

Propuesta de un sistema de gestión de inventario de repuestos a partir de la generación de un plan de mantenimiento para tractores 6403 John Deere en un ingenio azucarero del Valle del Cauca

Proposal of a spare parts inventory management system based on the generation of a maintenance plan for tractors in a sugar mill in Valle del Cauca

Carlos Armando Barrera Gualguán¹

carlos.barrera00@usc.edu.co

Brayan Alirio Mena Cardoza

brayan.mena00@usc.edu.co

M.Sc. Martínez Escobar Nathaly

Nathaly.martinez00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial] (1)

Resumen

En el mundo se tiene un gran desafío asociado a la competitividad en las organizaciones, y estas para poder afrontarlo generan acciones encaminadas a incrementar la productividad, por medio del uso óptimo de sus recursos, capacitación de la mano de obra, entre otras, pero también se encuentran casos en donde por priorizar la productividad, algunas áreas pasan a un segundo plano y no son controladas de la misma forma, tal es el caso del área de mantenimiento. Cuando se estudian los programas de mantenimiento en las plantas productivas, se encuentra que las empresas tradicionales pasan más del 55% de su tiempo en mantenimiento correctivo (reparando equipos después de la falla) y otros 35% cambiando piezas que creen que están por romperse porque ya pasaron las horas que consideran normales. Este es el mantenimiento más costoso que se conoce. Requiere un stock o inventario de piezas, personal disponible y personal de producción desocupado mientras se corrige el problema.

En el presente trabajo, se estudió el caso del mantenimiento de los tractores en un ingenio azucarero en la región del Valle del Cauca, en donde por causa de un mantenimiento inadecuado, acompañado de la falta de gestión de repuestos, los equipos presentan paros parciales y totales. Para ello se implementó una propuesta que integra la metodología RCM y la gestión de inventarios, de tal manera que se pudo jerarquizar la importancia de los ítems de repuestos por medio del RCM de acuerdo a la prioridad en las fallas, posteriormente se analizó el comportamiento de la demanda para determinar el método de pronóstico que mejor se ajustara, con ello se definió una política adecuada a la compañía, que en este caso fue la (R, S).

Palabras Clave: Mantenimiento, Gestión de Inventarios, Ingenio Azucarero.

Abstract

In the world there is a great challenge associated with competitiveness in organizations, and these in order to cope with it generate actions aimed at increasing productivity, through the optimal use of their resources, training of the workforce, among others, but also there are cases in which to prioritize productivity, some areas go into the background and are not controlled in the same way, such is the case of the maintenance area. When studying the maintenance programs in the production plants, it is found that the traditional companies spend more than 55% of their time in corrective maintenance (repairing equipment after the failure) and another 35% changing parts that they think are about to be broken because They have already spent the hours they consider normal. This is the most expensive maintenance that is known. Requires a stock or inventory of parts, available personnel and unoccupied production personnel while correcting the problem.

In the present work, the case of the maintenance of the tractors in a sugar mill in the Valle del Cauca region was studied, where due to inadequate maintenance, accompanied by the lack of spare parts management, the teams have partial stoppages and totals For this, a proposal was implemented that integrates the RCM methodology and the inventory management, in such a way that the importance of the items of spare parts could be ranked by means of the RCM according to the priority in the failures, afterwards the behavior of the the demand to determine the forecasting method that best fits, with this an appropriate policy was defined for the company, which in this case was (R, S).

Keywords: Maintenance, Inventory Management, Sugar Mill.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se desarrolla en un Ingenio Azucarero, el cual fue fundado en el año 1926, el ingenio cuenta con departamentos, entre los que se destacan, el departamento de maquinaria y equipos, el cual funciona como prestador de servicios de mantenimiento y reparación de maquinaria agrícola, como de vehículos livianos. Cuenta con un talento humano idóneo capacitado y competente para cualquier servicio que se necesite en la reparación y mantenimiento de todos sus componentes, con un amplio parque automotor y una excelente infraestructura, se constituye en la organización vanguardista con la calidad, accesibilidad, confiabilidad y seguridad de todos sus empleados.

El departamento de maquinaria y equipos cuenta con 95 tractores de los cuales 45 de ellos están en la sección de cosecha y los 50 restantes están disponibles para las labores de campo o preparación de tierras, compostaje y del patio del ingenio. Entre los tractores disponibles en cosecha se reparten en 7 alces propios del ingenio donde 6 son de corte mecanizado y 1 de corte manual teniendo a su servicio 4 tractores, cada alce mecanizado cuenta con el servicio de 6 tractores por alce y los 5 restantes quedan, ya sea en patio como disponible o en el mayor de los casos, en reparaciones en el taller.

Este estudio solo se enfoca en un tipo de modelo y para ello se ha escogido la serie John Deere 6403, un tractor de la serie que reúne las cualidades más importantes de una máquina versátil, resistencia con bajo costo de mantenimiento y economía de combustible con baja emisión de contaminantes. (Deere j. , 2018). Un equipo que actualmente tiene en su labor de cosecha como prioridad, el despaje de las suertes (terreno destinado a la siembra de caña), en los cortes de caña tanto en las suertes propias del ingenio como en las de los proveedores; este tractor es de gran importancia, ya que es el fundamental en la limpieza del terreno, o la eliminación de la hoja de caña ya que debajo de esta se encuentran residuos de caña y las personas encargadas de reparar estos terrenos, son quien hacen esta labor para que las suertes queden totalmente óptimos para su siguiente preparación, por eso se escogió este modelo entre los demás tractores porque solo se cuentan con 6 de este mismo modelo debido a que relativamente son equipos que llevan operando solo 3 años y son los que se adecuan al estudio, donde por medio de su hodómetro se le puede iniciar un estudio y determinar a qué tiempo una pieza pueda fallar y se puedan determinar los respectivos mantenimientos. Solo un alce cuenta con un despajador de marca diferente (Tractor case).

Cuando este equipo se encuentra fuera de servicio se retrasan las diferentes labores de campo, ya que después de la cosecha y de los despajes, vienen las labores de abono y riego de las hectáreas que ya fueron cosechadas. En un promedio mensual, este equipo o los 5 con los que cuenta la empresa aproximadamente generan costos de mantenimiento por un valor de \$202.758.327,12 al mes.

En la siguiente información se puede observar los equipos con sus determinadas horas de trabajo.

Imagen 1. EQUIPOS 6403 JOHN DEERE EXISTENTES EN EL INGENIO.

N° INTERNO	DENOMINACION	MODELO	HORAS
IP929622	TRACTOR 6403 MFWD C/MOT 4045T	2015	8.042
IP929623	TRACTOR 6403 MFWD C/MOT 4045T	2015	7.889
IP929624	TRACTOR 6403 MFWD C/MOT 4045T	2015	9.701
IP929924	TRACTOR 6403 MFWD C/MOT 4045T	2015	7.980
IP930477	TRACTOR 6403 MFWD C/MOT 4045T	2016	6.608

(Fuente Propia)

Por su parte, las organizaciones realizan sus presupuestos anuales limitando cada vez más la inversión en activos y repuestos, y dedicando la mayor parte de sus recursos financieros a las áreas productivas, es por ello que se generan paro de los equipos, cuellos de botella, manejos ineficientes de inventario y de planes de mantenimiento para urgencias. Y es en esta parte donde cabe resaltar y evaluar los costos de operación o uso de maquinaria agrícola adecuadamente, es muy importante ya que en cultivos agrícolas estos costos pueden representar desde un 30% a un 40% de costo total de producción. (Roberto Velazco, 2007)

Por esta razón, algunas empresas bien constituidas deciden tener dentro de su estructura organizacional la división de ingeniería de fábricas, este término se utiliza para denotar un área global de la empresa que incluye subdivisiones de mantenimiento, operación proyectos, producción, calidad y otros afines, otorgándole así sería importancia a los procesos de mantenimiento para un óptimo desempeño. (Mora Gutierrez, 2009)

Además, si se observa las empresas más exitosas, se encuentra que están utilizando mantenimiento basado en condiciones. Como ejemplo al tema de mantenimiento vehicular, podemos tener como referencia la empresa Bucaneros, donde se cuenta con políticas claras de este plan de mantenimiento, como el preventivo y el correctivo donde cuentan con 253 unidades de transporte del cual se tiene una disponibilidad del 96% de sus flotas en promedio, del cual el mantenimiento preventivo que se le hace es del cercano al 80% lo que nos indica que la eficiencia en su plan de mantenimiento es óptima. (Ivan, 2014)

Para este tiempo es muy importante considerar la misión que tiene el mantenimiento en los equipos, las labores que allí se realizan permiten establecer la continuidad de la operatividad de los procesos, por tanto, una buena gestión debe ser desarrollada, diversos autores han afrontado el tema, proponiendo no solo teorías basadas en la experiencia, sino que también desarrollan modelos complejos que buscan considerar variables específicas asociadas a la naturaleza de cada tipo de organización.

Por tanto, una de las principales consecuencias de no tener un plan de mantenimiento para una empresa, es el daño en los componentes de los equipos; todo equipo o parte de alguna máquina susceptible de provocar un fallo crítico debería estar respaldado con su correspondiente repuesto en el almacén, en condiciones deseadas, en el caso de que así no fuera entonces habría que preguntarse ¿Qué sucede cuando el repuesto no está disponible o ha dejado de existir en el almacén?

Los equipos que son de apoyo cuentan con planes de mantenimiento, pero esto no es suficiente, en la actualidad no se siguen y los equipos presentan continuos paros de operación, por tanto, se debe contar con un plan acorde a la necesidad del departamento de maquinaria, específicamente los tractores.

