Centro de Economía Circular de Siberia, sus siglas en inglés traducen Rodamientos de Gran Tamaño. Cuenta con cuatro tornos y una mesa de pulimento para el mecanizado de las unidades de gran tamaño para cambio de juego radial y acabado superficial.

A. **Equipo - Mesa de Pulimento Horizontal (SF-LSB-B1, 4):** Su función es hacer girar las pistas externas y conos de rodamientos de 600mm hasta 1420mm de diámetro, a una velocidad promedio de 600 RPM. La superficie cuenta con tres vigas unidas en forma triangular, que soportan el motor eléctrico de 12HP, tablero variador de velocidad y tres rodillos en cada esquina de la estructura en forma de mordaza para asegurar los rodamientos de gran tamaño (LSB). El movimiento inicia al accionar el tablero del variador de velocidad, ajustando los rodillos a la medida del rodamiento, asegurando el proceso de pulimento. Cada rodillo cuenta con un botón de parada de emergencia. El proceso de pulimento y ajuste de la máquina es realizado por el operario (ver figura 6).

- **Ítem mantenible - Motor eléctrico (SF-LSB-B1, 4-M):** Pone en marcha la máquina, cuenta con una potencia de 12 HP, velocidad máxima de 1750 RPM. Es accionado a través de un botón de encendido o detención, su función es alimentar los rodillos a una velocidad promedio de 600RPM por seguridad del operario.
- **Ítem mantenible - Acople (SF-LSB-B1, 4-A):** Transmite la potencia generada por el motor a los rodillos de tracción, a una velocidad promedio de 600RPM.
- **Ítem mantenible - Tablero variador de velocidad (SF-LSB-B1, 4-TVV):** Activa el motor eléctrico de la máquina, regulando la velocidad del motor a una velocidad de 600RPM. Está conformado por un regulador de velocidad, tiene un botón de detención en cada rodillo conectado a una línea de 220V.
- **Ítem mantenible - Rodillo de tracción (F-LSB-B1, 4-RT):** Permite el movimiento de giro de la pista externa del rodamiento sin fricción, su posición es

graduable según el requerimiento del tamaño de la pista que oscila entre 600mm y 1420mm.

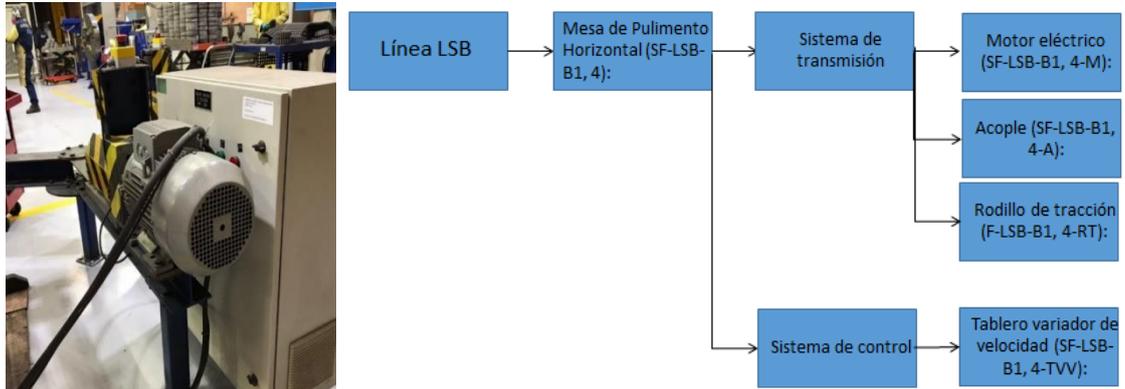


Figura 6. Mesa de pulimento horizontal y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

- B. Equipo - Torno Paralelo (SF-LSB-B1, 5):** Gira piezas a una velocidad promedio de 350RPM en primera velocidad, a través de un movimiento de rotación y traslación a lo largo de la bancada. Tiene capacidad de agarre en la mordaza de 40mm hasta 200mm, permite pulir elementos rodantes de rodamientos de gran tamaño (LSB); como rodillos, esferas, ejes, pistas internas y demás componentes de unidades de gran tamaño. Cuenta con 16 velocidades de avance transversal y 8 velocidades de avance longitudinal, con una potencia de 2HP y alimentación eléctrica de 220V. El proceso de pulimento y ajuste de la máquina es realizado por el operario (ver figura 7).
- **Ítem mantenible - Motor eléctrico (SF-LSB-B1, 5-ME):** Pone en marcha el torno, tiene un rango de velocidad de 70RPM a 2000 RPM, pero la velocidad promedio de uso del torno es de 350 RPM a 400 RPM, con una potencia de 2 HP. Es accionado por un botón de encendido y su velocidad es regulada a través de la caja de transmisión. Cuenta con un pedal de freno de emergencia que se

encarga de su detención automático en caso de ser necesario y es alimentado por una fuente de 220 V.

- **Ítem mantenible - Caja de transmisión (SF-LSB-B1, 5-CT):** Regula la velocidad de giro de la copa sobre la bancada y velocidad de avance del husillo. Cuenta con 8 velocidades de avance longitudinal y transversal de 16 velocidades. Sin embargo, solo se usa la primera velocidad de 350RPM a 400 RPM, por seguridad.
- **Ítem mantenible - Caja de control eléctrica (SF-LSB-B1, 5-CCE):** Cambia la velocidad de giro de la copa y avance del husillo. Se gradúa dependiendo del requerimiento y nivel de mecanizado que requiera el elemento. Hace parte de la bancada y está conectada a la línea de distribución eléctrica de 220V.

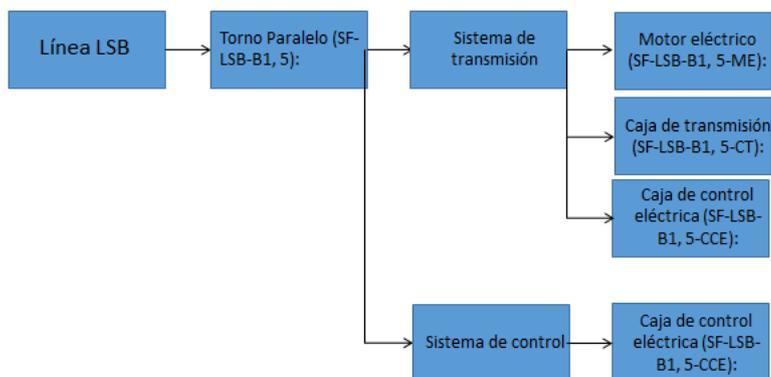


Figura 7. Torno paralelo y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

- **Equipo - Torno Pequeño (SF-LSB-B1, 5):** Gira piezas a una velocidad promedio de 350RPM, solo se usa la primera velocidad por seguridad operacional y cuenta con una potencia de 2HP y alimentación eléctrica de 220V. A través de un movimiento de rotación y traslación a lo largo de la bancada. Tiene capacidad de agarre en la mordaza de elementos de 40mm hasta 200mm, permite pulir elementos rodantes de rodamientos de gran tamaño (LSB); como rodillos, esferas, ejes, pistas internas y demás componentes de unidades de gran tamaño. Cuenta con 16 velocidades de avance transversal y 8 velocidades de avance longitudinal. El proceso de pulimento y ajuste de la máquina es realizado por el operario (ver figura 8).
- **Ítem mantenible - Motor eléctrico (SF-LSB-B1, 5-ME):** Acciona el torno, tiene un rango de velocidad 60-1600RPM, pero la velocidad promedio de uso del torno es de 350RPM, con una potencia de 2 HP.
- **Ítem mantenible - Caja de transmisión (SF-LSB-B1, 5-CT):** Regula la potencia del motor, a través de sus engranajes. La marcha más común es primera, la cual controla de 350RPM y es de gran importancia su calibración y ajuste para obtener un buen acabado y pulido de diferentes elementos rodantes.
- **Ítem mantenible - Caja de control eléctrica (SF-LSB-B1, 5-CCE):** Acciona o detiene la máquina. A través del motor y caja de transmisión, se gradúa la velocidad de giro, dependiendo del requerimiento y nivel de mecanizado que requiera el elemento. Está conectada el botón de accionamiento y detención, que a su vez se alimentan de la línea de distribución eléctrica de 220V.

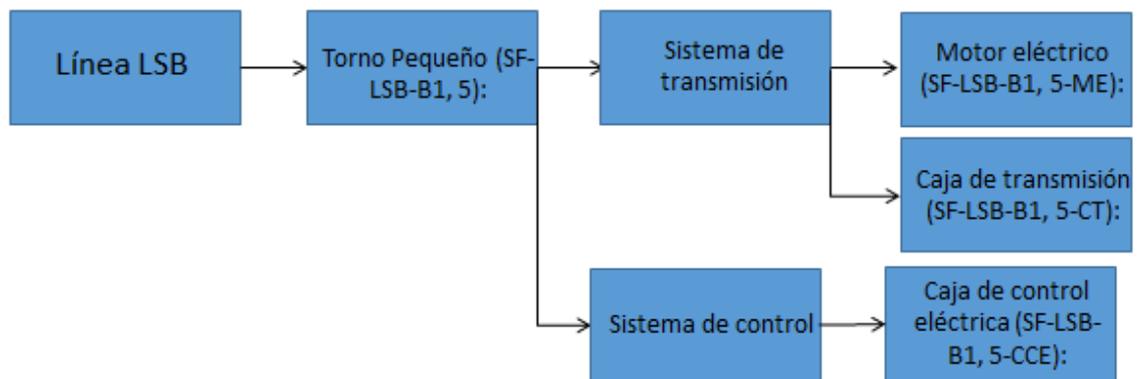


Figura 8. Torno pequeño y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

C. **Equipo - Torno Mediano (SF-LSB-B1, 2):** Gira elementos rodantes como copas y pistas exteriores de 400mm hasta 750mm a una velocidad promedio de 400RPM y cuenta con una potencia de 4HP. A través de un movimiento de rotación. Con el fin de mecanizar unidades de gran tamaño por el operario para cambio de juego radial y acabado superficial (ver figura 9).

- **Ítem mantenible - Motor eléctrico (SF-LSB-B1, 2-ME):** Acciona el torno a una velocidad promedio de 400RPM, pero cuenta con una potencia de 4 HP y un rango de velocidad de 60 a 1600 RPM.

- **Ítem mantenible - Caja de engranajes (SF-LSB-B1, 2-CE):** Regula la potencia del motor, de 60 a 1600 RPM a través de sus engranajes. Se usa solo en primera velocidad de 400RPM por seguridad operacional.
- **Ítem mantenible - Tablero eléctrico de control (SF-LSB-B1, 2-TEC):** Acciona o detener la máquina. A través de la distribución eléctrica, se gradúa la velocidad de giro, dependiendo del requerimiento y nivel de mecanizado que requiera el elemento, se alimentan de la línea de distribución eléctrica de 220V.

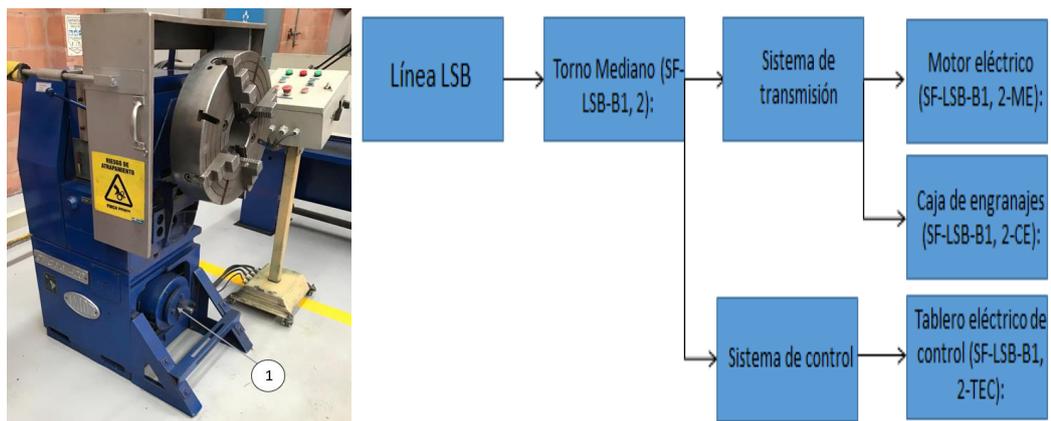


Figura 9. Torno mediano y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

- D. Equipo - Torno Grande (SF-LSB-B1, 3):** Permite el mecanizado de piezas como copas, guías de rodamientos y pistas externas de 750mm hasta 1420mm a una velocidad promedio de 400RPM con un motor de 15HP de potencia. Con el fin de mecanizar unidades de gran tamaño, para cambio de juego radial y acabado superficial(ver figura 10).
- **Ítem mantenible - Motor eléctrico (SF-LSB-B1, 3-ME):** Acciona el torno, el rango de velocidad del torno es de 200 hasta 2000 RPM, pero la velocidad de uso promedio es de 400RPM y cuenta con una potencia de 15 HP.

- **Ítem mantenible - Caja de engranajes (SF-LSB-B1, 3-CE):** Regula la potencia del motor a 400RPM a través de sus engranajes. Es de gran importancia su ajuste para un buen acabado y pulido de copas y pistas externas de elementos rodantes LSB.
- **Ítem mantenible - Caja de control eléctrica (SF-LSB-B1, 3-CCE):** Acciona y detiene el torno a través del motor y caja de transmisión, se gradúa la velocidad de giro, dependiendo del requerimiento y nivel de mecanizado que requiera el elemento. Está conectada al botón de accionamiento y detención, que a su vez se alimentan de la línea de distribución eléctrica de 220V.

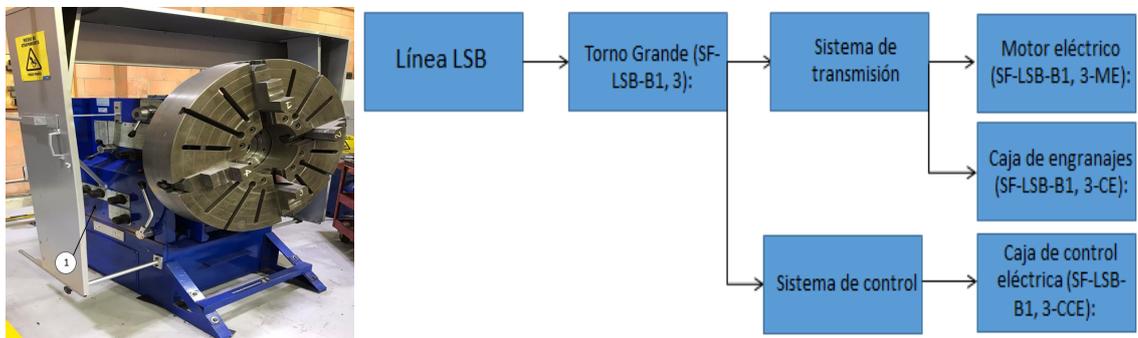


Figura 10. Torno grande y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

E. **Equipo - Compresor (SF-WOP-C2):** Suministra aire a comprimido a las máquinas del centro de economía circular a una presión de 8.5bar y 15°C, que lo requieran para el desarrollo de sus funciones. Requiere una fuente de 230V, con una frecuencia de 50Hz (aunque opera a 60 Hz), para la transmisión de potencia al ventilador de 0.54kw, maneja un caudal de 43.8 L/s. Este equipo no puede operar al mismo tiempo que la lavadora N°1 debido que ambos están conectados al sistema de distribución eléctrica de 440V y cuenta con una capacidad FM=313 kg (ver figura 11).

- **Ítem mantenible - Motor de accionamiento (SF-WOP-C2-MA):**
Transmite potencia de 15kw al compresor a través un elemento de acoplamiento de engranaje flexible y es alimentado por la línea de distribución eléctrica de 440V.
- **Ítem mantenible - Acople (SF-WOP-C2-A):** Transmite potencia del motor al compresor, al cual mantiene conectado milimétricamente para evitar pérdidas de energía por fricción o desalineación entre ellos.
- **Ítem mantenible - Caja de control eléctrica (SF-WOP-C2-CCE):**
Monitorea y controla los equipos internos del compresor a través de transductores de sobrecarga, temperatura y presión. Acciona o detiene el equipo a través un botón On-Off.
- **Ítem mantenible - Intercambiador de aire y aceite (SF-WOP-C2-IAA):**
Refrigera el fluido comprimido a una temperatura de 15°C a una presión máxima de 8.5bar. Para su funcionamiento es requerida una fuente de 230V, con una frecuencia de 60Hz y para la transmisión de potencia al ventilador de 0.54kw. Refrigera los ítems mantenibles como motor y compresor.
- **Ítem mantenible - Compresor (SF-WOP-C2-C):** Aumenta la presión del fluido hasta 8.5bar para enviar aire comprimido a los elementos neumáticos del centro de economía circular, se alimenta del accionamiento del motor eléctrico de 15kw y está conectado con él a través de un acople. Maneja un caudal de 43.8 L/s y tiene un peso de 420kg, requiere de un suministro de energía de 440V. Es un compresor de aire de tornillo rotativo con secador, modelo; 8153293041.

