

**Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Basado En Confiabilidad Para Las Piloteadoras
De La Empresa Cimentaciones De Colombia S.A.S**

Andrés D. Prada 101716

César M. Rincón 99848

Asesor:

Miguel Ángel Urián Tinoco

Especialización En Gerencia De Mantenimiento

Dirección De Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C 13 de Julio de 2022

**Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Basado En Confiabilidad Para Las Piloteadoras
De La Empresa Cimentaciones De Colombia S.A.S**

Especialización En Gerencia De Mantenimiento

Dirección De Postgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C, 13 de Julio de 2022

Tabla de Contenido

1	Problema de la investigación.....	9
1.1	Descripción del problema.....	9
1.2	Enunciado del problema.....	10
1.3	Alcance del problema.....	12
1.4	Formulación del problema.....	12
2	Objetivos.....	13
2.1	Objetivo General.....	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	Justificación y delimitación.....	14
3.1	Justificación.....	14
3.2	Delimitación.....	15
3.3	Limitaciones.....	16
4	Marcos Referenciales.....	17
4.1	Estado del arte.....	17
4.2	Estado del arte nacional.....	17
4.3	Estado del Arte internacional.....	23
5	Marco Teórico.....	30
5.1	¿Qué es mantenimiento?.....	30
5.2	Funciones del mantenimiento.....	30
5.3	Clases de mantenimiento.....	31
5.4	Análisis taxonómico.....	36
5.5	Análisis de criticidad.....	36
5.6	Indicadores de mantenimiento.....	36
6	Marco Legal.....	38
6.1	Normativas Nacionales.....	38
7	Marco Metodológico.....	43

7.1 Diagrama de Gantt.....	43
7.2 Recolección de la información.....	44
7.3 Herramientas.....	46
7.4 Metodología.....	47
7.5 Antes de la aplicación del RCM.....	48
7.6 Durante el análisis RCM.....	51
7.7 Después del análisis RCM.....	54
7.8 Información recopilada.....	55
7.9 Documentación e Información Técnica.....	58
7.10 Contexto productivo.....	63
7.11 Análisis Taxonómico.....	64
7.12 Análisis de Causas y Modos de Falla.....	70
7.13 Índices de Clase Mundial.....	81
7.14 Análisis de Información.....	84
7.15 Propuesta de solución.....	85
8 Impactos esperados y alcanzados.....	99
8.1 Impacto Esperado.....	99
8.2 Impacto Generado.....	101
9 Análisis Financiero.....	102
9.1 Retorno de la Inversión.....	104
9.2 Análisis Costo / Beneficio.....	105
10 Conclusiones y Recomendaciones.....	106
10.1 Conclusiones.....	106
10.2 Recomendaciones.....	106
11 Bibliografía.....	108

Índice de figuras

Figura 1: Pirámide taxonómica. (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).....	48
Figura 2: Diagrama de limites de un equipo. (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).....	50
Figura 3: Diagrama de flujo de proceso de análisis RCM (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).....	54
Figura 4: Modos de falla y afectaciones individuales piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	84
Figura 5: Ocurrencia de fallas piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	85
Figura 6: Ganancias anuales Cimentaciones de Colombia SAS (Fuente: Propia).....	102

Índice de tablas

Tabla 1: Diagrama Gantt presentación de proyecto (Fuente: Propia).....	43
Tabla 2: Escala de severidad de los fallos (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).....	52
Tabla 3: Escala de ocurrencia de fallos (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).....	52
Tabla 4: Matriz de criticidad para la piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	56
Tabla 5: Hoja de vida y servicios piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Cimentaciones de Colombia S.A.S).....	61
Tabla 6: Análisis taxonómico piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	70
Tabla 7: Análisis de causas y modos de falla piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	75
Tabla 8: Datos de productividad mensual piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	77
Tabla 9: Resumen de valores productivos piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	78
Tabla 10: Valores base de análisis RCM piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	81
Tabla 11: Indices de clase mundial piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).....	83
Tabla 12: Ganancias anuales Cimentaciones de Colombia SAS (Fuente: Propia).....	102
Tabla 13: Costos de implementación de plan de mantenimiento basado en RCM (Fuente: Propia).	103
Tabla 14: Valores para cálculo ROI (Fuente: Propia).....	104

1 Problema de la investigación

1.1 Descripción del problema

Cimentaciones de Colombia SAS, es una compañía bogotana fundada hace aproximadamente 20 años, a lo largo de los cuales ha cosechado grandes triunfos en el área de las obras civiles, realizando proyectos tan importantes como los puentes vehiculares ubicados en la avenida ciudad de Cali con avenida carrera 26 o el túnel de interconexión de la estación de Transmilenio de la avenida Jiménez, además de otras obras de gran envergadura a nivel nacional.

Durante los últimos 5 años la compañía pasó de ser una empresa local a convertirse en una importante referencia a nivel latinoamericano debido a la adquisición de contratos importantes en países vecinos como Ecuador y Venezuela, llevando a cabo importantes proyectos de cimentación y excavación en los mismos, como por ejemplo la ejecución de las chimeneas de gas del relleno sanitario de la ciudad de Guayaquil.

Como era de esperarse, la llegada de estos trabajos, así como la consecución exitosa de los objetivos trazados en los mismos vino acompañada de un crecimiento acelerado de la empresa, siendo necesaria la adquisición de más equipos, así como la contratación de más personal, lo cual a su vez trajo aún más trabajo, poniendo a la compañía en una especie de círculo vicioso en el cual todos los equipos empezaron a trabajar a un ritmo realmente alto, sin apenas poder realizar paradas de revisión o evaluación de la condición de los mismos.

La situación anterior ha tenido consecuencias en la rentabilidad de la compañía, pues los costos de mantenimiento de los equipos han aumentado para poder cumplir con la gran cantidad de compromisos adquiridos. Actualmente la empresa cuenta con un departamento de manteni-

miento básico, el cual no posee la estructura y el personal adecuados para cumplir a cabalidad con los requerimientos de una compañía de estas características.



Ilustración 1: Lokomo JLL 1600 trabajando en Guayaquil, Ecuador (Fuente: Cimentaciones de Colombia S.A.S).

1.2 Enunciado del problema

En la actualidad la empresa Cimentaciones de Colombia SAS. no cuenta con un estudio para optimizar la disponibilidad de los equipos y piezas que conforman la máquina pilotadora Link Belt LS 118, a través de un estudio de criticidad se pretende establecer una gerencia de mantenimiento eficaz que permita tener el control sobre la disponibilidad de los repuestos para las actividades de mantenimiento, obteniendo así información detallada de la cantidad de repuestos que se mantendrán en stock, determinar los periodos de adquisición, ubicación y especifica-

ciones técnicas para favorecer y mejorar las intervenciones de mantenimiento correctivo o preventivo.

Debido a que la piloteadora es una máquina fabricada en 1976 al momento de necesitar una pieza a veces es complicado adquirirla, por eso se debe importar o mandar hacer con tiempos de hasta tres meses de demora y como no se cuenta con un análisis de criticidad que permita prever o establecer estadísticas de fallos de las piezas ya que hoy en día solo se realiza mantenimiento correctivo cuando fallan los elementos se pierden horas de trabajo y además se incumplen las líneas base de los cronogramas del cliente, afectando no solo el dinero que se deja de percibir sino también la imagen de la compañía.



Ilustración 2: Piloteadora Link Belt LS 118 en Madrid, Cundinamarca (Fuente: Cimentaciones de Colombia S.A.S).

1.3 Alcance del problema

El proyecto contempla la formulación y desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad ideado específicamente para suplir las necesidades de la compañía, mediante el estudio y análisis de la máquina piloteadora Link Belt LS 118, la cual será tomada como equipo de pruebas, donde el conocimiento y experiencia adquiridos se irradiarán a los demás equipos de la compañía. Todo lo anterior permitirá determinar qué stock de repuestos es necesario, desarrollando a su vez un cronograma específico de intervenciones basado en tiempos de falla, modos de falla y mantenimientos predictivos.

1.4 Formulación del problema

Teniendo en cuenta las dificultades que se han venido presentando en la compañía durante los últimos años con respecto a la disponibilidad de los equipos, así como a la confiabilidad de los mismos, se formula la pregunta de investigación: ¿un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) diseñado específicamente para las necesidades de la compañía aumentará la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos?

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Incrementar los niveles de confiabilidad y disponibilidad de los equipos y maquinaria de la compañía Cimentaciones de Colombia SAS a niveles por encima del 80% por medio de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico preciso de la situación actual de los equipos, la compañía y sus políticas de mantenimiento por medio del análisis de la información y registros existentes al respecto.
- Investigar normativas, casos de estudio y casos de éxito aplicables a la compañía con el fin de establecer bases sólidas sobre las cuales construir un plan de mejora.
- Formular y desarrollar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM de acuerdo a las necesidades y problemáticas previamente establecidas.

3 Justificación y delimitación

3.1 Justificación

En la actualidad la industria se encuentra totalmente dominada por las máquinas y los equipos tecnológicos cuyo aporte ha permitido alcanzar cotas de rendimiento y confiabilidad nunca antes imaginadas. Lo anterior ha puesto al mantenimiento en una posición de vital importancia para el correcto avance y desarrollo de la misma.

El mantenimiento está definido técnicamente como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento y confiabilidad.(Seguas Aire Comprimido y Frio Industrial, 2018)

Cimentaciones de Colombia SAS en la actualidad cuenta con un departamento de mantenimiento encargado de realizar las tareas de manutención y cuidado de todos los equipos de la empresa, sin embargo, debido a la altísima demanda a la que están sometidos los mismos, así como a la variedad de proyectos y terrenos en los cuales se encuentra desarrollando sus actividades la compañía han llevado a las máquinas y a los departamentos de producción y mantenimiento a trabajar a ritmos nunca antes imaginados.

Debido a lo anterior la disponibilidad de equipos en algunas ocasiones no es óptima, provocando retrasos, incumplimientos de cara a los clientes e inclusive, labores de mantenimiento que no cumplen con los estándares que se han venido manejando dentro de la empresa.

Como es sabido, todo esto acarrea inconvenientes, los cuales de ninguna manera pueden ser tolerados, pero que a su vez nos presentan una oportunidad de mejora que debe ser aprovechada, todo en busca de aumentar los niveles de disponibilidad, rendimiento y calidad.

Para poder mitigar y eliminar definitivamente todos los inconvenientes y percances previamente mencionados, por tanto se hace necesario realizar un análisis a conciencia de las falencias y fortalezas de cada uno de los procesos que se están llevando a cabo dentro de la compañía, teniendo en cuenta criticidad y valor monetario de los mismos, pudiendo de esta manera identificar puntos de mejora y aplicando los correctivos necesarios a cada caso puntual.

Es por esto que en el presente documento se plantea la necesidad de realizar un análisis de criticidad y disponibilidad de los equipos más demandados dentro de la compañía.

Sin embargo, teniendo en cuenta la cantidad de equipos, así como las dificultades de tiempo y espacio que se pueden presentar debido a la ubicación de los mismos y gracias a un análisis realizado de manera previa, se ha establecido tomar como muestra significativa a la piloteadora Link Belt LS 118, siendo esta una de las máquinas de más fácil acceso en la actualidad, así como un equipo de altísima criticidad dentro de la organización.

3.2 Delimitación

Este trabajo se desarrollará con la información y datos suministrados por la empresa Cimentaciones de Colombia SAS ubicada en Bogotá D.C, Colombia; en la localidad de Suba, con los activos disponibles para la ejecución de proyectos, puntualmente la piloteadora Link Belt LS 118, equipo que se tomará como elemento de estudio y análisis, para una vez establecidos los parámetros de acción, irradiar el conocimiento adquirido a los demás equipos de la organización.

3.3 Limitaciones

Debido a la disponibilidad de los activos que se encuentran en la compañía no es posible realizar un análisis a cada uno de ellos, por tal motivo es seleccionada la piloteadora Link Belt LS 118 como equipo de estudio, en el cual, al igual que en los demás equipos, no se cuenta con un análisis de criticidad, disponibilidad ni inventarios para los trabajos de mantenimiento. Las existencias de repuestos se hacen de manera inoportuna al no tener la capacidad ni los inventarios adecuados para realizar las solicitudes de repuestos.

4 Marcos Referenciales

4.1 Estado del arte

A continuación se presentan una serie de casos de estudio relevantes para el tema que se tratará durante el desarrollo del trabajo de grado, los cuales permitirán establecer las bases metodológicas del mismo.

La información se encuentra dividida en casos nacionales y extranjeros, tomando siempre como método de selección su pertinencia y capacidad de aplicación respecto a las problemáticas que pretenden mitigar mediante este proyecto.

4.2 Estado del arte nacional

4.2.1 Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el horno rotatorio Allis Chalmers en la planta de cemento Cúcuta, Cemex Colombia S.A.

En el año 2012 los autores Rincón Ortega Anggie, de la Universidad Francisco de Paula Santander-Ocaña, desarrollan el trabajo titulado “Plan de mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el horno rotatorio Allis Chalmers en la planta de cemento Cúcuta, Cemex Colombia S.A.”, en este trabajo los autores proponen una estrategia de Mantenimiento basada en la aplicación de la estrategia RCM que realizaron con personal de mantenimiento lograron definir una estrategia de mantenimiento eficaz con el fin de alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad del horno rotatorio en la fábrica de cemento Cemex planta Los Patios, de manera que cuando el equipo pare se le realicen las tareas de mantenimiento necesarias optimizando los recursos de mantenimiento mecánico y eléctrico. El Análisis de Modos de Fallas de RCM II les permitió

tener una información completa de las causas de las fallas, en el caso del Horno, analizando cuáles son las consecuencias de estas fallas mediante el diagrama lógico de decisiones permite definir las tareas de mantenimiento específicas para poder eliminarlas (Rincón Ortega A., 2012). El trabajo mencionado apoya los fundamentos para el desarrollo de este trabajo teniendo como desarrollo la metodología y la estrategia RCM aplicado en la empresa cimentaciones de Colombia S.A.S.

4.2.2 Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de Dinacol S.A.

En el año 2011 los autores Cárdenas Maza Marco Antonio, de la Universidad Tecnológica de Bolívar, desarrolla el trabajo titulado “Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de Dinacol S.A.”, este trabajo consiste específicamente en el diseño de un plan mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de DINACOL S.A, con el fin de optimizar la operatividad y eficiencia de dichas máquinas; este estudio va centrado entonces en el análisis de los modos de falla de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos de los mismos. Estableciendo actividades más efectivas de mantenimiento en función de su criticidad a las actividades pertinentes de dicho sistema. DINACOL S.A. es una empresa que necesita de un plan de mantenimiento de alta confiabilidad para optimizar la operatividad de los sistemas, garantizando una gestión exitosa en la empresa. (Cárdenas Maza M., 2011). Esta referencia sirve como base para el desarrollo, selección y del plan de mantenimiento a desarrollar en los vehículos y equipos de la empresa cimentaciones de Colombia, por la ejecución en las tareas de mantenimiento eléctrico, mecánico y electrónico.

4.2.3 Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM

En el año 2018 los autores Maya Velásquez Jhonny Alexander, de la Universidad Nacional de Colombia, desarrolla el trabajo titulado “Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM” donde el autor expresa la finalidad de este documento como el desarrollo de una mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y gestión de los equipo de producción, con el objetivo de maximizar la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un procedimiento eficiente y sin perdidas por el rendimiento de los equipos. Aunque la empresa se ha esforzado en la construcción de un programa de mantenimiento, el cual inicia con la identificación de las necesidades de mantenimiento para cada equipo, basándose en la documentación suministrada por el fabricante y la experiencia del personal de la planta, posteriormente se determinan los elementos críticos que requieran ser intervenidos mediante un programa planeado y finalmente se realiza un cronograma de mantenimiento a un año. Este método incremento los costos por intervención y la disponibilidad en el 2010 se mantuvo por debajo del 90%, ya que la técnica empleada hasta ahora no identifica realmente los equipos que necesitan ser intervenidos. Dado que esta práctica no es suficiente para mantener el rendimiento ajustado a las expectativas de la empresa, surge la necesidad, desde el departamento de mantenimiento, de iniciar una actualización de los programas de confiabilidad de los que equipos con el fin de estar a punto para la ejecución de los últimos dos pasos del pilar de mantenimiento planeado (MP) en la metodología TPM. (Maya Velásquez jhonny, 2018). Con el desarrollo de este trabajo los autores desarrollan una metodología con la que logran identificar oportunamente las fallas y aumentar la disponibilidad de equipos para evitar las intervenciones

por mantenimiento, con este desarrollo se puede suministrar información que enriquece el plan de mantenimiento a los equipos de Cimentaciones de Colombia S.A.S.

4.2.4 Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para las instalaciones de producción de la estación cohemi en el activo suroriente.