Al analizar las causas del paro de los equipos, se encuentra que en muchas ocasiones un vehículo queda inhabilitado por daño en una manguera, o por piezas que debido a las condiciones normales de operación se hace necesario reemplazar, adicionalmente, no se lleva un estricto control de seguimiento a los equipos buscando minimizar paradas no programadas, también se llega al punto, que las máquinas quedan deshabilitadas a la espera de que se realicen solicitudes de pedido al área de Logística y que el pedido cumpla su ciclo y llegue al usuario en estos datos proporcionados por costos se puede observar cuanto es el valor por el alquiler de un tractor despajador de hoja de caña para un solo mes

Cobro alquiler despajador por un mes.

Despajes por hectárea	\$ 63.893	
Promedio de hectáreas despajadas día (1 turno)		10 x 2 = 20
2 turnos	\$ 1.277.860	
30 días	\$ 38.335.800	cobro por un despajador alquilado mes.

Se puede ver claramente que los valores por alquiler son por labor donde en promedio se limpian 10 hectáreas, por turno y donde vemos que a 30 días el costo se incrementa considerablemente, cuando la empresa deja de disponer de equipos propios.

Se han presentado casos en donde la cantidad de días que los equipos llevan en el taller debido a reparaciones bien sea por repuestos o por arreglos de terceros equivale a un total de 2089 días, donde aparecen semirremolques, cosechadoras,

remolques y tractores como los de más tiempo de duración en taller. Por otro lado, el mes de enero del 2017 en la generación de pedidos, se presentó que un 68% de los pedidos, están con retraso por parte del proveedor y el 32% restante aún no tiene orden de compra ya que aún no se autoriza tal pedido, agravando más la disponibilidad de los equipos.

En esta investigación es necesario proponer un sistema de gestión de inventario de repuestos a partir de la generación de un plan de mantenimiento para tractores John Deere 6403 en un ingenio azucarero del Valle del Cauca, para ello se debe caracterizar el sistema general de equipos tractores modelo John Deere 6403 del ingenio azucarero con el fin de determinar las necesidades existentes, y con ello generar el plan de mantenimiento considerando las características de los equipos de tal forma que se ajuste al estado actual, para poder definir la política de gestión de inventario de repuesto para los tractores en un ingenio azucarero incluyendo lo establecido en el plan de mantenimiento.

2. METODOLOGÍA

Los investigadores de todas las disciplinas se preocupan por dos conceptos: La teoría y las evidencias. El contexto teórico suele basarse habitualmente en referencias bibliográficas, mientras que las evidencias pueden ser recopiladas a partir de herramientas tales como el estudio de casos, los cuestionarios o las entrevistas. Otros sugieren que los modelos propuestos que deben surgir de la necesidad de contemplar el mantenimiento desde el contexto estratégico y operacional existente. Esto se consigue atendiendo a una serie de aspectos reales (no contemplados en otros modelos) necesarios para convertir un modelo teórico en un modelo real de gestión de mantenimiento. Así, el modelo tiene en cuenta las restricciones reales que podrían limitar el diseño de los planes de mantenimiento preventivo y los recursos necesarios para ello. También considera el proceso de selección de repuestos críticos (costos de inventario vs costos de disponibilidad de equipos críticos) y la afectación positiva de las e-tecnologías (e-maintenance) en la gestión moderna del mantenimiento a nivel global. (Pablo Viveros, 2013) .

La empresa en la cual se realizó este trabajo se desarrolló bajo un modelo de gestión de mantenimiento que debe ser eficaz eficiente y oportuno es decir debe estar alineado con los objetivos impuestos en base a las necesidades de la empresa minimizando los costes de mantenimiento asociado con la pérdida de tiempo de paro en el taller y a su vez deberá ser capaz de operar y minimizar los costos (minimizando los costos directos de mantenimiento). Generando a su vez actividades que permitan mejorar los indicadores claves del proceso de mantenimientos asociados a mantenibilidad y confiabilidad. Como primera vista se efectuó un proceso analítico con el fin de conocer los procedimientos que allí se tienen para los procesos de inventarios de repuestos y mantenimiento.

Después de ese análisis se recurrió a la entrevista por medio de encuestas al personal que allí labora, para indagar los principales problemas que afectan según sus vivencias o experiencias. También se consultó con el ingeniero encargado de la sección donde se explicó de forma detallada, los debidos procesos en la ejecución del mantenimiento y de cómo se realizan los pedidos de repuestos con el departamento de logística.

Considerando las características y especificaciones del fabricante se consultó con un técnico encargado de la marca John Deere sobre los requerimientos que se deben llevar en el mantenimiento y proporcionó documentación exacta sobre los mantenimientos y horas en las cuales se deben efectuar para el modelo 6403.

De igual manera se entrevistó una persona encargada en compras de como es el debido proceso a la hora de llevar los registros de stock en los inventarios, y como manejan los ítems cuando un repuesto no se ha pedido o no existe en el sistema, debido a esto solo se pudo obtener datos descriptivos donde solo aparecen las solicitudes de repuestos a las órdenes de trabajo.

Recopilando toda la información y de los diferentes problemas que han tenido a la hora de realizar los mantenimientos y de que no son los más adecuados, se eligió la herramienta utilizada en las empresas industriales y donde se puede adaptar en los mantenimientos del sector automotriz, RCM.

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas (Tecnología, 2012).

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en un taller agrícola es aumentar la fiabilidad de los equipos, es decir, disminuir el tiempo de parada de los mismos por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de reparación y mantenimiento. Los objetivos secundarios, pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la maquinaria está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de los equipos agrícolas según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad del par automotor.

Las acciones tendentes a evitar los fallos pueden ser de varios tipos:

- Determinación de tareas de mantenimiento que evitan o reducen estas averías.
- Mejoras y modificaciones en los procesos.
- Medidas que reducen los efectos de los fallos, en el caso de que estos no puedan evitarse.
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta, como una de las medidas paliativas de las consecuencias de un fallo.
- Procedimientos operativos, tanto de operación como de mantenimiento.
- Planes de formación.

Después de recopilar la información necesaria para el análisis de repuestos de inventarios seguiremos cada paso para poder demostrar que métodos y cuáles serán las unidades que se tendrían en existencia para los mantenimientos, definiendo los grados de criticidad con el sistema de clasificación ABC para repuestos y después analizando los modos y efectos de fallo denominado AMEF.

Modelos de pronóstico de demanda: de acuerdo con los datos obtenidos y siguiendo la sugerencia de son:

Suavizamiento Exponencial Simple: Los métodos de suavización exponencial son aproximaciones relativamente simples pero robustas en predicción. Son ampliamente utilizados en los negocios para prever la demanda de inventarios (Billah, King, Snyder, & Koehler, 2006). el uso de esta técnica para sus asociados. Se distingue porque da pesos de manera exponencial a cada una de las demandas anteriores de calcular el promedio. La demanda de los períodos más recientes recibe un peso mayor; los pesos de los períodos sucesivamente anteriores decaen de una manera no lineal sino exponencial (Paredes , 2001).

Suavizamiento Exponencial Doble: El modelo de suavización exponencial doble tiene presente las tendencias que puede presentar la demanda del producto, lo cual permite realizar un ajuste al pronóstico por demanda creciente o decreciente permitiendo reaccionar de mejor manera ante estos cambios (Vidal Holguín, 2010). Una de las técnicas para trabajar con tendencia es el Método Holt que es una suavización doble que requiere de dos coeficientes de suavización (α y β) así como dos ecuaciones, una para el valor de la serie del tiempo y la otra para la tendencia de la serie. (Nahmias, 2007).

Promedio Móvil Simple: Este pronóstico se recomienda usar cuando la demanda del producto no presenta grandes variaciones a través del tiempo y no tiene características estaciones, este tipo de técnica consiste en promediar los datos más recientes de consumo de un producto considerando que el próximo mes va a seguir con un comportamiento similar a los anteriores. (Zapata Cortes, 2014)

La precisión de un pronóstico se mide con base en los errores de éste, los cuales se calculan como la diferencia entre

el valor real observado y su pronóstico calculado en algún período anterior al observado. Obviamente, el cálculo del error de pronóstico sólo puede hacerse después de conocerse el valor real observado de la variable que se está estimando. (Vidal Holguin, 2010) La expresión más común para el cálculo de este error es la siguiente:

Fórmulas de error

$$\text{Error del pronóstico } e_t = x_t - \hat{x}_t$$

$$\text{Error absoluto } |e_t| = |x_t - \hat{x}_t|$$

$$\text{Error cuadrático } e_t^2 = (x_t - \hat{x}_t)^2$$

Donde t es el periodo de tiempo analizado.

A partir del cálculo de los errores del pronóstico se calculan las medidas de desempeño de Desviación Absoluta Media - MAD (por sus siglas en inglés) y el Error Cuadrático Medio – ECM, a partir de las siguientes formulas:

$$MAD = \sum_{t=1}^n \frac{|x_t - \hat{x}_t|}{n} \qquad ECM = \sum_{t=1}^n \frac{(x_t - \hat{x}_t)^2}{n}$$

Estas medidas de desempeño sirven para comparar los sistemas de pronóstico empleados y tomar la decisión de cuál de ellos se ajusta mejor a los datos de venta del ítem correspondiente.

Luego de los resultados de los errores del pronóstico se optó por una revisión periódica (R-s) donde se beneficia el ingenio a la hora de saber ¿Cuándo se debe revisar el inventario? ¿Cuándo pedir? ¿Cuánto pedir? Y para ello se necesitó calcular un inventario de seguridad e inventario máximo, a continuación se relacionan las fórmulas de acuerdo a (Vidal, 2010).

Fórmulas de revisión periódica

Inventario de Seguridad

$$IS = k\sigma_{R+L}\sqrt{R+L}$$

Inventario Máximo

$$IM = \text{Pronostico} + IS$$

Donde:

K = Es el factor de seguridad que depende del nivel del servicio del ingenio.