- **Ítem mantenible - Secador (SF-WOP-C2-S):** Reduce el contenido de agua dentro del compresor obtenido del vapor, a una presión de un 1.5MPa y temperatura de 120°C.

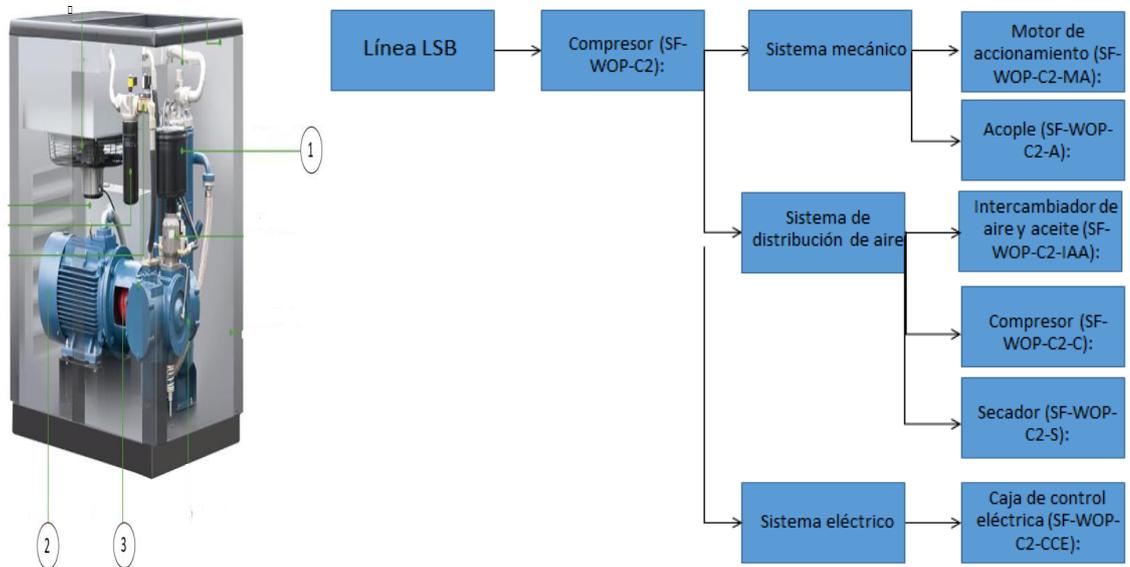


Figura 11. Compresor y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

F. Equipo - Distribución eléctrica: Provee energía eléctrica cada equipo del centro de Economía Circular (CEC), se divide en dos líneas de 220V y 440V.

- **Ítem mantenible - Tablero eléctrico 220V (SF-SER-D5):** Provee la mayoría de los equipos del CEC; como extractor de sandblasting, lavadora No. 2, pulido de conos, inyectora de grasa, pulidora de anillos, los tornos y mesa de pulimento horizontal y demás equipos de línea TBU (ver figura 12).

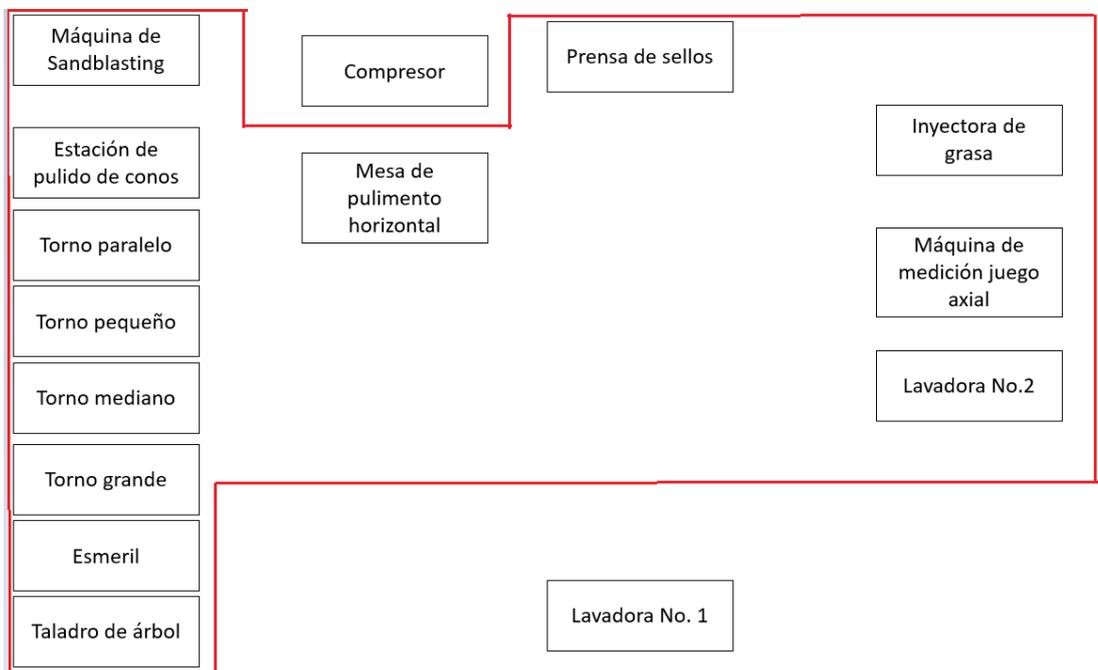


Figura 12. Tablero eléctrico de 220v y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

- Ítem mantenible - Tablero eléctrico 440V (SF-SER-D4):** Provee energía eléctrica al compresor y lavadora No.1, estos equipos requieren de un alto voltaje para su funcionamiento debido a la cantidad de componentes y energía requerida para satisfacer las funciones de cada uno (ver figura 13).

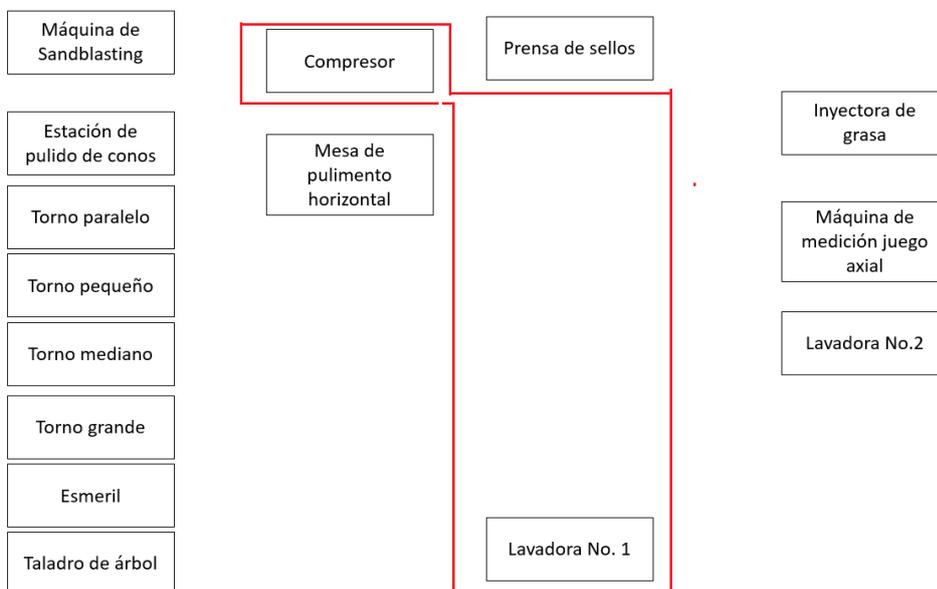


Figura 13. Tablero eléctrico de 440v y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

6. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF), ACTIVIDADES Y FRECUENCIAS DE INTERVENCIÓN PARA CADA EQUIPO.

En este capítulo, se explicará la teoría y el planteamiento de fallas basadas en la experiencia del personal en planta y manual de funcionamiento del proveedor del activo. El cálculo de inspecciones, matriz de criticidad, formato AMEF programado con tareas de mantenimiento específicas para cada falla y tareas rutinarias semanales. Además de exponer los resultados obtenidos para la criticidad de cada activo, obtenido del AMEF, y los criterios de severidad tenidos en cuenta para llegar a estos resultados.

.1 Cálculo de frecuencias de colección de vibraciones

El intervalo de inspecciones predictivas fue calculado de la siguiente manera:

El intervalo entre inspecciones predictivas será directamente proporcional a tres factores: el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste [24]. Así, es dividido el 100% entre la multiplicación de los tres factores, que a su vez se divide entre la cantidad de meses del año. La relación matemática estará definida como:

$$I = (1/C \times F \times A) / 12$$

Dónde:

C es el factor de costo

F es el factor de falla y

A es el factor de ajuste

.1.1 Factor de Costo

Se da un valor al factor de; 0,2 cuando el valor de reparación del equipo entre repuestos y horas laboradas por el operario es de \$500.000 COP o menos. Se da un valor de 0,3 cuando el costo por reparación esta entre los \$500.000 COP y \$1'500.000 COP. Se asigna un valor de 1 el costo por reparación es mayor a \$1'500.000. Estos valores se asignan según el criterio de los ingenieros con los que fue elaborado el plan [25] [26].

.1.2 Factor de Falla

Se asigna un valor de tres para una probabilidad de falla entre un día y un mes, valor igual a 2 si la probabilidad de falla oscila entre uno y seis meses [27], y se asigna un valor de uno cuando la probabilidad de falla ocurre en un periodo superior a seis meses. Cabe aclarar que el valor más crítico será 3, cuando la probabilidad de falla es recurrente [28].

.1.3 Factor de Ajuste

Cuando son asignados los valores al factor de costo y el factor de falla, se multiplican por un factor de ajuste, el cual, estará basado en la probabilidad de ocurrencia de fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Poisson con media igual a λ (fallas expresadas como fallas por año) [29]. Para calcular este factor utilizaremos la función matemática logaritmo natural multiplicada por; -1 ($-\ln$), al tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año [30].

$$1 - P(0, \lambda) = 1 - e^{-\lambda}$$

Donde $P(0, \lambda)$ es la función de distribución acumulativa de Poisson para un valor de ocurrencia 0 y media λ .

Así, el factor de ajuste (A) será igual a:

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda})$$

Cabe aclarar que el factor de ajuste es un número adimensional.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el intervalo de inspecciones predictivas queda definido como:

$$I = \frac{1}{C \times F \times A \times 12}$$

Expresado en años por inspección, esta relación estará expresada en inspecciones por año dado que el número doce representa la cantidad de meses del año.

.2 Resultados del cálculo de frecuencias de inspecciones predictivas:

Se realizó el cálculo de la frecuencia de inspecciones en la sección “valoración” del formato AMEF para obtener el nivel de criticidad del equipo y los resultados se adjuntan en el mismo (Anexo 2):

.2.1 Programación de mantenimiento

Se determina la periodicidad, tipo de mantenimiento y descripción de la tarea de mantenimiento según el efecto de falla. Para esto, se definen tareas mensuales preventivas y trimestrales predictivas; según la frecuencia de medición calculada en el formato AMEF [31]. Para aplicación del plan, se usa como apoyo la programación de mantenimiento del Software Administrador de Mantenimiento (AM) de Win Software implementado en el CEC para seguimiento mensual de labores de mantenimiento. Las tareas del formato se programan en el software y se aplica de tal forma que se registra

en los formatos arrojados por el programa el estado y seguimiento de cada ítem para prever los efectos de falla ya planteados.

.2.2 Técnicas RCM similares como base para el plan de mantenimiento.

El análisis de Criticidad es de uso específico para los requerimientos de planta de cada empresa y puede dividir su taxonomía en: plantas, unidades, líneas, sistemas, activos/equipos/componentes y sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implementación [32].

El objetivo del análisis de criticidad es determinar la criticidad de cada equipo, con base en el ítem mantenible que lo compone [33]. Esto facilita determinar los recursos monetarios, humanos y tiempo necesario según el requerimiento de cada equipo. Los equipos que tengan sistemas donde arrojen factores críticos, con base en el efecto de falla de cada ítem mantenible, requerirán mayor atención y recursos de mantenimiento que aquellos que sean considerados no críticos según los criterios de severidad y valoración establecidos dentro del formato de Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) [34].

.3 Elaboración de la matriz de criticidad bajo la norma ISO 14224.

Para el caso la línea LSB del CEC, se estableció el siguiente modelo de matriz de criticidad [1]:

Tabla 1. Matriz de Criticidad.

Matriz de Criticidad Para Analisis de Confiabilidad								
Criterio de severidad						Criterio de ocurrencia		
Clasificación de severidad	SEGURIDAD INDUSTRIAL	IMPACTO AMBIENTAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	TIEMPO PERDIDO EN PRODUCCION	CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO	Probabilidad de ocurrencia de falla		
						Entre 1 día y 1 mes	Entre 1 y 6 meses	Mayor a 6 meses
						A	B	C
A	Tiempo de incapacidad > 3 días - Fatalidad	Alto impacto - Control > 3 Horas	$CM > 1 + 1/2$ (\$1,500,000)	$P > 16$ Horas Día	Alto	9	6	3
B	Tiempo de incapacidad 1-3 días	Impacto al medio ambiente con control < 3 Horas	$1/2$ (\$500,000) < CM <= $1 + 1/2$ (\$1,500,000)	4 Horas Día < P <= 16 Horas Día	Medio	6	4	2
C	Primeros Auxilios - No genera incapacidad	No genera impacto	CM <= $1/2$ (\$500,000)	P < 4 Horas Día	Bajo	3	2	1

Valoración de Criticidad		
Estatus	Jerarquía	Definición
Rojo	Crítico	Cuando la ocurrencia de falla es evidente, tiene consecuencias indeseadas e inmediatas para la planta.
Amarillo	Potencialmente Crítico	Existencia de una falla oculta la cual tiene gran probabilidad en convertirse en una falla multiple.
Verde	No es crítico	La falla de estos componentes no afecta seriamente a los criterios de severidad.

Fuente: Autor.

La tabla 1 fue elaborada junto con el Ingeniero Miller Nossa encargado de área de productos servicios del Centro de economía circular, el ingeniero Osman Gómez; jefe de re manufactura y el ingeniero Felipe Pinzón; ingeniero de soporte. Con los cuales se establecieron los criterios de severidad, valor de criticidad según el escenario posible y rangos de cálculo para inspecciones basados en tiempo y dinero de la siguiente manera:

Los criterios están definidos y para establecer el valor de la criticidad se les asigna un valor en 1 y 3, donde 1 es de baja criticidad [38], 2 para criticidad media y 3 para criticidad alta.

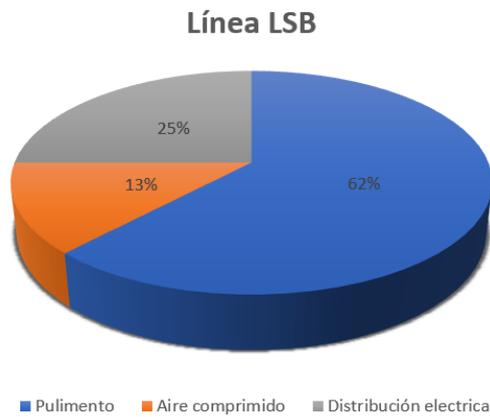
- **Seguridad Industrial:** Se define la severidad de este ítem de acuerdo con el tiempo de incapacidad del operario, cuando requiere de primero auxilios, sin generar incapacidad se le asigna el valor de 1, cuando le dan incapacidad de 1 a

3 días se le asigna 2 y cuando la incapacidad es mayor a tres días se asigna un valor de 3.