En el año 2014 los autores Cerón Chacón R. & Rojas Mora J., de la Universidad Industrial de Santander, desarrollan el trabajo titulado “Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para las instalaciones de producción de la estación cohemi en el activo suroriente.” este documento se desarrolla específicamente para los equipos de alta criticidad de la estación de producción Cohemi, con el objetivo de implementar un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM que sirva de base para el mantenimiento de nuevos proyectos y la necesidad que requieren estos para ser mantenidos durante el ciclo de vida específico para cada uno de éstos; mediante el modelo expuesto se espera lograr la disminución de los costos de mantenimiento, reducir el factor de riesgo en la operación, identificar las actividades de mantenimiento, repuestos críticos, manejo de inventario, mayores tiempos de operación, registro y manejo confiable de la información relevante en el sistema. En resumen, el objetivo de este trabajo es identificar las formas o modos en los cuales puede fallar los equipos dentro del proceso de producción, identificar las posibles consecuencias o efectos de los fallos en función del riesgo que se corre al no realizar la actividad identificada y asociarle una tarea con sus respectivos recursos" (Chacón y Mora, 2014). Este trabajo citado nos sirve como guía para identificar modos y fallos de los equipos críticos y la reducción de riesgos por la operación en mantenimientos.

4.2.5 Análisis para la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la maquinaria en la línea de pulido de vidrio de la empresa vitrinas páramo ortega.

En el año 2016 los autores Páramo Ortega Sergio, de la Universidad Libre de Colombia, desarrolla el trabajo titulado “ Análisis para la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la maquinaria en la línea de pulido de vidrio de la empresa vitrinas páramo ortega.” En este trabajo se demuestra que una empresa de pequeña producción puede adoptar esta metodología y aplicarla de una manera efectiva, ya que se desarrollan técnicas de caracterización, identificación y mitigación de los fallos que se puedan presentar en medio de la operación. También se analizan fallas que sucedieron en los activos antes que se empezara a implementar esta técnica, así como también, las que se presentaron durante el proceso. (Páramo O. Sergio, 2016). De este trabajo de grado se evidencia la manera más practica y sencilla de aplicación de la metodología RCM a líneas de baja producción y demostrando la efectividad en la mejora procesos.

4.2.6 Propuesta de un Programa de Mantenimiento para los Activos de una Compañía del Sector de Obra Civil en la división de Alquiler de Equipos. “Caso de Estudio Retro cargador de oruga Hitachi 200”.

En el año 2021 los autores Ramírez, Herrera, de la Universidad ECCI de Colombia, desarrolla el trabajo titulado “Propuesta de un Programa de Mantenimiento para los Activos de una Compañía del Sector de Obra Civil en la división de Alquiler de Equipos. “Caso de Estudio Retro cargador de oruga Hitachi 200”.” En este desarrollo del documento el autor parte de las problemáticas ocasionadas por la falta de control, seguimiento y planeación en el desarrollo de las

rutinas de mantenimiento aplicadas a los activos que afectan de una manera significativa la producción de la organización; con este programa se busca generar la cultura de mantenimiento en la compañía y servir de soporte en la unidad de negocio a través de la mejora continua." (Ramírez, Herrera, 2021). Con el Desarrollo del documento los autores demuestran que la falta de control en los procesos acarrea problemáticas y entorpecen el desarrollo del mantenimiento para generar mejora continua.

4.2.7 Plan de mantenimiento preventivo para los motores marca Cummins ism de la flota de camiones mixer mezcladoras de concreto, para ciclos hasta dos (2) años

En el año 2019 los autores Cepeda, León & España, de la Universidad ECCI de Colombia, desarrolla el trabajo titulado “Plan de mantenimiento preventivo para los motores marca Cummins ism de la flota de camiones mixer mezcladoras de concreto, para ciclos hasta dos (2) años.”. Los autores en este documento realizan un planteamiento de un plan de mantenimiento que busca dar solución a los problemas que se encuentran actualmente en la empresa Pisos Industriales, ofreciendo alternativas de mejoramiento con las diferentes metodologías de mantenimiento que faciliten la ejecución, planeación y organización de las actividades de mantenimiento, de tal manera que se pueda en corto plazo aumentar la confiabilidad, disponibilidad y funcionalidad óptima de los vehículos, reduciendo el origen de las fallas y tiempos de parada. (Cepeda, León & España 2019). En esta cita se aprecia un punto de aplicación en medio de un mantenimiento de outsourcing donde no se garantiza los ciclos de operación de ciclos de 2 años según cada mantenimiento preventivo a los motores de los vehículos de la compañía

4.3 Estado del Arte internacional

4.3.1 Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del b57-li de Petroamazonas EP.

En el año 2017 el autor Ángel Vinicio Castillo Santillán, de la Escuela superior politécnica de Chimborazo, desarrolla el trabajo de grado con título “Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del b57-li de Petroamazonas EP.”. El objetivo de este trabajo es realizar la propuesta de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de la unidad de bombeo horizontal multietapas HPS del sistema Power Oil, dentro del Bloque 57 Libertador, Provincia de Sucumbíos, Parroquia: Dureno, estación Atacapi, por cuanto la alta tasa de fallas imprevistas de la unidad ha ocasionado que el sistema esté inoperativo en varios períodos de tiempo, provocando pérdidas que comprometen la producción de petróleo del campo. (Castillo, 2017). De esta cita se obtiene información respecto a la norma ISO 14224-2006 para el análisis de modos de fallas y sus efectos (AMFE) como aspectos fundamentales para el desarrollo del presente documento.

4.3.2 Implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en reductores del sistema conveyer de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.

En 2017 el autor Miguel Ángel Torres Huamani, de la Universidad Católica de Santa María, desarrolla el trabajo de grado con título “Implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en reductores del sistema conveyer de la empresa Shougang Hierro Perú

S.A.A.”. El desarrollo de este trabajo se basa en el desarrollo de una estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los reductores de velocidad ya que en la actualidad se utiliza solamente la estrategia reactiva de mantenimiento en estos equipos. Para este trabajo se utilizó principalmente la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad de John Moubray RCM II que fue base para la norma SAE J1012, en esta etapa se determinó las funciones del activo, fallas funcionales, efectos de falla y consecuencias de falla, previo a ello se cuantifico la criticidad de los activos, basados en el concepto de riesgo, del área conveyer, y se determinó que las fajas 1 a la 4 son las de mayor criticidad para esta área, estas fajas poseen como parte de sus sistema de tracción a las cajas reductoras que son el objeto de estudio. Finalmente se determinó el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de los modos de falla más críticos vale decir los más recurrentes en el área de conveyer siendo hecha esta priorización en función de la frecuencia de ocurrencia, detectabilidad y severidad del impacto del modo de falla. (Torres M. 2017). En el desarrollo de este trabajo se aprecian técnicas de mantenimiento que realizaron mediante un análisis de los patrones de falla, tiempos medios de falla y análisis Weibull de los datos de falla.

4.3.3 Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad.

En 2017 los autores Diestra Quevedo Juan Pablo, Esquiviel Paredes Lourdes, Guevara Chinchayan, Robert, de la Universidad Cesar Vallejo, desarrollan el trabajo de grado con título “Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad.”. El objetivo principal de esta tesis fue realizar un diagnóstico situacional de las máquinas con mayor uso, recolectando información referente al tipo de mantenimiento que se realiza actualmente, características y funcionamiento de las

máquinas que realizan una función del contexto operacional, se analizó la data histórica de fallas de los últimos 3 años, luego con el uso de la matriz de Criticidad se logró jerarquizar la máquina con mayor criticidad, con la finalidad de dirigir los métodos de mantenimientos a estas máquinas; los elementos más críticos son: Bocinas y Rodamientos, Zapata de Frenos, ejes de transmisión, bocinas de alimentación de líneas fase. Se ejecutó un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), para identificar fallas y efectos sobre la máquina. (Quevedo, Esquiviel, Guevara, 2017). En este documento citado sirve como lineamiento iniciar una caracterización y un proceso detallado de la operatividad y mantenimiento de equipos para identificar y jerarquizar fallas de mayor criticidad.

4.3.4 Análisis de experiencias de implementación de planes de mantenimiento basados en la metodología RCM en la industria en los últimos 14 años. Revisión sistemática

En 2017 el autor Campos Macedo Emerson Luis, de la Universidad Privada del Norte, desarrolla el trabajo de investigación titulado “Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad.”. Este trabajo tiene como objetivo hacer una revisión sistemática de la literatura científica para conocer y analizar las experiencias de implementación de planes de mantenimiento basados en la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) en la industria en los últimos 14 años, para esta investigación se utilizó la metodología de revisión sistemática siendo este trabajo una revisión de la literatura terciaria, mediante esta metodología se pudo extraer información de revistas científicas y tesis a través de las bases de datos web de Redalyc, EBSCO y Scielo en base a la pregunta y objetivo de investigación, el cual se observó en el resultado de la investigación en contexto general se extrajeron 43 revistas y tesis lo suficiente para conocer y analizar las

experiencias de la implementación de planes de mantenimiento encontrando que el común denominador fueron las experiencias de mejoras en la disponibilidad de los equipos y el ahorro en mantenimiento por la disminución de paros no programados en todos los contextos de las industrias como también las tendencias del uso de herramientas tecnológicas para el ingreso de planes de mantenimiento y su ejecución. (Campos, E. L. 2019). La investigación citada sirve como guía y contextualización para conocer los desarrollos, experiencias y tecnologías que en 14 años llegaron a un punto clave en el mantenimiento como lo es la disponibilidad y la disminución de fallas en equipos.

4.3.5 Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la optimización en la maquinaria del área de producción, en industria Malher, S. A.

En 2016 el autor Sergio Andrés Ordóñez Villatoro, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, desarrolla el trabajo de grado con título “Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la optimización en la maquinaria del área de producción, en industria Malher, S. A.”. el autor en este documento desarrollo un manual de RCM para las maquinarias del área de producción de la planta y se seleccionaron los equipos que deben presentar la menor cantidad de fallas para que la producción no se vea afectada, reduciendo al máximo imprevistos y paros muy prolongados. Se detalla cada uno de los pasos del RCM para darle el seguimiento necesario a cada uno de ellos, guiados por medio de las normas: SAE ja1011 y SAE ja1012. (Ordóñez S., 2016). Esta cita sirve como guía para la elaboración de manuales de acuerdo las funciones y los posibles fallos de los elementos de los equipos.

4.3.6 Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para maquinaria de molino 3

En 2018 el autor Silvio Andre Rivera Hauenstein, de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar, desarrolla el trabajo de grado con título “Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para maquinaria de molino 3”. El trabajo desarrollado por el autor constara de tres etapas: Primero: El análisis de criticidad de los equipos en el área de molienda de molino 3, a través de herramientas como Diagrama Pareto, Diagrama Jack knife y desglose de las fallas. Así logrando identificar el equipo más crítico en el proceso de molienda de Carozzi. Segundo: un análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA) a través de las hojas de información de RCM y la criticidad de cada fallo dado por el número de prioridad de cada riesgo (NPR). Así permitiéndonos conocer más a fondo el equipo seleccionado. Tercero aplicar el diagrama de decisión del RCM que integra todos los procesos en un marco de trabajo estratégico y estructurado; y da respuesta a preguntas como, ¿Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará?, ¿Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño? y los casos en que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas. (Rivera S. 2018). De esta cita se brinda ideas importantes para el desarrollo de un efectivo plan de mantenimiento a equipos críticos, describiendo las herramientas utilizadas en cada etapa de la mejora del proceso productivo y permite el conocimiento detallado de los equipos que se intervienen en el mantenimiento.

4.3.7 Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP

En 2016 el autor Sergio Raúl Villacrés Parra, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador), desarrolla el trabajo de grado con título “Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP”. En este trabajo el autor realizará un análisis de criticidad para determinar los equipos críticos a los cuales se aplicará la metodología RCM. Luego de haber determinado los equipos críticos, se procedió a realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF); para lo cual es necesario definir las funciones principales y secundarias; sus modos de falla, los efectos de falla y las causas potenciales. Se ha realizado todo esto con la finalidad de determinar el plan de mantenimiento que eviten las potenciales fallas, dicho plan está constituido por actividades de mantenimiento, las frecuencias y los especialistas requeridos. Luego de aplicar el plan resultante se obtuvo una reducción del: 45% en la tasa de fallas, el 58% horas de parada y el 80% en costos por concepto de mantenimiento y alquiler de un camión hidrocleaner sustituto. Se recomienda implementar la metodología RCM en el resto de la flota vehicular de dicha empresa. (Villacrés Parra, Sergio Raúl. 2016). El documento citado sirve como referente a la identificación, aplicación y replica de un mantenimiento basado en confiabilidad a equipos críticos, obteniendo resultados satisfactorios representados en costos.

4.3.8 Gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para una maquina papelera.

En 2016 el autor Valera R. Valsdher R., de la Universidad de Carabobo, desarrolla el trabajo de grado con título “Gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para una maquina papelera”. El autor desarrolla este trabajo de grado con la finalidad de disminuir las paradas no programadas, elevar la productividad del sistema y minimizar costos asociados al mantenimiento. Para lograr esto, primero se realizó un diagnóstico de la situación de activos y recopilación de información técnica en conjunto con un análisis de criticidad. Luego, se determinaron los equipos críticos a través de un Análisis de Modos y Efectos de falla a dichos equipos, para determinar los modos de falla recurrentes y sus consecuencias. Este análisis sirvió de base para determinar los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como por ejemplo la medición, rutas de muestreo, frecuencia de inspección, actividad rutinaria de inspección. Una vez diseñado el programa, se procedió a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente. Se observó un incremento del porcentaje de activos, en condiciones anormales, durante el tiempo de estudio, originado, en gran medida, por una programación inadecuada y la ejecución de las acciones de mantenimiento, recomendadas en los reportes generados, posterior a cada inspección. (Valera R. Valsdher R., 2016). El trabajo citado sirve como guía en la presente investigación para identificar las ventajas de contar con un sistema parametrizado y documentado para garantizar el buen desarrollo de las prácticas de mantenimiento y la operatividad de equipos.

5 Marco Teórico

5.1 ¿Qué es mantenimiento?

Es habitual definir el mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar los equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, obteniendo adicionalmente el mayor rendimiento posible de los mismos. (González Fernández, 2011)

Debido a la amplitud de aspectos que abarca el mismo es fácil encontrar infinidad de definiciones, sin embargo, es fundamental establecer que el concepto de mantenimiento como tal esta fuertemente relacionado con el objetivo primordial de toda industria, así como con su modo de funcionamiento y, como es evidente, con la situación del mercado dentro del cual se realicen dichas labores. (Sánchez et al., 2006)

De acuerdo a lo anterior es correcto afirmar que el objetivo primordial de toda labor de mantenimiento (al igual que cualquier industria) es la generación de riqueza, maximizando los beneficios y teniendo en cuenta a lo largo de todo el proceso el respeto por el medio ambiente, las normativas vigentes y demás regulaciones o consideraciones que sean necesarias. Finalmente se debe aclarar que el grado de consecución de este objetivo depende de diversos factores, siendo fundamental la figura de mantenimiento seleccionado e implantado dentro de la organización.

5.2 Funciones del mantenimiento

5.2.1 Funciones primarias

Son todas aquellas que el área de mantenimiento y cada uno de sus miembros, deben realizar de manera diaria, dedicando a ellas la mayor parte de su tiempo. Entre estas encontramos:

- Mantenimiento de equipo
- Inspección y lubricación
- Gestión de información de mantenimiento y servicios
- Modificación e instalación

5.2.2 Funciones secundarias del mantenimientos

Así como existen labores primordiales, y que como se menciono anteriormente, consumen la mayor parte del tiempo del departamento, existen también funciones adicionales que son atribuidas al área debido a razones de conveniencia o por que requieren de algún tipo de conocimiento técnico, entre estas podemos encontrar:

- Gestión de almacén
- Seguridad
- Eliminación de residuos

5.3 Clases de mantenimiento

Como se menciono con anterioridad, existen varias clases o tipo de mantenimiento, los cuales están claramente diferenciados por sus objetivos, planificación, recursos necesarios, entre otros. (Sánchez et al., 2006)

Sin embargo, en la actualidad, la industria no emplea ningún tipo de mantenimiento de manera exclusiva, pues debido a las exigencias actuales del mercado es necesario establecer programas de mantenimiento planificado, donde se combinen diversos tipos de operaciones e intervenciones.

El mantenimiento proactivo, basado en confiabilidad (RCM), Productivo total (TPM) han permitido establecer formas distintas de enfocar la planificación del mantenimiento, mediante la combinación consciente de los 4 tipos de manutención básicos, así como de ciertos enfoques adicionales. (Sánchez et al., 2006). Dichas tipologías básicas de mantenimiento son:

5.3.1 Mantenimiento ante fallos (Breakdown Maintenance)

Hace referencia a las labores u operaciones de mantenimiento que tienen lugar tras el fallo y cuya función principal es devolver el equipo a sus condiciones de funcionamiento y operación ideales.

