

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería en Ciencia de la Administración



PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE COSECHA
MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO PANTALEÓN,
GUATEMALA.

Trabajo presentado por
Vitelio Donato Rivas Morales
para optar al grado académico de
Ingeniería en Ciencia de la Administración en el grado de Licenciado.

Guatemala,
2014

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE COSECHA
MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO PANTALEÓN,
GUATEMALA.

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería en Ciencia de la Administración

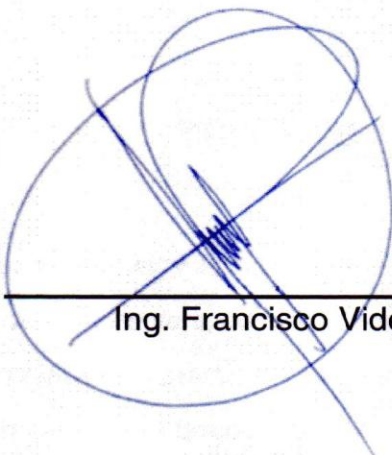


PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE COSECHA
MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO PANTALEÓN,
GUATEMALA.

Trabajo presentado por
Vitelio Donato Rivas Morales
para optar al grado académico de
Ingeniería en Ciencia de la Administración en el grado de Licenciado.

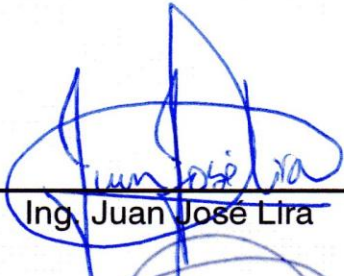
Guatemala,
2014

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Francisco Vides

Tribunal examinador:

(f) 
Ing. Celso Cerezo

(f) 
Ing. Juan José Lira

(f) 
Ing. Francisco Vides

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de Julio de 2014.

PREFACIO

Agradezco a Dios por los dones y las capacidades que me han dado la oportunidad de alcanzar esta meta. Al señor Julio R. Herrera, presidente de Pantaleón Group Inc., por permitirme el acceso a su empresa para realizar mis prácticas profesionales y mi trabajo de graduación. Al Ing. Francisco Vides, del departamento de maquinaria corporativa de Ingenio Pantaleón, quien sugirió el tema de este trabajo de graduación, por su tiempo y asesoría.

Quiero agradecer a mis padres por el esfuerzo y todas las dedicaciones a lo largo de esta etapa de estudios. También a los demás miembros de mi familia y amigos que han estado a mi lado y que me han brindado siempre su apoyo.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| PREFACIO | v |
| LISTA DE CUADROS..... | viii |
| LISTA DE GRÁFICAS..... | ix |
| LISTA DE FIGURAS (ILUSTRACIONES) | x |
| RESUMEN | xi |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| III. OBJETIVOS..... | 4 |
| IV. MARCO TEÓRICO | 5 |
| A. Historia de la empresa | 5 |
| B. Rol del negocio..... | 5 |
| C. Indicadores de desempeño..... | 6 |
| D. Plan de mantenimiento..... | 8 |
| E. Análisis financiero..... | 11 |
| V. ANÁLISIS PRELIMINAR..... | 6 |
| A. Descripción del proceso de cosecha mecanizada. | 6 |
| B. Descripción de un frente de cosecha mecanizado. | 15 |
| C. Análisis de productividad de maquinaria. | 15 |
| D. Análisis de indicador OEE..... | 18 |
| E. Análisis de disponibilidad de maquinaria..... | 22 |
| VI. PROPUESTA DE MEJORA | 26 |
| A. Mejorar tiempos muertos de maquinaria..... | 26 |
| B. Propuesta ciclo de Deming para mantenimiento preventivo..... | 29 |
| C. Planeación: mejoras en rutas de mantenimiento preventivo. | 31 |
| D. Hacer: personal responsable de ejecución..... | 44 |
| E. Verificar: evaluación del rendimiento..... | 45 |
| F. Propuesta de adquisición de maquinaria..... | 49 |

| | | |
|-------|--|----|
| VII. | COSTOS | 50 |
| | A. Costos fijos de operación de la máquina..... | 50 |
| | B. Costo variable de operación de la máquina. | 51 |
| | C. Costo variable de operaciones por mano de obra. | 51 |
| VIII. | ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA DE MEJORA | 53 |
| | A. Análisis de costos para propuesta de mejora de mantenimiento preventivo..... | 53 |
| | B. Aumento en producción por mejora en disponibilidad de maquinaria..... | 55 |
| | C. Análisis de adquisición de máquinas cosechadoras. | 58 |
| IX. | CONCLUSIONES..... | 61 |
| X. | RECOMENDACIONES..... | 63 |
| XI. | BIBLIOGRAFÍA..... | 64 |
| XII. | ANEXOS..... | 65 |
| | A. Glosario:..... | 65 |
| | B. Datos acumulados OEE para zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón. | 66 |
| | C. Datos acumulados para disponibilidad de maquinaria zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón..... | 67 |
| | D. Datos acumulados para estudio de tiempos perdidos en máquinas cosechadoras en zafra 2012/2013..... | 68 |
| | E. Datos acumulados para análisis de fallas por sistema de transporte de caña en zafra 2012/2013..... | 69 |
| | F. Datos acumulados para análisis de fallas por sistema de cosechadoras oruga en zafra 2012/2013..... | 70 |
| | G. Plan de acción para mejorar mantenimiento preventivo en máquinas de transporte de caña..... | 71 |
| | H. Plan de acción para mejorar mantenimiento preventivo en máquinas de transporte de caña..... | 73 |

LISTA DE CUADROS.

| | |
|---|----|
| Cuadro 1: Productividad de cosechadoras mecánicas en los dos frentes mecanizados de Ingenio Pantaleón. | 17 |
| Cuadro 2: Cálculo del porcentaje de producción perdida en zafra, cosechadoras oruga. | 18 |
| Cuadro 3: Participación de mantenimiento preventivo vs. correctivo para maquinaria del proceso agrícola. | 32 |
| Cuadro 4: Plan de acción de actividades complementarias para mantenimiento preventivo. | 43 |
| Cuadro 5: Tarifa histórica del costo por 1 hora de operación de una cosechadora oruga propia. ... | 52 |
| Cuadro 6: Costo de mantenimiento preventivo de una máquina cosechadora. | 53 |
| Cuadro 7: Costo de indisponibilidad de una máquina cosechadora. | 54 |
| Cuadro 8: Resumen ahorro por mejora de disponibilidad. | 55 |
| Cuadro 9: Cambio en mantenimiento por propuesta de mejora y mejora en tiempos de producción. | 56 |
| Cuadro 10: Cálculo en incremento de la disponibilidad de la maquinaria. | 57 |
| Cuadro 11: Cálculo del impacto financiero por aumento de disponibilidad en maquinaria. | 57 |
| Cuadro 12: Resumen de ganancias para máquinas cosechadoras. | 58 |
| Cuadro 13: Análisis VPN compra de cosechadoras de caña. | 59 |
| Cuadro 14: Análisis VPN renta (leasing) de cosechadoras de caña. | 60 |
| Cuadro 15: Resumen de análisis de VPN para opción de compra vs. renta (leasing) | 60 |

LISTA DE GRÁFICAS.

| | |
|--|----|
| Gráfica 1: Indicador OOE del proceso de cosecha (alce, cosecha mecanizada y transporte). | 19 |
| Gráfica 2: Indicador OOE del proceso de cosecha mecanizada. | 20 |
| Gráfica 3: Indicador OOE del proceso de alce. | 21 |
| Gráfica 4: Indicador OOE del proceso de transporte. | 21 |
| Gráfica 5: Disponibilidad de máquinas cosechadoras zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón. | 22 |
| Gráfica 6: Disponibilidad de máquinas alzadoras zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón. | 23 |
| Gráfica 7: Disponibilidad de camiones de transporte de caña zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón. | 24 |
| Gráfica 8: Estudio de tiempos perdidos en máquinas cosechadoras. | 27 |
| Gráfica 9: Fallas por sistema para maquinaria de transporte de caña. | 34 |
| Gráfica 10: Fallas acumuladas para maquinas cosechadoras. | 35 |
| Gráfica 11: Análisis de fallas “ejes y rodamientos” en máquinas de transporte | 37 |
| Gráfica 12: Análisis de fallas “motor” en máquinas de transporte..... | 37 |
| Gráfica 13: Análisis de fallas “tren de potencia” en máquinas de transporte | 38 |
| Gráfica 14: Análisis de fallas “carrocería” en máquinas de transporte..... | 38 |
| Gráfica 15: Análisis de fallas “motor” en máquinas cosechadoras..... | 39 |
| Gráfica 16: Análisis de fallas “implementos y accesorios” en máquinas cosechadoras | 39 |
| Gráfica 17: Análisis de fallas “transporte caña” en máquinas cosechadoras | 40 |
| Gráfica 18: Análisis de fallas “hidráulico” en máquinas cosechadoras..... | 40 |

LISTA DE FIGURAS (ILUSTRACIONES).

| | |
|--|----|
| Figura 1: Organigrama del departamento de maquinaria de cosecha. | 10 |
| Figura 2: Organigrama del departamento de administración de maquinaria. | 10 |
| Figura 3: Organigrama del departamento de cosecha de Ingenio Pantaleón..... | 6 |
| Imagen 1: Cosechadora oruga..... | 14 |
| Imagen 3: Camión con cabezales. | 14 |
| Figura 4: Ciclo PHVA para proceso de mantenimiento preventivo..... | 30 |

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la propuesta de mejoras para el proceso de cosecha mecanizada en un ingenio azucarero en Guatemala.

En el estudio se realizó un marco teórico para entender el rol del negocio y algunos conceptos claves necesarios para desarrollar este análisis. Para la estructura del trabajo se establecieron cuatro objetivos específicos.

El primer objetivo fue hacer un análisis del proceso de cosecha mecanizado actual. El ingenio tiene tres subprocesos dentro del proceso de la cosecha mecanizada: corte en cosecha mecanizado, alce y transporte. Se analizaron los resultados de productividad de la maquinaria para estos tres procesos en la zafra de 2012/2013.

De igual forma, se hizo un análisis de productividad y una revisión de los indicadores de desempeño de la maquinaria para el proceso de cosecha mecanizada. Se llevó a cabo un análisis de la eficiencia general del equipo y la disponibilidad de maquinaria en la producción de toneladas de caña cortadas en el proceso de cosecha mecanizada.

Basado en los resultados de los análisis anteriores se determinó los puntos críticos del proceso de cosecha mecanizada. La utilización y disponibilidad de maquinaria fueron los índices que más afectaron el desempeño para la producción en este proceso.

Luego se comenta la propuesta de mejora con base a una ruta de mantenimiento para evitar fallas en la maquinaria y, por lo tanto, los tiempos perdidos durante el proceso por mantenimiento e indisponibilidad de maquinaria.

Finalmente se analizaron los beneficios monetarios de la propuesta de mejora. Este análisis se hizo de acuerdo a los costos y ahorros debido a la mejora de productividad de la maquinaria. Además, se evaluó la mejor opción entre compra/renta de máquinas cosechadoras.

I. INTRODUCCIÓN

El azúcar es uno de los productos más exportados en Guatemala. La industria azucarera ha tenido un alto desarrollo en el país con más de un millón de trabajadores según la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA). El Ingenio Pantaleón es parte de esta asociación y es el productor azucarero de mayor volumen a nivel de Centroamérica.

Con más de cien años en la agroindustria azucarera, Ingenio Pantaleón ha tenido que adaptar sus procesos al creciente desarrollo de esta industria. Esta es una empresa con una visión de crecimiento a largo plazo, considerado por ellos como un factor que forma parte de su éxito.

El proceso de la producción de azúcar inicia desde su siembra, corte, procesamiento y finalmente la venta y distribución del producto final, el azúcar. El proceso agrícola se encarga de proporcionar al proceso industrial la materia prima, es decir, la caña de azúcar.

Para llevar la caña de azúcar desde el campo hasta el ingenio se realiza el proceso de cosecha que puede ser manual o mecánica. La cosecha mecanizada hace el proceso de corte de caña más fácil y rápida por lo que Pantaleón estableció la meta del crecimiento de la cosecha mecanizada a un 50% a 5 años, respecto al 30% que se realiza actualmente.

Este trabajo fue estructurado en cuatro partes para una mejor comprensión. En la primera parte se muestra un marco teórico en donde se explica la historia y rol del negocio, además de los conceptos claves para el desarrollo del trabajo.

En la segunda parte se hace un análisis preliminar del proceso de cosecha mecanizada en la empresa, donde se analiza los tres subprocesos de la cosecha mecanizada y la productividad de las máquinas en la zafra 2012/2013. Aquí también se muestra una revisión de los indicadores de desempeño de la maquinaria utilizada en estos procesos.

En la tercera parte se comenta la propuesta de mejora para los puntos críticos de la maquinaria que afecta el proceso de cosecha mecanizada.

En la cuarta parte se hace un análisis financiero para la propuesta de mejora para determinar la factibilidad de la misma.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la propuesta de mejora respecto al proceso de cosecha mecanizada. Al trabajo se anexa un glosario y documentos con información de los datos utilizados para el desarrollo del trabajo.

II. JUSTIFICACIÓN

La razón de presentar una propuesta de mejora para el proceso de cosecha de caña de azúcar es optimizar el proceso. Con la mejora del proceso se reducen los costos operativos de la empresa, se da un uso más eficiente a los recursos, se evita reproceso, aumenta la productividad y se reduce el capital de inversión de la empresa que a la vez puede invertir en otros proyectos.