- **Impacto Ambiental:** Se determina la severidad del impacto bajo tres valores de; cuando no genera impacto es 1, cuando genera un impacto controlable dentro de las 3 primeras horas se asigna un valor de 2 y cuando el impacto requiere de más de tres horas para ser controlado se le asigna un valor de 3.
- **Costos de Mantenimiento:** Cuando el valor del mantenimiento y repuestos necesarios durante la tarea no excede los \$500.000 COP se asigna un valor de 1, cuando el valor oscila entre los \$500.000 y \$1'500.000 se asigna un valor de 2 y cuando valor supera el \$1'500.000 se asigna un valor de 3.
- **Tiempo Perdido en Producción:** Cuando el activo debe ser reparado y es necesario un mantenimiento correctivo para corregir la falla, comprometiendo la producción; se asigna 1 cuando el tiempo perdido en planta es menor a 4 horas, 2 cuando el tiempo requerido oscila entre cuatro y catorce horas y 3 cuando es requerido un tiempo mayor a 16 horas.
- **Control de Calidad del Producto Terminado:** Cuando se hace control de calidad por cada 5 piezas de un lote remanufacturado y se asignan valores de 1 a 3, siendo 1 de baja calidad, 2 calidad media y 3 de alta calidad.

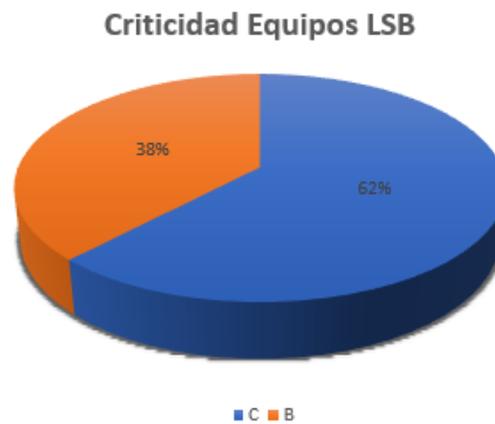
6.2.4 Síntesis de resultados obtenidos en la matriz.

Para un total de 24 ítems mantenibles distribuidos y definidos en el CEC, en la gráfica 1 se evidencia que el equipo más crítico está en la zona de pulimento con el 62%, seguido de la distribución eléctrica con el 25% y el aire comprimido con el 13%. Esto indica donde se debe priorizar la rutas de mantenimiento en la zona de pulimento y prestar mucha atención al cronograma de colección de inspecciones.



Grafica 1. Criticidad de la línea. Fuente: Autor.

La gráfica 2 indica un 62% de equipos no críticos y 38% de equipos críticos. Donde la letra “C” corresponde a los no críticos y la letra “B” a los medianamente críticos. Que de igual forma deben tratarse por el igual para no aumentar el porcentaje de criticidad en los equipos.



Grafica 2. Criticidad de la línea por equipos. Fuente: Autor.

En las tablas 2 y 3 se muestra la distribución de ítems mantenibles relacionado con la criticidad calculada por secciones del taller. Donde puede apreciarse que 5 equipos son medianamente críticos y 20 ítems mantenibles son no críticos.

Tabla 2. Categorización por criticidad de ítems mantenibles por área de trabajo.

Secciones	No. Ítems Mantenibles		
	A	B	C
Aire comprimido	0	1	6
Distribución eléctrica	0	0	2
Pulimento	0	4	12

Fuente: autor

Tabla 3. Categorización por criticidad de ítems mantenibles por equipo.

Equipo	Criticidad sobre la totalidad de ítems mantenibles		
	Alta	Media	Baja
Mesa de pulimento horizontal SF-LSB-B1,4	0	0	4
Torno Paralelo (SF-LSB-B1, 5):	0	2	1
Torno Pequeño (SF-LSB-B1, 5):	0	2	1
D. Torno Mediano (SF-LSB-B1, 2):	0	0	3
Torno Grande (SF-LSB-B1, 3):	0	0	3
Compresor (SF-WOP-C2):	0	1	5
Distribución eléctrica	0	0	2

Fuente: autor.

La gráfica 3 hace referencia a la criticidad del área de aire comprimido, el cual cuenta con un ítem mantenible medianamente crítico y debe hacerse un control semanal para revisar el estado de desgaste del mismo.



Gráfica 3. Criticidad ítems mantenibles sección de Aire Comprimido. Fuente: Autor.

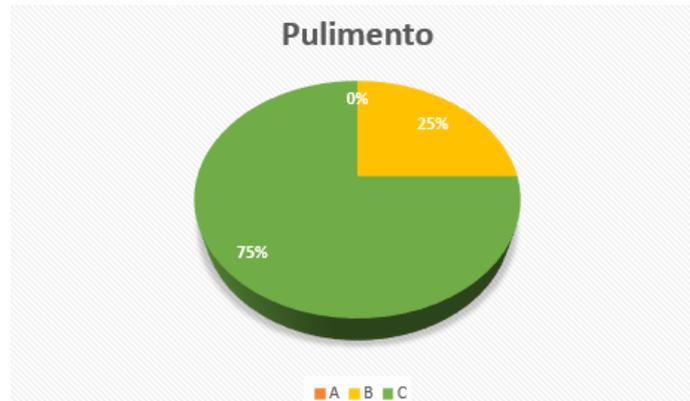
La gráfica 4 indica que ninguno de los tableros de distribución eléctrica es crítico y requieren de una ruta de mantenimiento preventiva y de limpieza básica. Sin embargo, estos ítems fueron requeridos por el ingeniero en jefe de taller para hacer un seguimiento de la totalidad de equipos.



Gráfica 4. Criticidad ítems mantenibles sección de distribución eléctrica. Fuente: Autor.

La gráfica 5 es la de mayor criticidad, una cuarta parte de los ítems mantenibles dentro de esta área es medianamente crítico y por recomendaciones de los ingenieros en jefe

deben ser tratados como equipos críticos y prestar mucha atención a la inspección de colecciones trimestral para no poner en riesgo la línea de trabajo.



Grafica 5. Criticidad ítems mantenibles sección de pulimento. Fuente: Autor.

6.3 Definición de los parámetros del formato AMEF.

Los efectos de falla son establecidos con base en el posible modo de falla que presente cada sistema y se determina la tolerancia con base en los criterios de severidad. Si al menos un efecto de falla es calculado como crítico o medianamente crítico, el equipo es considerado como crítico y demandará tareas de mantenimiento que contrarresten el efecto de la falla [35]. Si dentro de los cálculos de criticidad, cada efecto da como resultado no crítico, el equipo será considerado como no crítico, pero de igual forma cuenta con rutas de mantenimiento preventivo mensual.

De acuerdo a este orden de ideas, los parámetros planteados dentro del AMEF (tabla 4), abarcan la taxonomía, modos y efectos, criterios de severidad, valoración, frecuencia de inspecciones predictivas y descripción de las tareas de mantenimiento.

Tabla 4. Criterios de severidad del formato AMEF.

Taxonomía				Modos y efectos					Criterios de severidad					Valoración			Modos y efectos	
Línea	Equipo	Sistema	Función	Ítem mantenible	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	SEVERIDAD INICIAL	IMPACTO AMBIENTAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	TIEMPO PERDIDO EN PRODUCCIÓN	CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO	Probabilidad de falla	Severidad	Clasificación	Criticidad	Causa de falla	Método de detección
LSB	Distribución Eléctrica	Control	Proveer energía eléctrica a equipos de planta, que requieran un voltaje de 220V	Tablero de distribución eléctrica 220V SF-SER-05	No provee energía eléctrica a los equipos de 220V	Caída de una fase	Falta de tensión entre líneas	1	1	2	3	1	1	2,13	2,13	C	Desajuste de sistemas	Medición de tensión
							Disparo de las protecciones	1	1	1	1	1	1	1,68	1,68	C	Se quema el rol de protección	Medición de voltaje
			Proveer energía eléctrica a equipos de planta, que requieran un voltaje de 440V	Tablero de distribución eléctrica 440V SF-SER-04	No provee energía eléctrica a los equipos de 440V	Cortocircuito	Daño de los contactores	1	1	3	3	3	1	3,70	3,70	B	Humedad	Revisión de unparaje
							Quema algún equipo	1	1	3	3	3	1	3,70	3,70	B	Fricción o cambio del equipo	Observación

Fuente: Autor.

Como puede apreciarse en la tabla 4, El AMEF jerarquiza primero la taxonomía del equipo (título de color verde), los modos y efectos falla por los cuales podría fallar el equipo (título de color azul), los criterios de severidad planteados con los ingenieros de área en la matriz de criticidad de la tabla 1 (en color verde agua marina, tercer título de izquierda a derecha), la valoración obtenida a partir del cálculo de los criterios de severidad (título de color rojo); los cuales oscilan entre uno y tres, donde uno es considerado no crítico, dos medianamente críticos y tres muy crítico. Cada valor fue registrado en la matriz de criticidad planteada con los ingenieros de SKF (tabla 1), donde se describe porque se asigna el valor en cada criterio y se relaciona con la frecuencia de falla.

Teniendo en cuenta el valor asignado para cada uno, explicado en el ítem “**Definición de los parámetros técnicos para análisis de fallas**” de este documento, los valores obtenidos en la valoración, subíndice criticidad. Se obtiene un valor entre A, B o C, donde C es no crítico, B es medianamente crítico y A es muy crítico. A partir de este concepto, se hace un cálculo de frecuencia de inspecciones predictivas, de acuerdo con el nivel de criticidad del ítem mantenible.

Para los equipos categorizados como no críticos; Mesa de pulimento horizontal, Torno Mediano y Torno Grande, se evalúan los beneficios del mantenimiento para definir si es fundamental su mantenimiento [36], o por lo contrario se considera la opción de que el componente funcione hasta la rotura. Los criterios de severidad definidos determinan las tareas de mantenimiento que serán implementadas para quedo equipo e ítem mantenible [37].

Luego de obtener la criticidad de cada ítem mantenible, se hace el cálculo de frecuencia de inspecciones predictivas, donde se obtiene la periodicidad entre cada medición para hacer un mejor seguimiento del estado de los ítems mantenibles que requieren de una mayor atención por el uso que se les da. Con base en esto, se plantean tareas de mantenimiento que lleven a un mejor funcionamiento y extensión de vida útil para evitar sobrecostos inesperados.

De igual forma, para más información sobre el plan de mantenimiento, se adjunta la hoja de vida de los equipos (Anexo 1), Formato AMEF (Anexo 2) y Matriz de criticidad línea LSB (Anexo 3), en archivos de office.

.3.1 Análisis de resultados del formato AMEF

A. Mesa de Pulimento Horizontal (SF-LSB-B1, 4): El resultado de criticidad de este equipo dio como resultado no crítico, clasificado dentro de la categoría “C”, debido que posee un motor de gran tamaño, el cual no se verá sobre esforzado gracias a la alta potencia del motor para la labor para la que fue diseñado y las pocas horas de uso que tiene cuando se requiere para rodamientos de un tamaño superior a los 600mm que son llevados para cambio de juego radial.

- B. Torno Paralelo (SF-LSB-B1, 5):** Los resultados obtenidos con base en el AMEF según el modo de falla y efecto indican que es medianamente crítico, clasificado dentro de la categoría “B”, que de igual forma arrojan un intervalo de inspección predictiva en el motor trimestralmente. Es un equipo de uso y ajuste constante, de acuerdo con la carga de trabajo a la cual es sometido diariamente, de igual forma según los resultados, los ingenieros de soporte están atentos a las indicaciones del ingeniero de mantenimiento para hacer la inspección periódicamente.
- C. Torno Pequeño (SF-LSB-B1, 5):** Los resultados obtenidos para este torno, arrojan una categoría “B”, lo cual indica una criticidad media y periodicidad entre inspecciones trimestralmente. Para revisar el estado de vibración del motor que podría afectar el acabado y calidad del producto por un mal avance en el husillo.
- D. Torno Mediano (SF-LSB-B1, 2):** Este torno, es de uso constante, sin embargo, no está sometido a un sobre esfuerzo para el pulimento de las pistas internas para el cambio de juego radial, por lo cual el AMEF indicó que es de criticidad baja. De igual forma se hace inspección trimestral, para hacer un correcto seguimiento del mantenimiento predictivo.
- E. Torno Grande (SF-LSB-B1, 3):** Este equipo es de criticidad baja, el motor de 15HP reduce la carga de trabajo y se mantiene en mejor ajuste a lo largo del tiempo. De igual forma, como en todos los equipos, se hacen tareas de mantenimiento mensuales para un correcto seguimiento e inspecciones predictivas trimestralmente.

F. Compresor (SF-WOP-C2): Debido a un bajo nivel de aceite, el compresor requiere de un seguimiento semanal y mantenimiento anual general, donde se hace cambio de mangueras, cambio de aceite, limpieza de polvo, desensamble de ítems mantenibles y rectificación del funcionamiento por parte del proveedor del equipo. Esta categorizado con una criticidad media y colección de inspecciones trimestral.

G. Distribución eléctrica

- **Tablero eléctrico 220V (SF-SER-D5):** Aunque la mayoría de los equipos se encuentran conectados a esta red de distribución, su criticidad es baja y su historial de mantenimientos correctivos igual, se ha una inspección y limpieza mensual para evitar envejecimiento en las conexiones.
- **Tablero eléctrico 440V (SF-SER-D4):** Esta red de distribución tiene una criticidad media, el compresor y mesa de pulimento son los equipos conectados a esta red, su criticidad se debe a un posible escenario de daño en los contactores o quema del algún equipo. De igual forma se hace colección de inspecciones trimestrales y mantenimiento preventivo mensual para evitar imprevistos.

7. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL AMEF.

7.1 Descripción de la elaboración del plan.

Para la elaboración del plan, se realizó la respectiva hoja de vida, con características técnica, repuestos específicos del activo e historial de mantenimiento. Basados en esto, se procede a definir el alcance y la línea de trabajo.

Se define que se hará un plan de mantenimiento para la línea Large Size Bearing (LSB), que contemple todos los efectos de falla posibles dentro de la literatura y experticia de los operarios. Para obtener un bosquejo más amplio y definir la criticidad del activo basados en la severidad del efecto.

Con esto en mente, se hace el contexto operacional de los 7 activos que contempla la línea; 4 tornos, compresor, mesa de pulimento horizontal y distribución eléctrica. Luego, con la función e ítems mantenibles por cada equipo bien definidos, se procede a analizar los modos y efectos de falla recopilados en el formato AMEF obtenidos de los operarios y manuales de cada equipo. Ahora, se aplican los criterios de severidad por cada efecto de falla en relación con la probabilidad de falla.

Al final de cada efecto, se obtiene un resultado basado en la severidad y clasificación, el cual contiene valor (A, B o C), que será el encargado de definir en qué categoría de criticidad se encuentra el equipo. Por cada efecto, se estableció una tarea de mantenimiento de acuerdo con el efecto planteado, éstas son las tareas que se programan dentro del plan preventivo mensual para llevar un registro y control del estado actual del equipo.

Las tareas son programadas en un Software de mantenimiento implementado por la empresa, existen rutas de mantenimiento para cada equipo; compuestas a su vez por dos

tareas de mantenimiento preventivo mensual; de tipo autónomo, sin embargo el mantenimiento general anual al compresor y tareas de colección de inspecciones que se realizan trimestralmente y el software es un apoyo para dejar registro del cronograma y la generación de las rutas, pero estas dependen del cálculo de frecuencia de inspecciones predictivas obtenidas del formato AMEF las cuales son mensuales o trimestrales, dependiendo de la lectura y los cálculos obtenidos por criticidad del equipo. Las tareas anuales, son tareas preventivas de mantenimiento general, donde se hace un mantenimiento completo del equipo, verificando el estado de cada ítem mantenible y reemplazo de repuestos que requiera el equipo.

Los ajustes técnicos se basan en el AMEF, para la frecuencia de colección de inspecciones y tipo de ajuste requerido según el modo de falla. De igual forma, dentro del formato se encuentran registradas las tareas planeadas para determinar las rutas mensuales y para las cuales se utilizan las OT respectivas (ver ilustración 2).

Detalle De Orden De Trabajo

 Latin Trade S.A.S.
 OTD-G

Gasto Real

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-27 F/F. Creación: 22/02/2022 F/F. Pragma.: 03/02/2022 Estado: EJ Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección mensual, lubricación y limpieza		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR.: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/> Ele <input checked="" type="checkbox"/> VE <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falla:	
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/> Prv <input type="checkbox"/> Pvm <input type="checkbox"/> Prd <input type="checkbox"/> Insp <input checked="" type="checkbox"/> Lbr <input type="checkbox"/> Metr <input type="checkbox"/> Osm <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	F/H. F/D/A: null-Hora: null	
TA: Mantto	Tarea: 1	F/H. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Torno pequeño	Código: SF-LSB-B1,1	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: AT320
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: CQ9332A	Marcas: Latimaq	Modelo: CQ9332A	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR
CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN
CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN

Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:
---------	-----------	--------	-----------	--------

GASTO REAL
MATERIALES Y REPUESTOS
OTROS CONCEPTOS

Fecha	Código	Descripción	Cant	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA
MANO DE OBRA EXTERNA

Fecha	CR-Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

F/H. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD/HH/MM)
F/H. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado : Activo	Tiempo Improductivo Real (DD/HH/MM)
F/H. Entrega Activo:	_____	Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DD/HH/MM)

RESPONSABLE(Nombre/Firma)
Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma)

_____ Edgar Gomez	_____ Osman Gomez
----------------------	----------------------

COMENTARIOS

2/02/2022-NO DEFINIDO-Limpiar la bancada Ajuste del husillo y copa de sujeción Lubricación de engranajes Verificación de freno

Ilustración 2. Formato de tarea de mantenimiento obtenida del software.