Se basa en el reemplazo o sustitución rápida de toda pieza que haya presentado alguna falla.

5.3.2 Mantenimiento Correctivo

Se trata del conjunto de actividades destinadas a corregir las fallas que se presenten en cualquier máquina o activo, estas tareas pueden ser relacionadas a reparar o a reemplazar alguna pieza que ha llegado al final de su vida útil implicando la necesaria intervención para volver a poner el activo en producción, para nuestro caso en específico, los casos en los que se evidencia el mantenimiento correctivo se presenta cuando hay rotura de una manguera conductora del aceite hidráulico que fluye para hacer que se muevan los mecanismos, otro tipo de mantenimiento correctivo corresponde al que se puede planificar debido a que la máquina empieza a trabajar por debajo de los estándares de tiempo habituales o presenta mal funcionamiento, entonces, aunque la máquina sigue trabajando se planifica una intervención para cambiar la pieza desgastada.

5.3.3 Mantenimiento Preventivo

Es aquel que se realiza después de una programación previa porque este tipo de mantenimiento se basa en la información que se tiene del activo ya sean manuales, planos o recomendaciones del fabricante. La idea principal es estimar los tiempos en los cuales ciertas piezas o elementos importantes van a dejar de funcionar correctamente lo cual implica que si no se cambia puede afectar al resto de piezas que hacen parte de la máquina, como por ejemplo para nuestro caso tenemos que como la base del funcionamiento de nuestras máquinas piloteadoras son motores de combustión interna que funcionan a base de diésel, lo cual hace que se genere trabajo mecánico por la rotación del cigüeñal debido a la fuerza que ejercen los pistones por las explosión del combustible, sí las piezas que componen el motor no se encuentran debidamente lubricadas y con un aceite de calidad se deteriora en conjunto el motor, por lo tanto debido a recomendaciones del fabricante cada cierto periodo de tiempo medido en horas de trabajo se debe realizar el cambio del aceite y filtros para asegurar que las partes del motor maximicen su vida útil, ya teniendo esto en mente se debe programar parar el equipo en el rango indicado y reemplazar el aceite y demás aditamentos estimando tiempos de ejecución, personas que intervendrán en la labor y tiempos de parada.

5.3.4 Mantenimiento Predictivo

La principal función del mantenimiento dentro de una compañía es permitir que la producción sea lo más eficiente posible y que los tiempos de intervenciones a las máquinas que hacen parte del proceso de producción sean mínimos o que si hay la necesidad de las intervenciones sean planificadas y con la menor demora posible (Botero, 1991).

Contrario a el mantenimiento correctivo que se cambia la pieza cuando esta falla, el predictivo se encarga de mostrar en cada instante de operación de las máquinas el estado funcional en el que se encuentra permitiendo saber aproximadamente en qué momento puede fallar o si existe un fallo que está haciendo que la máquina no esté funcionando al 100% de sus capacidades nominales, lo que permite tener el control de su funcionamiento óptimo.

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos no destructivos que permiten dar diagnósticos detectando fallas por algún elemento que no esté trabajando de manera correcta, (C et al., 2010). Como ejemplo tenemos un motor eléctrico al cual se le realiza una técnica llamada análisis de vibraciones y que con esto se pretende encontrar problemas relacionados a los siguientes problemas que generalmente se ven en este tipo de máquinas:

- Desalineamiento
- Desbalanceo
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas en bombas
- Anomalía en engranajes
- Problemas eléctricos en los bobinados
- Problemas de bandas

Como este ejemplo existen métodos y ensayos gracias al alto nivel de la tecnología para saber en cada tipo de industria como se encuentran funcionalmente las máquinas que hacen parte vital del negocio, teniendo como factor relevante que estos ensayos no requieren en su gran ma-

yoría que se detenga una línea de producción para obtener los datos que se necesitan para saber el estado funcional. (C et al., 2010)

5.3.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

La principal función del RCM como estrategia de mantenimiento consiste en adaptarse a las exigencias de las compañías de hoy en día que reclaman alta disponibilidad de la maquinaria y al mismo tiempo que se optimicen para obtener el máximo de resultados durante su vida útil.

El RCM se basa en la relación que existe entre la organización y los elementos que la componen, con la premisa de que cada activo está sujeto a condiciones de funcionamiento que no se pueden asemejar a otras, y partiendo de esto se podrán establecer las condiciones para desarrollar la estrategia de mantenimiento, el RCM hace una serie de preguntas respecto a cada elemento que se requiere someter al análisis como sigue:

- ¿Cuáles son las funciones del activo?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué sucede si no se puede prevenir la falla?

5.4 Análisis taxonómico

Antes de iniciar con el análisis que marca la norma SAE JA1011 se propone recopilar y analizar la información correspondiente al activo que será requerido, también que se establezca la taxonomía y se analice el contexto operativo del activo. (Campos, 2019,)

La norma ISO 14224 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas de grupos genéricos basados en sus características comunes (localización, uso, tipo de función, etc.).

5.5 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, activos, sistemas y componentes, los criterios para realizar un análisis de criticidad generalmente están asociados con la frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo del mantenimiento y seguridad y medio ambiente. (Llanes et al., 2008).

5.6 Indicadores de mantenimiento

Dentro de los índices de mantenimiento se listan los más destacados o más utilizados encontramos:

5.6.1.1 *Tiempo promedio entre fallas*

Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en el periodo observado.

$$\text{TMEF}=(\text{NOIT.HROP})/\text{NTMC}$$

5.6.1.2 *Tiempo promedio para reparación*

Relación entre el tiempo total de las intervenciones correctivas en un conjunto de ítems con falla y el número de fallas detectado en el periodo observado.

5.6.1.3 *Disponibilidad de equipos*

Relación entre el tiempo total de operación de cada ítem controlado y la suma de esos tiempos con los tiempos de mantenimiento de los mismos ítems.

$$DISP = \frac{\Sigma HROP}{\Sigma (HROP - HTMN)}$$

5.6.1.4 *Confiabilidad*

La confiabilidad se puede calcular o cuantificar relacionando el tiempo promedio entre fallas y la suma entre este mismo tiempo promedio y el tiempo promedio entre reparaciones.

$$CONF = \frac{TMEF}{TMPR + TMEF}$$

6 Marco Legal

Para poder desarrollar de manera adecuada las actividades propuestas en este proyecto debemos conocer en su gran mayoría las normativas, tanto nacionales como internacionales, directamente relacionadas con las actividades de mantenimiento industrial, el mantenimiento basado en confiabilidad y demás técnicas modernas de las cuales haremos uso.

6.1 Normativas Nacionales

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, es el ente encargado de la reproducción y certificación de normas técnicas y de calidad para toda empresa o actividad profesional desarrollada en el país.

Fue fundado en el año 1963 por un grupo de 18 empresarios y directivos gremiales, los cuales vieron la necesidad de establecer una organización dedicada enteramente al desarrollo de normas técnicas capaces de aumentar de manera significativa la productividad, calidad y competitividad de todas las industrias nacionales de cara a la globalización.

Para el área de mantenimiento, el instituto ha desarrollado a lo largo de los años una serie de normativas específicas, entre la cuales, para nuestro caso de estudio particular podemos destacar:

6.1.1 NTC ISO 9001

Es la normativa aplicable a las entidades de carácter público o privado que desean implementar o sostener su sistema de gestión relacionado con el ámbito de la calidad.

Es importante destacar que es aplicable en cualquier sector de la industria, pues aunque no es obligatorio, todas las compañías que cuentan con un sistema de calidad buscan obtener esta

certificación, pues permite demostrar en cualquier momento que la misma ha sido auditada bajo los parámetros de la misma.

6.1.2 NTC ISO 45001

Esta normativa especifica los requisitos a cumplir por un sistema de gestión de salud y seguridad ocupacional y su objetivo último es proporcionar espacios de trabajo seguros y saludables.

La norma es aplicable a cualquier tipo de organización, siempre y cuando ésta desee implementar las políticas plasmadas en la misma en pos de mejorar la salud, disminuir los riesgos y aprovechar las mejoras resultantes del análisis realizado por medio de la misma.

6.1.3 GTC 20: 1995

Es un cuestionario tipo evaluación para las empresas de mantenimiento y consiste básicamente en una encuesta que facilita la selección de una compañía de mantenimiento mediante la implementación y puesta en uso de contratos de mantenimiento.

6.1.4 GTC 62: 1999

Esta guía busca establecer las definiciones empleadas en el área de mantenimiento en plantas industriales y empresas de servicios, es decir, todos aquellos parámetros que describen los temas pertinentes a asegurar el funcionamiento y la calidad del servicio dentro de las mismas.

6.1.5 NTC 2353/2354

Conjunto de normativas sobre dibujo técnico, funciones e instrumentación para la medida y regulación de procesos industriales, así como la representación simbólica detallada para los

diagramas de interconexión de instrumentos, instalación y mantenimiento de sistemas de medición y control.

6.2 Normativas Internacionales

Así como encontramos al ICONTEC, a nivel internacional son varias las compañías, asociaciones o institutos dedicados al desarrollo y publicación de normativas técnicas, cuyo único objetivo es brindar pautas, así como lineamientos de operación y desarrollo de las actividades en todos los ámbitos industriales y profesionales.

Entre los más destacados podemos encontrar la Organización Internacional de Estandarización (Conocida como ISO a nivel mundial) y está compuesta por diversas organizaciones de estandarización nacional, fue fundada en el año 1947 y su principal objetivo es promover el uso de los estándares privativos, industriales y comerciales a nivel mundial.

De igual manera encontramos a la SAE International o Sociedad de Ingenieros Automotrices, entidad encargada de establecer parámetros y normas de diseño automotriz, industrial y aeroespacial, así como de calidad para los demás artículos relacionados al mismo.

Es uno de los entes reguladores más antiguos, iniciando actividades en el año 1905, por lo cual ya para la década del 80 contaba con 35000 miembros activos.

SAE es la principal impulsora de las normativas técnicas y de calidad a nivel mundial para las industrias anteriormente mencionadas, contando en la actualidad con capítulos en India, Rumanía y Brasil entre otros.

Finalmente, se presentan las normativas internacionales más adecuadas a nuestro caso de estudio, las cuales como era de esperar, pertenecen o han sido desarrolladas por los entes previamente mencionados:

6.2.1 Normas ISO Serie 9000

Desde el año 1994 el mantenimiento empezó a ser reconocido por la ISO como un requisito de control de procesos, pues debido a su naturaleza es capaz de identificar las características del proyecto que son críticas para el funcionamiento apropiado y seguro del producto.

Debido a esto las empresas que desean obtener o mantener su certificación en esta serie de normas deben elaborar todos y cada uno de los manuales de procedimientos de su sistema de mantenimiento.

6.2.2 Norma SAE JA1011/JA1012

Esta norma establece que para que un proceso sea reconocido como RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) debe cumplir con los 7 pasos, en el orden establecido dentro de la misma, como se muestra a continuación:

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

6.2.3 Norma ISO 14224

Norma encargada de brindar una base sólida para la recopilación y estructuración de las bases de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos de en industrias petroleras y sus derivados, permitiendo que los datos recopilados sean válidos y funcionales para la gestión de los activos durante su ciclo de vida.

7 Marco Metodológico

7.1 Diagrama de Gantt

A continuación se presentan las tareas iniciales del desarrollo del proyecto, al igual que el cronograma de realización de las mismas mediante un diagrama de Gantt.

El diagrama de Gantt es una herramienta de gestión proyectos mediante la cual se recoge la planificación de los mismos. 4

FASES	ACTIVIDAD	MES				
		AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DIAGNÓSTICO	1.1. Análisis de Balencias	P				
		E				
	1.2. Revisión de Características Técnicas de los Equipos	P				
		E				
	1.3. Revisión de Procedimientos de Operación y Mantenimiento	P				
		E				
	1.4. Revisión de Métodos de Control de Calidad		P			
			E			
	1.5. Revisión de Manual de Funciones y Responsabilidades del Personal de Mantenimiento		P			
			E			
INVESTIGACIÓN	2.1. Investigación de casos de estudio y programas de mantenimiento similares a nivel nacional e internacional		P			
			E			
	2.2. Investigación de normatividad nacional e internacional vigente		P			
			E			
	2.3. Investigación sobre mantenimiento centrado en confiabilidad a nivel industrial y en maquinaria pesada		P			
			E			
ANÁLISIS DE RESULTADOS	3.1. Analizar las estrategias de mantenimiento y estado de la maquinaria establecidas por la compañía			P		
				E		
	3.2. Analizar los programas de mantenimiento anuales y controles operacionales				P	
					E	
	3.3. Análisis de taxonomía de equipos (piloteadora Link Belt LS 118)				P	
				E		
	3.4. Análisis de criticidad de los equipos (Piloteadora Link Belt LS 118)				P	
					E	
	3.5. Simulación de metodologías de mantenimiento				P	
					E	
REALIZAR PROPUESTA	4.1. Realizar la propuesta					P
						E
	4.2. Simulación de la propuesta final de mantenimiento					P
						E
	4.3. Realizar el informe de gerencia de la propuesta final (entregable).					P
						E

Tabla 1: Diagrama Gantt presentación de proyecto (Fuente: Propia).

7.2 Recolección de la información

7.2.1 Tipo de investigación

Como se ha mencionado anteriormente, el presente proyecto busca establecer un plan de mantenimiento basado en RCM para las máquinas y equipos de la compañía Cimentaciones de Colombia SAS, de acuerdo a las características de los mismos, así como del mercado dentro del cual se mueve la compañía.

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza una investigación de tipo cuantitativo - descriptivo, esto debido a la naturaleza matemática y estadística de los datos, así como de la información que se busca recopilar. Para esto se realizaron:

- Estudios de observación:

Se estudió un factor particular de comportamiento del equipo de muestra y se cuantificó, todo lo anterior dentro de los parámetros de objetividad necesarios para establecer una base de estudio.

- Estudios de correlación:

Se determinó la relación existente entre las posibles variables presentes dentro del caso de estudio, mediante el análisis e interpretación de los datos previamente recopilados.

- Estudio causal comparativo:

Se realizó la manipulación documental de las principales variables identificadas, buscando así las posibles soluciones o parámetros de mejora a los que sea necesario llegar para el establecimiento del plan de mantenimiento.

De esta manera se aseguró la adquisición de la mayor cantidad de información relevante para el correcto desarrollo del proyecto y a su vez, el planteamiento de soluciones pertinentes a la problemática actual de la compañía.

7.2.2 Fuentes de obtención de la información

Como es bien sabido, en la actualidad se reconocen varios tipos de fuentes de información (primarias, secundarias, terciarias, generales, etc.), las cuales, para este caso particular se encuentran divididas así:

7.2.3 Fuentes de información primarias:

Al ser el punto en torno al cual gira todo este proceso, Cimentaciones de Colombia SAS es la fuente de información primaria, pues de ella se obtienen directamente y sin modificaciones o cambios, todos los datos necesarios para el desarrollo del presente trabajo.

7.2.4 Fuentes de obtención de la información Secundarias:

A continuación se encuentra el actual departamento de mantenimiento de la compañía, pues de aquí se obtienen los datos a los que se ha hecho mención anteriormente, sometidos a cierto tipo de análisis y estudios, los cuales permiten establecer una base sólida para el caso de estudio.

7.2.5 Fuentes de obtención de la información Terciarias:

Finalmente, como fuente terciaria se encuentra el personal del área operativa y de mantenimiento de Cimentaciones de Colombia SAS, aquí es posible recopilar información puntual sobre los equipos, causas de falla y modos de falla de los mismos.

7.3 Herramientas

Una vez establecidas las fuentes de información, así como los mecanismos por los cuales se recopilará la misma, es necesario establecer las herramientas que se emplearán para la clasificación, caracterización y análisis de la misma.

Para efectos prácticos y teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto en desarrollo, se hará uso de los índices de clase mundial, llamados así debido a que se encuentran estandarizados a nivel mundial y están divididos en:

- Gestión de equipos:

Tiempo medio entre fallas.

Tiempo medio para reparación.

Tiempo medio para la falla.

Disponibilidad de equipos.

- Gestión de costos:

Costo de mantenimiento por facturación.

Costo de mantenimiento por valor de reposición.

A pesar de la importancia de los índices de clase mundial y de su uso generalizado, existen otros indicadores que son de vital importancia y que permiten complementar la información previamente adquirida, como son:

- Tiempo medio entre mantenimientos preventivos.

- Tiempo medio para intervenciones preventivas.

- Tasa de falla observada.

- Tasa de reparación.

- No conformidad de mantenimientos.
- Sobrecarga de servicios de mantenimiento.
- Alivio de servicios de mantenimiento.