Actualmente el 30% de la cosecha es mecanizada. Los planes del Ingenio Pantaleón es incrementar la cosecha mecanizada a un 50% en un plazo de 5 años. Por ende, es necesario analizar el beneficio del uso de maquinaria en el proceso de cosecha. Esto con el fin de mejorar la productividad en la cosecha mecanizada, manteniendo los estándares de calidad de la empresa.

Las máquinas cosechadoras, al igual que todas las máquinas, sufren un desgaste con el uso a través del tiempo. Estas deben ser analizadas y comparar la ventaja de tener un activo usado contra las ventajas de uno nuevo, ya que estas tienen distintas vidas útiles, eficiencias y productividad. Este análisis es parte fundamental para la decisión de adquirir maquinaria para un frente de cosecha mecanizado.

El análisis financiero para la toma de decisión de compra o renta de maquinaria le brinda a la empresa la oportunidad de reducir costos y ahorrar capital, que luego puede utilizar para invertir en otros proyectos.

En consecuencia, una propuesta de mejora para el proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar le permite al Ingenio Pantaleón elevar su productividad manteniendo la calidad del proceso, reducir sus costos, y ahorrar capital.

III. OBJETIVOS

A. GENERAL

- Presentar una propuesta de mejora para el proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar en Ingenio Pantaleón, Guatemala.

B. ESPECÍFICOS

- Análisis del proceso actual de cosecha mecanizada para conocer los porcentajes de utilización de maquinaria.
- Revisión de los indicadores de desempeño para determinar las tareas que representan ineficiencia y pérdidas.
- Definir los puntos críticos que afectan la productividad y costos operativos, con el propósito de determinar las propuestas de mejora para el proceso de cosecha mecanizada.
- Análisis financiero de las propuestas para determinar la reducción de costos que representan en el proceso de cosecha mecanizada.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Historia de la empresa

El Ingenio Pantaleón se encuentra ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala. Este inició en 1894 con su fundador Manuel María Herrera comenzando como una finca de caña. Sin embargo, fue hasta el año 1973 en que la empresa tomo el nombre de Pantaleón, Sociedad Anónima.

La estrategia de la empresa se centra en el crecimiento dentro de la industria azucarera. En 1976 alcanzó el liderazgo en la industria azucarera con el mayor volumen de producción a nivel centroamericano. Desde 1984 se ha diversificado con la adquisición de ingenios, operando en distintos países de Latinoamérica: Guatemala (Pantaleón y Concepción), Nicaragua (Monte Rosa), Brasil (Vale do Paraná), Honduras (La Grecia) y México (Pánuco).

B. Rol del negocio

Pantaleón S.A. es una empresa dedicada al procesamiento de caña de azúcar para la producción de azúcar, mieles, alcoholes y generación eléctrica. (Pantaleón)

Las operaciones del Ingenio Pantaleón para transformar la caña en azúcar se puede resumir en dos procesos: el agrícola y el industrial. El primero se encarga de producir y aprovisionar la caña de azúcar con los requisitos mínimos de calidad. El segundo se encarga del procesamiento de la caña de azúcar para producir el azúcar y la producción de energía.

El proceso agrícola está dividido en varias partes: preparación de tierras, siembra, riego, control de malezas, fertilización, aplicación de madurantes, cosecha (manual y mecanizada), alce y transporte.

En el caso de la cosecha manual, se debe realizar un proceso de quema para eliminar las hojas, basura y facilitar la labor de corte a la persona. Haciendo más eficiente el trabajo de corte manual. En contraparte, el corte en verde es más trabajoso para una persona por lo que este trabajo se realiza solo en la cosecha mecanizada.

C. Indicadores de desempeño.

1. Índice OEE. El índice OEE por sus siglas en inglés (Overall Efficiency Equipment) se puede traducir al español como la Eficiencia General del Equipo. El OEE es una herramienta de estudio de tiempos que ayuda a determinar pérdidas o desperdicios que ocurren por la maquinaria de producción. (ANOVA)

Un indicador de que tan eficiente es la maquinaria en un proceso de producción, en base a una capacidad de unidades que la maquina puede producir. Es decir, si se tiene un OEE de 40% quiere decir que de 100 unidades que se deben estar produciendo correctamente, solo 40 unidades están siendo producidas.

El OEE se determina a través de 3 parámetros claves en la producción del equipo: disponibilidad, eficiencia y calidad. La ventaja es que este indicador reúne los tres aspectos más importantes en un solo índice. Por lo tanto el OEE se calcula:

$$OEE = Disponibilidad * Eficiencia * Calidad$$

a. Disponibilidad. La disponibilidad del equipo nos indica el tiempo operativo de la máquina durante el tiempo disponible que tenemos planificada para producir. Por lo que la disponibilidad se calcula:

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible}} * 100$$

Cuando el tiempo operativo es menor que el tiempo disponible es porque existen paradas no planificadas: averías, reparaciones, falta de operario, entre otros. Esto significa pérdidas para la empresa por lo que la disponibilidad nos ayuda a detectar los tiempos perdidos por paradas no planificadas.

b. Eficiencia. La eficiencia es la cantidad de unidades producidas en el tiempo operativo respecto a la cantidad de unidades esperada o estándar de producción. La eficiencia se calcula:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Producción total real}}{\text{Producción teórica esperada}} * 100$$

La eficiencia es otra forma de evidenciar las pérdidas en el proceso. Por lo general existe una diferencia entre la producción real y la esperada. Sin embargo, si esta difiere en un alto porcentaje habrá que analizar las causas y hacer las correcciones para que la producción real se acerque más a la producción proyectada.

c. Calidad. La calidad depende de los estándares establecidos por la empresa para que sea aceptado en el siguiente proceso, o bien por el cliente final. Esto se traduce a las unidades producidas sin defectos dentro del total de unidades producidas.

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{Unidades producidas correctamente}}{\text{Total de unidades producidas}} * 100$$

En calidad las unidades producidas que deben ser reprocesadas o desechadas por defectuosas reducen la producción, significan pérdidas y mayores costos para la empresa, por lo que es necesario reducir estos desperdicios al mínimo y mejorar la producción.

D. Plan de mantenimiento.

Un plan de mantenimiento permite a la organización darle los servicios requeridos al equipo o maquinaria para que pueda cumplir con el trabajo requerido. El propósito de darle mantenimiento es prevenir fallas y mantener el funcionamiento estándar de la maquinaria.

1. Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo se refiere a todos los servicios que se le da a un equipo para conservarlo en un estado de producción continua. Los servicios de mantenimiento pueden referirse a inspecciones, evaluaciones, ajustes, reemplazos, y eliminación de defectos con el fin de reducir fallas, mejorar o mantener la eficiencia y fiabilidad de la máquina, o bien mejorar la calidad de su producción.

El fin último del mantenimiento preventivo es encontrar y corregir los problemas de desgaste para evitar fallas y averías. De igual forma, busca evitar las reparaciones de emergencia y paros en los tiempos de producción por un imprevisto en la maquinaria.

En Pantaleón el mantenimiento preventivo consiste en cambio de aceites, lubricantes y la inspección de los sistemas y componentes de la máquina.

2. Mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo es el servicio que se da al equipo de producción para solucionar una avería o corregir una falla. Este mantenimiento se hace con el fin de tener la máquina nuevamente en disponibilidad de realizar sus funciones productivas.

El costo de reparación de una falla o avería imprevista es mayor ya que por lo general resulta en cambio de una pieza no presupuestada y paros inesperados en producción por indisponibilidad de maquinaria.

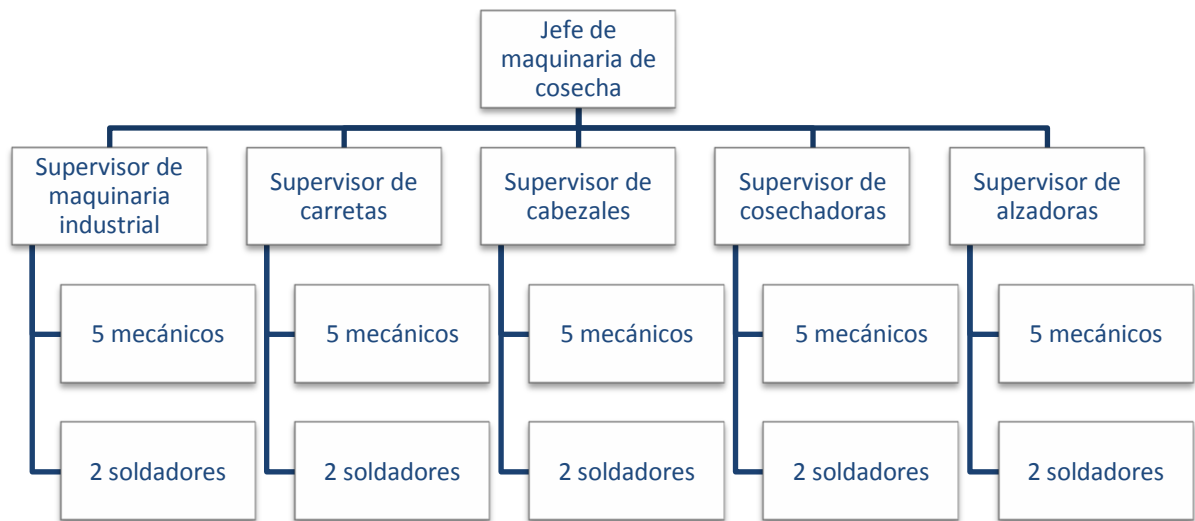
Este tipo de mantenimiento es rentable cuando la máquina no es parte directa del proceso de producción. La desventaja es que produce paradas y daños, las fallas son difíciles de predecir y por lo tanto afectan la planificación tanto de producción como de mantenimiento.

3. Plan de mantenimiento en Ingenio Pantaleón. En Pantaleón existen planes de mantenimiento preventivo y planes de mantenimiento correctivo. Para el ingenio es de vital importancia reducir el porcentaje de mantenimientos correctivos realizados durante la zafra, ya que estos implican que la máquina este completamente parada.

En cambio, con un mantenimiento preventivo se busca detectar posibles fallas antes de que sucedan y realizar los servicios necesarios para que la máquina opere continuamente, sin paros fuera de lo programado.

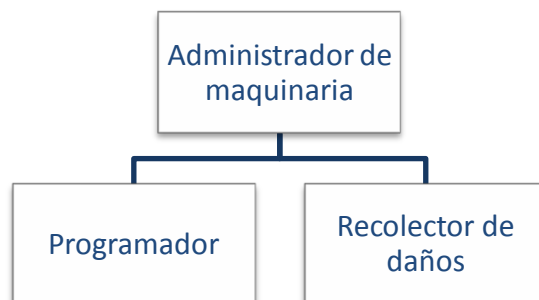
El departamento de maquinaria tiene a su cargo la ejecución de los planes de mantenimiento. Para las máquinas de cosecha el departamento está estructurado tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Organigrama del departamento de maquinaria de cosecha.



El departamento de maquinaria de cosecha trabaja en conjunto con el departamento de administración de maquinaria, ver Figura 2. Este departamento se encarga de distribuir la carga de trabajo a cada máquina.

Figura 2: Organigrama del departamento de administración de maquinaria.



El administrador de maquinaria debe informar al jefe de maquinaria de cosecha cuando una máquina necesita servicio de mantenimiento. Actualmente, las máquinas deben recibir servicio cada 250 horas de trabajo. El programador se encarga de monitorear cada máquina para que se haga el mantenimiento en el momento que corresponde.

El recolector de daños hace un reporte de las fallas que han ocurrido con las máquinas y junto al programador informan al administrador de maquinaria, para que este dé la orden de mantenimiento al jefe de maquinaria de cosecha.

Cuando el jefe de maquinaria de cosecha recibe la orden, este da aviso al supervisor que debe realizar el servicio de mantenimiento a la máquina. Por lo tanto, la responsabilidad de velar por que se haga un buen mantenimiento es del supervisor, ya que él indica los mecánicos y soldadores el trabajo que se debe realizar.

Un mantenimiento correctivo se puede evitar cuando se detectan desgastes antes de que se produzca una falla y por lo tanto evitar que la máquina deje de operar. Por lo tanto es razonable pensar en aumentar los servicios preventivos con el propósito de disminuir los correctivos. En este caso, el supervisor de la máquina debe tener el conocimiento técnico y hacer bien su trabajo con el fin de dar un buen mantenimiento preventivo y evitar que la máquina falle frecuentemente.

E. Análisis financiero.

1. Leasing vs Compra. Según Price, S. el término leasing se refiere a una forma de financiamiento por medio de la cual la empresa puede adquirir un bien sin la necesidad de comprarlo, a través de un contrato y el pago de su renta.

En cuanto a la compra, es la adquisición de los beneficios económicos del bien. Cuando el bien es comprado significa que el equipo es de nuestra propiedad.

Una de los métodos para comparar el costo de los flujos del leasing con los pagos de una compra es con el VPN (Valor Presente Neto). Este método permite comparar los valores de los dos proyectos de adquisición leasing vs. compra. La opción más rentable se elige por la que representa el menor costo de VPN.