7.2 Indicadores de gestión el mantenimiento

Para la confiabilidad del plan se han establecido cinco indicadores de gestión que van a contribuir con una mejor evaluación sobre la calidad y confiabilidad del plan:

- **Tiempo medio entre fallas:** Consiste en medir el tiempo total de buen funcionamiento del equipo entre cada reparación y se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\text{Horas de trabajo en buen estado}}{\text{Número de intervenciones correctivas al año}}$$

- **Mantenibilidad:** Facilidad con la que un equipo vuelve a operaciones luego de una falla:

$$MTTR = \frac{\text{Horas invertidas en reparación}}{\text{Número de intervenciones al año}}$$

- **Disponibilidad:** Este indicador evalúa las condiciones en las que se encuentra el equipo para cumplir su determinada función con base en el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

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

- **Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:**

$$CPMV = \frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Precio de un nuevo equipo}} \times 100$$

- **Costo de mantenimiento sobre la facturación:**

$$CMF = \frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Facturación en bruto}}$$

Con base en esto, se aplican los indicadores para uno de los equipos de la siguiente forma:

A. Mesa de Pulimento Horizontal (SF-LSB-B1, 4):

1. **Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el cambio de rodamientos semestral que se le hace como intervención correctiva a la mesa de pulimento

para remover el exceso de fricción dentro del motor y facilitar el pulido de las pistas externas de los rodamientos:

Ecuación 1

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{2} = 960 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (960horas x 0,7), donde se obtiene que cada 672 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo mientras las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas, lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 2

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 3

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:

Ecuación 4

$$CPMV = \frac{\$3'625.976}{\$4'500.000} \times 100 = 80.57\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 80.57% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:

Ecuación 5

$$CMF = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con la ganancias obtenidas.

B. Torno Paralelo (SF-LSB-B1, 5):

1. **Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el cambio de rodamientos y correa de tensión semestral que se le hace como intervención correctiva al torno para remover el exceso de fricción dentro del motor y facilitar el pulimento de las pistas externas de los rodamientos:

Ecuación 6

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{2} = 960 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (960horas x 0,7), donde se obtiene que cada 672 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo y las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas,

lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza, lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 7

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 8

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

- 4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:**

Ecuación 9

$$CPMV = \frac{\$3'625.976}{\$6'900.000} \times 100 = 52.55\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 52.55% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, y evita paradas inesperadas que representan casi 3 días de trabajo al año; en el capítulo 8 se profundizan los costos de esto. Por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:

Ecuación 10

$$CMF = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con la ganancias obtenidas.

C. Torno Pequeño (SF-LSB-B1, 5):

- 1. Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el cambio de rodamientos y correa de tensión semestral que se le hace como intervención correctiva al torno para remover el exceso de fricción dentro del motor y facilitar el pulimento de las pistas externas de los rodamientos:

Ecuación 11

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{2} = 960 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (960horas x 0,7), donde se obtiene que cada 672 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo y las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas, lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza, lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 12

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es

intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 13

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

- 4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:**

Ecuación 14

$$CPMV = \frac{\$3'625.976}{\$6'900.000} \times 100 = 52.55\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 52.55% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, y evita paradas inesperadas que representan casi 3 días de trabajo al año; en el capítulo 8 se profundizan los costos de esto. Por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

- 5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:**

Ecuación 15

$$CMF = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con las ganancias obtenidas.

D. Torno Mediano (SF-LSB-B1, 2):

- 1. Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el cambio de rodamientos semestral que se le hace como intervención correctiva al torno para remover el exceso de fricción dentro del motor y facilitar el pulimento de las pistas externas de los rodamientos:

Ecuación 16

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{2} = 960 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (960horas x 0,7), donde se obtiene que cada 672 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo y las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas, lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 17

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 18

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:

Ecuación 19

$$CPMV = \frac{\$3'625.976}{\$6'900.000} \times 100 = 52.55\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 52.55% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, y evita paradas inesperadas que representan casi 3 días de trabajo al año; en el capítulo 8 se profundizan los costos de esto. Por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:

Ecuación 20

$$CMF = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con las ganancias obtenidas.

E. Torno Grande (SF-LSB-B1, 3):

- 1. Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el cambio de rodamientos y que se hace como intervención correctiva al torno para remover el exceso de fricción dentro del motor y facilitar el pulimento de las pistas externas de los rodamientos:

Ecuación 21

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{2} = 960 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (960horas x 0,7), donde se obtiene que cada 672 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo y las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas, lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 22

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 23

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

- 4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:**

Ecuación 24

$$CPMV = \frac{\$3'625.976}{\$6'900.000} \times 100 = 52.55\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 52.55% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, y evita paradas inesperadas que representan casi 3 días de trabajo al año; en el capítulo 8 se profundizan los costos de esto. Por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:

Ecuación 25

$$CMF = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con la ganancias obtenidas.

F. Compresor (SF-WOP-C2):

- 1. Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el mantenimiento general que se hace como intervención correctiva al torno para remover el exceso de fricción dentro del motor, suciedad en el ventilador y distribución de aire:

Ecuación 26

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{1} = 1920 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (1920horas x 0,7), donde se obtiene que cada 1344 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo y las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas, lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 27

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 28

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

- 4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:**

Ecuación 29

$$CPMV = \frac{\$3'625.976}{\$14'900.000} \times 100 = 24.33\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 24.33% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

- 5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:**

Ecuación 30

$$CMF = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con la ganancias obtenidas.

G. Distribución eléctrica:

- 1. Tiempo medio entre fallas:** Este cálculo se basa en el mantenimiento general que se hace como intervención correctiva a las conexiones eléctricas:

Ecuación 31

$$MTBF = \frac{1920 \text{ horas}}{1} = 1920 \text{ horas}$$

El cálculo se hace para el 70% de tiempo medio de fallas (1920horas x 0,7), donde se obtiene que cada 1344 horas se debe hacer una inspección preventiva del equipo y las rutas mensuales están programadas para hacerse cada 160 horas, lo cual alarga el tiempo medio entre fallas por tener un equipo en mantenimiento preventivo regular.

- 2. Mantenibilidad:** El tiempo de cambio, limpieza lubricación y ajuste del motor es de una hora y es intervenido una vez al año de tipo correctivo:

Ecuación 32

$$MTTR = \frac{1}{1} = 1$$

De esta forma se obtiene el tiempo que el equipo dura detenido por el mantenimiento correctivo. Por cual, si se trabajan 160 horas al mes, y es intervenido una hora al año, se están gastando el 0.625% del tiempo. Lo cual es un valor muy bajo sobre el total de horas trabajadas el mes.

- 3. Disponibilidad:** Este indicador evalúa el tiempo medio entre fallas y la mantenibilidad de la siguiente forma:

Ecuación 33

$$\text{Disponibilidad: } \frac{960 \text{ horas}}{960 \text{ horas} + 1 \text{ hora}} = 0.998$$

La disponibilidad del equipo es del 99.8%, es un alto porcentaje teniendo en cuenta que solo es deshabilitado menos del 1% del tiempo de producción.

4. Costo de mantenimiento sobre el valor de la reposición:

Ecuación 34

$$\text{CPMV} = \frac{\$3'625.976}{\$4'000.000} \times 100 = 90.64\%$$

El costo del mantenimiento del equipo es 90.64% menor que el valor de reposición de un equipo nuevo, por lo cual es viable continuar con el plan de mantenimiento del equipo.

5. Costo de mantenimiento sobre la facturación:

Ecuación 35

$$\text{CMF} = \frac{\$3'625.976}{\$16.500.666} = 0.21\%$$

La media del CMF es menos del 1%, por lo cual la empresa es rentable en cuanto a la que se invierte en relación con lo que se factura, es un costo muy bajo en relación con la ganancias obtenidas.

7.3 Plan de mantenimiento

Este plan de mantenimiento está diseñado para la línea LSB (Large Size Bearing), de la empresa SKF Latin Trade SAS, ubicada en Autopista Medellín, Km 3.5 Vía Siberia. Bogotá D.C. – Colombia, consta de siete equipos con rutas de mantenimiento mensuales para todos, mantenimiento general anual programado para algunos e intervalo de inspecciones predictivas. Será un tipo de mantenimiento autónomo, encargado del operario Edgar Gómez; este operario, quien se encargará únicamente de los trabajos de

mantenimiento preventivo que se hacen mensualmente y los de tipo correctivo que se presentaban constantemente en los tornos y equipos de pulimento, debido que su condición médica le impide realizar actividades que impliquen el uso de la fuerza. La colección de inspecciones predictivas va a estar encargada del ingeniero de campo encargado en el momento del área de ingeniería de soporte; no es una actividad extra para el ingeniero, ya que el operario Edgar Gómez le recuerda la colección que debe hacerse trimestralmente para dejar registro del estado del equipo y tomar medidas correctivas de ser necesario. El área de soporte cuenta con 6 ingenieros que manejan los intervalos de vibraciones arrojados por los microlog, para definir en qué estado de criticidad se encuentra el equipo y; con base en esto el operario cambia los repuestos como rodamientos, correa o elementos de transmisión solo de ser totalmente necesario. No genera ninguna sobre costo, debido que la toma de colección de equipo requiere menos de 45 minutos y hace parte de las tareas de planta con las que debe cumplir el ingeniero, ya que su área de trabajo cuenta con otros cinco ingenieros que pueden gestionar el seguimiento de mantenimiento de soporte de las empresas que contratan a SKF para este soporte. De igual forma, los mantenimientos generales estarán a cargo del proveedor y deberán ser encargados 5 días antes de la fecha anual de mantenimiento programado (ver tabla 5).

Tabla 5. Plan de mantenimiento – Proceso SG-SST en excel.

Plan de mantenimiento				
Proceso de SG-SST				
Equipo		Proceso	Implementación	Personal / operario
Código	Nombre			
SF-LSB-B1, 4	Mesa de pulimento horizontal	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al momento del
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP): Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-LSB-B1, 5	Torno paralelo	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al momento del ingreso.
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-LSB-B1, 1	Torno pequeño	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos laborales.	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-LSB-B1, 2	Torno mediano	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al momento del
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos laborales.	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-LSB-B1,3	Torno grande	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al momento del ingreso.
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos laborales	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-WOP-C2	Compresor	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al momento del ingreso.
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-SER-D5	Tablero electrico de 220V	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva inducción al momento del ingreso.
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

SF-SER-D4	Tablero eléctrico de 440V	Pre inspección operacional del equipo con el objeto de verificar que todos sus componentes se encuentren en buen estado	Controles de accionamiento, Prácticas de trabajo y Equipo de Protección Personal (EPP).	Todo el personal que este laborando para SKF Latin Trade SAS estará afiliado al régimen de seguridad social, ARP, EPS, Fondo de Pensiones y su respectiva industria.
		Mantener las Hojas de datos de seguridad, al alcance de todos los operarios	Compromiso de la empresa para la implementación del SST de la empresa para la gestión de los riesgos laborales.	Participar de las actividades de capacitación de seguridad y salud en el trabajo
		Riesgos Físicos: Iluminación excesiva o deficiente en el área de trabajo, vibraciones, ruido.	Protección persona (EPP); Delantal PVC, gafas de seguridad, mascarila de material particulado, guantes de cuero, overol	Uso obligatorio durante la operación

Fuente: Autor.

A. Mesa de Pulimento Horizontal (SF-LSB-B1, 4): Este equipo cuenta con dos rutas de mantenimiento mensual para el sistema de transmisión y sistema de control del equipo e indicaciones para la colección de inspecciones predictivas.

i. Rutas mensuales:

- **Sistema de transmisión:** Desmonte, limpieza y lubricación de rodamientos. Limpieza, ajuste y calibración de rodillos de tracción.
- **Sistema de control:** Limpieza y observación del estado de envejecimiento de conexiones y rectificación de conexiones con voltímetro.

ii. Inspecciones predictivas:

- Prueba de ultrasonido trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF.

Para esta inspección, será usada la cámara térmica TKTI 21 ubicada en el laboratorio del centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS. Debe tener una periodicidad trimestral para evaluar el estado de desgaste de los componentes de los ítems mantenibles. A continuación en la tabla 6 de muestra el programa maestro de mantenimiento.

Tabla 6. Programa maestro de mantenimiento Mesa de pulimento horizontal

Programa maestro de mantenimiento				
Equipo		Tipo de mantenimiento		
Nombre	Mesa de pulimento horizontal	Preventivo	Predictivo	Repuestos en caso de requerir mtto correctivo
Codigo AM	SF-LSB-B1,4	Periodicidad		
Codigo inventario	0-905	Mensual	Trimestral	
Area	Linea LSB	Sistema de transmisión y control	Analisis de vibraciones	
Zona	Pulimento Nacional de abrasivos			
Fabricante	1LA I33-4YA70	Operario encargado	Ingeniero Encargado	Chumaseras - SY 30 TF y SY 20 TF Rodamientos - YAR 206 2F y YAR 204 2F Rodillos - D=110 mm L=200mm y D=90mm L=30mm
Referencia	-	Edgar Gomez	Felipe Pinzon	
Serie	1 Elemento por pasada	Elementos requeridos		
Capacidad	33 HP	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite		
Potencia	Linea: 220 V	Microlog CMXA80		
Voltaje	Alta			
Criticidad	220 V			
Recursos	2,1m x 2,1m x 1,1m			
Dimensiones				

Fuente: Autor

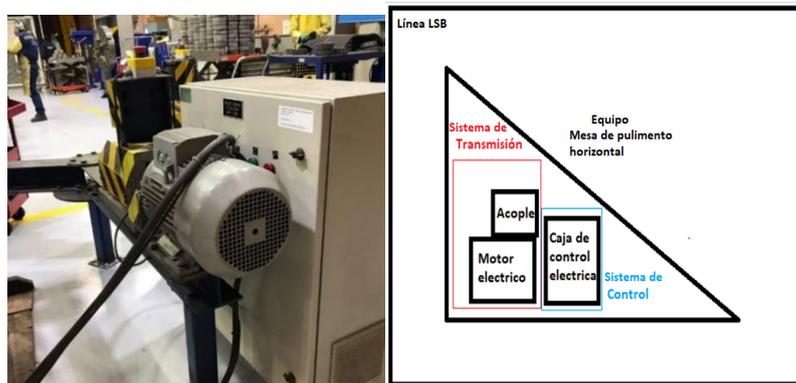


Figura 14. Mesa de pulimento horizontal y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.