$k\sigma_{R+L}$ = Es la desviación estándar de los errores de pronóstico de la demanda total sobre un periodo de duración $R+L$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del sistema general de los tractores John Deere modelo 6403 del ingenio azucarero

3.1.1 Determinación de los procesos presentes en sistema.

Se observó de forma detallada que se tiene un plan de mantenimiento, pero no acorde a las necesidades para que este proceso se lleve con éxito, debido a que no cuentan con un plan de repuestos que lo acompañen. En la entrevista que se le realizó al ingeniero encargado de la sección de tractores, quien relató el sistema ya existente en el departamento de maquinaria y equipos, se logra determinar que en la entrada de los equipos su mayoría entra por mantenimiento correctivo. El departamento de maquinaria de equipos no cuenta con una base de datos estadísticos que nos pueda determinar cuáles serían los porcentajes que nos definan cuando un tractor ingresa ya sea por mantenimiento correctivo o

preventivo, en parte se determina por los datos de autorización de los repuestos y por las experiencias vividas por el autor de este proyecto quien es técnico de la sección de tractores.

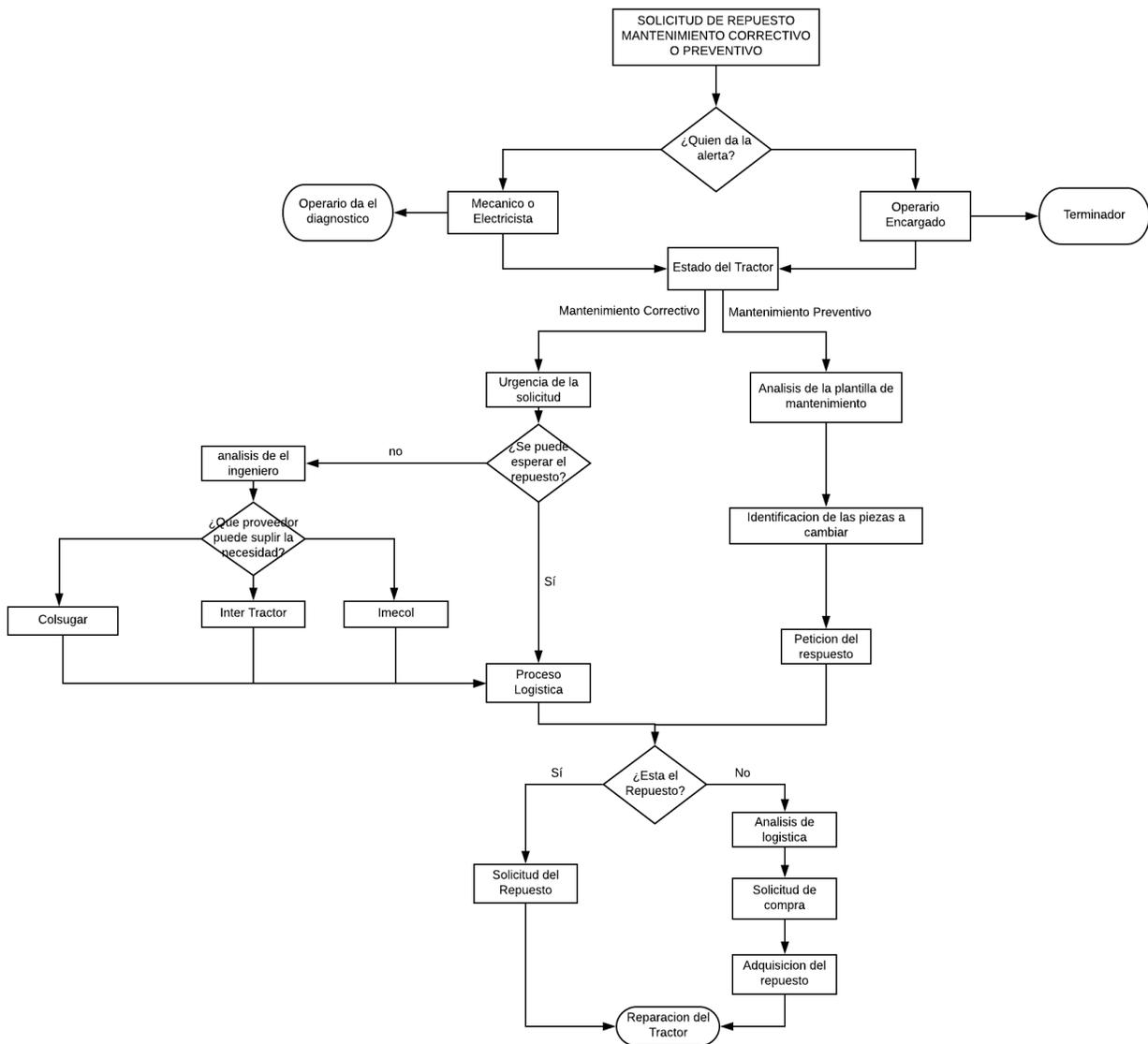
Como complemento se realizó una entrevista al asistente de planeación y mantenimiento donde en las hojas de vida de los equipos solo se registra los elementos o repuestos que se le piden con un número para orden de trabajo, sin detallar la causa de la solicitud o porqué ingresó el tractor; pero se pudo determinar por las veces que se solicitud el repuesto, cuáles son las fallas más frecuentes tanto mecánica como operativa de cada uno de los equipos donde se puede analizar la vida útil de cada pieza del equipo.

3.1.2 Interacción entre las áreas de mantenimiento, compras y almacenes.

La interacción entre las áreas de mantenimiento logística y compras es asertiva, ya que estas secciones deben estar en constante comunicación para cualquier novedad que se presenten con los pedidos o a la hora de entregar los repuestos.

En la siguiente figura 1 se explica cuál es el debido procedimiento para las órdenes de compra ya sea de carácter urgente o pedidos normales en las reparaciones agrícolas.

Imagen 2. Diagrama de flujo de orden y solicitud de repuesto.



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Clasificaciones de los tipos de elementos en inventario.

En la investigación que se realizó al actual plan Mantenimiento, no se definió con exactitud cuál es el orden de repuestos o el control que se lleva, sólo se halló que, en los sistemas de SAP, que generan la entrada de los equipos y en donde se encuentran el historial de los pedidos que se le hicieron a estos cada vez que entraron, no hay una clasificación ni por rotación, por volumen o criticidad.

La información obtenida para este estudio se basó en información que se investigó y clasifiqué bajo un exhausto estudio de las ordenes de trabajo donde se reportan los equipos y que son desechados cada 6 meses ya que la información reposa es en papel en un archivador que determinan los repuestos que se solicitaron con más frecuencia, también se determinó tiempo de paro de la maquina por algún determinado repuesto, estas variables nos ayudó a soportar con la clasificación ABC cuales son los repuestos que se deben tener en stock de inventario.

3.1.4 Manejo de componentes reparables.

En el departamento de maquinaria y equipos los componentes que son reparables en algunos casos, se llevan a terceros, donde se realiza la respectiva reparación, entre ellos están los motores de arranque, los radiadores y actuadores (gatos hidráulicos), adicionalmente se encontró que dentro de la organización se reparan: los motores de combustión interna, servo transmisiones (cajas de cambios), diferenciales o mandos finales.

Cuando los componentes se envían para ser reparados, el tiempo de reparación depende de cual sea el componente a reparar, debido a que el tercero cuenta con una serie de trabajos anteriores. A lo largo de los problemas que se ha presentado con los elementos que son enviados a terceros, se cuenta con una buena calidad de aquella reparación.

El presupuesto que tiene estipulado el ingenio azucarero para elementos a reparar depende de los meses de molienda, se observa que entre mayor molienda al mes mayor presupuesto o entre menor molienda al mes menor presupuesto, teniendo en cuenta que en el presupuesto se puede exceder o manejar un margen.

3.2 Generación del plan de mantenimiento considerando las características de los equipos

3.2.1 Recopilación de instrucciones del fabricante.

Se recopila información del fabricante para determinar y aplicar correctamente los tiempos del mantenimiento preventivo, en la tabla 2 se muestra los cambios en horas donde se debe realizar los respectivos diagnósticos en los tractores John Deere 6403.