V. ANÁLISIS PRELIMINAR

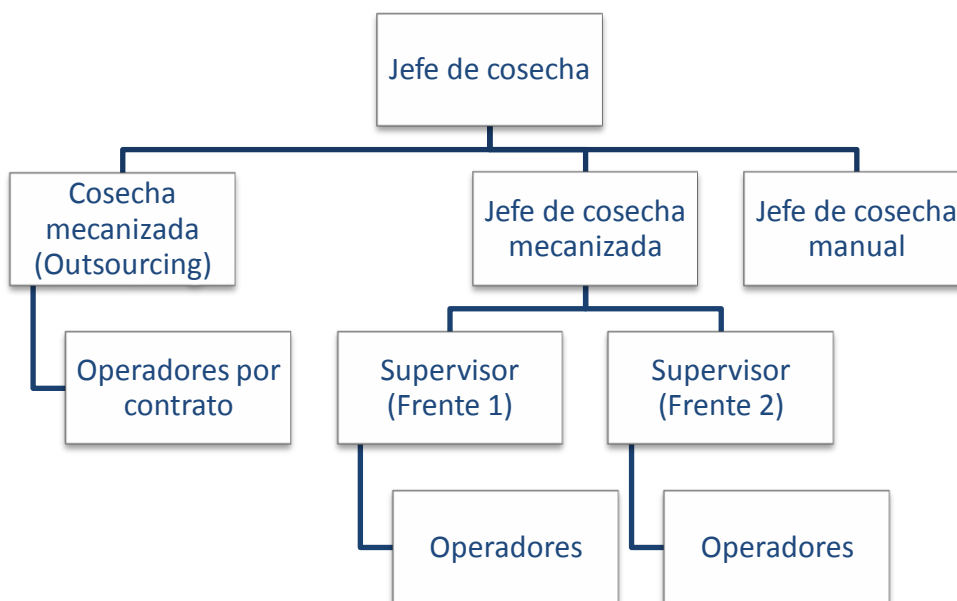
A. Descripción del proceso de cosecha mecanizada.

Actualmente, en Pantaleón el proceso de cosecha se hace en un 70% de forma manual y el otro 30% se realiza de forma mecánica.

El beneficio más notable de la cosecha mecánica es que permite realizar la labor de corte de forma más fácil sin sacrificar condiciones de calidad. Es por esta razón que Pantaleón tiene la meta de crecer su cosecha mecanizada a un 50% de la cosecha total del ingenio a un plazo de 5 años.

Ingenio Pantaleón tiene un departamento para realizar el trabajo de cosecha. Durante las 27 semanas de la zafra 2012/2013 la cosecha mecanizada operó durante 180 días, con una cosecha mecanizada de 779,425 toneladas de caña; y un total de 2,598,086 de toneladas de caña para la cosecha (manual y mecanizada) en Ingenio Pantaleón.

Figura 3: Organigrama del departamento de cosecha de Ingenio Pantaleón.



El proceso de cosecha mecanizada se encarga de provisionar la caña de azúcar desde los campos hacia la planta de proceso industrial. Este proceso involucra tres labores agrícolas mecanizadas: cosecha mecanizada, alce y transporte.

1. Corte en cosecha mecanizada. El proceso de corte de la caña en el campo se puede realizar de forma mecánica según la clasificación del lote. Los lotes de caña de azúcar en Ingenio Pantaleón son clasificados en categoría: A, B, C o D según el tipo de terreno. Para que un lote pueda cortarse con cosecha mecanizada debe ser tipo A o B.

La clasificación depende de factores como: la fácil accesibilidad que se tiene al lote, la falta de obstáculos como piedras, y tamaño del lote. Estos son factores, entre otros, que pueden clasificar a un lote como tipo A o B.

A diferencia de la cosecha manual, la cosecha mecanizada facilita realizar el corte en verde sin aumentar los costos operativos. Por lo tanto no es necesario hacer el proceso de quema para que una cosechadora corte la caña. Sin embargo, en ocasiones el corte de la cosecha mecanizada se realiza con quema por motivos de eliminación de plagas en el lote o quema por vandalismo, en el caso de los lotes que están expuestos a la gente.

En un frente de cosecha mecanizada se utilizan cuatro cosechadoras oruga. Para los dos frentes mecanizados, cuatro cosechadoras oruga han sido adquiridas por compra y el resto se adquieren por medio de renta/leasing.

2. Alce. Esta actividad consiste en levantar la caña de forma mecánica para acomodarla en las jaulas que facilitan cargar la caña a los camiones que luego la transportarán a la planta.

El alce de la caña cosechada se realiza inmediatamente después del corte. Esto se debe a que la caña pierde azúcar por cada hora que pasa en el campo. Por esa razón, la caña no debe pasar más de 36 horas desde su corte hasta su molienda en la fábrica.

3. Transporte. En esta fase se moviliza la caña desde el campo hasta la planta, donde luego será procesada. Para el transporte se utilizan camiones con cabezales, que dependiendo de la ruta puede halar hasta cuatro jaulas cañeras.

Imagen 1: Cosechadora oruga.



Imagen 2: Alzadora de caña.



Imagen 3: Camión con cabezales.



B. Descripción de un frente de cosecha mecanizado.

Para un frente de cosecha mecanizada se necesita de 56 operadores en total, divididos en los siguientes puestos: 1 supervisor, 2 encargados de corte, 1 apuntador, 10 operadores de cosechadora, 18 tractoristas y 24 peones. Además se necesita de un equipo de taller formado por: 4 mecánicos, 2 eléctricos y 1 soldador. La maquinaria que se utiliza en un frente de cosecha son: 4 cosechadoras, 8 tractores, 1 carroza de mantenimiento, 1 pipa de combustible, 1 tanque contra incendio y 1 planta de soldar.

Para el proceso de cosecha mecanizada el Ingenio Pantaleón cuenta con cuatro frentes mecanizados, de los cuales dos son propios y otros dos son outsourcing.

Para la cosecha mecanizada se opera las 24 horas del día, con turnos de 6 horas, dos diurnos y dos nocturnos. Para que el proceso de cosecha mecanizada se aproveche al máximo, es indispensable que se opere 83% de las horas del día (19.92 horas), restando los tiempos muertos (Horas de almuerzo, limpieza, cambio de turno, etc.).

Para que el mejor potencial de la cosecha mecanizada sea posible es indispensable la disponibilidad de transporte y la disponibilidad de maquinaria.

C. Análisis de productividad de maquinaria.

En el proceso de cosecha mecanizada, lo más importante es conocer la utilización de las máquinas disponibles y la productividad de las mismas. La productividad de las máquinas se verá disminuida, entre otros factores, por la falta de disponibilidad de maquinaria.

Para control de disponibilidad de la maquinaria en el proceso de cosecha se mide constantemente la productividad en toneladas trabajadas por día y las horas eficientes de trabajo realizadas. Con estas unidades se calcula la productividad de cada máquina en toneladas por hora.

En el Cuadro 1 se muestra la productividad total de las 27 semanas de la zafra 2012/2013 para los dos frentes mecanizados propios. Es necesario mencionar que todos los datos son una suma acumulada de los 180 días de trabajo en zafra 2012/2013.

La mayor cantidad de la cosecha mecanizada se realiza con corte en verde, aproximadamente poco más del 90% de las toneladas cortadas se cortan de esta forma. Para estas máquinas cosechadoras el promedio de la productividad fue de 40.22 toneladas por hora.

La producción en toneladas en toda la zafra estuvo por debajo del esperado. Con la productividad de 40.22 (ton/h) por máquina y el esperado de 19.92h de trabajo efectivo por día, con las 8 máquinas trabajando en 180 días de zafra se tendría un esperado de la producción arriba del millón de toneladas.

Sin embargo, la producción de unidades estuvo cerca de 780,000 toneladas, por debajo del esperado de la producción. Por lo que es evidente que existe una cantidad de unidades de producción perdida.

Cuadro 1: Productividad de cosechadoras mecánicas en los dos frentes mecanizados de Ingenio Pantaleón.

| Row Labels | Producción (h) | | Unidades (ton) | | Productividad (ton/h) | | Total Producción (h) | Total Unidades (ton) | Total (ton/h) |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| | 1811 Verde | 1821 Quema | 1811 Verde | 1821 Quema | 1811 Verde | 1821 Quema | | | |
| GT01 | 18,079.00 | 1,299.00 | 711,293.12 | 68,132.77 | 39.3436 | 52.4502 | 19,378.00 | 779,425.89 | 40.2222 |
| BP01- Cosechadora Oruga (H) | 9,692.00 | 564.00 | 366,367.35 | 29,436.67 | 37.8010 | 52.1927 | 10,256.00 | 395,804.02 | 38.5924 |
| BP01- Cosechadora Oruga (H) 10020002 | 73.00 | | 2,514.54 | | 34.4458 | | 73.00 | 2,514.54 | 34.4458 |
| BP01- Cosechadora Oruga (H) 10020003 | 2,533.00 | 169.00 | 92,492.80 | 9,290.83 | 36.5151 | 54.9753 | 2,702.00 | 101,783.63 | 37.6697 |
| BP01- Cosechadora Oruga (H) 10020004 | 2,379.00 | 54.00 | 94,556.20 | 2,417.29 | 39.7462 | 44.7646 | 2,433.00 | 96,973.49 | 39.8576 |
| BP01- Cosechadora Oruga (H) 10020005 | 2,442.00 | 169.00 | 93,209.56 | 9,313.82 | 38.1694 | 55.1114 | 2,611.00 | 102,523.38 | 39.2659 |
| BP01- Cosechadora Oruga (H) 10020006 | 2,265.00 | 172.00 | 83,594.25 | 8,414.73 | 36.9070 | 48.9228 | 2,437.00 | 92,008.98 | 37.7550 |
| BR01- Cosechadora Oruga (H) | 8,387.00 | 735.00 | 344,925.77 | 38,696.10 | 41.1262 | 52.6478 | 9,122.00 | 383,621.87 | 42.0546 |
| BR01- Cosechadora Oruga (H) 10020007 | 2,103.00 | 182.00 | 86,705.81 | 8,996.43 | 41.2296 | 49.4309 | 2,285.00 | 95,702.24 | 41.8828 |
| BR01- Cosechadora Oruga (H) 10020008 | 2,131.00 | 212.00 | 88,248.48 | 10,794.90 | 41.4118 | 50.9193 | 2,343.00 | 99,043.38 | 42.2720 |
| BR01- Cosechadora Oruga (H) 10020009 | 2,086.00 | 167.00 | 85,298.16 | 9,710.49 | 40.8908 | 58.1466 | 2,253.00 | 95,008.65 | 42.1698 |
| BR01- Cosechadora Oruga (H) 10020010 | 2,067.00 | 174.00 | 84,673.32 | 9,194.28 | 40.9644 | 52.8407 | 2,241.00 | 93,867.60 | 41.8865 |
| Total general | 18,079.00 | 1,299.00 | 711,293.12 | 68,132.77 | 39.3436 | 52.4502 | 19,378.00 | 779,425.89 | 40.2222 |

Cuadro 2: Cálculo del porcentaje de producción perdida en zafra, cosechadoras oruga.

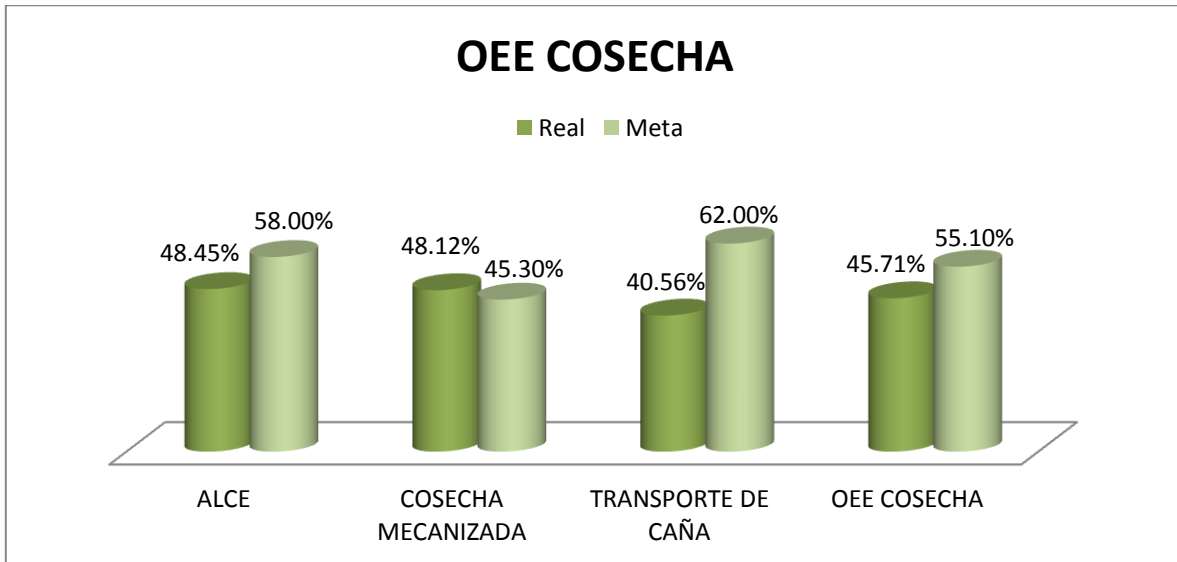
| | | |
|--|------------|------------|
| Total producción (horas) | 19,378.00 | |
| Total unidades (toneladas) | 779,425.89 | |
| Producción máquina (toneladas/hora) | 40.22 | |
| Días de zafra | 180 | |
| Número de máquinas | 1 | 8 |
| Producción por máquinas (Horas/día) | 13.46 | 107.66 |
| Horas efectivas por día (83%) | 19.92 | 159.36 |
| Tiempo no trabajado (horas) | 6.46 | 51.70 |
| Total tiempo perdido en zafra (horas) | 1,163.35 | 9,306.80 |
| Total unidades no trabajadas (toneladas) | 46,792.50 | 374,340.02 |
| % de unidades de producción perdida en zafra | 48.0% | 48.0% |

Tal como se muestra en el Cuadro 2, la producción real por máquina fue de 13.46 horas por día cuando en realidad debería estar trabajando 19.92 horas por día. Esto significa 6.46 horas perdidas de producción por día durante los 180 días de zafra. Por lo tanto, debido a estos tiempos muertos se dejó de producir 374,340 toneladas que representan un 48% de la cosecha mecanizada

D. Análisis de indicador OEE.

El OEE es indicador que nos muestra el desempeño de la maquinaria en el proceso de producción. En la Gráfica 1 se muestra el desempeño del OEE para el proceso de cosecha tomando en cuenta las tres actividades que la conforman: el proceso de alce, cosecha mecanizada, y transporte.