Latin Trade S.A.S.
OTD-G

Detalle De Orden De Trabajo

Gasto Real

AM 4G-Administrador de Mantenimiento

Página 6 de 20

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-32

F/F. Creación: 22/02/2022

F/F. Prgmda.: 02/02/2022

Estado: EJ

Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección Mensual del Tablero Eléctrico		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/>	Ele <input checked="" type="checkbox"/>	IE <input type="checkbox"/>
Otr <input type="checkbox"/>	Prd <input type="checkbox"/>	Insp <input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/>	Prv <input type="checkbox"/>	PrvM <input type="checkbox"/>
TA: Manito	Tarea: 1	Lbr <input type="checkbox"/>
		Metr <input type="checkbox"/>
		OstM <input type="checkbox"/>
		Otr <input type="checkbox"/>
Causa de Falla:		FIH. FID/A: null-Hora: null
FIH. Atención:		

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Mesa de Pulimento Horizontal	Código: SF-LSB-B1,4	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: 1LA 033-4YA70
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial:	Marca: SIEMENS	Modelo: S/N	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN

CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN

Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:
---------	-----------	--------	-----------	--------

GASTO REAL

MATERIALES Y REPUESTOS

OTROS CONCEPTOS

Fecha	Código	Descripción	Cant.	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA

MANO DE OBRA EXTERNA

Fecha	CR-Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

FIH. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD:HH:MM)	<input type="text"/>
FIH. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado: Activo	Tiempo Inproductivo Real (DD:HH:MM)	<input type="text"/>
FIH. Entrega Activo:	_____	Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DD:HH:MM)	<input type="text"/>

RESPONSABLE(Nombre/Firma)	Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma)
_____	_____
Edgar Gomez	Osman Gomez

COMENTARIOS

2/02/2022-NO_DEFINIDO-Limpieza y revisión de aislaciones



Latin Trade S.A.S.
OTD-G

Detalle De Orden De Trabajo

Gasto Real

AM 4G-Administrador de Mantenimiento
Página 7 de 20
February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-33 F/F. Creación: 22/02/2022 F/F. Prgrmda.: 07/02/2022 Estado: EJ Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Mantenimiento Preventivo de Motor Eléctrico	Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS	CR.: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/> Ele <input checked="" type="checkbox"/> IE <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falla:
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/> Prv <input type="checkbox"/> PrvM <input type="checkbox"/> Prd <input checked="" type="checkbox"/> Insp <input type="checkbox"/> Lbr <input type="checkbox"/> Metr <input type="checkbox"/> OtrM <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	FIH. FIDIA: null -Hora: null
TA.: Mantto	FIH. Atención:
Tarea: 3	

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Mesa de Pulimento Horizontal	Código: SF-LSB-B1,4	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: 1LA (33-4YA70)
Libi. Física: ZONA PULIMENTO	Seriat:	Marca: SIEMENS	Modelo: SN	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN		CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN	
Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:

GASTO REAL

MATERIALES Y REPUESTOS	OTROS CONCEPTOS																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Código</th> <th>Descripción</th> <th>Cant</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Fecha	Código	Descripción	Cant													<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Nombre</th> <th>Cant.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Fecha	Nombre	Cant.									
Fecha	Código	Descripción	Cant																										
Fecha	Nombre	Cant.																											

MANO DE OBRA INTERNA	MANO DE OBRA EXTERNA																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>CR- Oficio</th> <th>Cód. Respons.</th> <th>Nombre Responsable</th> <th>Tipo H.</th> <th>Num. Horas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Fecha	CR- Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas																			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>C.R. - Oficio - Responsable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable						
Fecha	CR- Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas																												
Fecha	C.R. - Oficio - Responsable																																

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

FIH. Inicio Trabajo: Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD/HH/MM)	<table border="1" style="width: 30px; height: 20px; border-collapse: collapse;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>			
FIH. Fin Trabajo: Hora:	Indicador de Estado: Activo	Tiempo Inproductivo Real (DD/HH/MM)	<table border="1" style="width: 30px; height: 20px; border-collapse: collapse;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>			
FIH. Entrega Activo:	Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DD/HH/MM)	<table border="1" style="width: 30px; height: 20px; border-collapse: collapse;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0
0	0	0				

RESPONSABLE(Nombre/Firma) _____ Edgar Gomez	Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma) _____ Osman Gomez
--	--

COMENTARIOS

2/02/2022-NO_DEFINIDO-Desmontaje, apertura y limpieza
Verificación de continuidad entre conexiones
Medición de voltaje y amperaje
Análisis de vibraciones

Ilustración 3. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento mesa de pulimento horizontal.

B. Torno Paralelo (SF-LSB-B1, 5): Este equipo cuenta con dos rutas de mantenimiento mensual para el sistema de transmisión y sistema de control del equipo e indicaciones para la colección de inspecciones predictivas (ver tabla 7).

1. B.1 Rutas mensuales:

- **Sistema de transmisión:** Ajuste del husillo y copa de sujeción, lubricación de engranajes y verificación de freno

- **Sistema de control:** Limpieza y observación del estado de envejecimiento de conexiones y rectificación de conexiones con voltímetro.

1. B.2 Inspecciones predictivas:

- Prueba de colección de vibraciones trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Para esta inspección, será usado prueba de ultrasonido trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Para esta inspección, será usado el Microlog CMXA 80 ubicado en el laboratorio del centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS. Debe tener una periodicidad trimestral para evaluar el estado de desgaste de los componentes de los ítems mantenibles.

Tabla 7. Programa maestro de mantenimiento Torno paralelo

Programa maestro de mantenimiento				
Equipo		Tipo de mantenimiento		Repuestos en caso de requerir mtto correctivo
Nombre	Torno paralelo	Preventivo	Predictivo	
Codigo AM	SF-LSB-B1,5	Periodicidad		
Codigo inventario	0-907	Mensual	Trimestral	
Area	Linea LSB	Sistema de transmisión y control	Analisis de vibraciones	Rodamientos - 20NFM-3-7.5-36 y 20NFM-3-7.5-36 RC Correa de transmisión 5 M690 - A28 Poleas de 1/4"
Zona	Pulimento			
Fabricante	Fablamp	Operario encargado	Ingeniero Encargado	
Referencia	FI-1440GZJ			
Serie	751328	Edgar Gomez	Felipe Pinzon	
Capacidad	1 elemento por pasada	Elementos requeridos		
Potencia	2 HP	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite		
Voltaje	Linea: 220	Microlog CMXA80		
Criticidad	Alta			
Recursos	220 V			
Dimensiones	1,15m x 0,65m x 1,5m 590kg			

Fuente: Autor.

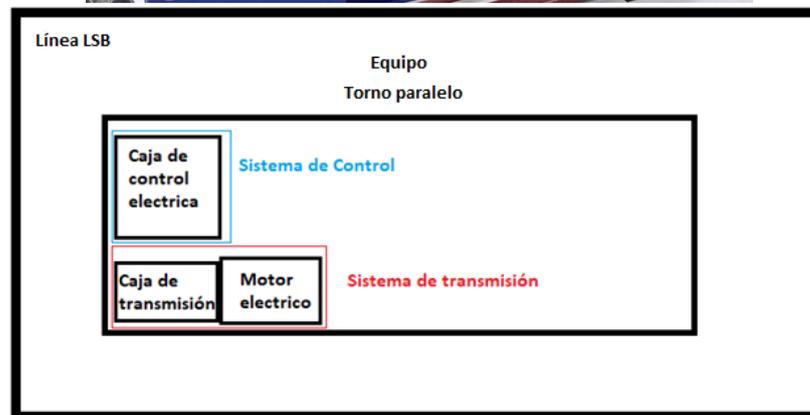


Figura 15. Torno paralelo y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF.



Orden De Trabajo No.: 2022-34 F/F. Creación: 22/02/2022 F/F. Prgmada.: 09/02/2022 Estado: EJ Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección mensual, limpieza y lubricación		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR.: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/>	Ele <input checked="" type="checkbox"/>	IE <input type="checkbox"/>
Otr <input type="checkbox"/>	Insp <input checked="" type="checkbox"/>	Lbr <input type="checkbox"/>
Metr <input type="checkbox"/>	OsM <input type="checkbox"/>	Otr <input type="checkbox"/>
Tarea: 1	Causa de Falla: null-Hora: null	
FIH. FIDIA: null-Hora: null		FIH. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Torno paralelo	Código: SF-LSB-B1,5	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: FI-1440GZJ
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: 751328	Marca: Logan	Modelo: FI-1440GZJ	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:
---------	-----------	--------	-----------	--------

GASTO REAL

MATERIALES Y REPUESTOS

Fecha	Código	Descripción	Cant.	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA

Fecha	C.R. - Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

FIH. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD/HH/MM)		
FIH. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado : Activo	Tiempo Inproductivo Real (DD/HH/MM)		
FIH. Entrega Activo:		Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DD/HH/MM)	0	0

RESPONSABLE(Nombre/Firma)	Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma)
Edgar Gomez	Osman Gomez

COMENTARIOS

2/02/2022-NO DEFINIDO-Limpieza y lubricación de engranajes
Ajuste del husillo y copa de sujeción
Limpieza de la banqueta

Ilustración 4. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno paralelo.

C. Torno Pequeño (SF-LSB-B1, 1): Este equipo cuenta con dos rutas de mantenimiento mensual para el sistema de transmisión y sistema de control del equipo e indicaciones para la colección de inspecciones predictivas (ver tabla 8).

i. Rutas mensuales:

- **Sistema de transmisión:** Limpieza superficial del equipo, ajuste de la copa de sujeción, limpieza y lubricación de elementos móviles.

- **Sistema de control:** limpieza y verificación de terminales, verificación de estado de aislaciones y rectificación de conexiones con voltímetro.

ii. Inspecciones predictivas:

- Prueba de colección de vibraciones trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Prueba de ultrasonido trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Para esta inspección, será usado el Microlog CMXA 80 ubicado en el laboratorio del centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

Tabla 8. Programa maestro de mantenimiento Torno pequeño

Programa maestro de mantenimiento				
Equipo		Tipo de mantenimiento		Repuestos en caso de requerir mtto correctivo
Nombre	Torno pequeño	Preventivo	Predictivo	
Codigo AM	SF-LSB-B1,1	Periodicidad		Rodamientos - 20NFM-3-7.5-36 y 20NFM-3-7.5-36 RC Correa de trasmisión 5 M690 - A28 Poleas de 1/4"
Codigo inventario	0-906	Mensual	Trimestral	
Area	Linea LSB	Sistema de transmisión y control	Análisis de vibraciones	
Zona	Pulimento			
Fabricante	Latimaq	Operario encargado	Ingeniero Encargado	
Referencia	AT320			
Serie	CQ9332A	Edgar Gomez	Felipe Pinzon	
Capacidad	1 elemento por pasada			
Potencia	2 HP	Elementos requeridos		
Voltaje	Linea: 220			
Criticidad	Alta			
Recursos	220 V	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Microlog CMXA80	
Dimensiones	1,15m x 0,65m x 1,5m 320kg			

Fuente: Autor.

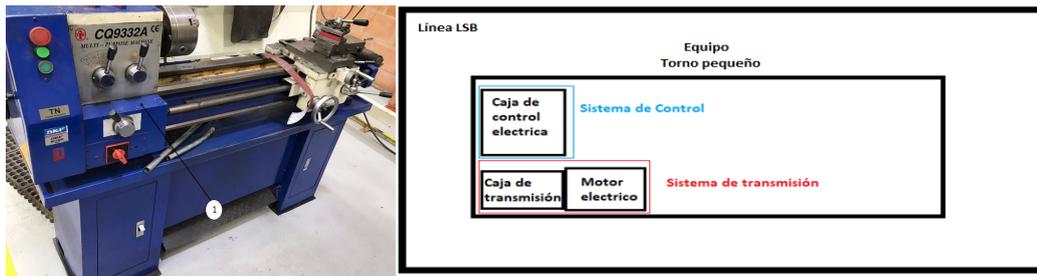


Figura 16. Torno pequeño y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

Detalle De Orden De Trabajo

 Latin Trade S.A.S.
 OTD-G

Gasto Real

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-27

F/F. Creación: 22/02/2022

F/F. Prgmda.: 03/02/2022

Estado: EJ

Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección mensual, lubricación y limpieza		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/> Ele <input checked="" type="checkbox"/> IE <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falta:	
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/> Prv <input type="checkbox"/> Pvm <input type="checkbox"/> Prd <input type="checkbox"/> Inap <input checked="" type="checkbox"/> Lbr <input type="checkbox"/> Metr <input type="checkbox"/> OtrM <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	F/H. F/D/A: null -Hora: null	
TA.: Mantto	Tarea: 1	F/H. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Torno pequeño	Código: SF-LSB-B1,1	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: AT320
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: CQ9332A	Marca: Latmaq	Modelo: CQ9332A	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN		CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN	
Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:

GASTO REAL			
MATERIALES Y REPUESTOS		OTROS CONCEPTOS	

Fecha	Código	Descripción	Cant.	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA					MANO DE OBRA EXTERNA	
----------------------	--	--	--	--	----------------------	--

Fecha	CR- Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

F/H. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD:HH:MM)
F/H. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado: Activo	Tiempo Improductivo Real (DD:HH:MM)
F/H. Entrega Activo:	_____	Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DD:HH:MM)
			0 0 0

RESPONSABLE(Nombre/Firma) _____ Edgar Gomez	Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma) _____ Osman Gomez
---	---

COMENTARIOS

2/02/2022-NO_DEFINIDO-Limpiar la bancada
 Ajuste del husillo y copa de sujeción
 Lubricación de engranajes
 Verificación de freno

Detalle De Orden De Trabajo

 Latin Trade S.A.S.
 OTD-G

Gasto Real

Página 2 de 20

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-28 F/F. Creación: 22/02/2022 F/F. Prgrmda.: 01/02/2022 Estado: EJ Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Limpieza y verificación del tablero eléctrico		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input type="checkbox"/> Ele <input checked="" type="checkbox"/> I/E <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falla:	
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/> Priv <input checked="" type="checkbox"/> PrivM <input type="checkbox"/> Prd <input type="checkbox"/> Insp <input type="checkbox"/> Lbr <input type="checkbox"/> Metr <input type="checkbox"/> OtrM <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	F/H. F/D/A: null -Hora: null	
TA.: Mantto-Ajuste	Tarea: 3	F/H. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Torno pequeño	Código: SF-LSB-B1,1	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: AT320
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: CO9332A	Marcas: Latimaq	Modelo: CO9332A	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR **CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN** **CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN**

Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:
---------	-----------	--------	-----------	--------

GASTO REAL	OTROS CONCEPTOS
------------	-----------------

Fecha	Código	Descripción	Cant.	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA	MANO DE OBRA EXTERNA
----------------------	----------------------

Fecha	C.R. - Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

F/H. Inicio Trabajo: Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD/HH/MM)	<input type="text"/>
F/H. Fin Trabajo: Hora:	Indicador de Estado: Activo	Tiempo Improductivo Real (DD/HH/MM)	<input type="text"/>
F/H. Entrega Activo:	Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestón (DD/HH/MM)	<input type="text"/>

RESPONSABLE(Nombre/Firma) _____ Edgar Gomez	Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma) _____ Osman Gomez
--	--

COMENTARIOS

2/02/2022-NO_DEFINIDO-Limpieza de contactores
 Medición de continuidad entre conexiones
 Medición de voltaje y amperaje
 Verificación de estado de aislaciones

Ilustración 5. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno paralelo.

D. Torno Mediano (SF-LSB-B1, 2): Este equipo cuenta con dos rutas de mantenimiento mensual para el sistema de transmisión y sistema de control del equipo e indicaciones para la colección de inspecciones predictivas (ver tabla 9).

i. Rutas mensuales:

- **Sistema de transmisión:** Limpieza superficial del equipo, ajuste de la copa de sujeción, limpieza y lubricación de elementos móviles.

- **Sistema de control:** Limpieza y verificación de terminales, verificación de estado de aislaciones y rectificación de conexiones con voltímetro.

ii. Inspecciones predictivas:

- Prueba de colección de vibraciones trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Prueba de ultrasonido trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Para esta inspección, será usado el Microlog CMXA 80 ubicado en el laboratorio del centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS. Debe tener una periodicidad trimestral para evaluar el estado de desgaste de los componentes de los ítems mantenibles.

Tabla 9. Programa maestro de mantenimiento Torno mediano

Programa maestro de mantenimiento				
Equipo		Tipo de mantenimiento		Repuestos en caso de requerir mto correctivo
Nombre	Torno mediano	Preventivo	Predictivo	
Codigo AM	SF-LSB-B1,2	Periodicidad		
Codigo inventario	0-909	Mensual	Trimestral	
Area	Linea LSB Pulimento	Sistema de transmisión y control	Analisis de vibraciones	
Fabricante	IMOR	Operario encargado	Ingeniero Encargado	
Referencia	Oficina 420			
Serie	Oficina 420	Edgar Gomez	Felipe Pinzon	
Capacidad	1 elemento por pasada	Elementos requeridos		
Potencia	4 HP	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Microlog CMXA80	
Voltaje	Linea: 220			
Criticidad	Alta			
Recursos	220 V			
Dimensiones	0,9m x 0,7m x 1,43m			

Fuente: Autor.