Imagen 3. Instrucciones Del Fabricante



oml216412 - Tractores 6105J, 6140J, 6140JH, 6155J y 6155JH, manual del operador (edición para México, agosto de 2016) - Tabla de intervalos de mantenimiento

--: Tabla de intervalos de mantenimiento

Elemento	Según se requiera	Cada 10 horas	Cada 50 horas	Primeras 100 horas	Cada 250 horas	Cada 500 horas	Cada 1000 horas	Cada 1500 horas o 2 años	Cada 2000 horas o 2 años
Limpieza del filtro de aire de la cabina.	*								
Purgar los frenos.	*								
Comprobación de la válvula de mando a distancia.	*								
Asiento del operador.	*								
Comprobar el nivel de aceite motor.		*							
Comprobación del filtro de combustible		*							
Comprobar el nivel de aceite de la transmisión / sistema hidráulico.			*						
Engrasar el pivote del eje delantero TLS.			*						
Engrasar el pivote del eje delantero de la TDM.			*						
Engrasar los pivotes de la caja de reducción de la TDM.			*						
Engrasar las horquillas de la caja de reducción de la TDM.			*						
Engrase de las juntas del árbol de transmisión			*						
Engrasar el enganche de tres puntos.			*						
Comprobar la densidad específica de la batería.			*						
Cambio de aceite y filtro del motor. [El aceite de rodaje se utiliza durante las primeras 100 horas. Cada 250 horas si se usa aceite API-CL. Si el nivel de azufre sobrepasa 0,7%; reducir el intervalo de mantenimiento en un 50%.]				*	*				
Sustituir la transmisión y los filtros hidráulicos. [Sustituir los filtros durante las primeras 100 horas. Sustituir frecuentemente cada 500 horas.]				*		*			
Sustituir el filtro de combustible.					*				
Vaciar el depósito de combustible.					*				
Comprobar el nivel del electrolito de la batería. [Realizar cada 50 horas en climas cálidos.]					*				
Circuito de seguridad del arranque.					*				
Engrasar la mangueta del eje delantero con TLS.					*				
Comprobar el nivel de aceite del eje de la TDM.					*				

Fuente: Fabricante John Deere 6403

Imagen 4. Instrucciones Del Fabricante

Elemento	Según se requiera	Cada 10 horas	Cada 50 horas	Primeras 100 horas	Cada 250 horas	Cada 500 horas	Cada 1000 horas	Cada 1500 horas o 2 años	Cada 2000 horas o 2 años
Comprobar el nivel de aceite del cubo de ruedas de la TDM.					•				
Comprobar el funcionamiento de los frenos.					•				
Tornillos de las ruedas — Comprobación del par especificado. [Volver a apretar todas las tuercas y tornillos de las ruedas tras las primeras 4 y 8 horas de trabajo. Revisar el par de apriete con mayor frecuencia durante las primeras 100 horas de funcionamiento.] [Comprobar los elementos de fijación para un par de apriete específico durante las primeras 100 horas y comprobar frecuentemente cada 250 horas.]				•	•				
Revisar la conexión a masa del motor. [Consultar al concesionario John Deere en caso de duda.]						•			
Comprobar la correa del ventilador.						•			
Revisar la conexión a masa del motor. [Consultar al concesionario John Deere en caso de duda.]						•			
Engrasar los rodamientos de rueda del eje delantero con TLS.						•			
Engrasar los rodamientos del eje trasero. [Lubricar cada 50 horas bajo condiciones extremas de humedad, barro o al funcionar con carga extrema (cargadora delantera).]						•			
Sustituir el separador de agua.						•			
Mangueras de admisión de aire.							•		
Comprobar el sistema de admisión de aire del motor. [Revisión y apriete de todas las mangueras y abrazaderas durante las primeras 100 horas. Realizar comprobaciones frecuentes cada 1000 horas.]				•			•		
Reempacar los rodamientos de ruedas del eje delantero TLS.							•		
Comprobar el filtro primario de aire del motor. [Cada 1500 horas o 2 años (lo que suceda primero), o después de 5 limpiezas del filtro primario.]								•	
Sustituir el filtro secundario de aire del motor. [Cada 1500 horas o 2 años (lo que suceda primero), o después de 5 limpiezas del filtro primario.]								•	
Cambiar el aceite de la transmisión y del sistema hidráulico.								•	
Limpieza del tamiz de aspiración — Transmisión 16x16.								•	
Cambiar el aceite del eje de tracción delantera.								•	

Fuente: Fabricante John Deere 6403

Mantener la máquina en buenas condiciones y tener presente las horas de mantenimiento como lo indica el fabricante alarga el funcionamiento y la vida útil del equipo. No tener presente los cambios de aceite o engrase hará que tenga

problemas futuros, para determinar si es correcto el funcionamiento al control de mantenimientos o que se le lleve un estricto seguimiento, no hay una estadística o valores que nos aporten en los sistemas de la base de datos, porque el departamento de maquinaria no cuentan con un mantenimiento correctivo ni preventivo definido conforme a lo investigado y por la declaraciones el técnico y lo que se puede encontrar tanto físico como virtualmente la empresa tiene falencias para seguir con este tipo de recomendaciones.

3.2.2 Documentación de la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan con los tractores John Deere 6403.

La empresa del caso de estudio cuenta con un alto nivel de técnicos egresados del Sena, donde se resalta que algunos de ellos han sido enviados a capacitaciones externas para fortalecer sus conocimientos y mejorar experticia en los equipos.

Con este nivel de personal la empresa busca aumentar la efectividad en sus procesos de reparación y mantenimiento ya que con la experiencia que cuentan sus colaboradores están en la capacidad de realizar un diagnóstico y un estudio adecuado en los diferentes componentes de la maquinaria, ya sean: hidráulicas, mecánicas, fallas de rodaje etc.

El 98% de los técnicos que trabajan en los diagnósticos y detención de fallas cuentan con una experiencia en entre 5 a 20 años. Al departamento de maquinaria, dan una confiabilidad en su aporte acerca de los mantenimientos por la experiencia que han adquirido en todo su recorrido laboral a través de cada falla que se ha presentado.

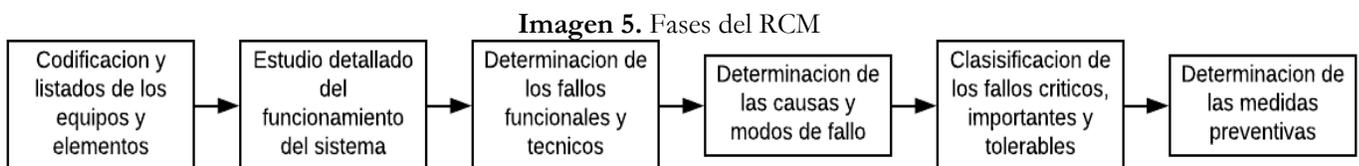
3.2.3 Selección de técnica de mantenimiento a desarrollar.

De acuerdo con la efectividad que ha demostrado el RCM, se presenta como una alternativa adecuada a implementar en este estudio. Según el autor F.S. Nowlan, H.F Heap RCM sirve para, “ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada”. (Heap, 1978)

Las organizaciones que lo han implementado han logrado una gran mayor disponibilidad de sus activos, con base a lo anterior le permite a las organizaciones tener una mayor productividad y bajo costo de sus procesos. Lo cual resulta importante para este caso.

El RCM determina el estado crítico de los equipos de cualquier proceso y, basado en esa formación implementa un mantenimiento preventivo/predictivo para las organizaciones. (Montilla, Arroyave, & Silva M, 2007)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, (RCM) se genera para la disponibilidad de sus activos y la confiabilidad. El RCM cuenta con unas fases dependiente de la otra para poder tener un resultado basado en RCM. (Barrera, 2009) A continuación, en la figura 2 se describen las fases:



Fuente: Elaboración Propia

a) Codificación y listado de los equipos y elementos:

La empresa donde se enfoca este estudio cuenta con una gran cantidad de ítems los cuales se necesitan tener un mayor

control. Se tiene un sistema que permite tener una codificación única de los componentes. Cuando un nuevo ítem entra en proceso de ser codificado en el sistema SAP, se le hace un estudio al ítem y se establece el sector que va dirigido.

Para que los componentes sean codificados se contemplan las características del repuesto, el proveedor y la cantidad, también, otros aspectos que se tiene en cuenta en la creación y especificación de los códigos de los ítems, son codificados dependiendo de qué sección el equipo pertenece, sean hidráulicos, mecánicos o eléctricos. Además, cuando se crea un SAP el sistema codifica de forma aleatoria, independientemente de que departamento provenga.

El sistemas SAP consiste en un sistema informático que le permite a las empresas administrar sus recursos humanos, financieros-contables, productivos, logísticos y más, tener control y manejo de los ítems. El enfoque en este caso de estudio es tener un mayor control de los componentes.

b) Estudio detallado del funcionamiento del equipo.

Normalmente este equipo trabaja dos turnos de 12 horas, donde es un turno de día y otro de noche con operatividad de 20 horas donde las 4 horas restante se debe determinar el cambio de despajadora y el cambio de combustible, este tractor es un equipo que se utiliza para la limpieza de las suertes en los cortes de caña mecanizada en la (tabla 3). Encontramos las especificaciones del tractor.

Tabla 1. Especificaciones Técnicas Del Tractor 6403 John Deere

GENERALES	
UNIDAD	Tractor agrícola
MARCA	John Deere
MODELO	6403
CAPACIDAD DE LEVANTE	3323.7 kgf a 610mm
MOTOR	
MARCA	John Deere
COMBUSTIBLE	Diésel 2, ciclos de 4 tiempo
NUMERO DE CILINDROS	04 turbo
CILINDRADA	4.5 L (276 plg ³)
VELOCIDAD NOMINAL	2100 rpm
POTENCIA A LAS RPM	106 hp (78 kW)
BOMBA DE INYECCION	Rotativa
TRANSMISION	
TIPO DE TRANSMISION	Sincronizada
NUMEROS DE MARCHAS MINIMO	9 avanece y 3 hacia atrás
EMBRAGUE	
TIPO DE EMBRAGUE	Seco ceramético
DIAMETRO DEL DISCO	305mm (12 plg)
SISTEMA HIDRAULICO	
TIPO DE CIRCUITO	Centro abierto
TIPO DE BOMBA	De engranaje extremo
CAUDAL DE LA BOMBA	45.4 L mínimo
DIRECCION	
TIPO DE DIRECCION	Hidroestática
CAUDAL DE LA DIRECCION	15L mínimo
EJE TRASERO	
TRABA DEL DIFERENCIAL	Mecánica por pedal
FRENO TIPO	Bañados en aceite
ALTERNADOR	75 A
SISTEMAS ELECTRICO	

MOTOR DE ARRANQUE	4.2 hp (3.1 kW)
CAPACIDADES	
TANQUE DE COMBUSTIBLE	152 L
SISTEMAS ENFRIAMIENTO	13.5L
ACEITE DE MOTOR	12L
ACEITE DE TRANSMISION	58L
RODADOS	
DELANTERO ESTANDAR	10.0 – 16plg
TRASERO ESTANDAR	18.4 – 38plg
TRASERO OPCIONAL	18.4 – 34plg
VELOCIDADES	
ESTANDAR	2100 rpm

Fuente: www.deere.com

c) Determinación de los fallos funcionales y técnicos.