Gráfica 1: Indicador OOE del proceso de cosecha (alce, cosecha mecanizada y transporte).

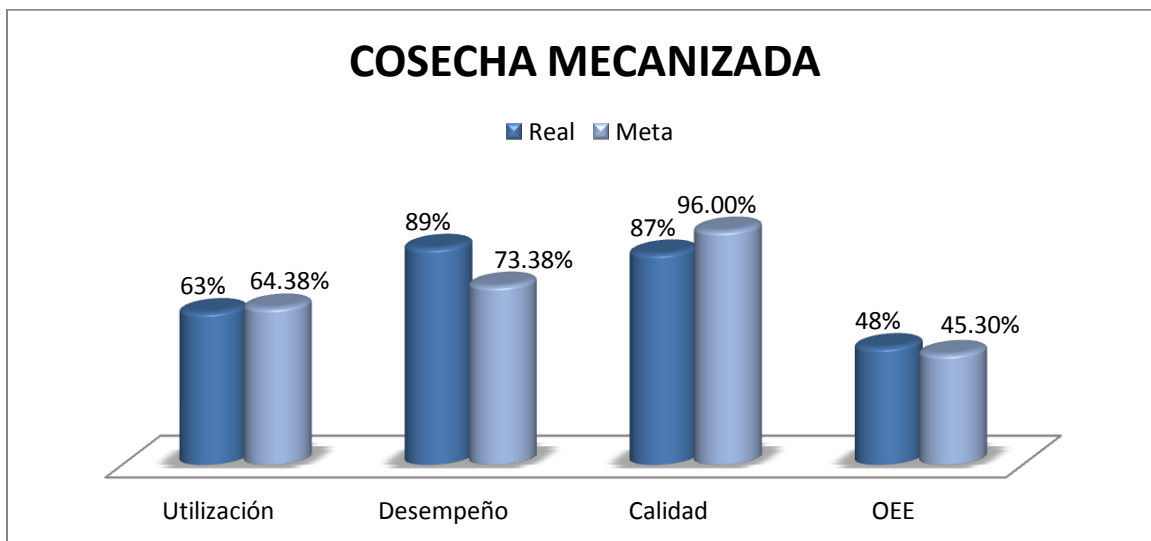


Este indicador de 45.71% estuvo por debajo de la meta de 55.10% para el proceso de cosecha durante la zafra de 2012/2013. Significa que existen pérdidas o desperdicios en el proceso de producción de la cosecha mecanizada; estas pérdidas se deben a una de las ramas que componen este indicador: utilización, desempeño o calidad.

El proceso de alce y transporte estuvieron por debajo de la meta. Sin embargo la cosecha mecanizada es el proceso en donde se cortan las toneladas de caña de azúcar para abastecer al siguiente proceso de producción, por lo que es importante poner énfasis a este indicador.

A continuación se muestra la medición del OEE para cada una de las actividades que conforman el proceso de la cosecha mecánica. En cada gráfica se muestran los niveles de utilización, desempeño y calidad para cada proceso.

Gráfica 2: Indicador OOE del proceso de cosecha mecanizada.



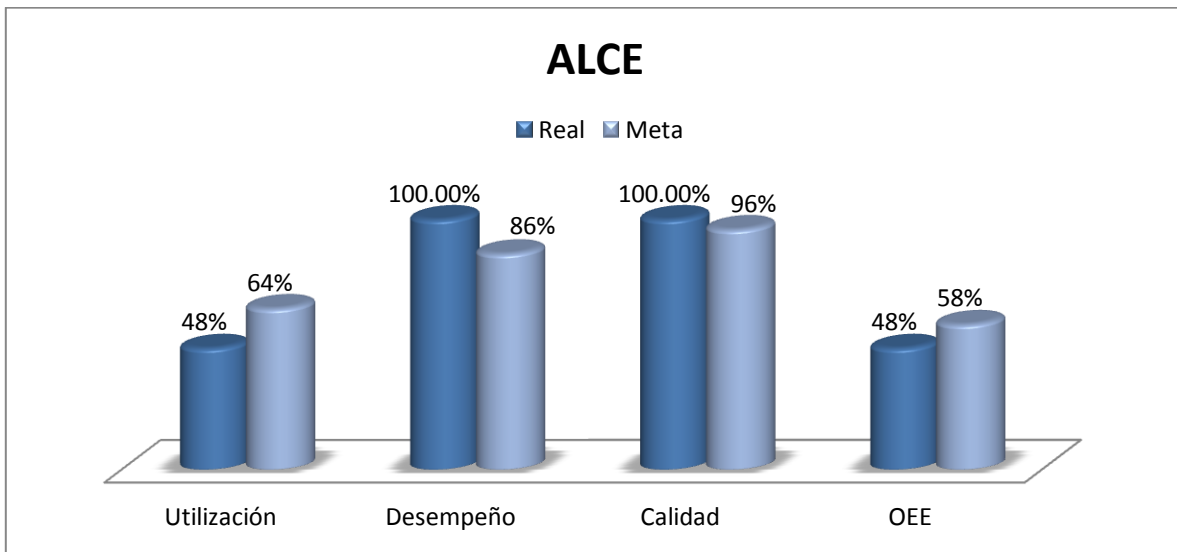
Para cumplir con la meta del Ingenio Pantaleón de tener un crecimiento en el porcentaje de cosecha mecanizada sobre el total de la cosecha, es importante poner un énfasis especial en el trabajo de corte con las cosechadoras mecánicas.

El OEE para el proceso de cosecha mecanizada muestra una utilización muy baja de las máquinas cosechadoras. Para una máquina que opera las 24 horas del día, un porcentaje de utilización de 63% es una muestra de tiempos perdidos por falta de disponibilidad de la maquinaria.

Un bajo nivel de utilización representa un costo de oportunidad para la empresa, en toneladas que podrían ser producidas con la maquinaria disponible y que no se están trabajando. Al mejorar la utilización de la maquinaria se incrementan las toneladas de caña cortada.

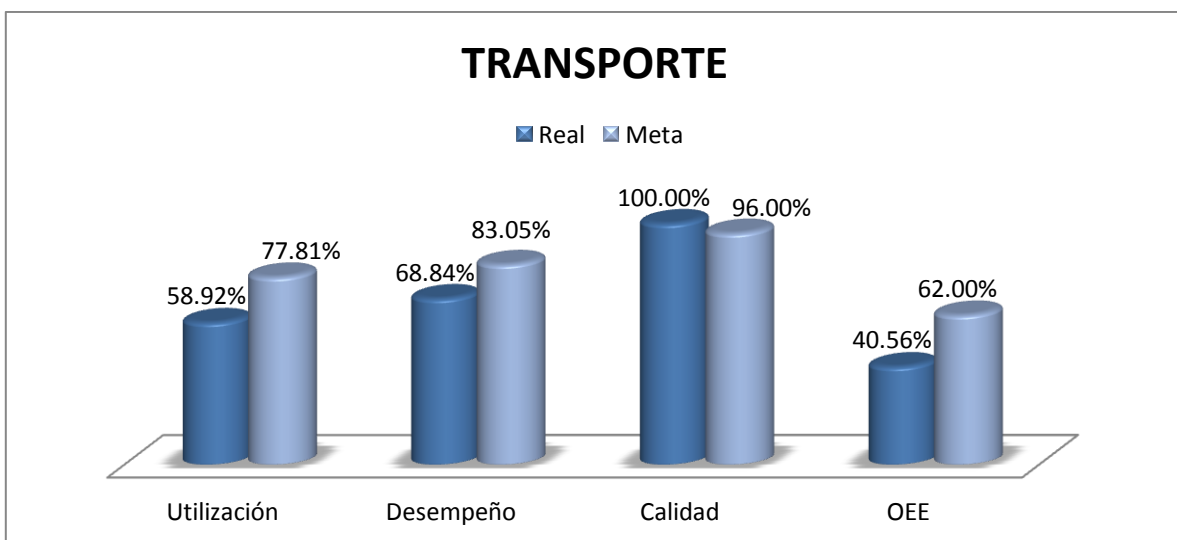
En el caso del desempeño las máquinas cosechadoras están en un nivel muy bueno para la producción. Por ende, la razón de un OEE bajo como lo es un 48% se debe al bajo rendimiento en la utilización de la maquinaria durante los tiempos de operación.

Gráfica 3: Indicador OOE del proceso de alce.



En el caso del proceso de alce ocurre lo mismo que con el proceso de cosecha mecanizada visto en la Gráfica 1. El OEE del proceso de alce está en un nivel bajo de 48% debido a la baja utilización de máquinas alzadoras. El desempeño y calidad de estas máquinas es muy eficiente debido a que es un proceso simple de carga.

Gráfica 4: Indicador OOE del proceso de transporte.



En la Gráfica 4 se muestra un OEE DE 40.56% para el proceso de transporte, lo que para la empresa es muy bajo en comparación a la meta establecida.

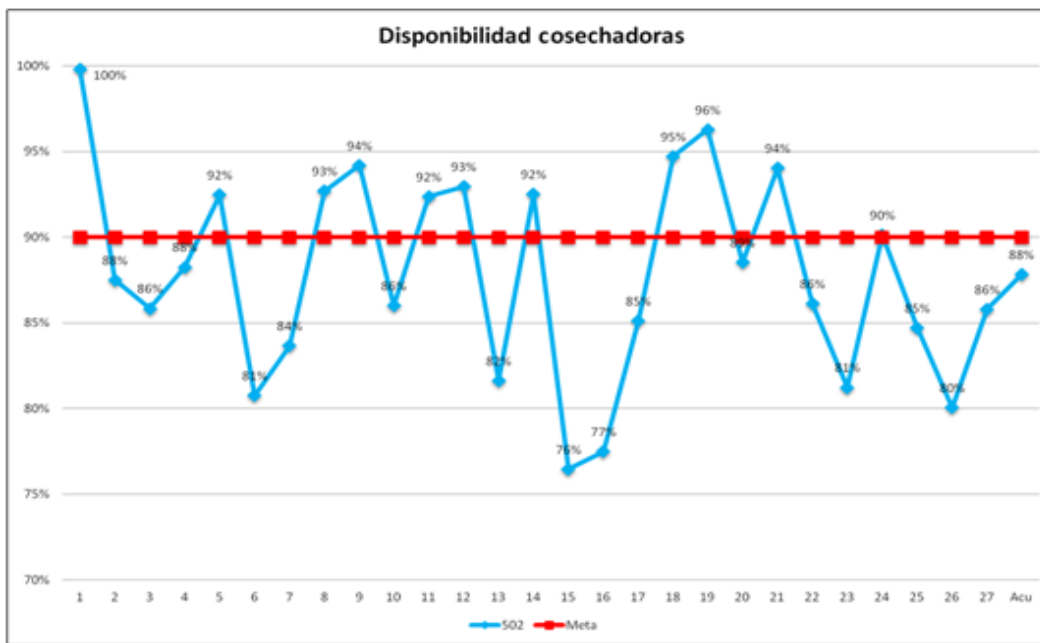
Para el proceso de transporte, el desempeño es la causa de un indicador OEE de 40.56%. Por lo general el desempeño del transporte se ve afectado por las toneladas transportadas con respecto al consumo de combustible en un viaje del campo hacia la planta de producción.

Nuevamente la utilización es un factor que afecta al proceso de cosecha, en este caso para el proceso de transporte. En general, existe una oportunidad de mejora para las tres actividades mecanizadas en el proceso de cosecha a través de la mejora en la disponibilidad de la maquinaria con el propósito de mejorar el índice de utilización en el OEE.

E. Análisis de disponibilidad de maquinaria.

Debido al bajo factor de utilización de la maquinaria en el índice del OEE, es importante analizar el factor de la disponibilidad de la maquinaria del departamento de cosecha mecanizada. Este indicador muestra un porcentaje del tiempo que la máquina estuvo realmente en operación respecto al tiempo esperado que se hubiese deseado que esta operara. A continuación se muestra una línea de tiempo de la disponibilidad de las máquinas

Gráfica 5: Disponibilidad de máquinas cosechadoras zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón.

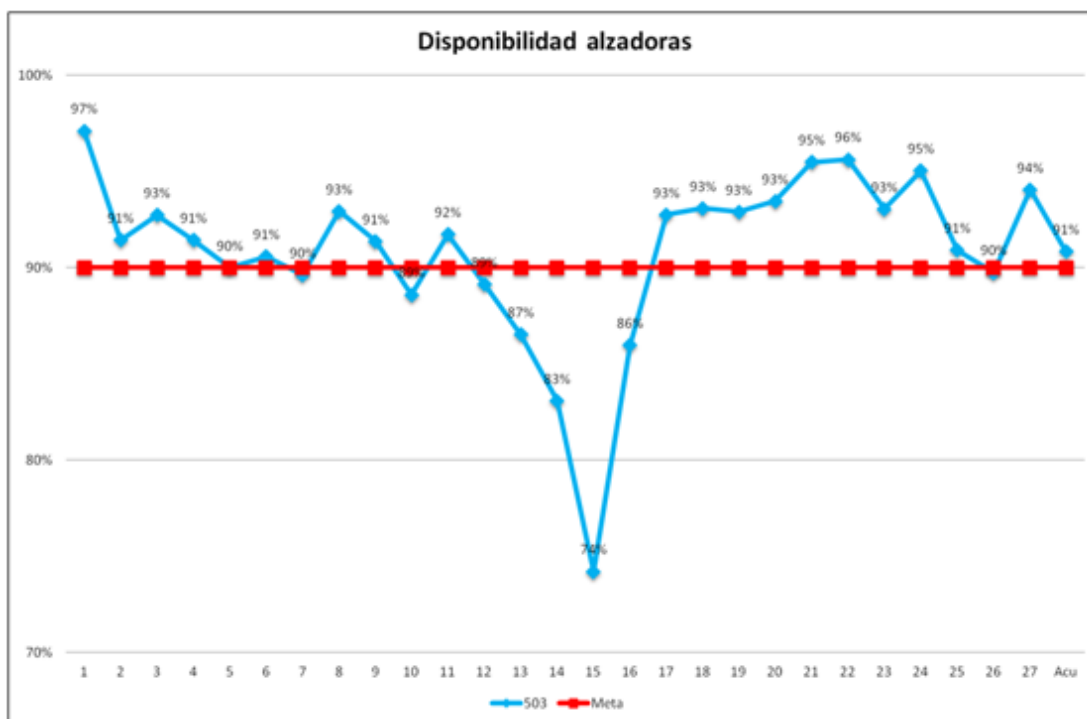


La disponibilidad de las cosechadoras solo fue superior a la meta del 90% por 9 semanas de las 27 que duró la zafra. En las semanas 15 y 16 se obtuvo el índice más bajo para el indicador de disponibilidad con 76% y 77% respectivamente.