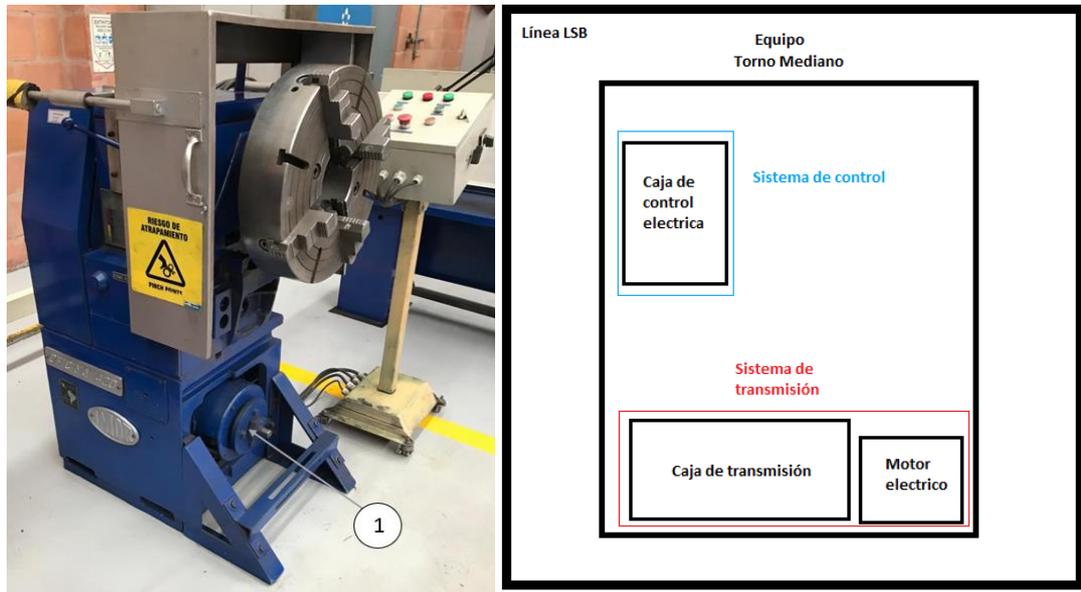


Figura 17. Torno mediano y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.



Latin Trade S.A.S.
OTD-G

Detalle De Orden De Trabajo

Gasto Real

AM 4G-Administrador de Mantenimiento

Página 3 de 20

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-29 F/F. Creación: 22/02/2022 F/F. Prgmda.: 11/02/2022 Estado: EJ Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección mensual y limpieza		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/> Ele <input checked="" type="checkbox"/> I/E <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falla:	
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/> Prv <input type="checkbox"/> Pvm <input type="checkbox"/> Prd <input type="checkbox"/> Inap <input checked="" type="checkbox"/> Lbr <input type="checkbox"/> Matr <input type="checkbox"/> OtrM <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	FIH. FIDIA: null-Hora: null	
TA.: Mantto	Tarea: 1	FIH. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Torno mediano	Código: SF-LSB-B1,2	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: Oficina 420
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: Oficina 420	Marca: IMOR	Modelo: IMOR	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN			CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN		
Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:	

GASTO REAL

MATERIALES Y REPUESTOS				OTROS CONCEPTOS		
Fecha	Código	Descripción	Cant	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA						MANO DE OBRA EXTERNA	
Fecha	C.R. - Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO								
FIH. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD/HH/MM)					
FIH. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado: Activo	Tiempo Inproductivo Real (DD/HH/MM)					
FIH. Entrega Activo:	Estado del Activo: A - En Operación		Tiempo Real De Gestión (DD/HH/MM)					
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>						0	0	0
0	0	0						

RESPONSABLE(Nombre/Firma) _____ Edgar Gomez	Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma) _____ Osman Gomez
--	--

COMENTARIOS
2/02/2022-NO_DEFINIDO-Limpieza superficial del equipo Ajuste de la copa de sujeción Limpieza y lubricación de elementos móviles

Ilustración 6. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno mediano.

E. Torno Grande (SF-LSB-B1, 3): Este equipo cuenta con dos rutas de mantenimiento mensual para el sistema de transmisión y sistema de control del equipo e indicaciones para la colección de inspecciones predictivas (ver tabla 10).

i. Rutas mensuales:

- **Sistema de transmisión:** Limpieza superficial del equipo, ajuste de la copa de sujeción, limpieza y lubricación de elementos móviles.
- **Sistema de control:** Limpieza y verificación de terminales, verificación de estado de aislaciones y rectificación de conexiones con voltímetro.

ii. Inspecciones predictivas:

- Prueba de colección de vibraciones trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Para esta inspección, será usado el Microlog CMXA 80 ubicados en el laboratorio del centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS. Debe tener una periodicidad trimestral para evaluar el estado de desgaste de los componentes de los ítems mantenibles.

Tabla 10. Programa maestro de mantenimiento Torno grande

Programa maestro de mantenimiento				
Equipo		Tipo de mantenimiento		Repuestos en caso de requerir mtto correctivo
Nombre	Torno grande	Preventivo	Predictivo	
Codigo AM	SF-LSB-B1,3	Periodicidad		Rodamiento 20NFM-3-7.5-36, Poleas de 4" y 1"
Codigo inventario	0-908	Mensual	Trimestral	
Area	Linea LSB	Sistema de transmisión y control	Análisis de vibraciones	
Zona	Pulimento			
Fabricante	Stanko			
Referencia	AMPM13243	Operario encargado	Ingeniero Encargado	
Serie	14254-80 IP44			
Capacidad	1 elemento por pasada	Edgar Gomez	Felipe Pinzon	
Potencia	15 HP	Elementos requeridos		
Voltaje	Linea: 220			
Criticidad	Alta			
Recursos	220 V			
Dimensiones	1,46m x 1,6m x 1,85m	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Microlog CMXA80	

Fuente: Autor.

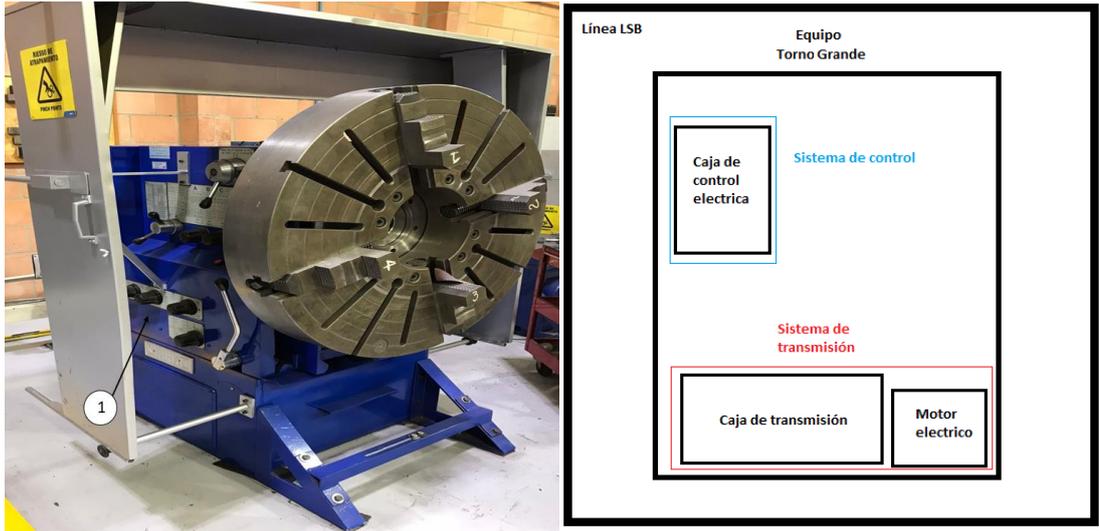


Figura 18. Torno grande y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.



Latin Trade S.A.S.
OTD-G

Detalle De Orden De Trabajo

Gasto Real

AM 4G-Administrador de Mantenimiento

Página 4 de 20

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-30

F/F. Creación: 22/02/2022

F/F. Progmda.: 02/02/2022

Estado: EJ

Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección mensual y limpieza		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/>	Ele <input checked="" type="checkbox"/>	IE <input type="checkbox"/>
Otr <input type="checkbox"/>	Inap <input checked="" type="checkbox"/>	Lbr <input type="checkbox"/>
Metr <input type="checkbox"/>	OsM <input type="checkbox"/>	Otr <input type="checkbox"/>
Tarea: 1	FIH. FIDIA: null -Hora: null	FIH. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Torno grande	Código: SF-LSB-B1,3	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: AMPM13243
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: 14254-80 IP44	Marcas: Stanko	Modelo:	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:
---------	-----------	--------	-----------	--------

GASTO REAL

MATERIALES Y REPUESTOS

Fecha	Código	Descripción	Cant.	Fecha	Nombre	Cant.

OTROS CONCEPTOS

MANO DE OBRA INTERNA

Fecha	C.R. - Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas

MANO DE OBRA EXTERNA

Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

FIH. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD/HH/MM)	<input type="text"/>
FIH. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado : Activo	Tiempo Inproductivo Real (DD/HH/MM)	<input type="text"/>
FIH. Entrega Activo:	Estado del Activo: A - En Operación			

RESPONSABLE(Nombre/Firma)

Edgar Gomez

Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma)

Osman Gomez

COMENTARIOS

2/02/2022-NO_DEFINIDO-Limpieza superficial del equipo
Ajuste de la copa de sujeción
Limpieza y lubricación de elementos móviles

WIN Software		AM 4G-Administrador de Mantenimiento	
Latin Trade S.A.S. OTD-G		Detalle De Orden De Trabajo Gasto Real	
Página 5 de 20		February 22, 2022	
Orden De Trabajo No.: 2022-31	F/F. Creación: 22/02/2022	F/F. Prgmda.: 03/02/2022	Estado: EJ Prioridad : 3
INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO			
Descripción OT: Limpieza y verificación del tablero eléctrico		Res. Ejecutor: Edgar Gomez	
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR.: CS-REMANU	
Tipo de Trabajo: Mec <input type="checkbox"/> Ele <input checked="" type="checkbox"/> IE <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falla:		
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/> Piv <input checked="" type="checkbox"/> PivM <input type="checkbox"/> Prd <input type="checkbox"/> Insp <input type="checkbox"/> Lbr <input type="checkbox"/> Metl <input type="checkbox"/> OtrM <input type="checkbox"/> Otr <input type="checkbox"/>	F/H. FIDIA: null-Hora: null		
TA.: Manto	Tarea: 4	F/H. Atención:	
INFORMACIÓN DEL ACTIVO			
Nombre: Tomo grande	Código: SF-LSB-B1,3	Activo Fijo:	Alias:
Ubi. Física: ZONA PULIMENTO	Serial: 14254-80 IP44	Marca: Stanko	Referencia: AMPM13243
INFORMACIÓN DEL CONTADOR		CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN	
Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:
GASTO REAL			
MATERIALES Y REPUESTOS		OTROS CONCEPTOS	
Fecha	Código	Descripción	Cant.
Fecha	Nombre	Cant.	
MANO DE OBRA INTERNA		MANO DE OBRA EXTERNA	
Fecha	C.R. - Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable
		Tipo H.	Num. Horas
Fecha	C.R. - Oficio - Responsable		
CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO			
F/H. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DD:HH:MM)
F/H. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado : Activo	Tiempo Improductivo Real (DD:HH:MM)
F/H. Entrega Activo:		Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DD:HH:MM)
			0 0 0
RESPONSABLE(Nombre/Firma)		Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma)	
Edgar Gomez		Osman Gomez	
COMENTARIOS			
2022/2022-NO_DEFINIDO-Limpieza y verificación de terminales Verificación de estado de aislaciones			

Ilustración 7. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento torno grande.

F. Compresor (SF-WOP-C2): Este equipo cuenta con dos rutas de mantenimiento mensual para el sistema de transmisión y sistema de control del equipo e indicaciones para la colección de inspecciones predictivas (ver tabla 11).

i. Rutas mensuales:

- **Sistema mecánico:** Limpieza general de compresor, del cubículo, del intercambiador, verificación de fugas de aceite, limpieza de secador.

- **Sistema eléctrico:** Limpieza y observación del estado de envejecimiento de conexiones y rectificación de conexiones con voltímetro. Recolección de datos (Amperajes, temperaturas y presiones).
- **Sistema de distribución de aire:** Limpiar y remover partículas de polvo del ventilador, intercambiador y compresor. Verificación de fugas de aire.

ii. Inspecciones predictivas:

- Prueba de colección de vibraciones trimestral para corroborar el estado de funcionamiento del motor a través del espectro estandarizado por SKF. Para esta inspección, será usado el Microlog CMXA 80 ubicados en el laboratorio del centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS. Debe tener una periodicidad trimestral para evaluar el estado de desgaste de los componentes de los ítems mantenibles.

Tabla 11. Programa maestro de mantenimiento Compresor

Programa maestro de mantenimiento				Repuestos en caso de requerir mantenimiento correctivo
Equipo	Tipo de mantenimiento			
Nombre	Compresor SF-LSB-B1.1	Preventivo	Predictivo	Filtro de aire • Filtro de aceite • Separador de aceite • Válvula termostática de 38° • Kit de válvula de mínima • Kit trampas de condensado • Kit de válvula antirretorno • Kit de válvula de admisión • Filtros del cubículo
Código AM	B1.1	Periodicidad		
Código inventario	0-906	Mensual	Trimestral	
Área	Línea LSB	Sistema de transmisión y control	Análisis de vibraciones	
Zona	Pulimento			
Fabricante	Latimaq	Operario encargado	Ingeniero Encargado	
Referencia	AT320	Edgar Gomez	Felipe Pinzon	
Serie	CQ9332A			
Capacidad	1 elemento por pasada			
Potencia	2 HP	Elementos requeridos		
Voltaje	Línea: 220			
Criticidad	Alta			
Recursos	220 V			
Dimensiones	1,15m x 0,65m x 1,5m 320kg	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Microlog CMXA80	

Fuente: Autor.

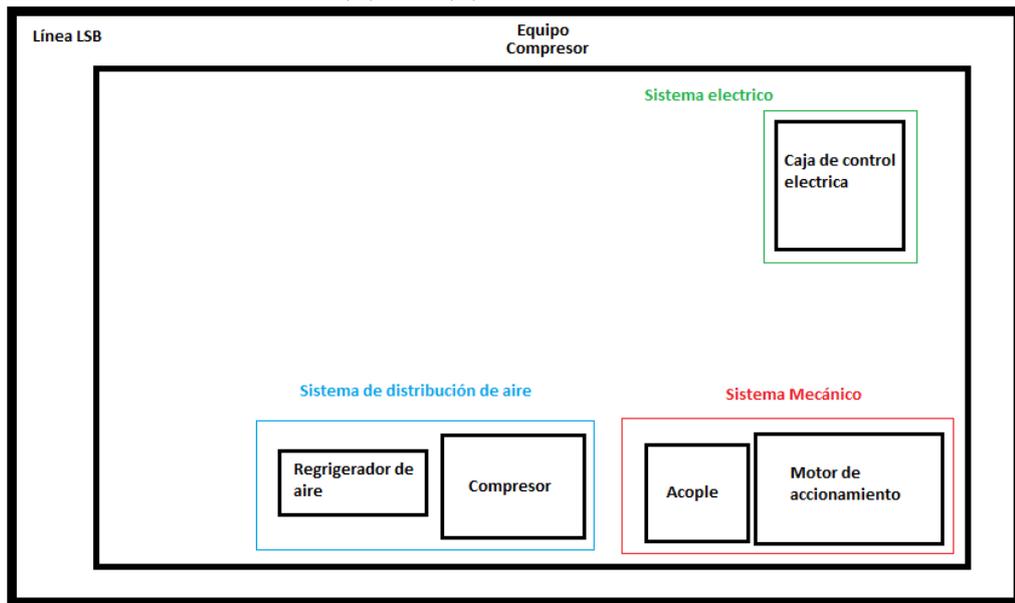
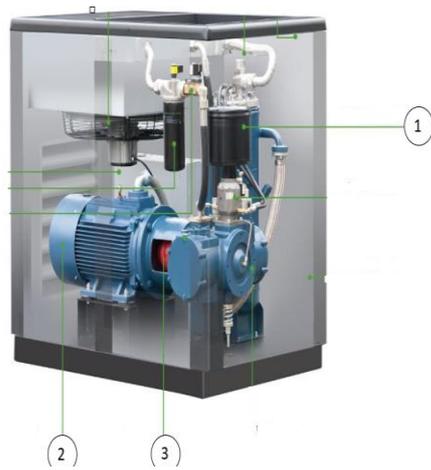


Figura 19. Compresor y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS



Latin Trade S.A.S.
OTD-G

Detalle De Orden De Trabajo

Gasto Real

AM4G-Administrador de Mantenimiento

Página 20 de 20

February 22, 2022

Orden De Trabajo No.: 2022-46

F/F. Creación: 22/02/2022

F/F. Prgmda.: 16/02/2022

Estado: EJ

Prioridad : 3

INFORMACIÓN DE LA ORDEN DE TRABAJO

Descripción OT: Inspección mensual y limpieza		Res. Ejecutor: Edgar Gomez
Centro de Costo: AREA DE SERVICIO DE REMANUFACTURAS		CR: CS-REMANU
Tipo de Trabajo: Mec <input checked="" type="checkbox"/>	Ele <input checked="" type="checkbox"/>	I/E <input type="checkbox"/>
Otr <input type="checkbox"/>	Causa de Falla:	
Tipo de Mto: Cor <input type="checkbox"/>	Prv <input type="checkbox"/>	PrvM <input type="checkbox"/>
Prd <input type="checkbox"/>	Insp <input checked="" type="checkbox"/>	Lbr <input type="checkbox"/>
TA: Manito	Tarea: 2	Metr <input type="checkbox"/>
		OtrM <input type="checkbox"/>
		Otr <input type="checkbox"/>
		F/H. F/D/A: null -Hora: null
		F/H. Atención:

INFORMACIÓN DEL ACTIVO

Nombre: Compresor	Código: SF-WOP-C2	Activo Fijo:	Alias:	Referencia: AP014373
Ubi. Física: ZONA COMÚN	Serial:	Marca: Atlas Copco	Modelo: GA15+FF	

INFORMACIÓN DEL CONTADOR

CONTADOR AL MOMENTO DE LA GENERACIÓN

CONTADOR AL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN

Nombre:	Medición:	Fecha:	Medición:	Fecha:
---------	-----------	--------	-----------	--------

GASTO REAL

MATERIALES Y REPUESTOS

OTROS CONCEPTOS

Fecha	Código	Descripción	Cant.	Fecha	Nombre	Cant.