Para efectos de la calidad de los indicadores requeridos para el caso de estudio, se hará uso de todas las herramientas anteriormente listadas, asegurando de esta manera que las conclusiones y soluciones alcanzadas sean fieles a la realidad de los equipos y la compañía poseedora de los mismos.

7.4 Metodología

Teniendo en cuenta el objetivo primordial del proyecto, la creación de un plan de mantenimiento centrado en RCM para los equipos de la compañía Cimentaciones de Colombia SAS, es indispensable el seguimiento minucioso de los pasos establecidos para este fin, los cuales buscan incrementar la calidad y efectividad del resultado del proceso.

Para lo anterior se proponen tres etapas de desarrollo metodológico, como son:

1. Antes de la aplicación del RCM:

Recopilación de información.

Elaboración de taxonomía del equipo o sistema.

Documentación del contexto operativo.

2. Durante el análisis del RCM:

Normalizar el análisis de modos y causas de falla.

Categorizar los efectos de falla.

3. Después del análisis RCM:

Implementación del plan de mantenimiento.

Gestión de las recomendaciones o acciones predeterminadas.

Medición del desempeño.

7.5 Antes de la aplicación del RCM

De acuerdo a los parámetros establecidos por la norma SAE JA1011, durante la etapa previa al análisis RCM, es necesario recopilar y analizar la información correspondiente al activo a estudiar. De igual manera se debe establecer la taxonomía y el contexto operativo del mismo de una manera clara y precisa. En este punto es fundamental establecer unas bases fuertes para el correcto desarrollo del análisis.

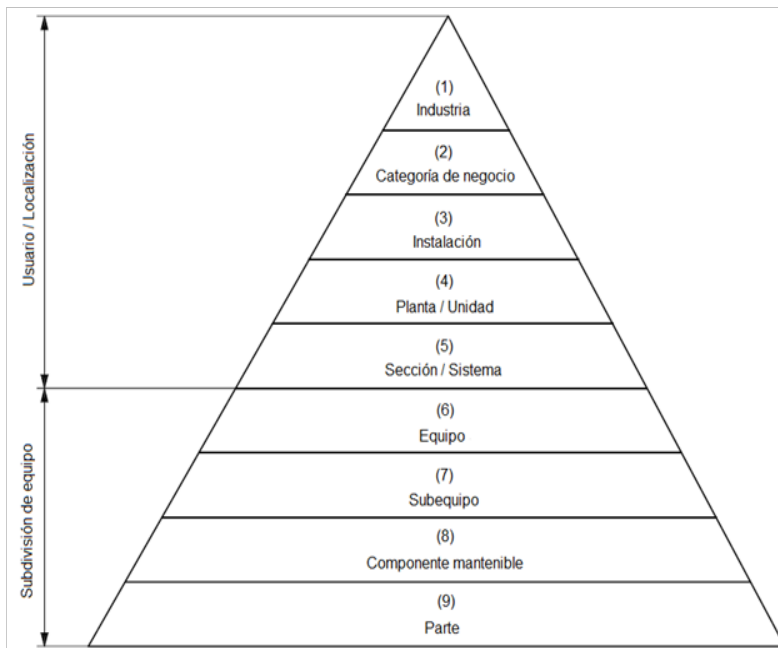


Figura 1: Pirámide taxonómica. (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).

Previo al desarrollo del análisis RCM es fundamental recopilar la información del activo que servirá como caso de estudio, dentro de esta información se deben incluir planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación y mantenimiento, documentos de contexto operativo del equipo, etc.

Adicionalmente se debe entrevistar al personal relacionado de cualquier manera con el funcionamiento y mantenimiento del equipo, de esta manera se podrá extraer una gran cantidad de información sobre estado de mantenimiento, requerimientos, desempeño actual y desempeño esperado, así como respecto a las falencias y problemas presentes en el mismo.

Para la consecución de estos objetivos, la ISO 14224 proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad de equipos parte de instalaciones industriales. Teniendo en cuenta las características de la norma, esta es fácilmente adaptable a cualquier clase de equipo e industria que cuente con activos físicos dentro de su proceso productivo.

De igual manera, para la taxonomía de los activos, la norma ISO 14224 se erige nuevamente como una base sólida desde la cual trabajar. La norma define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.).

La taxonomía se muestra como una pirámide y representa la ubicación del activo dentro de la organización.

Adicional al desarrollo de la taxonomía del equipo, se recomienda la realización de un diagrama de límites de equipo, así como la subdivisión de equipo recomendada dentro de la norma.

Para el contexto operativo del equipo, el cual está definido como el conjunto de condiciones bajo las cuales opera el mismo, se deben incluir todos aquellos criterios y parámetros de desempeño establecidos por el usuario. Para la definición del contexto operativo del equipo se pueden emplear los diagramas, entrevistas y documentación disponibles.

Es de vital importancia analizar y comprender el contexto operativo del equipo para garantizar el éxito del análisis RCM.

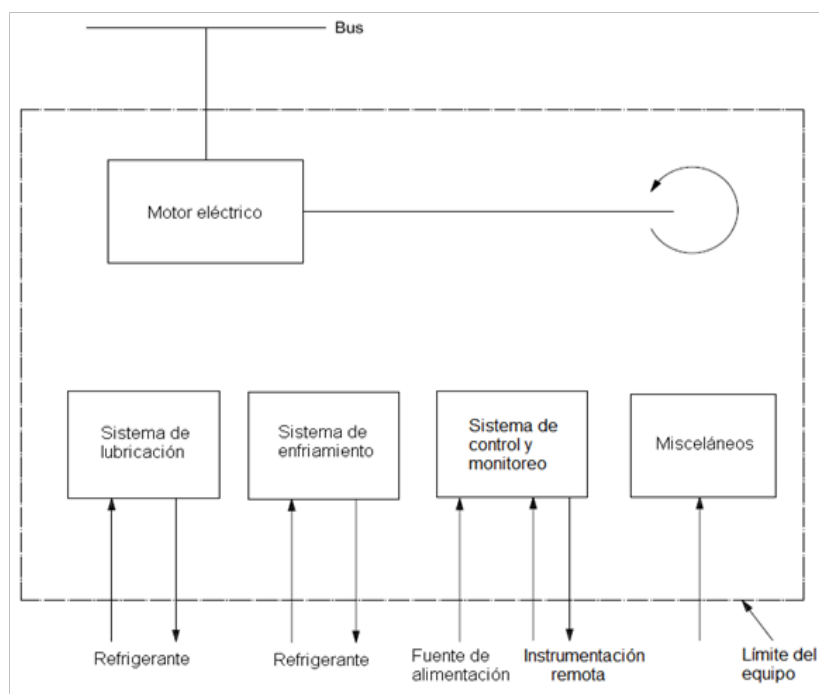


Figura 2: Diagrama de límites de un equipo. (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).

7.6 Durante el análisis RCM

Durante este paso se deben establecer de manera clara, precisa y concisa los modos y causas de falla, los cuales deben ser categorizados de acuerdo a los números de prioridad de riesgo.

Los números de prioridad de riesgo son valores que establecen la jerarquía de las fallas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección; de esta manera se obtiene la prioridad con la que es necesario atacar cada uno de los modos de falla, se identifican los ítems críticos y se puede proceder a brindar atención prioritaria a los NPR más altos (Seguas Aire Comprimido y Frio Industrial, 2018).

$$\text{NPR} = (\text{GRAVEDAD} * \text{OCURRENCIA} * \text{DETECTABILIDAD})$$

7.6.1 Gravedad:

El primer paso en el proceso de identificación de los números de prioridad de riesgo es identificar la gravedad o severidad de los efectos de una falla.

La gravedad de estos es fácilmente cuantificable por medio de una escala numérica previamente establecida.

7.6.2 Ocurrencia:

La ocurrencia corresponde a la probabilidad de ocurrencia de una causa de falla, con sus respectivos modos de falla durante la vida útil de un activo.

De igual manera que con la gravedad, la ocurrencia también es fácilmente cuantificable mediante una escala numérica.

SEVERIDAD		
EFFECTO	CRITERIOS: SEVERIDAD DEL EFECTO PARA AMECF DE DISEÑO	FILA
Peligros; sin alarma	El incidente afecta la operación segura de la unidad, sin alarma	10
Peligros; con alarma	El incidente afecta la operación segura de la unidad, con alarma	9
Muy Arriba	La unidad es inoperable con pérdida de función primaria	8
Alto	La unidad es operable pero en un nivel muy reducido del funcionamiento	7
Moderado	La unidad es operable pero en un nivel reducido del funcionamiento	6
Bajo	La unidad es operable a un nivel reducido de funcionamiento	5
Muy Bajo	Las personas ajenas a la unidad notan los defectos	4
De menor Importancia	El operador de la unidad nota los defectos	3
Muy de menor importancia	Solo el personal de mantenimiento nota los defectos	2
Ninguno	Ningún Efecto	1

Tabla 2: Escala de severidad de los fallos (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).

OCURRENCIA		
PROBABILIDAD DE INCIDENTE	PORCENTAJE DE AVERIAS	FILA
Muy arriba: El incidente es casi inevitable	1 en 2	10
	1 en 3	9
Alto: Incidentes Repetitivos	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderado: Incidentes Ocasionales	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2000	4
Bajo: Relativamente pocos incidentes	1 en 15000	3
	1 en 150000	2
Telecontrol: El incidente es inverosímil	1 en 1500000	1

Tabla 3: Escala de ocurrencia de fallos (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020)

7.6.3 Detectabilidad:

Corresponde a la probabilidad de detección de una causa de modo de falla o de un modo de falla en sí mismo.

Una vez se han establecido estos 3 parámetros, se procede a la cuantificación de los NPR dentro de unos rangos previamente establecidos y normalizados, como son:

NPR > 200: INACEPTABLE.

200 >NPR>125: REDUCCIÓN DESEABLE.

125>NPR: ACEPTABLE.

Por último, de acuerdo al análisis de modo, efecto y clasificación de las fallas obtenidos a través de los NPR, se procede a seleccionar las fallas inaceptables y reducibles para proceder con la ejecución de las actividades o estrategias del plan de mantenimiento basado en RCM.

Una vez establecida la clasificación y realizada la selección de las fallas inaceptables dentro del sistema, podemos proceder a realizar el análisis de modos y causas de falla correspondientes a las mismas.

La norma ISO 14224 define los modos de falla como el efecto a través del cual una falla puede ser observada, es decir que el modo de falla corresponde al síntoma cuantificable o evento que nos indica la ocurrencia de la misma. A su vez la norma nos ofrece una listado de modos de falla normalizados, la cual puede ser empleada como punto de partida para la realización de este tipo de análisis.

Sin embargo, existen otros métodos de análisis que también pueden ser de gran ayuda para el desarrollo de estas actividades, como es el caso de OREDA, el cual presenta datos de modos de falla de equipos petroleros instalados en plantas offshore.

7.7 Después del análisis RCM

Una vez obtenidos los resultados de los análisis, así como la puesta en marcha del plan de mantenimiento basado en confiabilidad, es indispensable continuar con la asignación de responsabilidades, las cuales nos permitirán asegurar la adecuada implementación y ejecución de nuestro plan de mantenimiento especialmente formulado para los equipos objeto de este estudio. Entre las responsabilidades a asignar encontramos la revisión, afinación, difusión y carga del plan, tanto de manera física como dentro del sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS).

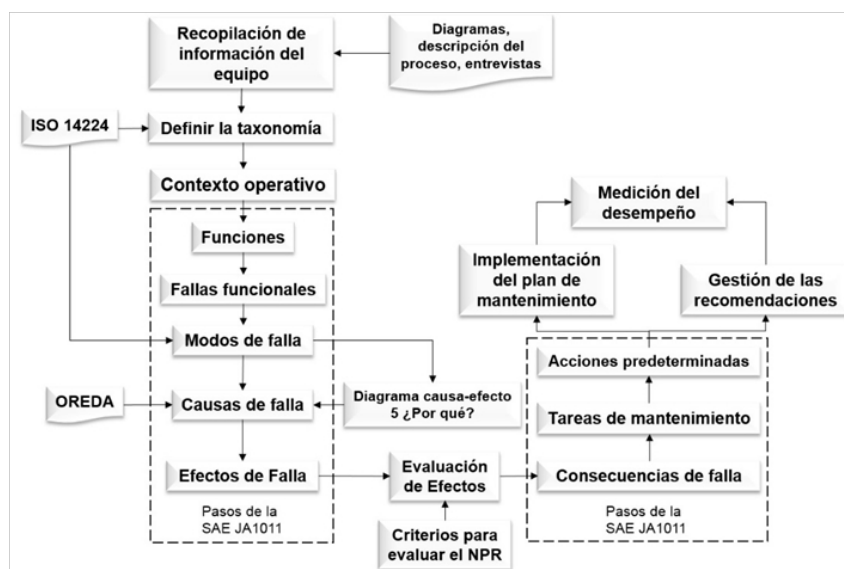


Figura 3: Diagrama de flujo de proceso de análisis RCM (Fuente: Torres, Carlos; Power Mi; 2020).

Sin embargo, es la medición del desempeño la parte más importante del proceso posterior al análisis RCM, pues de esta manera se puede verificar y demostrar el correcto funcionamiento y la efectividad del plan de mantenimiento basado en esta técnica. Estas mediciones de vital importancia se llevan a cabo mediante el uso de los KPI, o indicadores clave de desempeño.

Finalmente, una vez establecidas las mediciones de calidad y efectividad del proceso, se deben realizar los ajustes y perfeccionamientos necesarios sobre la marcha, para de esta manera obtener un proceso y sistema de mantenimiento óptimos.

7.8 Información recopilada

Siguiendo todas las directrices y recomendaciones previamente presentadas, se procedió a la recopilación de información productiva y de mantenimiento del equipo de muestra para el caso de estudio, como lo es la piloteadora Link Belt LS 118.



Ilustración 3: Link Belt LS 118 dentro del proyecto Torem al norte de la ciudad de Bogotá (Fuente: Propia).

En primera instancia, siguiendo las recomendaciones y directrices previamente mencionadas se procede a realizar un análisis de criticidad, obteniendo la siguiente matriz de criticidad:

MATRIZ DE RIESGOS					LEYENDA							
RIESGO					GRAVEDAD (IMPACTO)							
					MUY BAJO 1	BAJO 2	MEDI O 3	ALT O 4	MUY ALTO 5			
Frecuencia de Falla	4	5	20	Muy grave	PROB.	MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
Impacto en Producción (Por Falla)	3	5	15	Muy grave		ALTA	4	4	8	12	16	20
Costo de Reparación	5	5	25	Muy grave		MEDIA	3	3	6	9	12	15
Impacto en Seguridad	3	3	9	Important		BAJA	2	2	4	6	8	12
Impacto Ambiental / Comunidades	3	3	9	Important		MUY BAJA	1	1	2	3	4	5





	Riesgo muy grave. Requiere medidas preventivas urgentes. No se debe iniciar el proyecto sin la aplicación de medidas preventivas urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo.
	Riesgo importante. Medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente las variables de riesgo durante el proyecto.
	Riesgo apreciable. Estudiar económicamente si es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible, mantener las variables controladas.
	Riesgo marginal. Se vigilará aunque no requiere medidas preventivas de partida.

Tabla 4: Matriz de criticidad para la piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia)

Realizado este análisis se obtiene que el equipo cuenta con un nivel de criticidad muy alto, pues es el eslabón fundamental de la cadena productiva de la compañía, en caso tal de presentar cualquier tipo de parada se ve afectada toda la actividad y consecuente producción.