Para la cosecha se tiene una proyección de tiempos que la máquina debe trabajar. Sin embargo, la disponibilidad de las máquinas cosechadoras fue muy irregular durante la última zafra. No se logró mantener las máquinas arriba de la meta por más de dos semanas, y esto afecta directamente la producción en toneladas de caña cortadas.

Esto también se hace evidente en el Cuadro 1, ya que durante la zafra fue necesario utilizar una máquina cosechadora antigua, que es propiedad de la empresa, que solo operó durante 73 horas. Esta máquina ya no se utilizaba por su bajo rendimiento y antigüedad, sin embargo fue necesario utilizarla debido a la indisponibilidad de las cosechadoras que si deben operar.

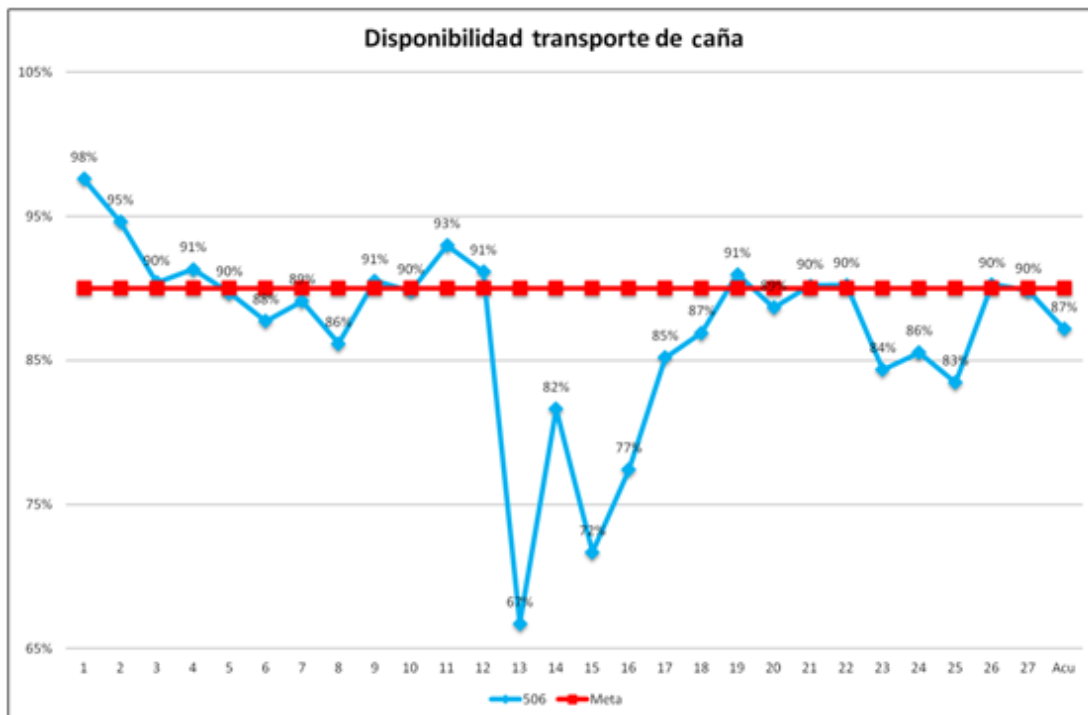
Gráfica 6: Disponibilidad de máquinas alzadoras zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón.



Respecto a la disponibilidad de las máquinas alzadoras, fue más constante en comparación a las máquinas cosechadoras. A pesar de esto, existe un gran pico entre las semanas 12 a 16. Es decir, durante 5 semanas el proceso de cosecha tuvo problemas con la operación de alce ya que no tenía maquinaria suficiente a disposición para operar.

La disponibilidad de máquinas alzadoras también afecta directamente a la producción de toneladas de caña cortadas. En este caso se debe a que la caña no se debe cortar y dejarse en el campo. Como se mencionó anteriormente, la caña de azúcar pierde sus propiedades a medida que pasa el tiempo luego de ser cortada. Cabe mencionar que Ingenio Pantaleón tiene estándares de calidad que no permiten cortar la caña si no se transporta en menos de 4 horas a la planta.

Gráfica 7: Disponibilidad de camiones de transporte de caña zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón.



La disponibilidad de las máquinas de transporte también estuvo muy por debajo de la meta entre las semanas 13 a 16. Al igual que el proceso de alces, el transporte es un proceso que afecta directamente la producción de corte de la caña de azúcar. Sin maquinaria de transporte disponible el proceso de corte se detiene.

Por ende la producción de corte de caña también se para si no se tiene la disponibilidad del proceso de alce y transporte. Por lo que la disponibilidad de maquinaria se debe mejorar para la optimización de producción de toneladas totales de caña cortada en la cosecha mecanizada.

VI. PROPUESTA DE MEJORA

A. Mejorar tiempos muertos de maquinaria.

Para el proceso de cosecha mecanizada las máquinas cosechadoras, alzadoras y de transporte presentaron un rendimiento por debajo de la meta en el índice de utilización del OEE (Ver gráfica 2, 3 y 4). Significa que la máquina no estaba disponible para ser utilizada en su totalidad de tiempo.

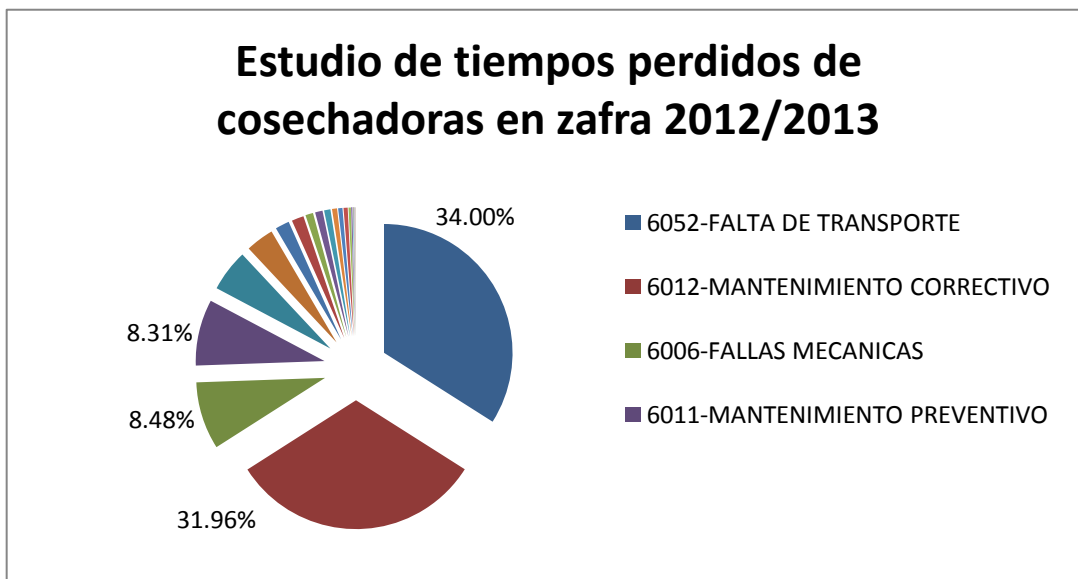
El tiempo de utilización se calcula en relación al tiempo real operativo de la máquina. Para mejorar la utilización, en relación al tiempo que la máquina no opero, se debe aumentar la disponibilidad de la maquinaria.

El cálculo de la disponibilidad depende del tiempo cuando la máquina está en condiciones de operar, tomando en cuenta únicamente los tiempos perdidos por fallas de la maquinaria. La máquina más inconsistente durante la zafra 2012/12013 en el índice de disponibilidad fueron las cosechadoras (ver Gráfica 5) ya que es la que presentó más puntos por debajo de la meta. Por esta razón se debe dar un especial énfasis a solucionar los problemas de las cosechadoras, en cuanto a disponibilidad se refiere.

Es preciso mejorar la disponibilidad de la maquinaria para evitar los tiempos muertos. Al mejorar la disponibilidad de las cosechadoras se tendrá un mayor impacto en el proceso de cosecha mecanizada.

Con base a los resultados de un estudio de tiempos (ver anexos), realizado en Ingenio Pantaleón para la máquinas cosechadoras se realizó un análisis de Pareto para determinar el 80% de las causas por las que ocurrieron los tiempos perdidos. Las razones por las cuales la utilización y la disponibilidad de la maquinaria fueron tan bajas durante la zafra 2012/2013 se muestran en la Gráfica 8.

Gráfica 8: Estudio de tiempos perdidos en máquinas cosechadoras.



Aproximadamente un 83% de los tiempos perdidos en la operación de corte de las máquinas cosechadoras fue por cuatro principales razones. Este análisis se realizó para realizar un plan que permita reducir y evitar estos tiempos cuando la máquina debió operar y no pudo hacerlo.

1. Falta de transporte. Un 34% del tiempo de las máquinas cosechadoras se debió a falta de transporte, por lo que se debe mejorar la disponibilidad de la maquinaria de transporte, en este caso los cabezales.

La falta de transporte se debe a las fallas en los camiones, por lo que no están disponibles para operar. Es decir, no se está realizando un mantenimiento apropiado a los cabezales y por lo tanto existen fallas.

La propuesta para solucionar este problema es una mejora al plan de rutas de mantenimiento para prevenir fallas en la maquinaria de transporte de caña. Para evitar dichas fallas es necesario reducir el porcentaje de mantenimientos correctivos y mejorar los mantenimientos preventivos de los cabezales.

2. Mantenimiento correctivo. En cuanto a las máquinas cosechadoras, el 31.96% de tiempo perdido es por causas de mantenimiento correctivo. Este tiempo se refiere a lo que le toma al departamento de maquinaria de cosecha realizar las reparaciones necesarias para que la máquina vuelva a funcionar.

El mantenimiento correctivo representa grandes tiempos perdidos ya que significa un paro completo de la máquina que está fuera de la planificación. Significa que el encargado de mantenimiento utiliza su tiempo para hacer un diagnóstico que determine la causa de la falla, luego debe reparar la falla, y finalmente hacer pruebas a la máquina para determinar si se solucionó la raíz del problema.

La propuesta a este problema es un plan de acción para ayudar a que el encargado de los mantenimientos preventivos detecte posibles fallas y darle mantenimiento a los componentes de la máquina antes de que ocurra la falla.

3. Fallas mecánicas. El 8.48% de tiempos perdidos se debe a fallas mecánicas. Una falla es un defecto en la maquinaria durante el tiempo de vida útil. Por lo general una falla reduce su eficiencia de la máquina en la producción o provoca su paro definitivo, inhabilitando su capacidad de operar.

A diferencia de los mantenimientos correctivos, este tiempo se refiere a atrasos de la máquina en el campo. Algunas de estas fallas se deben a vibraciones, traqueteo, cuchillas rotas, etc. que paran la máquina, reduciendo su eficiencia, pero no para la máquina de forma definitiva para realizar un mantenimiento correctivo.

Este problema también se puede reducir con una mejora en el plan de mantenimiento preventivo. Por lo que se propone una mejora a las rutas de mantenimiento para las cosechadoras.

4. Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo representa un 8.31% de los tiempos por los que las máquinas cosechadoras no operan continuamente. Sin embargo, las máquinas sufren desgaste con las horas de trabajo realizadas y es necesario darles mantenimiento.

Por lo tanto, para mejorar los porcentajes de utilización de las máquinas cosechadoras y de transporte se debe mejorar el plan de mantenimiento, reduciendo el porcentaje de mantenimientos correctivos y aumentando el de mantenimientos preventivos.