MANO DE OBRA INTERNA

MANO DE OBRA EXTERNA

Fecha	CR- Oficio	Cód. Respons.	Nombre Responsable	Tipo H.	Num. Horas	Fecha	C.R. - Oficio - Responsable

CONTROL DE TIEMPOS Y ESTADO

F/H. Inicio Trabajo:	Hora:	Tiempo de Garantía (Meses) <input type="checkbox"/>	Tiempo de Duración (DDHHMM)	<input type="text"/>
F/H. Fin Trabajo:	Hora:	Indicador de Estado: Activo	Tiempo Inproductivo Real (DDHHMM)	<input type="text"/>
F/H. Entrega Activo:	_____	Estado del Activo: A - En Operación	Tiempo Real De Gestión (DDHHMM)	<input type="text"/>

RESPONSABLE(Nombre/Firma)

Recibido a Satisfacción(Nombre/Firma)

_____	_____
Edgar Gomez	Osman Gomez

COMENTARIOS

2/02/2022-NO_DEFINIDO- Limpieza general de compresor

- Limpieza de cubículo
- Limpieza de intercambiador
- Verificación de fugas de aire y de aceite
- Limpieza de secador
- Toma de datos (Amperajes, temperaturas y presiones)

Ilustración 8. Formato de tarea de mantenimiento del software de mantenimiento compresor.

G. Distribución eléctrica:

i. Tablero eléctrico 220V (SF-SER-D5):

- **Sistema eléctrico:** Limpieza y observación del estado de envejecimiento de conexiones y rectificación de conexiones con voltímetro.



Figura 20. Tablero eléctrico de 220v y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF

ii. **Tablero eléctrico 440V (SF-SER-D4):**

- **Sistema eléctrico:** Limpieza y observación del estado de envejecimiento de conexiones y rectificación de conexiones con voltímetro.



Figura 21. Tablero eléctrico de 440V y división de ítems mantenibles. Fuente: Centro de economía circular de SKF Latin Trade SAS.

Tabla 12. Programa maestro de mantenimiento Distribución eléctrica

Programa maestro de mantenimiento				
Equipo		Tipo de mantenimiento		Repuestos en caso de requerir mto correctivo
Nombre	Distribución eléctrica	Preventivo	Predictivo	
Codigo AM	SF-SER-D5 y SF-SER-D4	Periodicidad		
Codigo inventario	-	Mensual	Trimestral	
Area	Gabinete eléctrico	Sistema de control	NA	
Zona	Gabinete eléctrico			
Fabricante	SKF			
Referencia	-	Operario encargado	Ingeniero Encargado	
Serie	-	Edgar Gomez	NA	
Capacidad	220 V y 440 V - 34 elementos electricos			
Voltaje	220V y	Elementos requeridos		
Criticidad	Alta			
Recursos	220V			
Recursos	440 V			
Dimensiones	1,15m x 0,65m x 1,5m 320kg	Voltímetro, herramientas para ajuste	NA	

Fuente: Autor.

7.4 Cronograma

El cronograma del plan de mantenimiento preventivo (color verde), está planteado para los primeros días de cada mes, para cada equipo. El siguiente esquema representa gráficamente el cronograma preventivo en verde y predictivo en amarillo para cada equipo.

Tabla 13. Cronograma de mantenimiento preventivo.

Cronograma de mantenimiento											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes	Día del mes
2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8	2 3 4 5 6 7 8
█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
█			█			█			█		█
█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
█			█			█			█		█
█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Fuente: Autor.

Dentro del plan de mantenimiento elaborado en Excel, se tuvo en cuenta el mantenimiento predictivo (color amarillo) así como también, la colección de inspecciones predictivas que se deben llevar a cabo para cada equipo en una periodicidad trimestral, se especifica que se toma el día de mantenimiento preventivo para colección de inspecciones, pero en lugar de hacerlo mensual se hace trimestralmente (ver tabla 14).

Tabla 14. Instrucciones de mantenimiento preventivo.

Línea LSB					
Equipo	Codigo del equipo	Tipo de mantenimiento			
		Elementar requerido	Frecuencia	Clase de mantenimiento	
Mora de Pulimenta Horizontal	(SF-LSB-B1,4)	Sistema de transmisión y control	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Mensual	preventiva
		Análisis de vibraciones	Micralaq CMRA 30	Trimestral	Predictiva
Torna Paralela	(SF-LSB-B1,5)	Sistema de transmisión y control	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Mensual	preventiva
		Análisis de vibraciones	Micralaq CMRA 30	Trimestral	Predictiva
Torna Pequeña	(SF-LSB-B1,5)	Sistema de transmisión y control	Voltímetro, herramientas para ajuste de transmisión, aceite	Mensual	preventiva
		Análisis de vibraciones	Micralaq CMRA 30	Trimestral	Predictiva

Fuente: Autor.

Para los equipos de distribución eléctrica, no es requerida una colección de inspecciones predictivas, debido a su baja criticidad. Sin embargo, el plan de mantenimiento abarca todos los equipos de la línea para evitar imprevistos y llevar

un control sobre el estado de los mismo, además de ser un requerimiento del ingeniero en jefe para evitar sobre costos, fallas y percances que puedan afectar el estado de los equipos. Para el mantenimiento general anual del compresor, no es requerida una colección de inspecciones adicional, ya que hace parte del mantenimiento preventivo y se requiere del proveedor externo, el cual se encarga de desarmar, limpiar y revisar en detalle cada parte del compresor.

8 ANÁLISIS FINANCIERO CONSIDERANDO EL ROI (RETORNO DE LA INVERSIÓN).

8.1 Inversión asociada a la implementación del plan de mantenimiento.

Este proyecto necesitó recolectar información técnica, generar el plan y posteriormente seguir su ejecución; el autor ha prestado sus servicios en dicha empresa a cambio del desarrollo de su opción de grado por lo que no represento ningún costo.

Tabla 15. Recurso humano e insumos.

Recurso	Nombre	Justificación	Total
HARDWARE	COMPUTADOR PERSONAL	Equipo para desarrollar el proyecto utilizando herramientas de Office	\$ 150.000
FUNGIBLES	PAPELERÍA	Necesario para la impresión del proyecto y/o borradores	\$ 30.000
TOTAL, RECURSOS EQUIPOS Y MATERIALES (COP)			\$ 180.000

Fuente: Autor

Además, los repuestos necesarios para dar cumplimiento al plan de mantenimiento de acuerdo con el stock mensual, son los siguientes:

Tabla 16. Categorización por repuestos necesarios para dar cumplimiento al plan mensual.

Descripción	Cant.	Valor unitario	Valor total	Aplicación
Rodamientos 6203	2	\$35.800	\$71.600	Eje del motor a los

2rs				engranajes del torno
Correas ref. a27	2	\$37.500	\$75.000	Trasmitir potencia a los engranajes a la copa de sujeción
Manguera poliuretano antiestática 5" x mt	1	\$107.200	\$107.200	Conexión neumática en la salida del compresor
Kit wear drain	1	\$304.636	\$304.636	Kit de desgaste para drenaje del compresor
Thermostat kit 40 degree c	1	\$258.149	\$258.149	Dispositivo de medición de temperatura reemplazable del compresor
Rodamientos YAR 206 2F	2	\$70.476	\$140.952	Del motor a los rodillos de la mesa de pulimento
Rodamientos YAR 204 2F	2	\$49.415	\$98.830	Eje del motor a los rodillos de la mesa de pulimento
Rodamiento 20NFM-3-7.5-36	1	\$150.585	\$150.585	Rodamiento para el mandril del torno mediano

Aceite TELLUS 32 x 1 lt	4	\$34.756	\$139.024	Aceite para lubricación de la caja de transmisión de los tornos
TOTAL			\$1'345.976	

Fuente: autor.

Las tareas de mantenimiento serán ejecutadas por Edgar Gómez, operario de planta, por lo que la inversión está incluida en las horas de trabajo del operario. Cada operario cuenta con un contrato a término indefinido con un sueldo de \$2'000.000 [40], y labora 160 horas mensuales (sin horas extra, ni días adicionales), cada hora cuesta \$12.500. Si la empresa llega a requerir horas extra en días adicionales a la jornada laboral para cumplir con lotes de rodamientos para re manufactura, serán reconocidos y pagados según lo indica la ley. Sin embargo, las rutas de mantenimiento siempre van a estar dentro de la jornada laboral normal y están sujetas al cronograma de mantenimiento, el cual se encuentra en uno de los anexos de este documento (página 60), y no es planeado para días fuera de la jornada laboral habitual. A la fecha se han ejecutado:

- 14 tareas mensuales, las cuales necesitan de 1 hora para ser ejecutadas lo que se traduce en 14 horas fuera de servicio durante el mes, además estas no han generado costos adicionales, ni elementos de stock, ya que consisten en inspecciones visuales y ajustes. El resto de horas, fuera de las 14 dadas por calendario para mantenimiento, los operarios cumplen con sus labores habituales de re manufactura, ensamble y empaque de rodamientos.
- 7 rutas anuales, estimadas en 4 horas cada una para su ejecución.

Todo esto se relaciona en la siguiente tabla, estableciendo el tiempo en horas:

Tabla 17. Categorización por tareas de mantenimiento.

Frecuencia	Tiempo por ruta (horas)	Rutas ejecutadas	Rutas planeadas	Tiempo ejecutado (horas)	Tiempo planeado (horas)	Total, repuestos
Mensual	1	14	14	14	14	26
Anual	168	168	7	168	28	26
TOTAL TIEMPO INVERTIDO PLANEADO						42
TOTAL, TIEMPO INVERTIDO A LA FECHA						14
TOTAL, REPUESTOS						\$1'345.976

Fuente: autor.

Los repuestos utilizados anteriormente se tomaron del stock de repuestos realizado; la inversión total necesaria para el desarrollo y la implementación de este proyecto es:

Tabla 18. Categorización por tareas de mantenimiento.

INVERSIÓN	VALOR
Ejecución de las rutas	\$ 175.000
Stock de repuestos por mes	\$1'345.976
TOTAL, INVERSIÓN	\$1'520.976

Fuente: autor.

Cabe resaltar que; el valor de la ejecución de las rutas equivale a las 14 horas planeadas al mes, con base en el valor por hora del operario (\$12.500). Dicha inversión es financiada en su totalidad por SKF.

8.2 Costos asociados a la implementación del plan de mantenimiento.

Se indagó en el software de mantenimiento de la empresa, se solicitó información al personal técnico sobre las fallas ocurridas, para obtener los costos asociados al mantenimiento [39]. Durante la identificación de las actividades de mantenimiento se evidenciaron varias intervenciones correctivas realizadas durante el año 2021, que representan un costo de mantenimiento:

Tabla 19. Mantenimientos hechos por la empresa.

TOTAL, TIEMPO FUERA DE SERVICIO	22 h	
TOTAL, COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO		\$2'181.330

Fuente: SKF Latin Trade SAS

En este orden ideas, el valor del total de costos de mantenimiento es la suma de la cantidad de mantenimientos correctivos que se han hecho, y puede apreciarse la tabla 19 y puede apreciarse al detalle en el anexo “Historial de costos de mantenimiento”.

Tabla 20. Mantenimientos realizados por terceros.

TOTAL, COSTOS DE MANTENIMIENTO TERCEROS	\$12'943.106
--	--------------

Fuente: SKF Latin Trade SAS.

El costo de mantenimiento realizado por terceros es básicamente el costo del mantenimiento general de compresor, sin embargo, para revisar con mayor detalle los costos de la tabla 20, puede consultar el anexo “Historial de mantenimiento y costos”.

Se complementan con el lucro cesante a causa de los tiempos que están los equipos fuera de servicio durante las intervenciones; debido a que la facturación depende de los trabajos realizados, esta no es constante por lo que para cuantificar dicho rubro se promedia el valor mensual de lo realizado en el año 2021 y se estima el valor promedio por hora teniendo en cuenta que se laboran 160 horas al mes, tal y como lo indica a continuación en la tabla 21:

Tabla 21. Calculo promedio por hora.

Mes	Cantidad procesada al mes (Unidades)	Total facturado al mes
Enero	4	\$61'000.000
Febrero	5	\$14'600.000
Marzo	2	\$60'800.000
Abril	0	\$0
Mayo	0	\$0
Junio	0	\$0
Julio	0	\$0
Agosto	7	\$23'600.000
Septiembre	2	\$2'320.000
Octubre	4	\$34'808.000

Noviembre	2	\$880.000
Diciembre	0	\$0
TOTAL	26	\$198.008.000,00
PROMEDIO MENSUAL	2	\$16.500.666,67
PROMEDIO POR HORA (160h/mes)		\$ 103.129

Fuente: SKF Latin Trade SAS.

Cabe aclarar que; el monto de los \$103.129 es un promedio del valor facturado por hora durante el mes (160 h/mes) a lo largo del año 2021 y los \$12.500 son el valor de la hora del operario. El valor del costo de la hora de falla se calcula a partir del promedio por hora, el valor de la hora del operario y la cantidad de horas de inactividad del equipo por mantenimiento correctivo. Según lo indica el anexo del “Historial de mantenimiento y costos”; 22 horas en total es la afectación, por lo que el valor promedio de ganancia por hora:

Ecuación 36

$$V. Costo = \frac{\$1'237.548 \text{ h/año}}{22\text{h/año} \times \$12500} = 4.5$$

La pérdida en las ganancias debido a las 22 horas de inactividad es bastante alta y equivale a casi cinco días de operaciones. El resultado de 4.5 indica que la afectación en tiempo y dinero es casi 5 veces la ganancia en el año, teniendo en cuenta que la parada inesperada de los tornos retrasa todo el trabajo, sin que se pueda adelantar el trabajo de pulimento, que vendría siendo todo el trabajo de re manufactura. Los costos totales del plan de mantenimiento son:

Tabla 22. Costos de la ejecución del plan a la fecha

COSTOS	VALOR
Costos de mantenimiento correctivo	\$2'181.330
Costos de mantenimiento terceros.	\$12'943.106
Stock de repuestos, insumos y recurso humano	\$3'520.976
TOTAL	\$18'645.412

Fuente: autor

8.3 ROI

En este caso el beneficio de implementar el plan de mantenimiento es la ganancia dejada de obtener debido a dicha implementación, así como todos los costos asociados al mantenimiento realizado, por lo que:

$$\text{Beneficio} = (\text{Total costos} * \text{ganancia esperada}) + \text{costos de mtto}$$

Ecuación 37

$$\text{Beneficio} = (\$18'645.412 * 1.4) + \$2'181.330 + \$12'943.106$$

$$\text{Beneficio} = \$41'228.012$$

La implementación del plan contribuye directamente a la prevención de mantenimientos correctivos no previstos e indirectamente a la reducción de las 22 horas de detención que fueron realizadas en el año 2021. La ganancia esperada que plantea la empresa es del 40, la inversión necesaria para la implementación es \$3'520.976, entonces:

$$ROI = \frac{(\text{Beneficio} - \text{Inversión})}{\text{Inversión}}$$

Ecuación 38

$$ROI = \frac{(\$41'228.012 - \$3'520.976)}{\$3'520.976}$$

$$ROI = 10.71$$

Esto indica que el retorno de la inversión es 10 veces mayor que la inversión inicial, hablando en términos de productividad, prevención de paradas extraordinarias de la línea y calidad del producto terminado. Esta inversión se realizó al inicio de la implementación y se puede estimar el tiempo en que será recuperada por medio de una regla de tres:

Ecuación 39

$$Tiempo = \frac{12 \text{ meses} * \$3'520.976}{\$41'228.012}$$

$$Tiempo = 1.02 \text{ meses}$$

Por lo que la misma se recupera en un (1) mes.