7.9 Documentación e Información Técnica

GENERAL INFORMATION ONLY

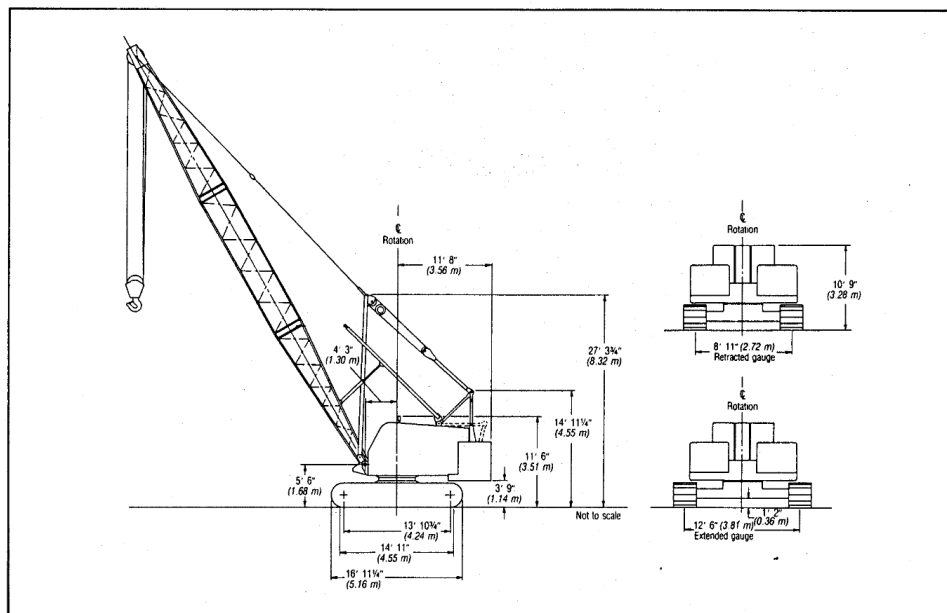


General Specifications

Link-Belt® 60-ton (54.42 metric ton)

Wire rope crawler crane

LS-118



General dimensions	Feet	meters
Basic boom length	—	—
— angle and tubular booms	40' 0"	12.19
Overall width with 30' (0.76 m) shoes	—	—
— side frames extended	15' 0"	4.57
— side frames retracted	11' 5"	3.48
Overall width with 36" (0.91 m) shoes	—	—
— side frames extended	15' 6"	4.72
— side frames retracted	11' 11"	3.63
Overall width less side frames, counterweight, and catwalk	—	—
— side frames extended	11' 5"	3.48
Overall width for transport, less counterweight, less side frames and catwalks, axles in line with revolving upperstructure	9' 10"	3.00

General dimensions	Feet	meters
Minimum ground clearance	1' 1 1/2"	0.35
Width of cab	—	—
— less catwalks	8' 0"	2.44
— with catwalks	13' 9 1/2"	4.19
Height, boom live mast for travel with basic 40' (12.19 m) boom horizontal	—	—
— basic machine less crawler side frames	18' 0"	5.49
Overall height for transport	—	—
— basic machine less crawler side frames	10' 4"	3.15
— basic revolving upperstructure only	7' 4"	2.24

8467797.5
(Supersedes #1475767.5)

— 1 —

Printed in U.S.A.

Ilustración 4: Manual de especificaciones Link Belt LS 118 (Fuente: FMC Link Belt Cranes, 1976).



LS-118 boom/jib working ranges

Boom — tubular; 44" x 54" (1.11 m x 1.37 m) with open throat top section, 1 1/4" (31.75 mm) dia. boom pendants, hydraulic retractable high gantry, boom live mast, and with boom midpoint suspension pendants (as required).

Crawler — 12' 6" (3.81 m) gauge extended, 8' 11" (2.72 m) retracted; 17' 0" (5.18 m) over-all length.

Counterweight — 12,200# (5,534 kg) cwt. "A" or 46,000# (20,866 kg) cwt. "AB".

Jib — tubular; 36" (.76 m) wide, 24" (.61 m) deep.

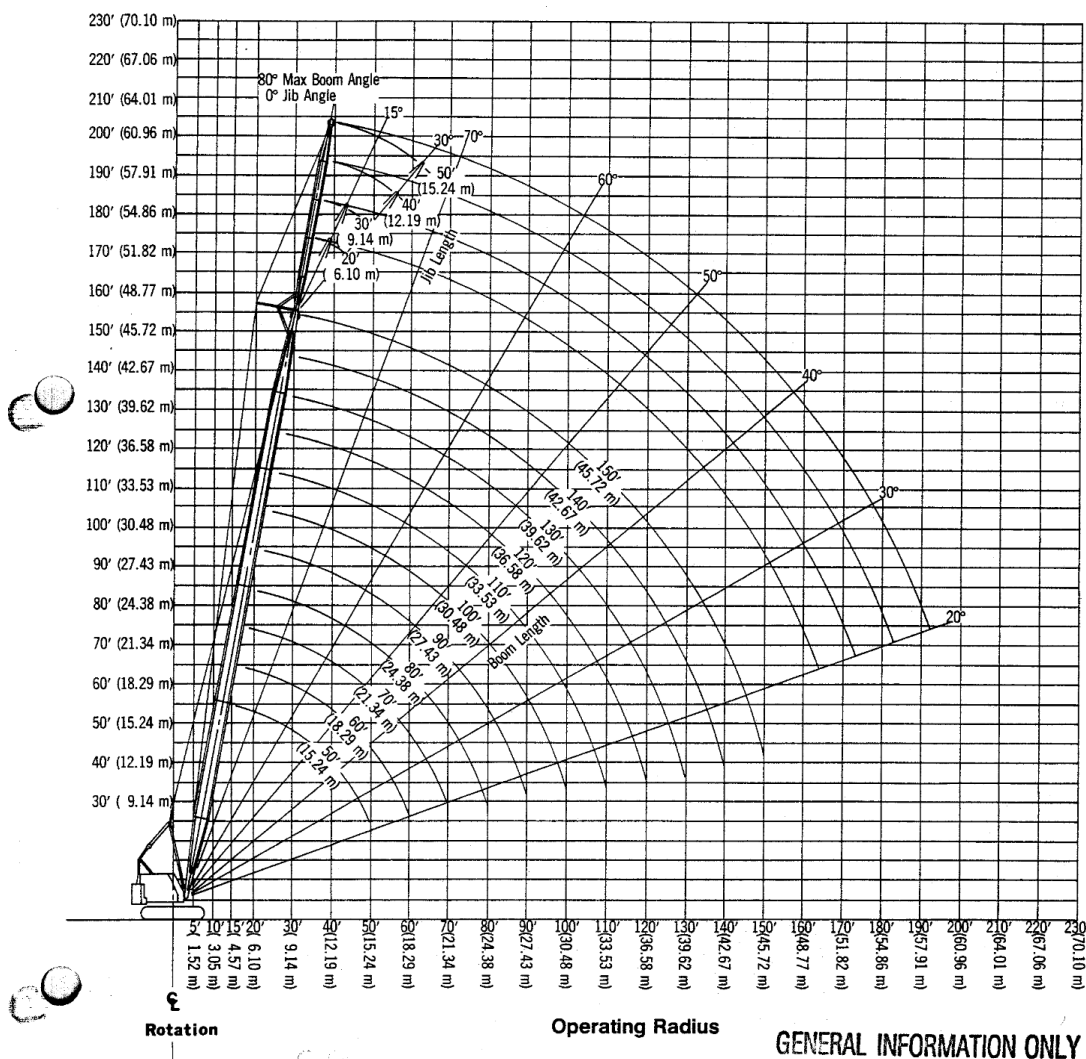


Ilustración 5: Angulo de inclinación / Carga máxima Link Belt LS 118 (Fuente: FMC Link Belt Cranes, 1976).

	ESPECIFICACIONES E INFORMACIÓN DETALLADA DE MAQUINARIA	CÓDIGO: MA – CA - 001
		VERSIÓN: 001
		FECHA DE EMISIÓN:
		PÁGINA: 1 de 2



Grúa sobre Orugas 003 (GSO – 003)

Marca: Link – Belt Construction Equipment.

Referencia: LS118.

Modelo: 1978.

Serial: 9LV5553.

Funcionamiento: Sistema Hidráulico.

Traslación: Orugas.

Boom: 23 m / 75.45 Ft.

Lubricación: SAE 50 API CF/CF2.

Enfriamiento: Líquido / Radiador.

Departamento de Mantenimiento
 Cimentaciones de Colombia LTDA

Ilustración 6: Hoja de identificación y especificaciones técnicas pilotadora Link Belt LS 118 (Fuente: Cimentaciones de Colombia S.A.S).

	<p>ESPECIFICACIONES E INFORMACIÓN DETALLADA DE MAQUINARIA</p>	CÓDIGO: MA - CA - 001
		VERSIÓN: 001
		FECHA DE EMISIÓN:
		PÁGINA: 2 de 2

Tabla de Especificaciones:

1. Motor:

Marca: GM Detroit Diesel.
 Referencia: 6 – 71.
 Aspiración: Natural.
 Tipo de Motor: 2 tiempos.
 Número cilindros: 6.
 Desplazamiento: 7.0 L / 426 C.I.
 Potencia: 218 HP / 163 KW
 Torque: 782 N.m / 577 Lb.Ft.
 Relación de Compresión: 18.7 a 1.
 Serial: 6A329602 / 1063 - 7008.



2. Filtros:

Filtro de aceite:
 PARTMO A-116 / P551670.
 Filtro de combustible primario:
 PARTMO A-96 / P556915.
 Filtro de combustible secundario:
 PARTMO A-97 / P556916.
 Filtro de combustible tipo Racor:
 2040 Serie 900.
 Filtro de aire: Franig HCA 1580.



Departamento de Mantenimiento
 Cimentaciones de Colombia LTDA

*Ilustración 7: Hoja de identificación y especificaciones técnicas pilotadora Link Belt LS 118
 (Fuente: Cimentaciones de Colombia S.A.S).*

	HOJA DE VIDA HISTORIAL DE MANTENIMIENTO		CÓDIGO: MA-DC-001
			VERSIÓN: 002
			FECHA DE EDICIÓN: ENERO 12/2018
			PÁGINA: 1 de 2

Equipo	Aparatadora/Piloteadora	Marca	LinkBelt	Análisis de Criticidad	A
Descripción	Unidad hidráulica sobre orugas	Referencia	LS118	Módulo de Mantenimiento	Sobremonto
Responsable del Equipo	Yobani Garzaman Ospina	Capacidad	2 Toneladas	Mantenimiento Legal	
Código	GSD - 003	Motor	GM Diesel Diesel 6-71		
Ubicación	Bojotá D.C.	Modelo	1976		

Manual de Operación SI NO Ubicación del Manual

Registro Fotográfico	
	

Consumibles		Repuestos Críticos	Herramientas Especiales
Aceites	SAE 58 API/CF/CF2 Valvulina SAE 140 Aceite Hidráulico ISO 68		
Filtros	PARTMD A-116 / P558170 FRANCO HCA 1580H 2040 Serie 500 PARTMD A-06 / P558915 PARTMD A-07 / P558916		

Fecha	Observaciones/Comentarios	Responsable de Actividades de Mantenimiento
27/09/2019	Se Cuan Partes De Fuga En Sistema Hidráulico Y De Combustible	Ing. Andrés Pineda
30/09/2019	Se Fabrica Tapa Para La Pluma Para Evitar Fugas De Aceite Con El Cargop De La Máquina	Ing. Andrés Pineda
28/11/2019	Equipo En Condiciones Óptimas De Trabajo	Ing. Andrés Pineda
25/01/2020	Reparación Completa De Óleo En La Transmisión, Equipo En Condiciones Óptimas De Trabajo.	Ing. Andrés Pineda
24/07/2020	Equipo En Condiciones Óptimas De Trabajo	Ing. Andrés Pineda

Una vez impreso este documento se considera copia no controlada

Tabla 5: Hoja de vida y servicios piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Cimentaciones de Colombia S.A.S).

Tomando en cuenta la información anteriormente presentada, se genera un resumen de características técnicas del equipo a estudiar, obteniendo los siguientes datos:

- Tipo de equipo: Grúa sobre orugas de 46 toneladas.
- Referencia: Link Belt LS 118.
- Modelo: 1976.
- Motor: Detroit Diésel 2T 6-71 NA.
- Potencia: 218 HP.
- Torque: 782 Nm.
- Tipo de Potencia: Hidráulica.

7.10 Contexto productivo



Ilustración 8: Falla de cadenas de transmisión debido a terreno piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

El equipo Link Belt LS 118 se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá D.C, su actividad principal es la excavación de elementos de cimentación profunda, bien sean pilotes, barretes o pantallas. Adicional a estas labores y dependiendo de las mismas el equipo presta también sus servicios para los procesos de instalación de armaduras y posterior hormigonado de las excavaciones in situ.

Debido a las labores que realiza el equipo permanece sometido a condiciones ambientales severas, permaneciendo a la intemperie, en contacto con sustancias corrosivas y demás tipos de elementos con la capacidad de deteriorar su estado general.

Adicionalmente, por el terreno en el cual se realizan las labores constructivas el equipo está constantemente en contacto con agua y barro, los cuales pueden provocar un deterioro severo por corrosión.

7.11 Análisis Taxonómico

Después de establecer el nivel de criticidad del equipo, mediante el desarrollo de su respectiva matriz, así como el análisis del contexto productivo del mismo, se procede a la realización de un estudio taxonómico de 3 niveles, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Ítem	Nivel 1 Partición (Ensamble)	Ítem	Nivel 2 Partición (Sub-Ensamble)	Ítem	Nivel 3 Partición (Componente)
1.1	Sistema De Combustible	1.1.1	Bomba De Combustible	1.1.1.1	Árbol De Levas
				1.1.1.2	Cuerpo De La Bomba
				1.1.1.3	Entrada De Combustible
				1.1.1.4	Válvula De Aspiración
				1.1.1.5	Válvula De Control
				1.1.1.6	Válvula De Entrega
		1.1.2	Tanque De Combustible	1.1.2.1	Flotador
				1.1.2.2	Tapa Tubo De Drenaje
				1.1.2.3	Tubo De Llenado
				1.1.2.4	Tubo De Succión
		1.1.3	Filtros De Combustible	1.1.3.1	Filtro Principal
				1.1.3.2	Filtro Racor
				1.1.3.3	Filtro Secundario
		1.1.4	Transporte De Combustible	1.1.4.1	Mangueras
				1.1.4.2	Tuberías
				1.1.4.3	Racores

1,2	Sistema Eléctrico	1.2.1	Alternador	1.2.1.1	Estátor
				1.2.1.2	Polea
				1.2.1.3	Puente Rectificador De Corriente
				1.2.1.4	Regulador
				1.2.1.5	Rotor
		1.2.2	Batería	1.2.2.1	Bornes
		1.2.3	Bujías De Pre calentamiento	1.2.3.1	Borne De Conexión
				1.2.3.2	Cuerpo Cerámico
				1.2.3.3	Lápiz
		1.2.4	Cableado	1.2.4.1	Terminales
		1.2.5	Caja De Fusibles	1.2.5.1	Fusibles
		1.2.6	Encendido	1.2.6.1	Arranque
				1.2.6.2	Horqueta
				1.2.6.3	Solenoide
				1.2.6.4	Switch De Ignición
1.3	Sistema Estructural	1.3.1	Barras De Soporte	1.3.1.1	Barra Delantera
				1.3.1.2	Barra Trasera
		1.3.2	Celosía	1.3.2.1	Estructura Metálica

		1.3.3	Chasis	1.3.3.1	Acoples
				1.3.3.2	Puntos De Sujeción Accesorios
				1.3.3.3	Tanques De Combustible
		1.3.4	Puntos De Anclaje	1.3.4.1	Anclajes Arnés De Seguridad
				1.3.4.2	Anclajes De Carga
				1.3.4.3	Anclajes Para Pasarelas
1.4	Sistema Hidráulico	1.4.1	Actuadores	1.4.1.1	Cilindro
				1.4.1.2	Pistón
				1.4.1.3	Sellos Poliméricos
				1.4.1.4	Vástago
				1.4.1.5	Cojinete
		1.4.2	Bomba Hidráulica	1.4.2.1	Ejes
				1.4.2.2	Impulsor
				1.4.2.3	Puerto De Salida
				1.4.2.4	Rotor
				1.4.2.5	Cuerpo

				1.4.2.6	Cojinete
				1.4.2.7	Cilindro
				1.4.2.8	Estátor
		1.4.3	Elementos De Control	1.4.3.1	Válvulas
				1.4.3.2	Mandos
				1.4.3.3	Guayas
		1.4.4	Filtración	1.4.4.1	Elemento De Filtración
				1.4.4.2	Carcasa
		1.4.5	Red De Distribución	1.4.5.1	Mangueras
				1.4.5.2	Racores
		1.4.6	Tanque De Almacenamiento	1.4.6.1	Tapa De Llenado
				1.4.6.2	Mirilla
				1.4.6.3	Tubería
				1.4.6.4	Drenaje
1.5	Sistema Mecánico	1.5.1	Motor De Combustión Interna	1.5.1.1	Culata
				1.5.1.2	Válvulas
				1.5.1.3	Bloque
				1.5.1.4	Pistones

				1.5.1.5	Bielas
				1.5.1.6	Cigüeñal
				1.5.1.7	Volante
				1.5.1.8	Cárter
		1.5.2	Transmisión Automática	1.5.2.1	Convertidor De Par
				1.5.2.2	Embrague
				1.5.2.3	Bandas
				1.5.2.4	Servomotor
				1.5.2.5	Acumulador
				1.5.2.6	Gobernador
				1.5.2.7	Modulador De Vacío
				1.5.2.8	Engranajes
				1.5.2.9	Sensores
				1.5.2.10	Solenoides
		1.5.3	Refrigeración	1.5.3.1	Bomba De Agua
				1.5.3.2	Ventilador
				1.5.3.3	Termostato
				1.5.3.4	Mangueras De Distribución
				1.5.3.5	Radiador

1.6	Sistema De Transmisión	1.6.1	Cardan	1.6.1.1	Acople Transmisión
				1.6.1.2	Eje Conductor
				1.6.1.3	Acople Conducido
		1.6.2	Rotaría	1.6.2.1	Engranajes
				1.6.2.2	Rodamientos
				1.6.2.3	Guardapolvos
				1.6.2.4	Funda Guiá Kelly

Tabla 6: Análisis taxonómico pilotoadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

7.12 Análisis de Causas y Modos de Falla

Una vez se han definido los sistemas y subsistemas que componen el equipo de estudio, se procede a la realización de un análisis de causas y modos de falla del mismo.