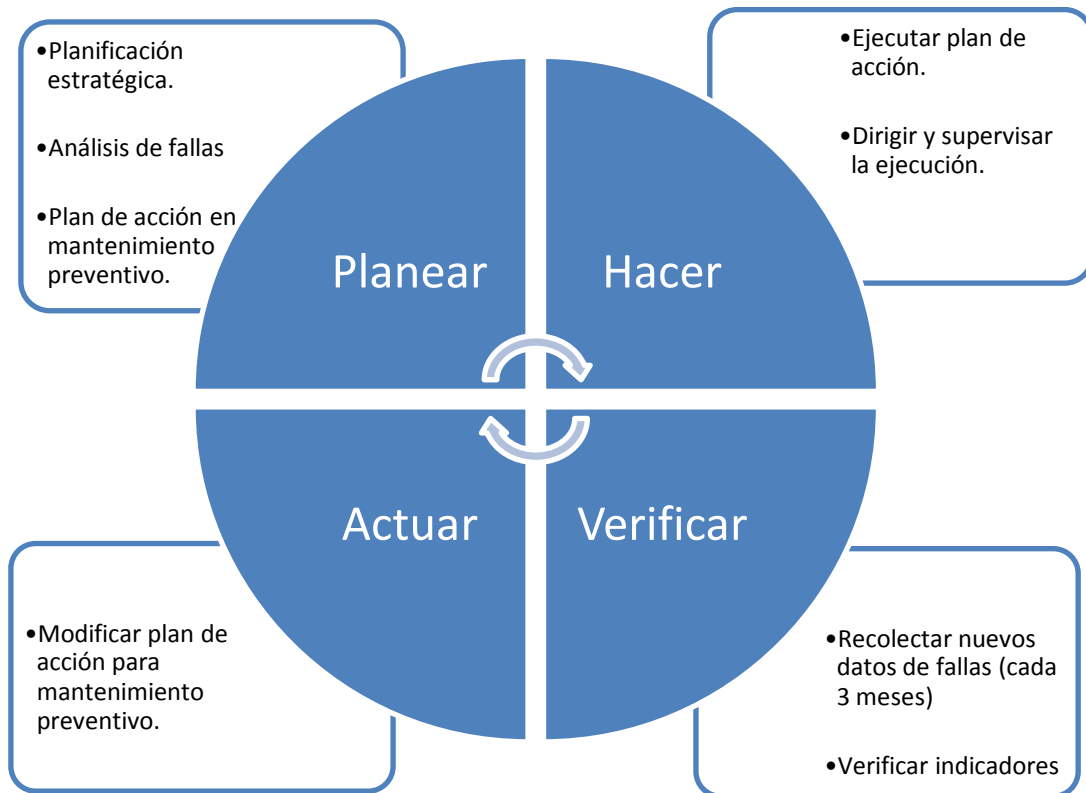
B. Propuesta ciclo de Deming para mantenimiento preventivo.

En la Gráfica 8 se muestra una relación directa entre el tiempo perdido por las cosechadoras y la indisponibilidad de las máquinas de transporte. La falta de transporte sumado a tiempo perdido por mantenimiento correctivo y a fallas mecánicas, es la evidencia que se debe mejorar el plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de maquinaria, con el fin de mejorar el proceso de cosecha mecanizada.

El plan de mantenimiento es un proceso de mejora continua y por lo tanto se le debe dar un seguimiento para rastrear posibles fallas. Por esta razón la forma de mejorar el mantenimiento preventivo de la maquinaria es a través de un ciclo de Deming o ciclo PHVA (Planea, Hacer, Verificar, Actuar). Además, este es un ciclo de mejora continua que ayuda a la empresa a mejorar durante la zafra.

A continuación se presenta un ciclo PHVA como propuesta de mejora para el plan de mantenimiento preventivo de las máquinas de cosecha y transporte.

Figura 4: Ciclo PHVA para proceso de mantenimiento preventivo.



Un plan de mantenimiento es la forma de cómo lograr un proceso eficiente para que la empresa tenga una flota de máquinas ideal y disponible para la producción del día a día. Este plan es un listado que el mecánico debe seguir para los mantenimientos programados de la máquina.

El propósito de un mantenimiento es reparar un defecto o una falla de la forma más rápida posible a un costo rentable para la empresa. Es decir, que la inversión que realizada en el mantenimiento se vea reflejada en la producción de esa máquina.

Para el proceso de cosecha mecanizada en Pantaleón el mantenimiento correctivo no es deseado, ya que el proceso de cosecha opera las 24 horas del día y, por lo tanto, un paro por mantenimiento correctivo afecta de forma directa el proceso de producción.

C. Planeación: mejoras en rutas de mantenimiento preventivo.

Una ruta de mantenimiento es una lista de las actividades que el mecánico debe realizar al momento de hacer un mantenimiento preventivo. El propósito de un mantenimiento preventivo es reducir los mantenimientos correctivos y los daños y costos que pueden estar incluidos en este.

Además se realizan cambios necesarios para el continuo funcionamiento de cada máquina como lubricación, engrasado, limpieza, etc. Este mantenimiento consiste en programar revisiones para las máquinas en base a datos históricos de las mismas.

Las modificaciones a la ruta de mantenimiento preventivo deben realizarse en base a la cantidad de fallas presentadas por el mismo sistema en la máquina. Usualmente, cuando una falla llega a provocar un mantenimiento correctivo es porque no se logró detectar la falla con anticipación o no se le dio el seguimiento adecuado.

1. Planificación estratégica. Las cuatro causas que representan el 80% de tiempo perdido (ver Gráfica 8) se pueden evitar con una mejor planificación a los mantenimientos preventivos. Esto tendrá un impacto directo en la disponibilidad de la maquinaria, y por consecuencia en la productividad del proceso de cosecha mecanizada.

En el proceso de cosecha es deseable mantener el mantenimiento correctivo al mínimo. En la relación de mantenimiento preventivo contra correctivo es mejor tener un mayor porcentaje de mantenimiento preventivo en relación al correctivo.

En Pantaleón se establecieron rangos considerados aceptables para la relación de mantenimientos preventivos vs. correctivos. En el Cuadro 3 se muestra la relación de mantenimientos de cada máquina en el proceso agrícola, clasificados con los rangos de aceptación de la relación entre mantenimiento preventivo y correctivo.

Cuadro 3: Participación de mantenimiento preventivo vs. correctivo para maquinaria del proceso agrícola.

| Participacion | GUA | Rangos | | | |
|-------------------------------|-----------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| | Acumulado | Mantto preventivo | | Mantto correctivo | |
| General | | 60.1% a 100% | Verde | 0% a 40.0% | Verde |
| Mantto preventivo | 44.76% | 40.1% a 60.0% | Amarillo | 40.1% a 60.0% | Amarillo |
| Mantto correctivo | 55.24% | 0% a 40.0% | Rojo | 60.1% a 100% | Rojo |
| Cosechadoras | | | | | |
| Mantto preventivo | 60.87% | | | | |
| Mantto correctivo | 39.13% | | | | |
| Alzadoras | | | | | |
| Mantto preventivo | 72.79% | | | | |
| Mantto correctivo | 27.21% | | | | |
| Cabezales | | | | | |
| Mantto preventivo | 33.26% | | | | |
| Mantto correctivo | 66.74% | | | | |
| Equipo de riego | | | | | |
| Mantto preventivo | 6.44% | | | | |
| Mantto correctivo | 93.56% | | | | |
| Carretas de transporte | | | | | |
| Mantto preventivo | 88.54% | | | | |
| Mantto correctivo | 11.46% | | | | |
| Tractores agricolas | | | | | |
| Mantto preventivo | 28.53% | | | | |
| Mantto correctivo | 71.47% | | | | |

En el Cuadro 3 se debe analizar la maquinaria de cosecha mecanizada: cosechadoras, alzadoras y cabezales. Las cosechadoras están justo en el rango aceptable del 60% de participación en mantenimiento preventivo. Sin embargo, por ser las máquinas principales en el proceso de cosecha se debe reducir más los mantenimientos correctivos. Un rango de 80%/20% de preventivo/correctivo es mejor en estas máquinas.

Las alzadoras están mejor en un rango muy bueno aunque se puede reducir un 5% en mantenimiento correctivo. Por otra parte, los cabezales que se encargan del transporte de caña están en el rango más bajo. El tiempo perdido por falta de transporte se refleja en el 67% de mantenimiento correctivo para los cabezales.

Los cabezales representan el mayor porcentaje de mejora y la meta debe ser alta ya que es la razón principal del tiempo perdido. Se debe exigir llevarlo a una participación del 60%/40% en mantenimiento preventivo/correctivo.

Una vez establecidas las metas de la participación de mantenimiento preventivo vs. correctivo se deben analizar las fallas que provocaron los mantenimientos correctivos. Con este análisis se busca trasladar los órdenes de mantenimiento correctivo pasados a las nuevas de mantenimiento preventivo. De esta forma se prevee el cambio de una pieza durante el mantenimiento preventivo para evitar las fallas, y por ende el mantenimiento correctivo.

Para esta fase de la planificación de rutas de mantenimiento se debe hacer una revisión al historial de los trabajos realizados a las máquinas durante la última zafra. Es decir, las rutas de mantenimiento anteriores serán el punto de partida para la planificación de los mantenimientos de la siguiente zafra.

2. Análisis de causa raíz de fallas en equipos. Es importante que se analice el registro de fallas que ocurrieron en el pasado para planificar las mejoras de mantenimiento. Este trabajo depende de dos personas: el administrador de maquinaria y el jefe de maquinaria de cosecha. El administrador de maquinaria debe proporcionar los datos al jefe de maquinaria de cosecha; estas dos personas deben analizar las razones que causaron las fallas y la frecuencia con que ocurrieron.

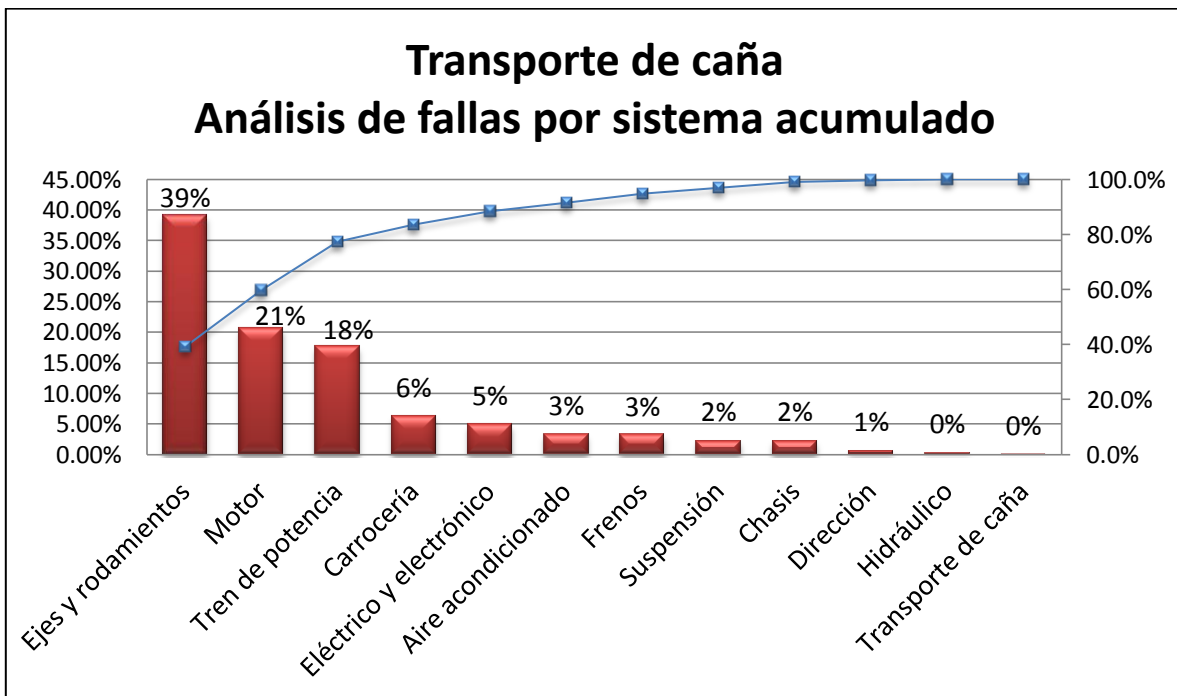
El análisis de causa raíz es para procurar detectar las fallas antes de que ocurran. De esta forma se puede dar el mantenimiento respectivo o el cambio de una pieza cuando se detecten síntomas que reflejen la posibilidad de una falla, evitando un posible paro en la producción de la máquina.

El sistema de fallas se controla según el sistema y el componente. En un sistema puede haber varios componentes, por ejemplo, las fallas en el sistema hidráulico se puede deber a componentes como: cilindros, mangueras, fajas, etc. En este caso, el plan de acción debe enfocarse al mantenimiento de los componentes que más fallas presentaron.

De acuerdo a la frecuencia con que ocurrieron dichas fallas, se debe planificar la revisión, evaluación y los procedimientos de mantenimiento y añadirlo a las nuevas rutas de mantenimiento. De tal forma que con estas nuevas revisiones se pueda detectar posibles fallas y darle el seguimiento requerido.

a. Análisis de fallas por sistema - transporte de caña. A continuación se muestra una gráfica del sistema de fallas acumuladas para la maquinaria de transporte durante la zafra de 2012/2013. Estos son los sistemas de los cabezales que sufrieron fallas.

Gráfica 9: Fallas por sistema para maquinaria de transporte de caña.