8.3.1 Valor presente neto y Tasa de retorno de la inversión.

Con el fin de verificar la viabilidad del proyecto se complementa con el análisis del VPN y la TIR, los beneficios obtenidos en el año tienen el mismo índice de precios al consumidor (IPC) que fue del 5,6% para el año 2021.

Despejando el valor presente de la fórmula del interés compuesto se tiene que:

$$VPN = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Dónde:

VPN: valor presente neto

VF: valor futuro

i : Tasa de interés

n : número de periodos entre el valor presente y el valor futuro

Remplazando los valores se tiene:

Ecuación 40

$$VPN = -\$3'520.976 + \frac{\$41'228.012}{(1 + 0.056)^1}$$

$$VPN = \$35'520.702$$

Ya que este valor es positivo, demuestra que fue conveniente realizar la inversión. La

TIR es el valor que debe tomar i para que el VPN sea cero por lo que:

Ecuación 41

$$0 = -\$3'520.976 + \frac{\$41'228.012}{1 + TIR}$$

Despejando

Ecuación 42

$$TIR = \frac{\$41'228.012}{\$3'520.976} - 1$$

$$TIR = 10.71$$

El valor de la tasa interna de retorno es de 10 veces la inversión inicial y concuerda con el valor del retorno sobre la inversión sobre el retorno de la inversión en un mes de trabajo, sin detenciones de producción y con bajo costo de mano de obra dentro de la

nómina de la compañía. Es un proyecto viable técnica y financieramente, de constante seguimiento y sin sobrecostos.

9 APLICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento preventivo tuvo una mejora con la creación de este plan, ya que las rutas mensuales cuentan con una fecha específica del mes y no se cruza con la fecha de inspección de otro equipo. Esto con el fin de que el operario pueda tomarse el tiempo de hacer el mantenimiento autónomo de la mejor manera.

El mantenimiento predictivo se aplica en las rutas trimestrales de cada equipo, se hacen análisis de vibraciones con base en la accesibilidad física para tomar la colección de inspecciones del equipo.

Este intervalo de inspecciones es calculado a través del formato AMEF, facilitando el seguimiento del estado de los ítems mantenibles para evitar paradas imprevistas y gastos en repuestos por encima de lo planificado.

De igual forma, cuando un equipo arroja mediciones muy altas, se consulta con los ingenieros encargados de planta para evaluar si es requerido un reemplazo de la máquina para dar de baja a la misma y comenzar la gestión de cotización, compra y tiempo de arribo del nuevo equipo. Esto facilita la adquisición de un buen equipo a un precio no muy elevado, ya que puede ser adquirido o importado de alguna de las sucursales a nivel global de SKF.

10 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

- **ISO 55000:** Proporciona una guía sobre los principios y terminología que deben llevar los activos dentro de la compañía, se complementa con normas **ISO 55001** e **ISO 55002** [42], [43]. Donde la **ISO 55001** se encarga de dar la guía para que la gestión de activos tenga una estructura eficaz y eficiente, además de la mejora continua y creación de gestión de costos desempeño y riesgos dentro de la misma. Finalmente, la **ISO 55002** proporciona una guía para la aplicación del sistema de gerencia de activos de la empresa [41].
- **ISO 45001:** Tiene como propósito gestionar los riesgos en los que se podría ver envuelta la empresa, de tal forma que proporciona un **Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)** [44]. Su función es prevenir lesiones y deterioro de los trabajadores; proporcionando un lugar de trabajo seguro y saludable que minimice cualquier tipo de accidente o patología que afecte la integridad del trabajador. Puede apreciarse en el anexo de la tabla 5. Plan de mantenimiento – proceso SG-SST (página 63-69). De igual forma, el **decreto 1111 de 2017** suministra los estándares mínimos para cumplir con el lugar de trabajo seguro y sin accidentes [45].
- **ISO 9001:** Contribuye como retroalimentación al proceso de planta, sus requisitos son; alcance, normativa, términos y definiciones, contexto de la organización, liderazgo, planificación, soporte, operación evaluación del desempeño y mejora. De esta forma se optimizan y actualizan los procesos de manera constante [46].

11 CONCLUSIONES

El aporte de este plan de mantenimiento a la academia fue la recolección de datos de la compañía, información valiosa que estaba archivada sin ser registrada, esto con el fin de facilitar el seguimiento de mantenimiento para el nuevo ingeniero encargado. Desde el punto de vista investigativo y calificativo, los datos de mayor relevancia son el historial de mantenimientos correctivos, periodicidad del mantenimiento y creación de mantenimiento predictivo para la empresa líder del mercado en rodamientos.

El planteamiento de nuevas rutas de mantenimiento preventivo y predictivo, taxonomía, fichas técnicas y hojas de vida de cada equipo son un insumo indispensable para jerarquizar y clasificar la línea de acuerdo a los requisitos de la norma ISO 14224. La evaluación de los equipos a partir de la norma ISO 14224 contribuye a la fácil elaboración de un plan de mantenimiento estándar y que los ingenieros de soporte lo puedan implementar con mayor claridad.

Los criterios de severidad y la taxonomía de los equipos bajo el esquema de la norma ISO 14224 son un insumo importante para clasificar la gravedad de cada equipo, llevando un análisis más detallado de cada ítem basados en el cálculo de costo por monitoreo con base en la tarifa del operador y las tareas de mantenimiento, preventivas y predictivas.

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo garantiza que cada equipo cuenta con un seguimiento que reduzca el riesgo de una parada inesperada de la línea, el cual afecta los tiempos de entrega, presupuesto de mantenimiento y calidad de cada producto. Además de esto, el compresor cuenta con una tarea de mantenimiento

semanal para la revisión del nivel de aceite, además del mantenimiento preventivo general anual.

De acuerdo al análisis financiero realizado, se concluye que es factible financieramente el plan de mantenimiento propuesto, ya que los cálculos arrojaron una ganancia doce veces superior sobre la inversión inicial, lo cual representa rentabilidad y que la inversión se recupera en un mes, con base en la facturación de la compañía.

12 RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del análisis de criticidad para el plan de mantenimiento predictivo, se pueden prever mayor cantidad de fallas teniendo el estándar de mediciones por equipo, por lo cual se recomienda la actualización constante del cronograma a medida que se hagan los mantenimientos preventivos mensuales de acuerdo con la verificación y actualización de inspecciones predictivas.

De igual forma, se recomienda tener en cuenta la productividad de la planta, para actualizar la cantidad de tareas según el tiempo de uso por cada equipo. Esto en función de la cantidad de unidades para re-manufactura, cantidad por días de trabajo al mes y carga de trabajo horaria por cada uno.

Las tareas de mantenimiento están programadas con base en la última inspección del mes anterior y mantenimiento preventivo general con base en el último mantenimiento con periodicidad de 6 a 12 meses según el intervalo de inspecciones predictivas.

Se recomienda actualizar inmediatamente el cronograma de los dos tipos de mantenimiento, para que el personal asignado tenga claridad y se puedan apoyar entre sí en cualquier duda técnica.

13 REFERENCIAS

- [1] T. Document *et al.*, “Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment ISO 14224,” 2005.
- [2] D. Litalien *et al.*, “PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA Y SU UTILIZACIÓN COMO TÉCNICA PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO,” *Arbitration Brief*, vol. 2, no. 1, pp. 2071–2079, 2011.
- [3] D. Environ- and S. Containers, “Standard Test Methods for Vibration (Vertical Linear Motion) Test of Products 1 D 3580 – 95,” *Practice*, vol. i, no. Reapproved, pp. 4–7, 2004.
- [4] “Standard practice for ultrasonic pulse echo straight beam contact testing E114 - 10.”
- [5] C. M. F. Lapa, C. M. N. A. Pereira, and M. P. De Barros, “A model for preventive maintenance planning by genetic algorithms based in cost and reliability,” *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 91, no. 2, pp. 233–240, 2006, doi: 10.1016/j.ress.2005.01.004.
- [6] S. Garcia, “Mantenimiento correctivo: organización y gestión de la reparación de averías,” *Colecion de mantenimiento*, vol. 4, p. 28, 2009.
- [7] J. R. Sifonte and J. V. Reyes-Picknell, “Mantenimiento centrado en la confiabilidad: rediseñado,” *Reliability Centered Maintenance-Reengineered*, pp. 0–330, 2017.
- [8] X. Yao, X. Xie, M. C. Fu, and S. I. Marcus, “Optimal joint preventive maintenance and production policies,” *Naval Research Logistics*, vol. 52, no. 7, pp. 668–681, 2005, doi: 10.1002/nav.20107.
- [9] N. Hivarekar, S. Jadav, V. Kuppusamy, P. Singh, and C. Gupta, “Preventive and predictive maintenance modeling,” *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*, vol. 2020-Janua, pp. 1–23, 2020, doi: 10.1109/RAMS48030.2020.9153636.
- [10] W. W. Cui and Z. Q. Lu, “Integrating production scheduling and preventive maintenance planning for a single machine,” *Shanghai Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Shanghai Jiaotong University*, vol. 46, no. 12, pp. 2009–2013, 2012.
- [11] A. Khanlari, K. Mohammadi, and B. Sohrabi, “Prioritizing equipments for preventive maintenance (PM) activities using fuzzy rules,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 54, no. 2, pp. 169–184, 2008, doi: 10.1016/j.cie.2007.07.002.
- [12] L. Xiao, S. Song, X. Chen, and D. W. Coit, “Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance,” *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 146, no. December 2019, pp. 68–78, 2016, doi: 10.1016/j.ress.2015.10.013.
- [13] F. Saldivia, “Aplicación De Mantenimiento Predictivo. Caso Estudio: Análisis De Aceite Usado En Un Motor De Combustión Interna,” *Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity” A*, pp. 1–10, 2013.
- [14] G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, and A. Beghi, “Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifiers Queen’s University

- Belfast - Research Portal Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifiers Approach,” vol. 11, pp. 812–820, 2015.
- [15] P. Aivaliotis, K. Georgoulas, and G. Chryssolouris, “The use of Digital Twin for predictive maintenance in manufacturing,” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 32, no. 11, pp. 1067–1080, 2019, doi: 10.1080/0951192X.2019.1686173.
- [16] N. M. Delgado and G. A. Ramos, “Análisis de la gestión de mantenimiento aplicado a equipos con alto nivel de incidencia en la producción de una empresa de destilación de alcohol ubicado en él,” 2014.
- [17] C. A. Parra Márquez, “Ingeniería de Mantenimiento y la Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos,” p. 300, 2015.
- [18] A. Enrique, M. Rivera, R. Asesor, and J. Salas Bacalla, “Sistema de gestión del mantenimiento industrial,” p. 232, 2011.
- [19] F. J. C. Carrasco, “Characteristics of the Systems Tpm and Rcm in the Maintenance Engineering,” *3C Tecnología*, vol. 55, no. Edición 19, pp. 68–75, 2016.
- [20] D. Pérez Carrasco, “Procedimiento de Mantenimiento,” *Procedimientos de mantenimiento y calibración de estación radiométrica*, pp. 2–30, 2015.
- [21] L. Augusto Tavares, “Administración moderna de mantenimiento,” no. 1, 2004.
- [22] “INGENIERÍA INDUSTRIAL II UNIDAD VI MANTENIMIENTO INDUSTRIAL AÑO 2020,” pp. 1–26, 2020.
- [23] S. Larrotta and O. Chocontá, “8º Congreso Iberoamericano De Ingeniería Mecánica,” *8º Congreso Iberoamericano De Ingeniería Mecánica*, no. 18, p. 8, 2007.
- [24] Y. Nieto, J. Canchila, and Ó. Flórez, “Metodología de cálculo para determinar la frecuencia óptima de monitoreo de equipos eléctricos del sector hidrocarburos,” pp. 1–8, 1867.
- [25] M. Carmen and C. Moya, “Herramientas para la optimización del Mantenimiento Predictivo en la planta GICC de Puertollano dentro del programa conjunto ELCOGAS-UCLM,” *II Conferencia de Ingeniería de Organización*, pp. 19–27, 2002.
- [26] L. O. Gonzalo, “Vibraciones-mecánicas”.
- [27] S. G. C. LÓPEZ, “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO EN LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN DE LA EMPRESA NABORS DRILLING SERVICES,” 2014.
- [28] Jeiser Vásquez Astonitas, Carlos Córdova Centurión, and Felipe de la Rosa Bocanegra RESUMEN, “Mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar disponibilidad y confiabilidad en motores de camiones Cat797f-Haa de Minera Chinalco,” *Revista Tecnología & Desarrollo*, vol. 13, no. 1, pp. 109–116, 2016, doi: 10.18050/td.v13i1.764.
- [29] C. D. E. Mec *et al.*, “Plan de Mantenimiento Predictivo mediante Ensayos No Destructivos en Aducciones de Agua Superficial para la Represa Tuní Condoriri a planta de El Alto,” *Universidad Mayor de San Andrés*, 2018.
- [30] D. Aldana Rodríguez, “Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC.,” 2017.

- [31] A. Syarifudin, “Propuesta de implementación de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, para mejorar la disponibilidad de equipos y maquinaria críticos, en línea de molienda de la Empresa Minera Antamina – Ancash,” vol. 2507, no. February, pp. 1–9, 2020.
- [32] J. Igba, K. Alemzadeh, I. Anyanwu-Ebo, P. Gibbons, and J. Friis, “A systems a Reliability-Centred Maintenance (RCM) of wind turbines,” *Procedia Computer Science*, vol. 16, pp. 814–823, 2013, doi: 10.1016/j.procs.2013.01.085.
- [33] M. BibhavKumar, J. Arvind Kumar, and V. Krishna Gopal, “Particle Swarm Optimized Energy Efficient Clustering (Edeec-Pso) Clustering for Wsn,” *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [34] Y. J. Yang *et al.*, “Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 55054–55062, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980630.
- [35] kue tradisional khas Aceh, E. D. S. Rios, A. M. Donato, and D. Sprott, “PREVENTIVE MAINTENANCE USING RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE (RCM): A CASE STUDY OF A FERROCHROME MANUFACTURING COMPANY,” *Interagir: pensando a extensão*, vol. 0, no. 15, pp. 1–9, 2010.
- [36] A. Chopra, “Applications and Barriers of Reliability Centered Maintenance (Rcm) in Various Industries : a Review,” *Industrial Engineering Journal (ISSN-0970-2555)*, vol. XIV, no. 01, pp. 15–24, 2021.
- [37] R. M. Conachey, “Development of machinery survey requirements based on reliability-centered maintenance,” *SNAME Maritime Convention 2005, SMC 2005*, pp. 229–244, 2005, doi: 10.5957/SMC-2005-D07.
- [38] J. R. Aguilar-otero, R. Torres-arcique, and D. Magaña-jiménez, “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad Failure mode and effects and criticality analysis (FMECA) for maintenance planning using risk and safety crite,” *Redalyc.Org*, pp. 17–18, 2010.
- [39] A. Del, J. Sebastián, and R. Pachón, “UNIVERSIDAD LIBRE FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO DE GRADO.”
- [40] M^a Durán Cabré Alejandro Esteller Moré, José, “Estructura del mercado laboral y del sistema de precios para la mesa de concertación del Salario Mínimo Observatorio Nacional”.
- [41] Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, “NTP-ISO 55000:2015. Gestión de activos. Aspectos generales, principios y terminología.”
- [42] Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, “ISO 55001 Gestión de activos — Sistemas de gestión — Requisitos”
- [43] Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, “ISO 55002 Gestión de activos — Gestión de activos — Sistemas de gestión”
- [44] Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, “ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso”
- [45] Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, “Resolución 1111 Estándares mínimos-marzo 27”
- [46] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) “Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 9001-2015”

[47] Sebastián Rocha Pachón "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA GRANITOS Y MÁRMOLES ACABADOS SAS, 2018."

[48] Leidy Jiseth Mesa Páez, "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DEL MUNICIPIO DE EL COLEGIO CUNDINAMARCA. año 2020."

[49] Brenda Yasneir Perea Lozano y Henry Nohorley López Suárez, "IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO A LOS EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA EQUIACEROS SAS, 2019."