Los fallos funcionales y técnicos son aquellos que impiden al sistema y su conjunto realizar su función principal, un fallo funcional es lo más importante en el sistema, debido que si se presenta afecta la eficacia. (Deere J. , 2008) Se hizo un estudio donde se recolectan las fallas más comunes en los trabajos realizados por el equipo y se recopilan los principales problemas que día a día tienen estos modelos de tractor John Deere 6403, en la tabla 4 se anexa los fallos funcionales y técnicos del tractor con sus respectivas causas debidamente identificadas.

Tabla 2. Fallas Funcionales y Técnicos Del Tractor 6403 John Deere

Fallas	Causas
Baja presión del aceite lubricante	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incorrecto nivel de aceite. 2. Aceite diluido con combustible, pero con una operación normal del motor. 3. Aceite diluido con combustible acompañado por una operación difícil del motor o con baja potencia. 4. Aceite diluido con agua. 5. Aceite diluido con refrigerante. 6. Incorrectas especificaciones del aceite. 7. Fallas del indicador o el interruptor de la presión del aceite.
Baja ventilación De aire acondicionado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de gas 2. Falta de ventilación externa 3. Baja presión de aire en el condensador 4. Mangueras rotas 5. Fallas de compresor
Compresor no hace ciclo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Control del frio deficiente
No enciende el motor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Escobillas cortas 2. Baterías descargada 3. Bobinas de campo en corto
Bendix no acciona	<ol style="list-style-type: none"> 1. Automático deficiente 2. switch de encendido
No gira eje de compresor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rodamientos malos
Fallas de alternador	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relay deficiente
No carga batería y sobre carga deja de girar	<ol style="list-style-type: none"> 2. Regulador no acciona 3. Rodamientos

Fuga de combustible o aceite en el múltiple de escape	<ol style="list-style-type: none"> 1. Operación en periodos prolongados bajo condiciones ligeras o sin cargas. 2. Restricción en el aire de admisión. 3. Incorrecta sincronización en la bomba de inyección del combustible. 4. Atascada en la apertura la válvula de agujas del inyector. 5. Obstruida la línea de drenaje del turbocargador. 6. Los sellos del turbocargador están fugando aceite. 7. Excesivos gases en el cárter (escape de gases).
Consumo Excesivo de Combustible	<ol style="list-style-type: none"> 1. Carga adicional por los accesorios que están fallando. 2. Técnica del operador. 3. Fugas del combustible. 4. Baja calidad del combustible o se usó el combustible No. 1. 5. Restricción en el escape o aire de admisión. 6. Están fallando o presentan desgaste los inyectores. 7. Sincronización incorrecta en la bomba de inyección. 8. Sobre inyectado de combustible o incorrecta calibración en la bomba de inyección. 9. No asientan las válvulas.
Excesivo Humo Blanco en el Escape (motor caliente)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Procedimiento de arranque incorrecto. 2. Demasiado baja la temperatura del refrigerante. 3. Demasiado baja la temperatura del aire de admisión. 4. Baja calidad del combustible. 5. Sincronización de la bomba de inyección ajustada incorrectamente. 6. Está fallando el inyector. 7. Está fallando la bomba de inyección.
Excesivo Humo Negro en el Escape Bajo Carga	<ol style="list-style-type: none"> 1. Está fallando la boquilla del inyector 2. El motor arranca demasiado frio (debajo de 0 gr c (140 gr F)). 3. Incorrecta sincronización de la boba de inyección. 4. Está fallando el AFC o la bomba de combustible inyecta demasiado combustible. 5. Los anillos del pistón no sellan.
Aceite Lubricante Contaminado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Refrigerante en el aceite; fugas internas en los componentes del motor. 2. Excesivos lodo en el aceite. 3. Combustible en el aceite; el motor opera demasiado frio. 4. Fuga en el sello de la bomba transferencia del combustible. 5. No sellan las válvulas de aguja del inyector. 6. El sello del émbolo interno de la bomba de combustible está fugando. 7. Está fallando la boba de inyección.

Fuente: Elaboración propia

d) Determinación de los modos de fallos

Los modos de fallo son aquellos que se generan debido a un fallo funcional y técnico, donde ocasionan muchos problemas como también múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se le llama causa raíces, “el 20% de las causas de un problema genera el 80% de los problemas en una organización. (Pareto, 1945)

El ingenio donde está relacionado esta investigación, cuenta con un problema de cuellos de botellas debido al mal manejo de su mantenimiento al tractor 6403 John Deere, se analiza cuales pudieron ocasionar estos modos de fallos para poder tener un mantenimiento óptimo y que no se percutan muy continuo esta falla ver (tabla 4).

e) Clasificación de los fallos críticos

Se clasifican los fallos más pertinentes y críticos en el tractor, se obtuvo la información con ayuda del fabricante y de las experiencias vividas de los técnicos encargados, para poder tener una mejor visión a la hora de dar inicio del plan de mantenimiento. Se hizo un análisis de los últimos tres años atrás, contando con la colaboración de una persona encargada

en logística que nos brindó que repuestos se habían pedido esos años, pero también se soportó en las ordenes de trabajo que se pudieron recopilar de los últimos 6 meses debido a que solo se archivan semestralmente y luego se desechan, fue de esta forma que se pudo determinar cuáles fueron los repuestos que más rotaron en el stock del inventario, teniendo en cuenta que el ingenio no cuenta con plan de mantenimiento óptimo, se realizó su debida clasificación para poder detectar cuáles fueron los elementos que debieron tener un mayor control.

f) Determinando las medidas preventivas

Con la información ya recogida en los pasos anteriores e informándonos cuales han sido los historiales de las fallas, en los diferentes equipos y analizando el modelo actual de estudio ya se puede dar inicio de un plan de mantenimiento óptimo para el tractor (John Deere 6403).

Acciones para seguir y mitigar las fallas anteriores (John Deere):

1. Revisar por parte del operador periódicamente los niveles de aceite para evitar posibles daños.
2. Llevar un registro por parte de mantenimiento y lubricación para posibles entradas a mantenimientos preventivos.
3. Revisión de los calibres de válvulas a sus determinadas horas, revisión constante de los niveles de aceite de motor y cambios de filtros de combustible en su ciclo cumplido de uso.
4. Revisión de todo el sistema de inyección para determinar las fallas existentes.

3.2.4 Análisis de criticidad

Se realizó un análisis de criticidad para poder observar cual es el modo de falla más crítico y llevar un seguimiento óptimo en búsqueda de mitigar esta falla. Para realizar el análisis de criticidad de baso bajo unos parámetros que se obtuvo con la experiencia del mecánico del ingenio (autor del proyecto).

Tabla 3. Parámetros Tabla Criticidad

Rango - Tipo de Frecuencia
Cada mes - 3 Mucha Frecuencia
Cada 6 meses - 2 Media Frecuencia
Cada año - 1 Poca Frecuencia

Fuente: Elaboración propia

Se observa que se estableció los parámetros teniendo en cuenta que Mucha frecuencia = 3, Media Frecuencia= 2 y Poca frecuencia = 1. También otros parámetros para saber cuán grande es la severidad de falla para el tractor, Severidad alta = 3, Severidad media =2 y Severidad baja = 1 y por el ultimo parámetro que es la detección para saber cómo es el análisis de detectar ciertas fallas donde se establece que, Mucha detección = 3, Media detección= 2 y poca detección=1 estos parámetros fueron establecidos con ayuda del mecánico que cuenta con 9 años de experiencia dentro del ingenio.

Imagen 6. Análisis de Criticidad

LISTADO DE REPUESTO	PROBABILIDAD DE FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA EN #	SEVERIDAD	SEVERIDAD %	DETECCIÓN	NPR	Clasificación
13-Embrague	CADA 6 MESES	2	ALTA	3	3	18	A
10- Disco de embrague	CADA 6 MESES	2	ALTA	3	3	18	
8-Eje de propulsor	CADA 6 MESES	2	ALTA	3	3	18	
18- Correa de ventilador	CADA MES	3	MEDIA	2	2	12	
9-Radiador	MAS DE UN AÑO	1	ALTA	3	3	9	B
6- Bomba de alimentacion	CADA 6 MESES	2	MEDIA	2	2	8	
7- Tapa radiador	CADA 6 MESES	2	ALTA	3	1	6	
1A- Faro delantero	CADA MES	3	MEDIA	2	1	6	
1- Luz trasera	CADA AÑO	3	MEDIA	2	1	6	C
4- Alternador	CADA 6 MESES	2	MEDIA	2	1	4	
18-Tensor de correa	CADA 6 MESES	2	MEDIA	2	1	4	
7-Bomba de agua	CADA 6 MESES	2	BAJA	1	1	2	
1- Compresor A.A	MAS DE UN AÑO	1	MEDIA	2	1	2	
2-Asiento	CADA AÑO	1	BAJA	1	2	2	
3-Polea	1 VEZ AL AÑO	1	MEDIA	1	1	1	
1- Tensor lateral	CADA AÑO	1	BAJA	1	1	1	
8- Tensor central	CADA AÑO	1	BAJA	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia

Se pudo analizar que se encontró el número de prioridad de riesgo (NPR) donde con este parámetro ayudo a clasificar cual es el ítem que se debe tener mayor control, teniendo en cuenta que este parámetro se halló con la multiplicación de los demás parámetros.

El RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para manejar los modos de falla que pudieran causar fallas funcionales de cualquier activo físico en un contexto operacional dado.