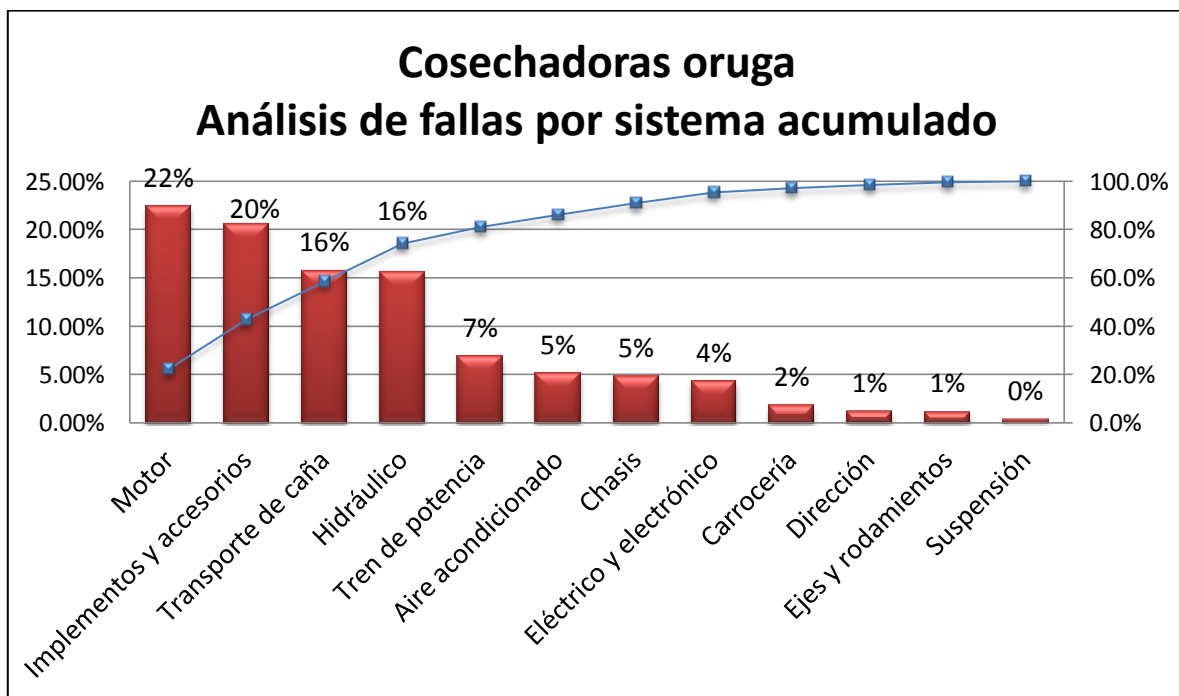
En base a la Gráfica 9 se deduce que se debe poner énfasis en la modificación de la ruta de mantenimiento para previsión de fallas de los ejes y rodamientos de los cabezales, debido a que este representa el 39% de las fallas por las que la maquinaria de transporte tuvo tan baja disponibilidad.

Asimismo, se debe programar la revisión al motor, del tren de potencia, y la carrocería ya que juntos representan el 84% de las fallas que ocasionaron mantenimientos correctivos.

b. Análisis de fallas por sistema – cosechadoras. De igual forma, es necesario realizar el mismo análisis de fallas para las máquinas de cosecha ya que junto a los cabezales son las dos máquinas que representan paro en la producción por indisponibilidad debido a mantenimientos correctivos.

Primero se analizan las fallas por sistema de las cosechadoras y en base a los sistemas que más porcentaje de fallas presentaron se analizarán los componentes que lo causaron.

Gráfica 10: Fallas acumuladas para máquinas cosechadoras.



Los sistemas claves para mejorar las rutas de mantenimiento de las cosechadoras están en aumentar la frecuencia de revisión y mantenimiento del motor, implementos y accesorios, transporte y sistema hidráulico. Estas dos actividades son las que más fallas presentaron respecto a los demás componentes de la máquina.

Con el conocimiento de las consecuencias de las fallas, un análisis de anomalías y tomando en cuenta el histórico de las rutas de mantenimiento se deben establecer las estrategias y las actividades para evitar que estas fallas ocurran.

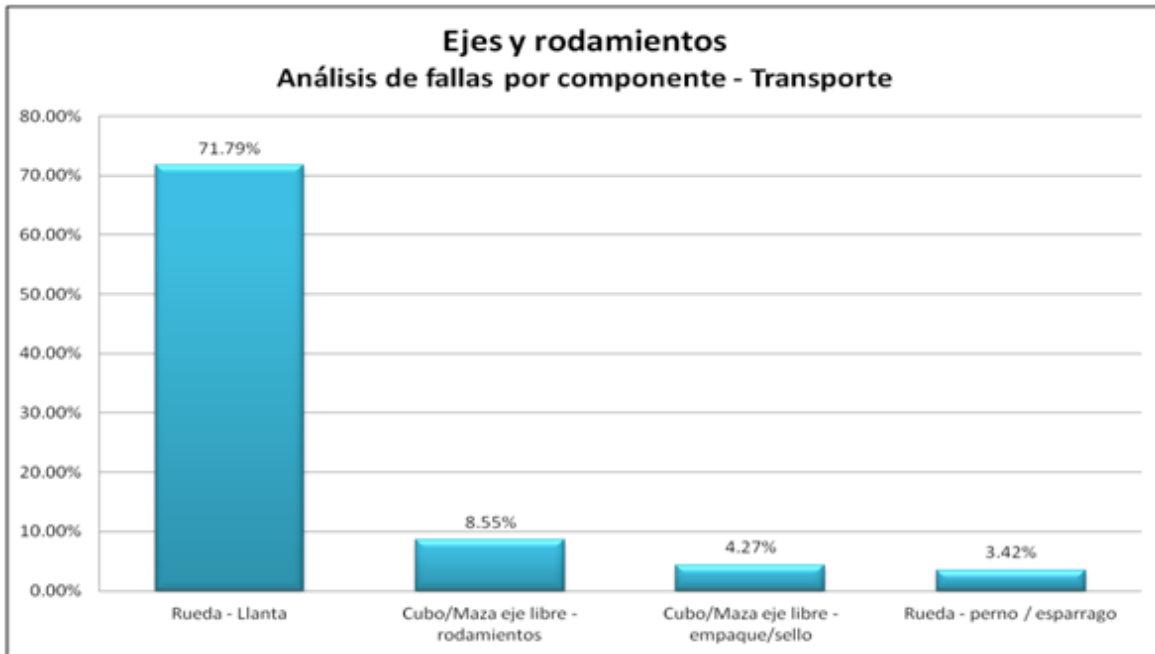
1) Análisis de fallas por componente – cosechadoras. Cada sistema ilustrado en el análisis de fallas (Gráfica 9 y 10) tiene componentes o partes que ocasionaron que la máquina no funcionara. Las fallas por componentes, según el registro histórico, ayudaran a indicar el tipo de revisión que se debe incluir a las rutas de mantenimiento preventivo.

En base a las causas que ocasionaron las fallas en los cabezales se debe agregar actividades de revisión y corrección de los componentes a las rutas de mantenimiento. Esto se denomina un mantenimiento complementario, dado que se realizan ajustes a las actividades de mantenimiento preventivo que ya están planeadas.

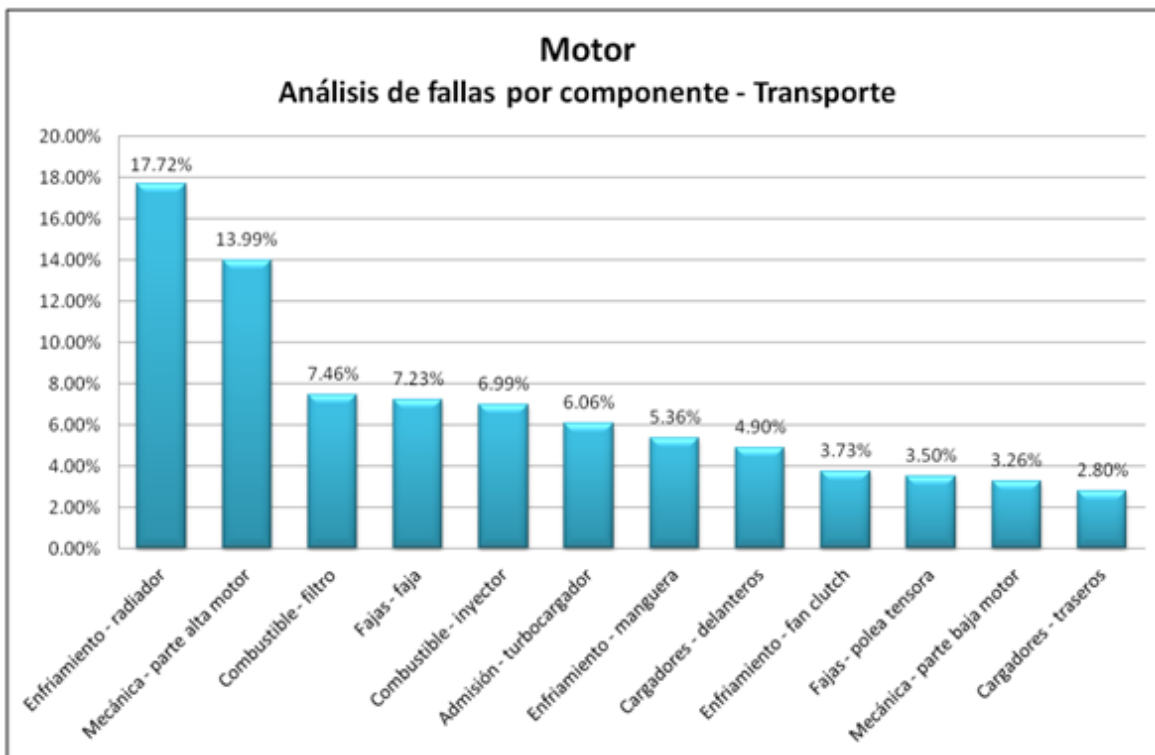
Existen componentes que tienen una mayor incidencia al momento de realizar un mantenimiento correctivo. El propósito de cuantificar el número de avisos de fallas es detectar el componente que se daña continuamente. Una vez detectada la pieza se puede diagnosticar los síntomas que causan desgaste antes de que ocurra la falla. Estos síntomas son las actividades de revisión que deben complementar el mantenimiento.

El análisis de fallas por componente debe estar orientado a determinar los componentes con mayor número de avisos de falla. A continuación se muestran unas gráficas considerando el 80% de los componentes que más fallas presentaron durante la zafra pasada. Los componentes enumerados en las gráficas son los que se incluirán en las actividades de revisión para las rutas de mantenimiento preventivo.

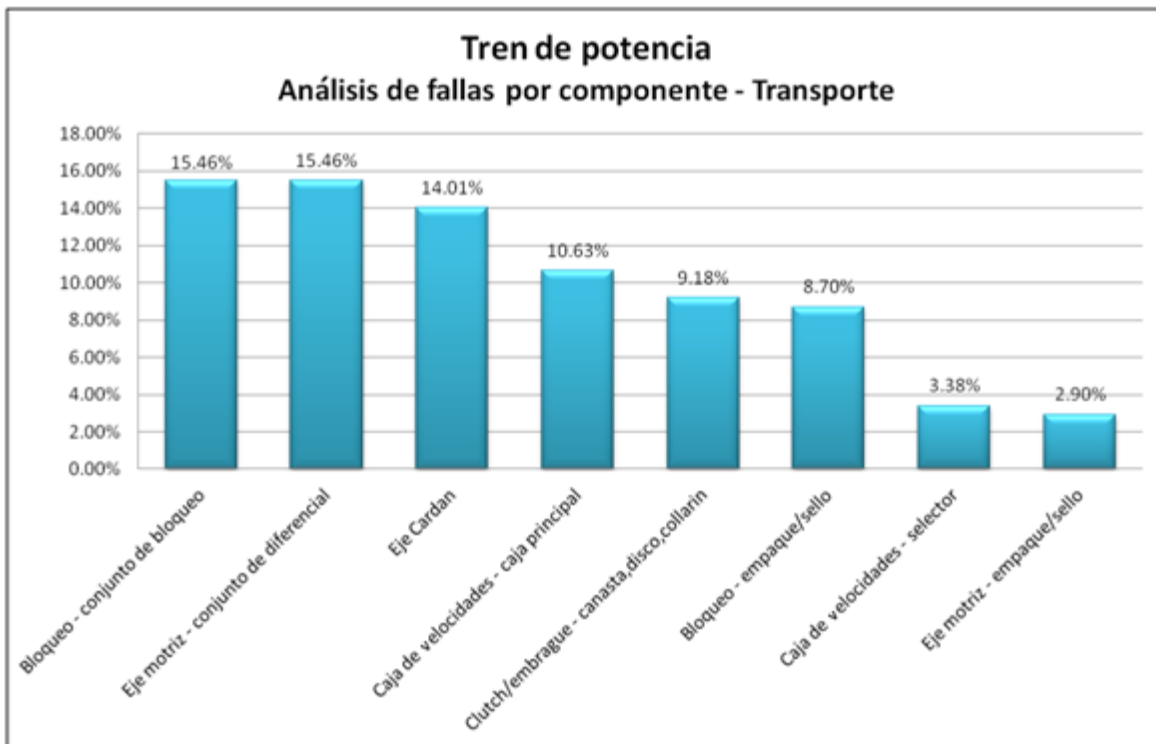
Gráfica 11: Análisis de fallas “ejes y rodamientos” en máquinas de transporte



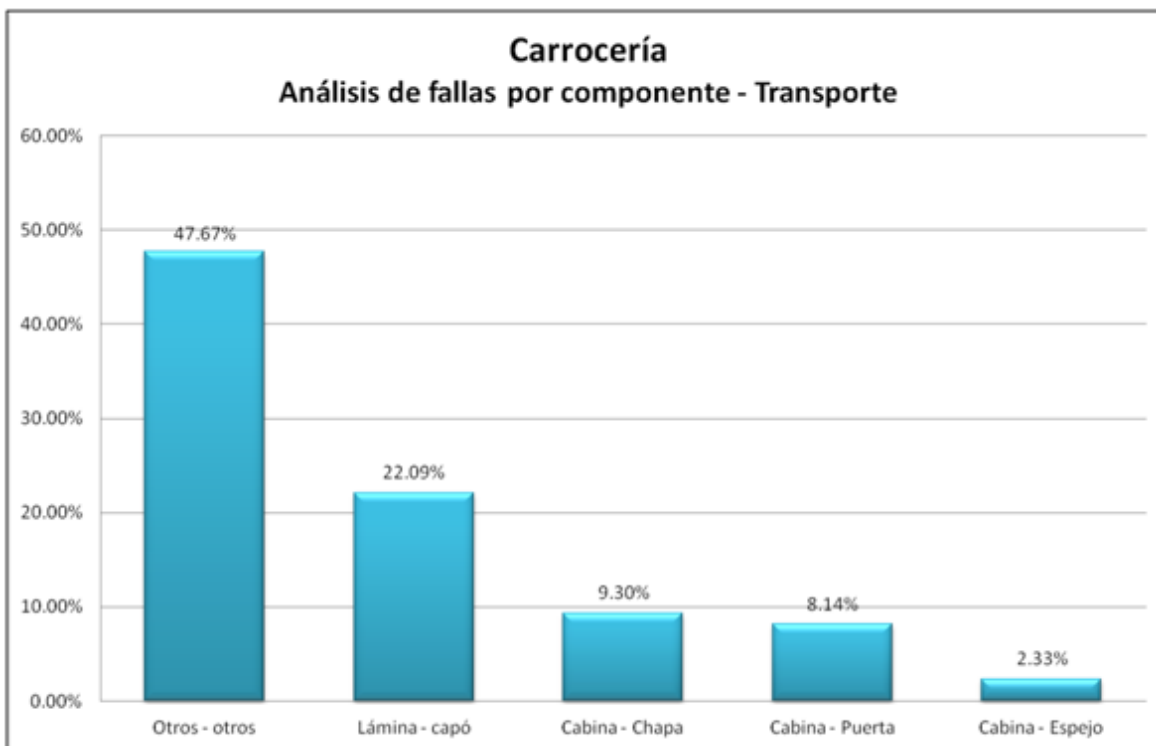
Gráfica 12: Análisis de fallas “motor” en máquinas de transporte