Este se encuentra plasmado en la siguiente tabla:

Ítem No.	Nombre De Partición	Modo De Falla	Causa / Efecto	Probabilidad	Si
1.1.1.1	Árbol De Levas	Falta De Lubricación	Causa	Media	Si
1.1.1.2	Cuerpo De La Bomba	Fractura	Efecto	Baja	No
1.1.1.3	Entrada De Combustible	Taponamiento	Causa	Baja	Si
1.1.1.4	Válvula De Aspiración	Bloqueo	Causa	Baja	Si
1.1.1.5	Válvula De Control	Taponamiento	Causa	Baja	Si
1.1.1.6	Válvula De Entrega	Taponamiento	Causa	Baja	Si
1.1.2.1	Flotador	Bloqueo	Causa	Baja	Si
1.1.2.2	Tapa Tubo De Drenaje	Escape De Combustible	Efecto	Baja	No
1.1.2.3	Tubo De Llenado	Rotura	Causa	Baja	Si
1.1.2.4	Tubo De Succión	Rotura	Causa	Baja	Si
1.1.3.1	Filtro Principal	Taponamiento	Efecto	Baja	No
1.1.3.2	Filtro Racor	Taponamiento	Efecto	Baja	No
1.1.3.3	Filtro Secundario	Taponamiento	Efecto	Baja	No
1.1.4.1	Mangueras	Rotura	Causa	Media	Si
1.1.4.2	Tuberías	Rotura	Causa	Media	Si
1.1.4.3	Racores	Daño De Rosca O Grafado	Efecto	Media	Si
1.2.1.1	Estátor	Alta Temperatura	Efecto	Media	Si
1.2.1.2	Polea	Descentramiento	Efecto	Baja	No

1.2.1.3	Puente Rectificador De Corriente	Sobrecarga	Causa	Baja	Si
1.2.1.4	Regulador	Depreciación	Causa	Media	Si
1.2.1.5	Rotor	Daño De Rodamientos	Efecto	Baja	No
1.2.2.1	Bornes	Sulfatación	Efecto	Baja	No
1.2.3.1	Borne De Conexión	Sulfatación/Corrosión	Efecto	Baja	No
1.2.3.2	Cuerpo Cerámico	Rotura	Efecto	Alta	Si
1.2.3.3	Lápiz	Fractura	Causa	Alta	Si
1.2.4.1	Terminales	Sulfatación/Corrosión	Efecto	Baja	No
1.2.5.1	Fusibles	Rotura	Efecto	Baja	No
1.2.6.1	Arranque	Bloqueo	Causa	Alta	Si
1.2.6.2	Horqueta	Rotura/Desgaste	Causa	Baja	Si
1.2.6.3	Solenoide	Daño De Succión	Efecto	Baja	No
1.2.6.4	Switch De Ignición	Bloqueo	Causa	Baja	Si
1.3.1.1	Barra Delantera	Corrosión	Efecto	Media	Si
1.3.1.2	Barra Trasera	Corrosión	Efecto	Media	Si
1.3.2.1	Soportes Horizontales	Daño Amortiguadores	Efecto	Baja	No
1.3.3.1	Acoples	Rotura/Desgaste	Efecto	Baja	No
1.3.3.2	Puntos De Sujeción Accesorios	Corrosión/Oxidación	Efecto	Baja	No
1.3.3.3	Tanques De Combustible	Corrosión Interna	Efecto	Media	Si

1.3.4.1	Anclajes Arnés De Seguridad	Deterioro	Efecto	Media	Si
1.3.4.2	Anclajes De Carga	Daños Externos	Efecto	Media	Si
1.3.4.3	Anclajes Para Pasarelas	Daños Externos	Efecto	Media	Si
1.4.1.1	Cilindro	Ralladuras	Causa	Media	Si
1.4.1.2	Pistón	Daños Externos	Causa	Media	Si
1.4.1.3	Sellos Poliméricos	Desgaste	Efecto	Alta	Si
1.4.1.4	Vástago	Ralladuras	Causa	Media	Si
1.4.1.5	Cojinete	Desgaste	Efecto	Media	Si
1.4.2.1	Ejes	Descentramiento	Causa	Media	Si
1.4.2.2	Impulsor	Desbalanceo	Efecto	Media	Si
1.4.2.3	Puerto De Salida	Fugas	Causa	Media	Si
1.4.2.4	Rotor	Daño De Rodamientos	Causa	Baja	Si
1.4.2.5	Cuerpo	Fractura	Causa	Media	Si
1.4.2.6	Cojinete	Desgaste	Efecto	Baja	No
1.4.2.7	Cilindro	Ralladuras	Causa	Media	Si
1.4.2.8	Estátor	Desgaste	Efecto	Media	Si
1.4.3.1	Válvulas	Pérdidas De Fluido	Efecto	Baja	No
1.4.3.2	Mandos	Bloqueo De Dados	Efecto	Media	Si
1.4.3.3	Guayas	Daño De Alma/Daño Puntas	Efecto	Media	Si

1.4.4.1	Elemento De Filtración	Taponamiento	Causa	Baja	Si
1.4.4.2	Carcasa	Fractura	Causa	Media	Si
1.4.5.1	Mangueras	Rotura	Efecto	Media	Si
1.4.5.2	Racores	Daño De Rosca O Grafado	Efecto	Baja	No
1.4.6.1	Tapa De Llenado	Filtración De Partículas	Efecto	Baja	No
1.4.6.2	Mirilla	Opacamiento	Causa	Baja	Si
1.4.6.3	Tubería	Rotura	Efecto	Media	Si
1.4.6.4	Drenaje	Pérdidas De Fluido	Efecto	Baja	No
1.5.1.1	Culata	Agrietamiento	Causa	Media	Si
1.5.1.2	Válvulas	Pérdidas De Fluido	Efecto	Alta	Si
1.5.1.3	Bloque	Agrietamiento	Causa	Media	Si
1.5.1.4	Pistones	Excesos De Carbón	Efecto	Media	Si
1.5.1.5	Bielas	Daño De Casquetes	Efecto	Media	Si
1.5.1.6	Cigüeñal	Rotura	Causa	Media	Si
1.5.1.7	Volante	Desgaste	Efecto	Media	Si
1.5.1.8	Cárter	Pérdidas De Fluido	Efecto	Baja	No
1.5.2.1	Convertidor De Par	Deslizamiento De Transmisión	Efecto	Media	Si
1.5.2.2	Embrague	Atascamiento	Causa	Media	Si
1.5.2.3	Bandas	Recalentamiento	Efecto	Baja	No
1.5.2.4	Servomotor	Desalineamiento	Causa	Media	Si

1.5.2.5	Acumulador	Taponamiento	Causa	Baja	Si
1.5.2.6	Gobernador	Quemadura	Causa	Media	Si
1.5.2.7	Modulador De Vacío	Bloqueo	Causa	Media	Si
1.5.2.8	Engranajes	Fractura/Desgaste De Dientes	Causa	Alta	Si
1.5.2.9	Sensores	Quemadura	Causa	Baja	Si
1.5.2.10	Solenoide	Daño De Succión	Efecto	Baja	No
1.5.3.1	Bomba De Agua	Pérdidas De Fluido	Efecto	Media	Si
1.5.3.2	Ventilador	Rotura De Correas	Efecto	Baja	No
1.5.3.3	Termostato	Atascamiento	Causa	Baja	Si
1.5.3.4	Mangueras De Distribución	Rotura	Efecto	Media	Si
1.5.3.5	Radiador	Daño Del Panal	Efecto	Alta	Si
1.6.1.1	Acople Transmisión	Daño De Estrías	Causa	Alta	Si
1.6.1.2	Eje Conductor	Corrosión/Falta De Lubricación	Efecto	Media	Si
1.6.1.3	Acople Conducido	Daño De Estrías	Causa	Alta	Si
1.6.2.1	Engranajes	Fractura/Desgaste De Dientes	Causa	Alta	Si
1.6.2.2	Rodamientos	Atascamiento/Rotura	Efecto	Alta	Si
1.6.2.3	Guardapolvos	Rotura	Efecto	Media	Si
1.6.2.4	Funda Guía Kelly	Desgaste De Venas	Efecto	Media	Si

Tabla 7: Análisis de causas y modos de falla piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

Una vez definidos los modos de falla del equipo, se procede con la recopilación de la información productiva del equipo. De esta manera se procede a el calculo y comparación de los indicadores de clase mundial respecto a la situación actual del equipo en busca de cualquier tipo de discrepancia.

La información productiva corresponde a la cantidad de unidades constructivas excavadas y hormigonadas dentro del proyecto en desarrollo de manera diaria, durante un tiempo de evaluación de 30 días.

A continuación se encuentra el resumen de la información productiva del equipo objeto de este estudio.

DÍA	ELEMENTOS
1	1
2	2
3	2
4	2
5	2
6	1
SEMANA I	10
8	2
9	1
10	1
11	2
12	2
13	1
SEMANA II	9
15	1
16	2
17	1
18	2

19	1
20	1
SEMANA III	8
22	2
23	2
24	2
25	1
26	1
27	1
SEMANA IV	9

Tabla 8: Datos de productividad mensual piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

TOTAL	36
T. T. MTTO	26,7
\$ TOTAL	\$2.723.700,00

Tabla 9: Resumen de valores productivos piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

Habiendo determinado los valores productivos del equipo se procede a realizar el calculo de los indices de clase mundial anteriormente mencionados, con miras al posterior calculo de los indicadores propiamente dichos, a saber:

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	
HROP	184
HTMC	26,7
NTMC	9

TIEMPO MEDIO PARA REPARACIÓN	
HTMC	22,7
NTMC	7

TIEMPO MEDIO PARA FALLA	
HROP	509,68
NTMC	2

DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS	
HCAL	184
HTMN	26,7

COSTO MANTENIMIENTO POR FACTURACIÓN	
CTMN	\$2.723.700,00
FTEP	\$502.576.250,00

COSTO MANTENIMIENTO POR REPOSICIÓN	
CTMN	\$32.684.400,00
VLRP	\$753.165.000,00

TIEMPO PROMEDIO ENTRE PREVENTIVO	
NOIT	36
HROP	184
NTMP	2

TASA DE FALLA OBSERVADA	
NTMC	9
HROP	184

TASA DE REPARACIÓN	
NTMC	9
HRMC	26,7

NO CONFORMIDAD MANTENIMIENTOS	
NMPR	4
NMEX	2

SOBRECARGA SERVICIOS MANTENIMIENTO	
HMEX	26,7
HMPR	12

Tabla 10: Valores base de análisis RCM piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

7.13 Índices de Clase Mundial

De acuerdo a la información recopilada anteriormente se procede con el análisis RCM, mediante el cálculo de los indicadores de clase mundial (a saber y en orden: tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparación, tiempo medio para fallas, disponibilidad de equipos, costos de mantenimiento por facturación, costo de mantenimiento por reposición, tiempo promedio entre preventivos, tasa de falla observada, tasa de reparación, no conformidad y sobrecarga de mantenimientos), obteniendo los resultados presentados a continuación:

$$\text{TMEF} = \frac{184 + 26,7}{9} = 17,48 \quad \text{HORAS}$$

$$\text{TMPR} = \frac{22,7}{7} = 3,24 \quad \text{HORAS}$$

$$\text{TMPF} = \frac{509,68}{2} = 254,84 \quad \text{HORAS}$$

$$\text{DISP} = \frac{184 + 26,7}{184} = 85,49\%$$

$$\text{CMFT} = \frac{\$2.723.700,00}{\$502.576.250,00} = 0,54\%$$

$$\text{CMRP} = \frac{\$32.684.400,00}{\$753.165.000,00} = 4,34\%$$

TPEP	=	$\frac{36 + 184}{2}$	=	3312	HORAS
TXFO	=	$\frac{9}{184}$	=	4,89%	
TXRP	=	$\frac{9}{26,7}$	=	33,71%	
NCFM	=	$\frac{4 + 2}{4}$	=	50,00%	
SCSM	=	$\frac{26,7 + 12}{12}$	=	122,50%	

Tabla 11: Indices de clase mundial piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

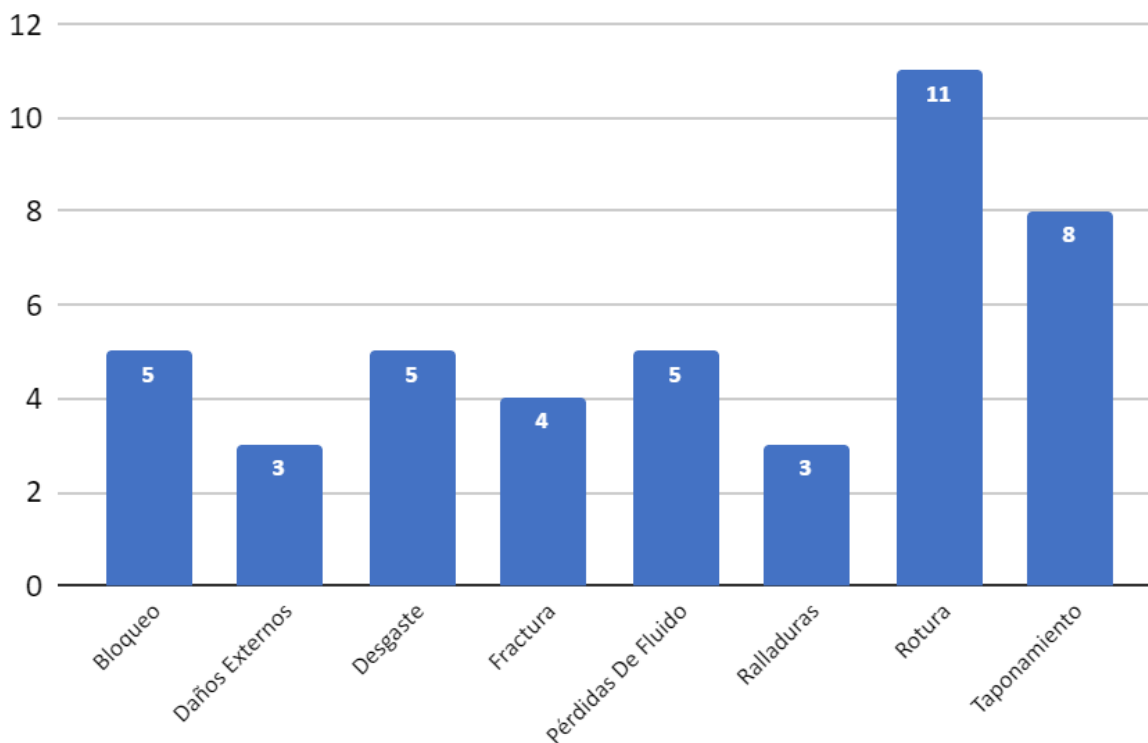


Figura 5: Ocurrencia de fallas piloteadora Link Belt LS 118 (Fuente: Propia).

Una vez identificados los modos de falla y el número de afectaciones de los mismos, se procede al diagnóstico de condiciones en cada una de las partes involucradas dentro del equipo.

Para poder realizar un análisis detallado de las afectaciones, sus características y consecuencias, se procederá a desarrollar un análisis de la información correspondiente con el personal de mantenimiento, procurando identificar y diagnosticar los modos de fallo, pudiendo establecer la manera correcta de mitigar y/o eliminar dichos eventos.

7.15 Propuesta de solución

Una vez analizada la información técnica, de rendimiento y de falla del equipo de estudio, es evidente que la compañía posee serios problemas de confiabilidad y rendimiento de cara

al cliente o usuario final. Tomando en cuenta que todos los procesos de contratación a los cuales aplica la compañía cuentan con pólizas de cumplimiento y tiempos de ejecución bastante ajustados, es imperativo mitigar y/o eliminar los tiempos muertos, las paradas no programadas y demás espacios no productivos dentro de la misma.

Teniendo en cuenta la situación evidenciada se propone la puesta en marcha del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad desarrollado por medio de este estudio, el cual se ha desarrollado con base a los resultados obtenidos durante las fases de recopilación y análisis de información puntual de los equipos propiedad de la compañía, tomando en cuenta las características de los equipos, el contexto operativo de los mismos y las necesidades especiales de la organización.