3.2.5 Elaboración de Análisis De Modos y Efectos de Fallo (AMEF)

El AMEF le pertenece al análisis de las fallas que se encontraron en los sistemas, se tuvieron en cuenta aspectos como, causas, modos y efectos, que están contemplados en la metodología RCM y también se mencionan tareas para prevenir dichos fallos y las actividades que pueden traer mejorías al sistema. Este análisis corresponde en detectar los repuestos con mucha frecuencia de demanda y no se encuentran en el stock del inventario, el resultado es mitigar estas falencias en la parte de inventario, llevando un control adecuado a la hora de hacer el debido proceso de adquirir un repuesto.

Los datos obtenidos fueron hallados con ayuda del mecánico del ingenio (uno de los autores del proyecto) que cuenta con 9 años de experiencia, donde se pudo obtener y analizar los datos, y se encontró que, los repuestos que deberían rotar con mayor frecuencia en el stock del inventario son: correa de ventilador, bomba de alimentación y alternador.

Para el desarrollo del AMEF, se tuvo en cuenta lo siguiente: Severidad se define como: Alta (Al presentarse la falla el equipo presenta paro total), Media (Al presentarse la falla el equipo presenta paro parcial del equipo) y Baja (El equipo no presenta ningún paro en el momento de la falla). Se le asigna una escala de 1 a 3, en donde 1= Severidad Baja, 2= Severidad Media, 3= Severidad Alta.

Se define también, la probabilidad de Falla de acuerdo a la aparición de la falla, en donde se definen 3 estados, Aparición cada mes, aparición cada 6 meses, aparición una vez al año. En donde se asigna una escala: 1=Probabilidad de falla cada año, 2= probabilidad de falla cada 6 meses, 3 probabilidad de falla cada mes.

Finalmente se establece Detección como el momento donde se detecta la falla, es decir, la relación con el tipo de

mantenimiento asociado para la detección: Preventivo= 1, Predictivo=2 y Correctivo= 3.

De acuerdo a lo anterior se obtuvo lo siguiente:

Imagen 7. AMEF Repuestos Tractor 6403 John Deere

Modos de falla	Repuesto	Efectos	Severidad	Causas Reales	Ocurrencia	Control prevención	Detección	RPN	Acciones Recomendadas
Se revienta los resortes de accionamiento	Embrague	Desgaste de discos	3	Manejo inadecuado que hace mala fricción internamente	2	Hacer mantenimiento periódicamente	3	18	Mantenimiento preventivo periódicamente para saber el estado de los discos de embrague.
		No acciona y el tractor queda neutralizado							
No acciona totalmente	Disco de embrague	Patina con el embrague	3	Mala manipulación del embrague	2	Dar capacitaciones de cómo se debe dar la fricción del embrague al operario	3	18	Mantenimiento predictivo mensualmente
Frágil por flexión	Eje de propulsor	Faro total del tractor	3	Sobre carga por flexión	2	Planificar un mantenimiento preventivo periódicamente	3	18	Contar con los mecánicos suficientes para poder tener un historial de trabajo de las piezas del tractor
				Capa endurecida de espesor alto					
				Tratamiento del tractor					
Sobrecalentamiento del motor o descarga de Batería	Correa de ventilador	Genera paro del tractor	2	Carga del generador inversa	3	Calibrar un mantenimiento predictivo cada semana	2	12	Aplicar el óptimo mantenimiento y que el repuesto se solicite con anticipación
Perdida de agua	Radiador	Faro parcial del tractor	3	No mantenimiento óptimo al equipo	1	Mantenimiento preventivo periódicamente	3	9	Generar un plan de mantenimiento óptimo
El termostato esta averiado									
El eje de la bomba de agua se ha paralizado									
Ralentí inestable	Bomba de alimentación	Faro del tractor, fallos en el motor	2	Mantenimiento no óptimo	2	Mantenimiento preventivo periódicamente	2	8	Generar un Mantenimiento preventivo periódicamente
Bomba en mal estado									

Fuente: autor del proyecto

Modos de falla	Repuestos	Efectos	Severidad	Causas reales	Ocurrencia	Control Prevención	Detección	RPN	Acciones recomendadas
Fuga a través del asiento de la válvula	Tapa radiador	Se cae la presión, no hay óptimo desempeño de los levantes hidráulicos	3	No cuenta con mantenimiento, hay desgaste de válvulas	2	Generar un plan de mantenimiento preventivo para tratar de mitigar la falla	1	6	Mantenimiento preventivo y predictivo periódicamente
Fuga a través del cuerpo de la válvula									
Rotura del cuerpo de la válvula									
Fusible en deterioro Batería en mal estado	Faro delantero	No observar detalladamente el lugar de operación	2	Sin mantenimiento predictivo	3	Generar un mantenimiento predictivo semanalmente	1	6	Aplicación del mantenimiento semanalmente
Deterioro de batería	Luz trasera	No genera paro puede seguir operando	2	No mantenimiento preventivo	3	Mantenimiento preventivo periódico	1	6	Generar plan de mantenimiento preventivo para mitigar la falla
Parte eléctrica en deterioro									
Sistema eléctrico deteriorado	Reparar alternador	Faro parcial del tractor	2	No mantenimiento preventivo óptimo	2	Mantenimiento preventivo	1	4	Mantenimiento preventivo y predictivo
Batería baja									
Falta de mantenimiento y engrase	Tensor de correa	Genera paro parcial	2	No contar con mantenimiento óptimo	2	Mantenimiento preventivo óptimo	1	4	Mantenimiento preventivo periódicamente
Atropellamiento del tractor	Bomba de agua	No genera efectos en la operación	1	Manejo inadecuado del equipo	2	Buena capacitaciones del equipo	1	2	Brindar buena capacitaciones del equipo
Daño del volante que sujeta la correa	Compresor A.A	No genera aire acondicionado	2	Caudalidad del compresor por horas de operación	1	Mantenimiento preventivo periódicamente	1	2	Aplicar un mantenimiento preventivo dependiendo de las horas de operación
Deterioro por uso de su vida útil									
Asiento	Asiento	No genera efectos en la operación	1	Tiempo límite de uso	1	Mantenimiento predictivo	2	2	Operario con un nivel de información acerca del equipo
Fallos de rodamientos	Polea	Paro parcial del equipo	1	No contar con mantenimiento óptimo	1	Mantenimiento preventivo	1	1	Aplicar el mantenimiento preventivo para poder tratar de mitigar esta falla

Modos de falla	Repuesto	Efecto	Severidad	Causas reales	Ocurrencia	Control Prevención	Detección	RPN	Acciones recomendadas
Falta de mantenimiento y engrase	Tensor lateral	Genera paro parcial	1	No contar con mantenimiento óptimo	1	Mantenimiento preventivo óptimo	1	1	Mantenimiento preventivo periódicamente
Falta de mantenimiento y engrase	Tensor central	Genera paro parcial	1	No contar con mantenimiento óptimo	1	Mantenimiento preventivo óptimo	1	1	Mantenimiento preventivo periódicamente

Fuente: autor del proyecto.

3.3 Definición de niveles de inventario

De acuerdo a la información recolectada anteriormente donde se determinan los componentes prioritarios para el proceso de acuerdo al RCM, se procede con la definición de niveles de inventario, para ello se realizó un estudio del comportamiento de la demanda, donde, por medio del indicador Coeficiente de Variación se analizó el tipo de demanda (Creciente, Estacional, errático), posteriormente, se identificó el sistema de pronóstico que más se ajustaba al comportamiento de la demanda (Promedio móvil, Suavización exponencial simple, suavización exponencial doble, Winters, Croston) y finalmente se definió la política que más se ajusta para cada uno de los 17 ítems.

3.3.1 Cálculo del indicador Coeficiente de Variación

El coeficiente de variación es una medida estadística que permitió analizar la dispersión relativa de un conjunto de datos, también, permitió hallar un promedio de consumo por año una desviación promedio por año, con el fin de hallar el coeficiente de variación (CV), en la tabla 6 se puede observar de manera detallada del nivel de rotación en el stock de inventario. (Holguin, 2010)

Tabla 4. Coeficiente de Variación de Los Repuestos de Los Tractores John Deere

Ítems	Promedio (Año)	Desviación (Año)	Coeficiente Variación	Patrón
Embrague	0,42	1,06	2,54	Errático
Disco de Embrague	0,42	1,06	2,54	Errático
Eje de Propulsor	0,25	0,61	2,43	Errático
Correa de Ventilador	1,17	1,09	0,93	Tendencia
Radiador	0,21	0,51	2,44	Errático
Bomba de Alimentación	1,00	1,02	1,02	Errático
Tapa Radiador	1,29	1,68	1,30	Errático
Faro Delantero	0,71	1,30	1,84	Errático
Luz Trasera	3,42	2,47	0,72	Tendencia
Alternador	1,29	1,30	1,01	Errático
Tensor de Correa	1,00	1,02	1,02	Errático
Bomba de Agua	0,58	0,88	1,1,51	Errático
Compresor A. A	1,00	1,02	1,02	Errático
Asiento	0,46	0,78	1,70	Errático
Polea	0,67	1,05	1,57	Errático
Tensor Lateral	0,71	1,46	2,06	Errático
Tensor Central	0,67	1,34	2,01	Errático

Fuente: autor del proyecto

Se pudo observar que el coeficiente de variación para los 17 ítems objeto de estudio, se analizaron con un periodo de tiempo de 3 años, teniendo en cuenta que los tractores son de modelo 2015 John Deere. 2 de los repuestos son de patrón tendencia y los siguientes repuestos tuvieron un CV mayor a 1 (100%) que se pudo considerar como una demanda con patrón errático.

3.3.2 Selección del método de pronóstico

El primer aspecto que debe tenerse en cuenta es que los pronósticos de demanda siempre estarán errados. Esto no es sorprendente ya que cuando se pronostica, se está anticipando lo que ocurrirá en el futuro. La clave del éxito de un sistema de gestión de inventarios es, por lo tanto, conocer a fondo los errores del pronóstico y responder a ellos en forma adecuada mediante la utilización de inventarios de seguridad. (Holguin, 2010)

De acuerdo a lo anterior se pudo analizar el comportamiento del CV donde se realizó los pronósticos (promedio móvil, suavización exponencial simple, suavización exponencial doble, Croston), que ayudó a poder analizar el comportamiento de la cantidad demandada. Se establece los parámetros para cada uno de los pronósticos, En la tabla 8 se puede observar. También en las siguientes tablas se muestra el error de cada pronóstico para cada ítem.

Tabla 5. Parámetros Pronóstico

Tipo de Pronostico	Tipo de Parámetro
Promedio Móvil	N= 3
Suavización exponencial simple	Alfa = 0,01
Suavización exponencial doble	Alfa doble= 0,953 Beta=0,9047
Croston	Alfa = 0,01

Fuente: Autores del Proyecto.

Imagen 8. Errores del Pronóstico de Cada Ítems Clase A

Items	Embrague	Disco de embrague	Eje de propulsor	Correa de ventilador
Promedio	0,42	0,42	0,25	1,17
Desviacion	1,06	1,06	0,61	1,09
Coef. Variacion	2,54	2,54	2,43	0,93
Patron	Errático	Errático	Errático	Tendencia
ERROR CROSTON	1,426669048	1,42666905	0,35693138	1,245048336
ERROR PROMEDIO MOVIL	1,443388973	1,44338897	0,58918733	1,165529013
ERROR SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE	1,455473451	1,45547345	0,35771754	1,223956613
ERROR SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE	1,672952698	1,6729527	0,48243055	1,344949712
MIN ERROR	1,426669048	1,42666905	0,35693138	1,165529013
MEJOR PRONÓSTICO	CROSTON	CROSTON	CROSTON	PROMEDIO MOVIL
Desviacion del error	0,96	0,96	0,56	1,17

Fuente: autor del proyecto.

Imagen 9. Errores del Pronóstico de Cada Ítems Clase B

Items	Radiador	Bomba de alimentacion	Tapa radiador	Guaya embrague	Luz trasera
Promedio	0,21	1,00	1,29	0,71	3,42
Desviacion	0,51	1,02	1,68	1,30	2,47
Coef. Variacion	2,44	1,02	1,30	1,84	0,72
Patron	Errático	Errático	Errático	Errático	Tendencia
ERROR CROSTON	0,356640054	1,171478385	3,26307499	0,971210582	5,483495
ERROR PROMEDIO MOVIL	0,390126385	1,166666667	3,44600592	1,687905141	8,375411
ERROR SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE	0,363850396	1,178366177	3,26084981	0,974978982	5,496095
ERROR SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE	0,411641833	1,405434149	3,94931673	1,307774326	7,226127
MIN ERROR	0,356640054	1,166666667	3,26084981	0,971210582	5,483495
MEJOR PRONÓSTICO	CROSTON	PROMEDIO MOVIL	SUAV. E.S	CROSTON	CROSTON
Desviacion del error	0,48	1,04	2,00	1,08	2,52

Fuente: autor del proyecto.

Imagen 10. Errores del Pronóstico de Cada Ítems Clase C

Items	Alternador	Tensor de correa	Bomba de agua	Compresor A.A	Asiento	Polea	Tensor lateral	Tensor central
Promedio	1,29	1,00	0,58	1,00	0,46	0,67	0,71	0,67
Desviacion	1,30	1,02	0,88	1,02	0,78	1,05	1,46	1,34
Coef. Variacion	1,01	1,02	1,51	1,02	1,70	1,57	2,06	2,01
Patron	Errático	Errático	Errático	Errático	Errático	Errático	Errático	Errático
ERROR CROSTON	1,02789723	1,013401659	0,74711977	1,128845022	0,43358468	1,21546895	1,85674647	1,24035971
ERROR PROMEDIO MOVIL	1,74816345	1,176047728	0,99409167	1,097085025	0,5665436	2,29624445	3,54913172	3,085068
ERROR SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE	1,03717871	1,009990497	0,75047768	1,112181403	0,42002765	1,22441625	1,87885416	1,23437385
ERROR SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE	1,40840558	1,229426392	0,95347377	1,293020073	0,52224608	1,68846825	2,58268649	1,87712492
MIN ERROR	1,02789723	1,009990497	0,74711977	1,097085025	0,42002765	1,21546895	1,85674647	1,23437385
MEJOR PRONÓSTICO	CROSTON	SUAV. E.S	CROSTON	PROMEDIO MOVIL	SUAV. E.S	CROSTON	CROSTON	SUAV. E.S
Desviacion del error	1,15	1,05	0,95	1,16	0,73	1,19	1,44	1,58

Fuente: autor del proyecto

Imagen 11. Pronósticos de la Demanda por Mes Ítems Clase

Mes	PRONOSTICO DE DEMANDA			
	Embrague	Disco de embrague	Eje de propulsor	Correa de ventilador
1	0,40	0,40	0,30	1,13
2	0,40	0,40	0,30	1,14
3	0,40	0,40	0,30	1,15
4	0,40	0,40	0,30	1,16
5	0,40	0,40	0,30	1,17
6	0,40	0,40	0,30	1,18
7	0,40	0,40	0,30	1,19
8	0,40	0,40	0,30	1,20
9	0,40	0,40	0,30	1,21
10	0,40	0,40	0,30	1,22
11	0,40	0,40	0,30	1,24
12	0,40	0,40	0,30	1,25
Total	4,81	4,80	3,61	14,26

Fuente: autor del proyecto.

Imagen 12. Pronósticos de la Demanda por Mes Ítems Clase B

Mes	PRONOSTICO DE DEMANDA				
	Radiador	Bomba de alimentacion	Tapa radiador	Guaya embrague	Luz trasera
1	0,20	1	1,25	0,83	3,60
2	0,20	1	1,28	0,83	3,59
3	0,20	1	1,26	0,83	3,61
4	0,20	1	1,25	0,83	3,62
5	0,20	1	1,24	0,83	3,63
6	0,20	1	1,28	0,83	3,63
7	0,20	1	1,26	0,83	3,59
8	0,20	1	1,26	0,83	3,60
9	0,20	1	1,25	0,83	3,59
10	0,20	1	1,24	0,83	3,60
11	0,20	1	1,25	0,83	3,58
12	0,20	1	1,24	0,83	3,62
Total	2,40	12,00	15,07	9,99	43,25

Fuente: Autor del Proyecto

Imagen 13. Pronósticos de la Demanda por Mes Ítems Clase C

Mes	PRONOSTICO DE DEMANDA							
	Alternador	Tensor de correa	Bomba de agua	Compresor A.A	Asiento	Polea	Tensor lateral	Tensor central
1	1,25	1,00	0,53	0,93	0,50	0,58	0,80	1,58
2	1,25	1,01	0,53	0,94	0,50	0,59	0,80	1,42
3	1,26	1,00	0,53	0,94	0,50	0,59	0,80	1,27
4	1,26	1,00	0,53	0,94	0,50	0,59	0,80	1,33
5	1,25	0,99	0,53	0,95	0,49	0,59	0,80	1,19
6	1,25	1,00	0,53	0,95	0,51	0,59	0,80	1,06
7	1,25	1,01	0,53	0,95	0,50	0,59	0,80	1,52
8	1,25	1,01	0,53	0,96	0,51	0,59	0,80	1,33
9	1,25	1,00	0,53	0,96	0,50	0,59	0,80	1,17
10	1,25	0,99	0,53	0,96	0,51	0,59	0,80	1,22
11	1,24	0,98	0,53	0,97	0,50	0,59	0,80	1,06
12	1,24	0,98	0,53	0,97	0,50	0,59	0,80	0,93
Total	15,01	11,97	6,36	11,42	5,99	7,07	9,61	15,07

Fuente: Autor del Proyecto

En las tablas 7,8 y 9 se obtuvo los errores del pronóstico y se compararon con los demás y se escogió el error menor, luego se obtuvo la demanda por mes dependiendo del pronóstico que se puede analizar en los errores del pronóstico. Se calculó posteriormente el coeficiente de variación y se obtuvo que para algunos ítems su comportamiento es errático, y para otros es tendencia, debido a esto el CV sirvió como indicador para saber que categoría es en dicha demanda.

3.4 Sistema de Revisión Periódica (R-s)

De acuerdo al comportamiento que se pudo analizar en el coeficiente de variación (CV) donde observó que la demanda para estos ítems es probabilística, es decir, cambia en el tiempo constantemente, por eso se acudió aplicar los diferentes tipos de pronóstico. Debido a las características de la organización, para estipular las políticas del inventario, el sistema que más se ajusta es el sistema de revisión periódica.