El plan de mantenimiento centrado en confiabilidad propuesto para Cimentaciones de Colombia S.A.S esta compuesto por:

7.15.1 Proceso de auditoria

La hoja de decisión consiste en un formulario dentro del cual se establecen todas las decisiones encaminadas al control y desempeño de las actividades de mantenimiento dentro de la organización. Una vez establecida y evaluada esta no podrá estar sujeta a cambios.

Debido a la naturaleza de este documento el paso inicial para la implementación del plan de mantenimiento aquí propuesto es la realización de una auditoria al mismo, donde se establezcan las necesidades de modernización o cambio de la información consignada dentro del mismo.

Se debe tener en cuenta que una vez finalice el análisis RCM, se debe realizar el proceso de auditoria con la mayor prontitud posible, estos debido a:

1. Es fundamental mantener el interés del personal involucrado en el trabajo desarrollado para la consecución del modelo RCM, a medida que pase más tiempo, este se empieza a perder.

(García Garrido, 2003)

2. Es fundamental que el porque de las decisiones y cambios adoptados este fresco al momento del proceso de auditoria, dar largas a este tema solo ocasionara futuras confusiones.

3. Cuanto antes se puedan implementar los cambios establecidos, más pronto se beneficiara la organización del modelo propuesto. (García Garrido, 2003)

7.15.1.1 *Implicaciones del proceso de auditoria*

Todo el análisis RCM desarrollado debe ser auditado por personal calificado para dicho menester, desde el punto de método y contenido (García Garrido, 2003). Dentro de este proceso se debe verificar que:

- Se haya recopilado la cantidad necesaria de información, al igual que la pertinencia de la misma.
- Que las conclusiones obtenidas sean acordes a la realidad, desde el punto de vista del activo y proceso del que el mismo forma parte.

Para esto es indispensable que el proceso de auditoria tome en cuenta los niveles de análisis realizados, las funciones de los o el activo, las fallas funcionales encontradas y descritas dentro del mismo, los modos de falla, los efectos de estas y la posterior evaluación de las consecuencias.

Una vez desarrolladas estas actividades es procedente continuar con la revisión de las tareas de mantenimiento seleccionadas, las cuales deben ser en todo caso:

1. Técnicamente alcanzables.
2. Capaces de minimizar o eliminar las consecuencias de las fallas encontradas.

Finalmente, una vez cumplidas estas consideraciones, se debe proceder a la revisión minuciosa de los intervalos iniciales establecidos para cada una de las tareas seleccionadas, los cuales nuevamente deben ser técnicamente alcanzables, sin repercutir en los costos, tanto económicos como humanos, del plan de mantenimiento.

7.15.2 Actualización de la descripción de las tareas de rutina

Una de las piezas fundamentales dentro de la implementación de un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad, así como uno de los más importantes garantes del éxito del mismo, es la correcta descripción de las tareas de rutina.

Siempre es fundamental tener en cuenta que a mayor detalle dentro de estas descripciones, menos factible es la omisión de cualquier paso o revisión dentro de cualquier tipo de intervención de mantenimiento.

Sin embargo, es imperativo tener en cuenta el nivel de experiencia, así como las habilidades generales de las personas involucradas, al momento de realizar la descripción de las mismas, pues este siempre será un factor de vital importancia de cara a la consecución de los objetivos propuestos.

Además de dar una descripción clara y detallada de la tarea a realizar, los documentos establecidos para estos menesteres deben contener (Moubray, 2004):

- Descripción e información del equipo a intervenir
- Responsable de la tarea a realizar
- Frecuencia de realización de la intervención

- Paso a paso de parada total y aislamiento del equipo, en caso de que sea necesario de cara a la intervención

- Herramientas y equipo ideal para el correcto desarrollo de la actividad descrita.

Todo esto con el objetivo ultimo del RCM en mente, la identificación de las tareas a realizar o, en otros términos, la consecución de las tareas correctas al momento de intervenir cualquier equipo o instalación, sin importar su naturaleza. (Fernández Álvarez, 2011).

7.15.3 Identificación e implementación de cambios a realizar por única vez

Es primordial dar claridad respecto a lo que implica un cambio a realizar por única vez. Dentro del contexto del RCM, el rediseño o cambio a realizar por única vez hace referencia a: (Moubray, 2004)

1. Cambio de configuración física de un activo.
2. Cambio dentro de los procesos o procedimientos operativos de la organización.
3. Cambio de capacidades o aptitudes del capital humano por medio, generalmente, de procesos de capacitación.

Al igual que con el resto de las actividades que hacen parte de la metodología RCM, los cambios a realizar por una única vez deben llevarse a cabo a la mayor brevedad posibles, eso si, después de que los mismos hayan sido aprobados por parte de los auditores del proceso.

Para que los cambios presupuestados, en la configuración física de los activos, sean adecuados y no se presenten inconvenientes de ningún tipo a raíz de estos, los mismos deben ser:

- Justificados adecuadamente
- Diseñados de manera correcta
- Implementados de manera correctamente

- Dirigidos adecuadamente.

Respecto a los cambios en las capacidades o aptitudes, es decir aquellos correspondientes al área operativa de la organización (operadores y personal de mantenimiento), la necesidad de los mismos se hace evidente para los involucrados en el proceso de análisis e implementación del modelo RCM, logrando que en su gran mayoría estos modifiquen sus comportamientos a partir del momento en el que identifican que errores se están cometiendo.

Es imperativo que se irradie el conocimiento adquirido durante el desarrollo de este proceso a aquellos que no han participado de manera directa, bien sea modificando los planes de capacitación existentes o generando espacios completamente nuevos dentro de los cuales se mitigen las problemáticas identificadas durante la fase de análisis, asegurando de esta manera la consecución de los objetivos planteados por la compañía.

7.15.4 Planes de mantenimiento y procedimientos operacionales

Plan de mantenimiento hace referencia al conjunto de intervenciones y operaciones necesarias a realizar sobre los activos de la organización, en búsqueda del cumplimiento de los objetivos de productividad y rendimiento establecidos por la misma, velando adicionalmente, por aumentar al máximo la vida útil de estos. (Tavares, 2011)

Gracias al análisis realizado a la piloteadora Link Belt LS 118, equipo objeto del estudio, y a los índices e indicadores obtenidos durante dicho proceso, se ha establecido que para este caso particular es necesario establecer los siguientes procedimientos o planes de mantenimiento:

Mantenimiento de conservación

Esta compuesto por aquellas practicas cuyo objetivo primordial es mitigar y compensar el deterioro sufrido por los equipos a causa de su uso (Fernández Álvarez, 2011).

Dentro de este podemos encontrar:

- **Mantenimiento correctivo:**

Corrección de defectos a medida que estos se van presentando en cada uno de los equipos que hacen parte de la organización.

- **Mantenimiento preventivo:**

Manutención de un nivel de servicio previamente determinado en cada uno de los equipos, mediante la programación de intervenciones apuntadas a sus puntos débiles, durante los momentos que sea han deducido previamente como los más oportunos. Es de naturaleza sistemática, Por lo cual se debe realizar incluso cuando el equipo no ha presentado ningún síntoma.

En su gran mayoría pueden ser establecidos de manera sencilla con ayuda de la documentación técnica y las recomendaciones de servicio de los fabricantes de los equipos.

- **Mantenimiento predictivo:**

Es aquel que se centra en informar de manera permanente el estado y operatividad de los equipos e instalaciones, mediante el conocimiento de determinadas variables establecidas como críticas y que son representativas del estado y operatividad de los mismos. (Fernández Álvarez, 2011).

Para el caso de particular de los equipos en posesión se establece que es necesario realizar pruebas de temperatura y vibraciones de manera periódica, pues como se expreso en el análisis taxonómico y de modo de falla, cualquier variación en alguno de estos dos parámetros es una claro indicador de que un problema se esta gestando dentro del equipo.

7.15.5 Mantenimiento de actualización

Como se menciona con anterioridad, el mantenimiento busca compensar la degradación y fallo de los equipos debido a su uso, para esto las intervenciones y actividades deben tener en cuenta:

- Disponibilidad
- Fiabilidad
- Costos
- Impacto medioambiental.

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta la planificación de cambios a realizar una única vez, de la cual hablamos en el inciso anterior, es fundamental que las modificaciones, rediseños o actualizaciones a realizar tengan como objetivo atacar las fallas que tengan consecuencias sobre cualquiera de los 4 pilares anteriormente mencionados, disminuyendo de esta manera el riesgo de las consecuencias, si no es de manera definitiva, por lo menos llevándolo a niveles tolerables. (Moubray, 2004)

Adicionalmente, es fundamental que todo rediseño o modificación sea realizada por personal altamente capacitado, evitando de esta manera que la intervención o cambio a realizar por una única vez se convierta en un punto crítico más adelante. Finalmente, estas intervenciones deben contar con un proceso de implantación estandarizado, donde se establezcan la serie de pasos a seguir para garantizar que las mismas se estén llevando a cabo de acuerdo a la forma en que se proyectaron en términos de tiempo, costos y sobre todo, calidad.

Habiendo establecido claramente los requerimientos dentro del ámbito de los planes de mantenimiento que se consideran necesarios para la consecución de los objetivos trazados, es fundamental proceder con el agrupamiento de las tareas a realizar, para lo cual se propone:

1. Añadir los procedimientos de frecuencias elevadas, que son responsabilidad de los operadores de los equipos, dentro de los procedimientos operativos del equipos, garantizando de esta manera el conocimiento total de los mismos por parte de sus directos responsables.

2. Aquellas rutinas e intervenciones que no corresponden a la categoría previamente mencionada, deberán agruparse dentro de planes y listados separados, yendo dirigidos al personal responsable de su ejecución.

7.15.6 Procedimientos estándar

Así como se establecieron documentos, metodologías y guías para la estandarización de los procesos de mantenimiento y cambios dentro de los equipos, es fundamental establecer las mismas reglas básicas para los cambios que se considere necesarios implementar en la manera de operar los equipos. Para esto se recomienda establecer e implementar los procedimientos operativos estándar, como regla, toda tarea a realizar con intervalos no mayores a una semana deben estar incluidos dentro de este documento. Aquellas tareas, responsabilidad del operador del equipos con una frecuencia mayor, deben agruparse en planes adicionales, los cuales deben organizarse, programarse y controlarse de la misma manera en la que se ha establecido para las diversas acciones a realizar. (Souris, 2011)

7.15.7 Planeamiento y control de mantenimiento

Establecidas las tareas del plan de mantenimiento y clasificadas en grupos de trabajo equilibrados, es momento de establecer la programación de las mismas de acuerdo a su frecuen-

cia de ejecución, siendo esta la manera más práctica y de mayor influencia al momento diseñar un plan de trabajo estándar.

Los programas de alta frecuencia son aquellos que se realizan con intervalos de hasta una semana 5, dentro de esta clasificación encontramos tareas de monitoreo de condición y búsqueda de fallas simples, como es de esperar, son tareas livianas y pueden ser realizadas de manera rápida, por lo cual pueden realizarse sin necesidad de detener el equipo y por ende no implican ningún tipo de afectación a la productividad de la organización.

A pesar de su sencillez y aparente poca importancia, los programas de alta frecuencia constituyen la columna vertebral de una administración de mantenimiento exitosa.

Por su parte los programas de baja frecuencia consisten de aquellas intervenciones u operaciones que se hacen con intervalos de un mes o más. (Moubray, 2004)

Dentro de esta categoría encontramos aquellas intervenciones que implican una mayor cantidad de trabajo y por esta misma razón requieren de mayor tiempo para ser realizadas, lo cual a su vez, como norma general, significa la parada total del equipo para su ejecución.

Los programas de baja frecuencia necesitan de sistemas de planeación y control mucho más complejos que los necesarios en los de alta frecuencia.

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta las características operativas de los equipos dentro de Cimentaciones de Colombia S.A.S, se propone la creación de 3 grandes agrupaciones de programas, a saber:

1. Programas realizados por los operadores de los equipos:

Debido a la cantidad de tiempo que pasan los operarios junto al equipo, son el personal ideal para realizar la gran mayoría de las tareas de diagnóstico de condición y búsqueda de fallas dentro de los mismos.

Es por esto que se propone incorporar los controles de mantenimiento dentro de los procedimientos operativos estándar (recomendación plasmada en incisos anteriores), adicionalmente es ideal instalar el programa de intervenciones responsabilidad del operador dentro de la cabina de la maquina para que este pueda ser visto en cualquier momento, finalmente y como se recomendó con anterioridad, es fundamental capacitarlos de manera que las inspecciones a realizar por su parte se conviertan en algo natural, sin caer en la realización mecánica o automática de las mismas.

2. Programas de alta frecuencia realizados por el departamento de mantenimiento:

Así como es posible que los operadores realicen muchas de las tareas de alta frecuencia del programa, es indiscutible que, debido al nivel de preparación técnica, así como al enfoque laboral, muchas de estas actividades deben ser realizadas por personal del departamento de mantenimiento. Teniendo en cuenta que el personal de mantenimiento debe atender un mayor número de maquinas y que las actividades a realizar por ellos son de una mayor complejidad, es importante establecer los parámetros de operación necesarios para el correcto desarrollo de estas actividades. Para ello se recomienda establecer un checklist donde se listen los programas a realizar, los cuales vayan divididos de ser posible en intervalos periódicos, es decir días alternados, dos veces por semana o según se considere prudente.

Al establecer estas frecuencias, así como las características básicas del checklist, podemos generar planes programados que se emiten una vez a la semana y nos permite establecer un sistema de planeación casi automático, garantizando así el correcto cuidado y funcionamiento de los equipos.

3. Programas de baja frecuencia realizados por el departamento de mantenimiento:

De acuerdo al contexto operativo de los equipos de la organización se recomienda establecer un planeamiento basado en el tiempo funcionamiento, es decir basándose en los intervalos de mantenimiento recomendados por los fabricantes de los equipos. Como norma general tenemos intervalos de 250 horas de uso del equipo, una vez transcurrido este periodo de tiempo se procede a realizar una parada programada del mismo, una inspección detallada de los sistemas y subsistemas que lo componen, así como el cambio de los fluidos y consumibles que así lo requieran o hayan sido establecidos por el fabricante. Para desarrollar una programación adecuada de estas actividades se debe tener en consideración:

- Picos y valles del ciclo productivo del equipo.
- Equipos cuyos ciclos de parada o necesidades especiales sean simultaneas (Paradas múltiples).
- Casos especiales en los que la parada del equipo a intervenir cause la detención o parada no programada de un equipos adicional.

De acuerdo a lo anterior, para la organización y planeación adecuada de las intervenciones mencionadas con anterioridad es necesario preparar un listado donde se evidencian los programas próximos a vencer (una semana de antelación es suficiente), separándolos por equipos y especialidad. Una vez identificadas las tareas a desarrollar, así como los tiempos disponibles para

hacerlo, se procede a realizar un comité o reunión con el área productiva donde se acordaran los momentos adecuados para llevar a cabo las detenciones necesarias sin afectar las actividades.

Finalmente se recomienda la publicación de los programas de mantenimiento, así como sus respectivos calendarios de manera que sea sencillo coordinar la realización de las actividades.

7.15.8 Reporte de fallas y defectos

Asegurando que las tareas y actividades del plan de mantenimiento se lleven a cabo, es momento de dar el mismo tratamiento al reporte de las fallas y desperfectos que se vayan encontrando en el día a día. Para ello se propone la creación de un mecanismo de reporte instantáneo de este tipo de situaciones (encuesta vía Google, documentos en la nube a los que se tenga fácil acceso, entre otros), donde el personal encargado de la operación de los equipos sea además la encargada de su manutención y puede realizar un reporte rápido del estado operativo del equipo, dando la posibilidad de que la situación se rectifique antes de que se convierta en un falla funcional y a su vez, antes de que la falla funcional se convierta en una posible falla múltiple.

La velocidad y precisión de respuesta ante estas notificaciones son el principal motivo por el cual es imperativo capacitar al personal operativo como personal de mantenimiento básico (recomendación previamente realizada). Se debe tener en mente que los criterios que deben dirigir esta clase de sistemas de reporte son la simplicidad, la accesibilidad y la velocidad (Moubray, 2004), de lo contrario se estaría incurriendo en trabajo adicional que no representaría ningún tipo de ganancia.

Sin embargo, en los casos especiales para los cuales no sea viable la inclusión de los activos dentro del plan de mantenimiento basado en confiabilidad, debido a que la condición actual

del equipo no permitirá alcanzar los resultados esperados, dentro de los rangos de tiempo y costos considerados como prudentes, se propone:

7.15.9 Actualización de la planta mecánica de la compañía

Teniendo en cuenta que algunos de los equipos propiedad de la organización cuentan con un largo historial de vida, superando con creces con la media establecida a nivel mundial para máquinas de su tipo, se propone, que una vez se hayan obtenido los resultados correspondientes a los análisis de ciclo de vida y vida útil de las mismas, se identifiquen aquellas cuya condición sea irrecuperable, se proceda a realizar la disposición y baja como a bien tenga la gerencia de la organización, para dar pie al ingreso de equipo de reemplazo más moderno que permita mantener los niveles de confiabilidad y rendimiento en los niveles deseados.