Los sistemas de revisión periódica tienen como función revisar el nivel de inventario cada R períodos de tiempo y se ordena una cantidad igual a la diferencia entre un inventario máximo, S , y el inventario efectivo en el momento de la revisión. (Holguín, 2010)

Para los últimos tres años, se evaluaron 17 ítems de repuestos del tractor John Deere 6304 registrados en el sistema SAP donde fueron los más relevantes por la cantidad de veces que se solicitaron, otros no fueron muy recurrentes y solo se solicitaron cuando solo hubo la necesidad. Es por ello que se recurrió a seleccionar los ítems en una clasificación en su orden de importancia, para establecer el valor de la demanda teniendo en cuenta las solicitudes o históricos de pedidos de repuestos para la serie 6403, se realizó el análisis de criticidad donde se obtuvo el número prioridad de riesgo (NPR), se hizo una clasificación ABC, por rangos en donde, 10 a 20 es tipo A, 5 a 9 es tipo B y del 0 a 4 es tipo C. Se calculó el inventario de seguridad para los ítems clase A, B y C como se puede observar en las imágenes 14, 15 y 16, con la sumatoria de la demanda del pronóstico redondeado al entero superior y el inventario de seguridad calculado para un nivel de servicio del 90%, esto da la certeza de que se revisa el inventario una vez al mes y el sistema pide cuando coincide la revisión con el pedido, los números de piezas a pedir es el inventario máximo menos inventario disponible del ingenio. Con lo anterior y con información brindada por el almacén se obtuvo lo siguiente:

Imagen 14. Sistema de revisión periódica.

Política de Inventario (R-s)			Items Clase A			
			Embrague	Disco de embrague	Eje de propulsor	Correa de ventilador
Demanda del Pronostico	D	und/año	5	5	4	14
Demanda del Pronostico (Redondeado max)	d	und/mes	1,0	1,0	1,0	2,0
Nivel de servicio actual de la empresa	k	%	1,96	1,96	1,96	1,96
Tiempo de reposicion	L	mes	0,50	0,50	1,50	0,25
Desviacion estandar de los errores del pronostico	σ_1	und	0,96	0,96	0,56	1,17
Intervalo de Revisión	R	mes	1	1	1	1
Inventario de seguridad	IS	und	2	2	2	3
Inventario maximo	IV	und	3	3	3	5

Fuente: Autor del Proyecto

En el caso del ítem Embrague, se revisa cada mes y se solita hasta obtener como máximo 3 unidades. Se realizó el mismo procedimiento para los ítems tipo B y C.

Imagen 15. Sistema de revisión periódica.

Política de Inventario (R-s)			Items Clase B				
			Radiador	Bomba de alimentación	Tapa radiador	Guaya embrague	Luz trasera
Demanda del Pronostico	D	und/año	2,40	12,00	15,07	9,99	43,25
Demanda del Pronostico (Redondeado max)	d	und/mes	1,0	1,0	2,0	1,0	4,0
Nivel de servicio actual de la empresa	k	%	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Tiempo de reposicion	L	mes	1	1,5	1	1	1,5
Desviacion estandar de los errores del pronostico	σ_1	und	0,4807	1,0444	1,9983	1,0788	2,5179
Intervalo de Revisión	R	mes	1	1	1	1	1
Inventario de seguridad	IS	und	1	3	6	3	8
Inventario maximo	IV	und	2	4	8	4	12

Fuente: Autor del Proyecto

Imagen 16. Sistema de revisión periódica.

Política de Inventario (R-s)			Items Clase C							
			Alternador	Tensor de correa	Bomba de agua	Compresor A.A	Asiento	Polea	Tensor lateral	Tensor Central
Demanda del Pronostico	D	und/año	15	12	6	11	6	7	10	15
Demanda del Pronostico (Redondeado max)	d	und/mes	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Nivel de servicio actual de la empresa	k	%	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Tiempo de reposicion	L	mes	0,5	1	1,5	1	1	1	2	2
Desviacion estandar de los errores del pronostico	σ_1	und	1,1545	1,0517	0,9536	1,1586	0,7332	1,1875	1,4416	1,5765
Intervalo de Revisión	R	mes	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Inventario de seguridad	IS	und	3	3	3	3	2	3	5	5
Inventario maximo	IV	und	5	4	4	4	3	4	6	7

Fuente: Autor del Proyecto

Después de realizar los cálculos respectivos al caso de estudio para elegir un sistema de inventario, lo siguiente es presentar al departamento de maquinaria y equipos un plan de inventarios, que ayude y permita a mejorar el proceso en los planes de mantenimiento, ya sea preventivos o correctivos, con esta información el departamento estará en capacidad de tomar una mejor decisión sobre la cantidad sobre que se debe comprar y en qué tiempo solicitar repuestos etc.

4. CONCLUSIONES

El departamento de maquinaria y equipos, debe de redefinir sus planes de mantenimiento junto con sus niveles de inventarios debido a que algunos tractores se encuentran en mora por falta de repuesto, por ende las operaciones que demanda el ingenio obliga a la maquinaria optimizar sus inventarios que conlleve a una mejor disposición de los ítems, y a una mayor revisión para los mantenimientos y eventos inesperados se recomienda el uso de la revisión periódica definidos en este trabajo para mitigar estos inconvenientes.

En el departamento de maquinaria y equipos no se cuenta con una persona estrictamente encargada de la revisión del stock de inventario o que tenga conocimiento de la parte logística junto con los planes de mantenimiento requeridos en otras palabras no existe un control permanente a nivel de inventarios en lo referente a las entradas y salidas de materiales.

Con el sistema de clasificación ABC se pudo determinar la cantidad óptima de pedido que se debe realizar a cada ítem, para el control del inventario, Se resalta que implementando la nueva propuesta los tiempos en demora de los repuestos, y los tractores John Deere 6403 se puede disminuir los tiempos de paro prolongados por falta de materia prima.

El área de maquinaria y equipos debe trabajar en conjunto con logística y suministros, con el fin de poder acordar fechas y tiempos de cada mantenimiento, cruzando las mismas con la disponibilidad de las partes en inventario, con el fin de poder tener los aprovisionamientos de inventario requeridos para dar el soporte necesario, garantizando así, el menor tiempo de inactividad posible para cada equipo y asegurando el menor costo logístico incurrido en el proceso.

Como se observó en los cálculos de inventarios para repuestos se analizó que las demandas son erráticas y no se definen demandas constantes, por lo que lo mejor es tener una revisión periódica con revisiones de un mes a cada ítem seleccionado.

Se recomienda que para trabajar con los mantenimientos es preferible tener presente los hodómetros ya que dan una lectura para tener en cuenta la vida útil de la máquina y de las piezas.

Cualquier trabajo de investigación enfocado en esta línea desarrollada con un mínimo de entusiasmo contribuye a despejar algunas incógnitas sobre el tema tratado, ya que genera nuevas preguntas, nuevas ideas y/o abre nuevas vías de trabajo.

Este trabajo deja abierto nuevos estudios para nuevas investigaciones ya que con el poco material que se obtuvo, con datos más predominantes se pueden tener mejores resultados para futuras mejoras ya que con los métodos mencionados quedan sin sabores para diagnosticar el mejor modelo a la hora de la solicitud de repuestos.

5. REFERENCIAS

- Alvarado Chavez, A. (2004). *maquinaria y mecanización agrícola*. san jose, costa rica: universidad estatal a distancia.
- Arata, A. (2009). *ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional*. Santiago de Chile: Ril editores.
- armando diaz concepcion, a. d. (2017). instrumento para evaluar el estado de la gestion de mantenimiento en las plantas de bioproductos. un caso de estudio. *revista chilena de ingeniería vol 25*, 8.
- Barrera, S. P. (2009). *confiabilidad en la practica*. Barranquilla: independiente.
- Cuartas Perez, L. A. (2008). *que es el mantenimiento*.
- Deere, J. (2008). *manual de diagnostico de fallas*. luisiana E.E.U.U: John Deere.
- Deere, j. (2018). *John Deere*. Obtenido de <https://www.deere.com/latin-america/es/tractores/tractores-medianos/tractores-serie-6000/6403/>: <https://www.deere.com/latin-america>
- Head, S. N. (1978). *Reliability centered Maintenance*. San Francisco California .
- Heap, F. S. (1978). *reliability centered maintenance*. washington DC: U.S departament of commerce.

- Holguin, C. J. (2010). *Fundamentos de control y gestion de inventarios*. cali - valle del cauca: digital.
- Irrarazabal, M. G. (2017). *mantenimiento en tractores agricolas*. Arequipa - Peru: independiente. Obtenido de <https://es.scribd.com>
- ISO, S. C. (2005). ISO 9000. *NORMAS ISO*, 42.
- Ivan, G. M. (2014). *Plan de mantenimiento preventivo y productivo maquinaria línea externa y evisceración planta beneficio Pollos el Bucanero S.A.* santiago de cali: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE.
- Julio, V. H. (2010). *Fundamentos de control y gestion de inventario*. cali-colombia: Universidad del valle.
- Meana Coalla, P. P. (2017). *gestion de inventarios*. España: Nobel S.A.
- Montes Villada, J. D. (2013). *diseño de un plan de mantenimiento*.
- Montilla, C., Arroyave, J. F., & Silva M, C. E. (2007). *caso de aplicacion de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM previa existencia del manteneinto preventivo*. pereira.
- Montoya, C. A. (2011). "el balance scorecard como herramienta de la gestion administrativa". *vision del futuro*, 1-25.
- Mora Gutierrez, a. (2009). *mantenimiento planeacion, ejecucion y control*.
- Pablo Viveros, L. B. (2013). propuestas de un modelo de gestion de mantenimiento y sus principales herrramientas de apoyo. *ResarchGate*, 15.
- Pareto, V. (1945). *Manual de Economia Politica*. Buenos Aires: Atalaya.
- Ricardo Cruz V, O. M. (1995). *adecuacion de tierras*. cali: cenicaña.
- Roberto Velazco, J. G. (2007). *costo de operacion o uso de maquinaria*. santiago de chile: investigadores INIA Quilamapu.
- Tecnologia, R. (2012). QUE ES RCM. *IRIM*.
- umachi, c. (2012). el mantenimiento como area primoredial en la logistica. *negocios globales en logistica*.
- Vermorel, J. (2013). control de inventario (definicion e ideas claves). *lokad*, 1.
- Widman, R. (2004). la reduccion de presupuesto de mantenimiento. 1.