Una vez actualizados los equipos que así lo ameriten, estos entraran a hacer parte del plan maestro de mantenimiento de la compañía bajo las nuevas directrices impuestas al área encargada.

Estas dos soluciones hacen parte de un plan integral de trabajo y modernización, pues aunque es ideal contar con equipos de última tecnología, es evidente que la inversión a realizar, así como las medidas administrativas para alcanzar esta meta, lo convierten en un objetivo a mediano plazo.

En vista de la situación actual de la empresa, es necesario tomar medidas cuyos resultados se vean a corto plazo, pues la rentabilidad y confiabilidad de las operaciones de la compañía descansan sobre los equipos de la misma, sean estos nuevos o no.

8 Impactos esperados y alcanzados

8.1 Impacto Esperado

La implementación de un programa de mantenimiento basado en RCM trae consigo numerosos retos, pero a su vez genera una serie de beneficios de gran valor para la organización, los cuales dependen netamente del correcto desarrollo de la metodología establecida. De acuerdo a la puesta en marcha y al cumplimiento de los parámetros establecidos dentro del plan, se esperan:

8.1.1 Mejoras en la seguridad

Se busca identificar, categorizar y evitar a toda costa la ocurrencia de fallas, las cuales por naturaleza pueden ocasionar daños al personal implicado en las labores de operación y cuidado de los equipos. Al trabajar efectivamente en la prevención de fallas, se está trabajando de igual manera en la prevención de riesgos de manera sumamente eficiente, lo cual implica, indudablemente una mejora en la seguridad de la organización.

8.1.2 Mejoras en el impacto ambiental

Al igual que en el párrafo anterior, al trabajar activamente evitando la ocurrencia de fallos, los cuales en su gran mayoría representan algún tipo de daño para el medio ambiente, se está disminuyendo la huella medio ambiental de las actividades de la compañía, lo cual es, desde cualquier punto de vista, algo positivo.

8.1.3 Aumento de la productividad

Gracias a que todos los esfuerzos de mantenimiento se centrarán en mantener los niveles de falla lo más bajos posible, hasta lograr alcanzar valores cercanos a cero, indudablemente los niveles de producción de la organización aumentarán de manera paulatina hasta alcanzar cotas insospechadas.

A medida que las labores, procedimientos y prácticas se vuelvan más rigurosas, dichos niveles continuarán aumentando, mientras que los valores de manutención iniciarán un proceso de disminución, incrementando de esta manera las ganancias operativas de la organización

8.1.4 Aumento de confiabilidad

Como se presentó en el inciso anterior la disminución de las paradas inesperadas, las fallas y demás tiempos muertos, constituye la razón de ser del RCM, que como su nombre lo indica está basado en la confiabilidad (Reliability).

8.1.5 Disminución de costos de mantenimiento

El mantenimiento centrado en la confiabilidad busca determinar aquellos equipos en los cuales el mantenimiento sistemático es realmente necesario y aislarlos de aquellos que no requieren dicho tipo de intervenciones. Al conseguir este tipo de diferenciación es posible conseguir disminuciones significativas en los costos asociados a las labores de mantenimiento, debido a esto y como se indicó con anterioridad, es indispensable perfeccionar las labores de intervención y manutención dentro de la organización.

8.2 Impacto Generado

La puesta en marcha de las actividades establecidas dentro del plan de mantenimiento basado en confiabilidad para Cimentaciones de Colombia S.A.S ha permitido:

1. La obtención de planes de mantenimiento posibles de realizar, así como adecuados a las condiciones operativas de los activos, lo cual a su vez ha desencadenado en el mejoramiento de los tiempos de respuesta y de intervención, pues se ha logrado eliminar de manera consecuen- te aquellas tareas que no son relevantes o que debido al volumen de información adicional, no re- levante, se estaban dejando de lado.

2. Dar un mayor peso e inclusión a los operadores de los equipos dentro de las activi- dades de mantenimiento de los equipos. Todo esto desde el punto de vista de que son los opera- dores el personal de la compañía que más tiempo pasa junto al activo y es por lo tanto, un esla- bón fundamental en el proceso de manutención y cuidado de los mismos.

3. Establecer una lista detallada de aquellos activos que requieren de cambios de una sola vez como parte del plan de mantenimiento de actualización, todo esto gracias al análisis ta- xonómico y de modo de falla de los equipos, los cuales han permitido establecer de manera clara las vulnerabilidades de los mismos, así como las posibilidades de eliminarlas.

De manera adicional a los 3 puntos anteriormente mencionados, es importante resaltar que todas las personas involucradas en este proceso han aprendido mucho acerca del funciona- miento y correcta operación de los activos de la compañía, por lo cual el desarrollo de este estu- dio a permitido mejorar de manera paralela la capacidad técnica del capital humano de la organi- zación, así como la capacidad de trabajo en equipo del mismo.

9 Análisis Financiero

La disminución en la utilidad que ha venido presentando la compañía en los últimos años ha sido millonaria por la falta de disponibilidad de los equipos para el desarrollo de los proyectos en los que se ha tenido participación.

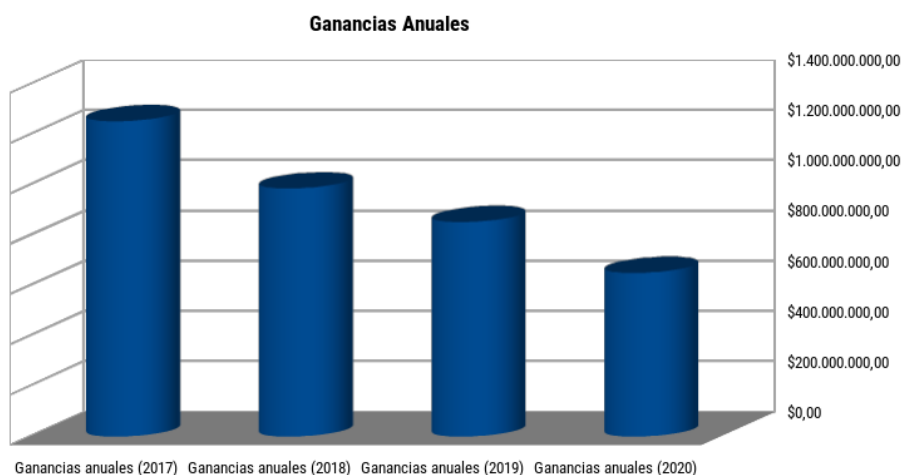


Figura 6: Ganancias anuales Cimentaciones de Colombia SAS (Fuente: Propia).

2020	\$ 651'100.200
2019	\$ 853'321.981
2018	\$ 987'243.440
2017	\$ 1'254'367.954

Tabla 12: Ganancias anuales Cimentaciones de Colombia SAS (Fuente: Propia).

Se evidencia que las pérdidas anuales son en promedio de \$200'000.000, con la implementación de esta estrategia de mantenimiento se busca recuperar este margen de ganancias en los proyectos en los que proyectan para los años venideros.

Debido a la falta de planeación y ejecución de mantenimiento se deben intervenir los equipos de manera correctiva hasta en 8 ocasiones en un mes acarreando costos por alrededor de \$20'000.000; los que generan retrasos en la ejecución y entregas de las obras y proyectos. Identificados estos mantenimientos correctivos se puede identificar que pueden presentar gastos de mantenimiento anual por proyecto de \$240'000.000.

Definida la propuesta para la compañía se puede evidenciar una reducción aproximada de costos por mantenimiento en un 32% (\$76 '950.000).

A continuación, se presentan los costos de implementación de mantenimiento para la compañía Cimentaciones de Colombia SAS, aplicada a la piloteadora Link Belt LS 118 durante un año; en esta tabla se presentan el factor de talento humano, junto con las políticas y objetivos de esta implementación de mantenimiento.

COSTOS DE IMPLEMENTACION		
COSTOS PRESTACIONALES	SALARIO MENSUAL	SALARIO ANUAL
INGENIERO DE MANTENIMIENTO	\$ 3.250.000	\$ 39.000.000
PLANEADOR DE MANTENIMIENTO	\$ 2.500.000	\$ 30.000.000
TECNICOS DE MANTENIMIENTO(2)	\$ 3.600.000	\$ 43.200.000
AUXILIAR ADMINISTRATIVO	\$ 2.200.000	\$ 26.400.000
TOTAL COSTOS ANUALES PRESTACIONALES	\$ 90.600.000	\$ 138.600.000
IMPLEMENTACION DE NUEVAS POLITICAS Y OBJETIVOS DE MANTENIMIENTO		COSTO
DIAGNOSTICO DEL EQUIPO		\$ 1.000.000
ANALISIS DE CRITICIDAD DEL EQUIPO		\$ 1.000.000
TAXONOMIA DEL EQUIPO		\$ 950.000
AMEF		\$ 3.250.000
PLANEACION DE TAREAS PARA RUTINAS DE MANTENIEMIENTO		\$ 3.250.000
CAPACITACION DE MANTENIMIENTO		\$ 10.000.000
DISEÑO Y ELABORACION DE PLAN DE MANTENIMIENTO		\$ 5.000.000
TOTAL DE COSTO DE IMPLEMENTACION		\$ 163.050.000

Tabla 13: Costos de implementación de plan de mantenimiento basado en RCM (Fuente: Propia).

Los costos de la implementación presentados anteriormente evidencian las acciones de mantenimiento que se realizará junto con el equipo de mantenimiento durante un año; el factor humano que estará al frente de esta labor de mantenimiento estará conformada por un ingeniero de mantenimiento, un planeador de mantenimiento, dos técnicos de mantenimiento y un auxiliar administrativo, este equipo de trabajo será el encargado de monitorear y velar por el cumplimiento de todas las actividades de mantenimiento.

Este equipo tendrá una capacitación para reforzar y tratar de mitigar las falencias que se presentan en el desarrollo de los mantenimientos correctivos.

9.1 Retorno de la Inversión

Con el capital invertido se puede hacer una evaluación de ROI (retorno de la inversión) con la finalidad de medir el rendimiento, el ROI está definido de la siguiente manera:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{inversion}}{\text{inversion}}$$

En la siguiente tabla se encuentra la información para realizar el cálculo ROI:

Costo de Implementación (Inversión)	\$ 163'050.000
Beneficio (costo mantenimiento y ganancias)	\$ 76'950.000+\$ 200'000.000

Tabla 14: Valores para cálculo ROI (Fuente: Propia).

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{inversion}}{\text{inversion}}$$

$$ROI = \frac{\$ 276.950.000 - \$ 163.050.000}{\$ 163.050.000} = 70$$

El retorno de la inversión quedará definido por 70% de la inversión inicial con esta implementación no se obtiene una gran cantidad de retorno de la inversión pero se esperan obtener un aumento en las ganancias por el desarrollo de los proyectos, con las mejoras puntuales en la aplicación de los mantenimientos y en la posibilidad de implementar estas y otras estrategias a mas activos de la compañía, y generar la confianza y fiabilidad con la que se desarrollaban y ejecutaban los trabajos en años anteriores.

9.2 Análisis Costo / Beneficio

Adicional al retorno de la inversión se realiza una apreciación para definir el beneficio respecto al costo de la inversión de esta implementación, donde se define este indicador de la siguiente manera y con la información presentada anteriormente.

$$\frac{\textit{beneficio}}{\textit{costo}} = \frac{\$ 276.950.000}{\$ 163.050.000} = 1.7$$

Con un costo beneficio de 1.7 estamos ratificando que la inversión en de esta implementación es aceptable ya que los beneficios superan el costo.

10 Conclusiones y Recomendaciones

10.1 Conclusiones

Se realizó un diagnóstico completo y preciso de la situación actual de los equipos, tomando como objeto de estudio la piloteadora Link Belt LS 118 e irradiando el conocimiento e información adquirida a los demás activos de la compañía. El estudio consistió en el análisis taxonómico, el establecimiento de límites del equipo, al análisis de los modos y causas de falla, así como el posterior cálculo y diagnóstico de los diversos índices e indicadores de clase mundial correspondientes a un estudio RCM.

Para poder realizar una investigación exhaustiva, se investigaron las diversas normativas aplicables a el caso de estudio aquí plasmado, adicionalmente se realizó una búsqueda a profundidad de casos similares, tanto a nivel nacional como internacional, de manera que se pudieran realizar ajustes o mejoras al proceso investigativo que se encontraba en desarrollo, todo esto con el fin de establecer bases sólidas sobre las cuales construir un plan de mejora.

Finalmente y gracias a los pasos anteriormente mencionados fue posible desarrollar una metodología de mantenimiento basado en confiabilidad acorde a las necesidades puntuales de Cementaciones de Colombia S.A.S, el cual junto con sus respectivas recomendaciones y aclaraciones, en su fase de implementación a permitido aumentar los valores de confiabilidad de sus valores iniciales (47%) hasta un prometedor 70 %, evidenciando la eficacia de las medidas aquí recomendadas.

10.2 Recomendaciones

Aunque dentro de la propuesta de solución se encuentran plasmadas todas y cada una de las recomendaciones que se consideran necesarias para la consecución de los objetivos planteados, es importante plasmar dentro de este espacio un resumen corto de las mismas, como es:

1. Elaborar un proceso de auditoria al plan de mantenimiento basado en RCM recomendado para la compañía.
2. Realizar la actualización de las descripciones de todas y cada una de las tareas que componen las rutinas de mantenimiento, adicionalmente identificar todos y cada uno de los cambios a realizar por única vez como parte de la sección de mantenimiento de actualización dentro del plan establecido.
3. Generar los planes de mantenimiento y los procedimientos operacionales que se consideren necesarios teniendo en cuenta todas y cada una de las recomendaciones mencionadas en el presente documento.
4. Establecer los sistemas de planeación y control de los planes de mantenimiento de alta y baja frecuencia de acuerdo a la información registrada en sus respectivos apéndices, teniendo siempre en mente el objetivo último del estudio.
5. Estandarizar todos y cada uno de los procesos operativos, mediante la inclusión, de acuerdo a las recomendaciones realizadas, de las actividades de alta frecuencia que son responsabilidad de los operadores de los equipos.
6. Aplicar, previa autorización por parte de la auditoria del proyecto, todos los cambios a realizar por única vez de acuerdo a los estándares previamente establecidos.

7. Finalmente, crear los procedimientos y vías de comunicación necesarias para el reporte y corrección de fallos, teniendo en cuenta que representa una de las mejoras más significativas de cara a la consecución del aumento de productividad, confiabilidad y disminución de las fallas que tanto daño están ocasionando a la organización.

11 Bibliografía

- Fernández Álvarez, E. (2011). *Gestión de Mantenimiento: LEAN Maintenance & TPM* (6). Universidad de Oviedo.
- García Garrido, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento* (5; 2.^a ed.). Díaz de Santos S.A.
- González Fernández, F. J. (2011). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado* (2; 2.^a ed., Vol. 1). Fundación Confemetal.
- Moubray, J. (2004). *RCM II: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (8; 3.^a ed.). Aladon ITD.
- Sánchez, F., Pérez, A., Sancho, J., & Rodríguez, P. (2006). *Mantenimiento Mecánico de Máquinas* (3; 3.^a ed.). Biblioteca Universitat Jaume I.
- Seguas Aire Comprimido y Frio Industrial. (2018). La importancia del mantenimiento en instalaciones industriales. *Blog Seguas*. <https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/>
- Souris, J.-P. (2011). *El Mantenimiento: Fuente de Beneficios* (4; 3.^a ed.). Díaz de Santos S.A.
- Tavares, L. (2011). *Administración Moderna de Mantenimiento* (7; 3.^a ed.). Novo Polo Publicacoes.
- Erazo Cerón, D. A., & Martínez Córdova, N. L. (2012). Programa de Mantenimiento para la Flota de Unidades de Transporte Cóndores del Valle y Diseño de la Planta de su Taller Automotriz. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4634>
- Duran, O., y Ugarte, R. Desarrollo de un sistema de simulación de la gestión de repuestos reparables. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

- Hung, A. (2009) Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC. Energética. Volumen 2. 13-19 páginas
- Machiavelo, V. Introducción a los análisis de árboles de fallas. Risk Software. Vol.141. 23 páginas. Recuperado de: <https://machiavelo.files.wordpress.com/2011/08/analisis-de-arboles-de-falla-fta.pdf>
- Torres, A., Perdomo, M., Fornero, D. y Corcuera, R. (2010). Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad a la central nuclear de embalse. Nucleus. Número 47 .24-29. Páginas
- Viveres, P., Stregmair, R., Krisjanpoller, F., Barbera, L., y Crespo. A. (2012). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Revista chilena. Vol. 21. 125-138 páginas.