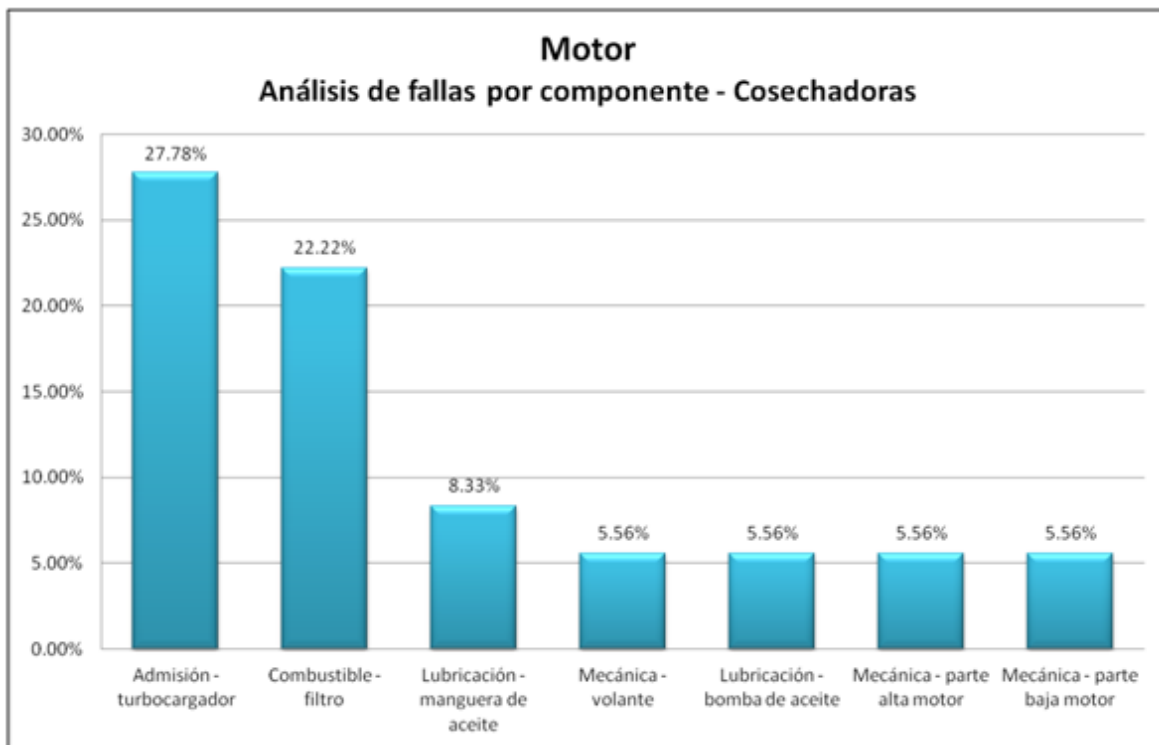
Gráfica 13: Análisis de fallas “tren de potencia” en máquinas de transporte



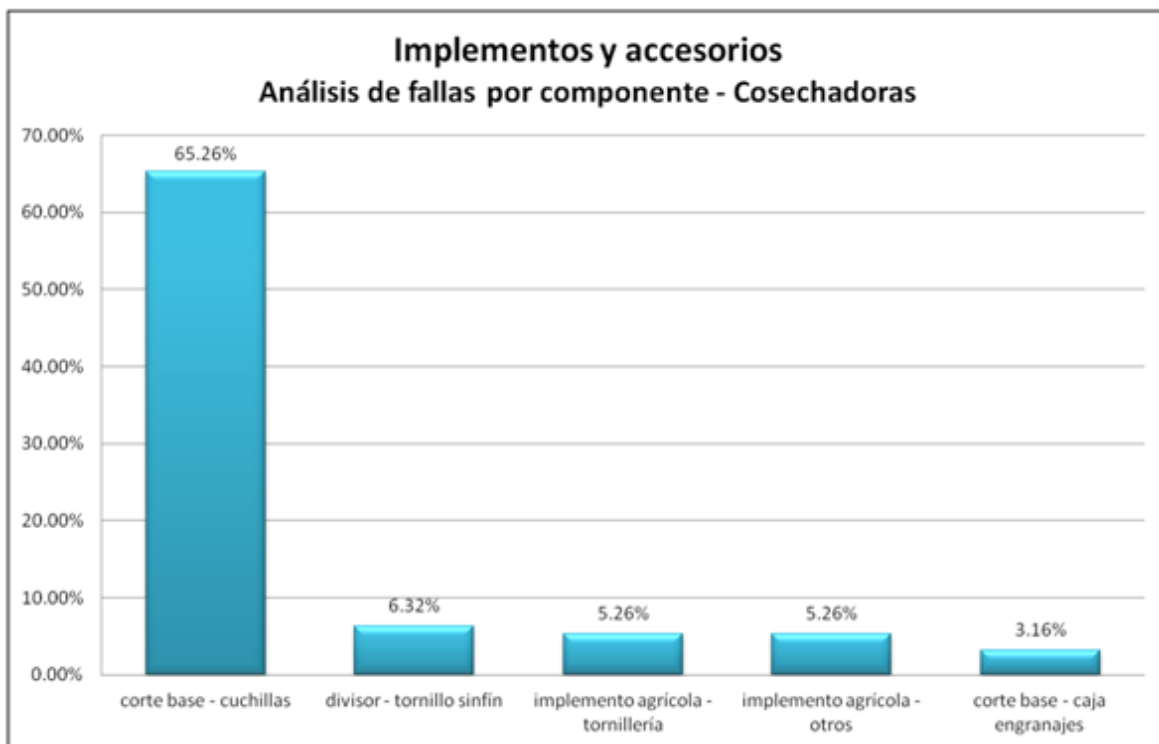
Gráfica 14: Análisis de fallas “carrocería” en máquinas de transporte



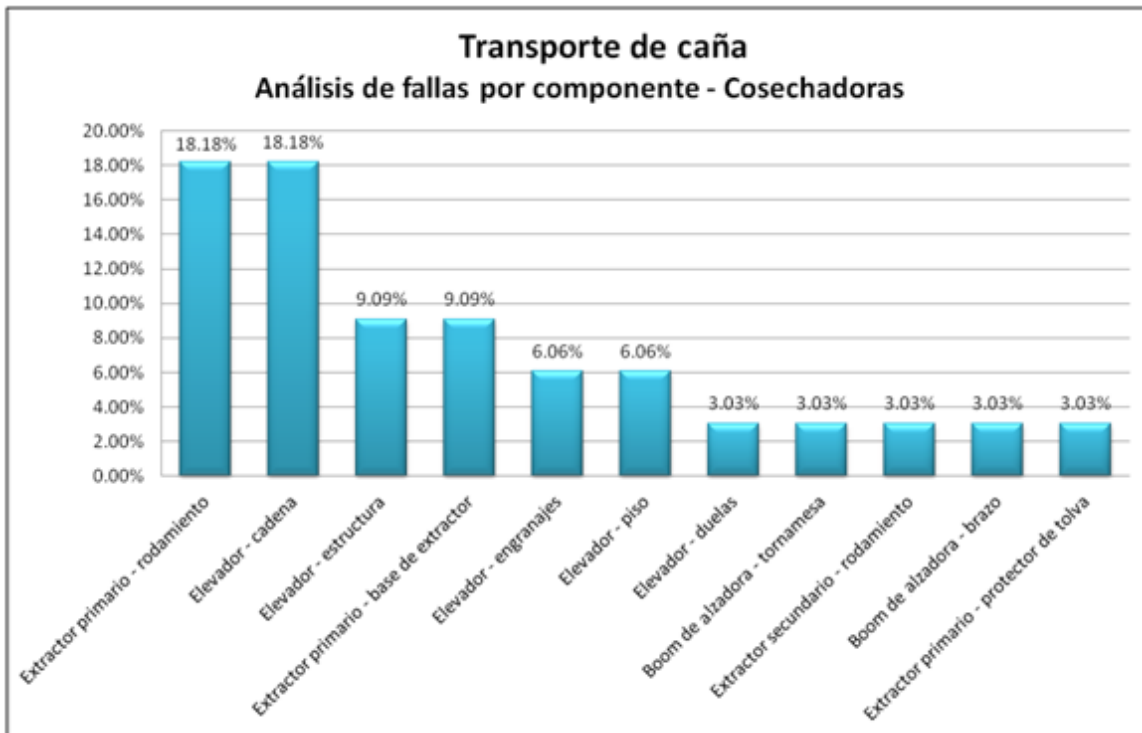
Gráfica 15: Análisis de fallas “motor” en máquinas cosechadoras



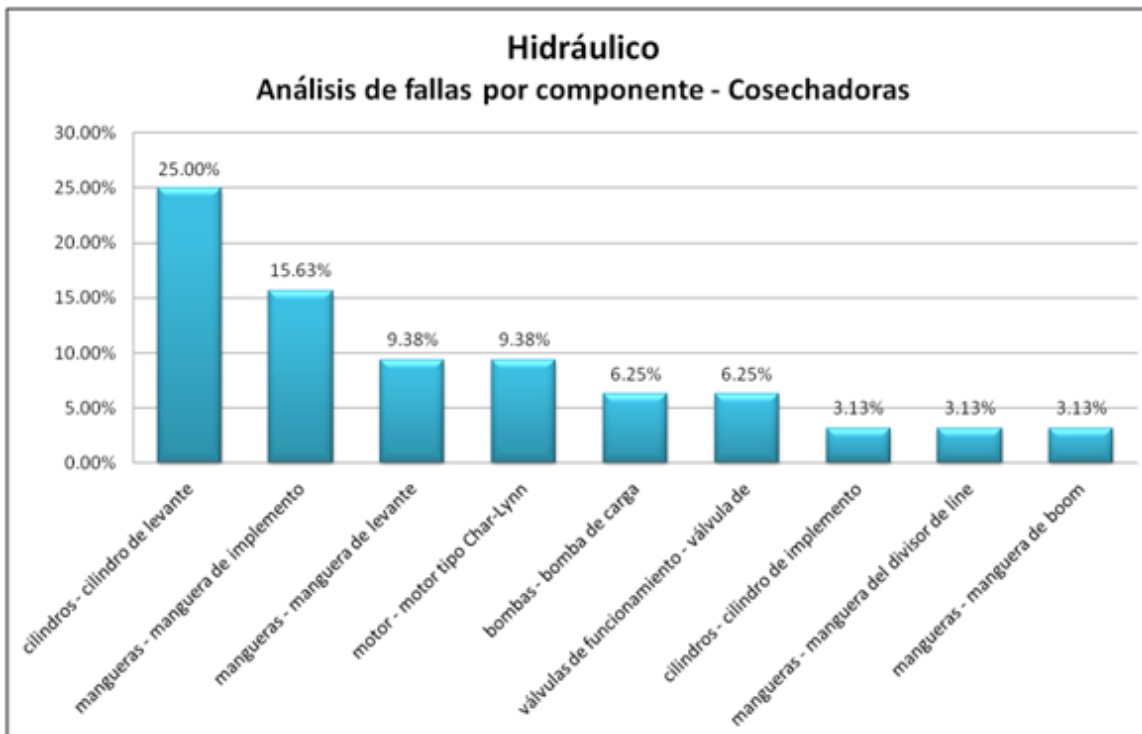
Gráfica 16: Análisis de fallas “implementos y accesorios” en máquinas cosechadoras



Gráfica 17: Análisis de fallas “transporte caña” en máquinas cosechadoras



Gráfica 18: Análisis de fallas “hidráulico” en máquinas cosechadoras



El análisis de fallas debe realizarse por el departamento de administración de maquinaria, específicamente por el programador y el recolector de datos. Estas dos personas deben encargarse de incluir revisiones más frecuentes en el plan de mantenimiento para los componentes que más fallan.

Generalmente los factores que ocasionan las fallas no son constantes, por esta razón es de gran importancia un ciclo PHVA para mejorar los mantenimientos de la maquinaria. Se sugiere que este análisis se realice cada tres meses para que los planes de mantenimiento se ajusten mejor a las necesidades de la maquinaria; así también se tendrán disponibles las máquinas en óptimas condiciones para trabajar.

3. Plan de acción: complemento a plan de mantenimiento preventivo.

Luego de determinar los componentes que causaron las fallas en las cosechadoras y en los cabezales, se propone una serie de actividades y revisiones adicionales a las rutas de mantenimiento preventivo.

La mayor parte de estas actividades son inspecciones, diagnósticos y análisis de los síntomas más comunes en los componentes de las máquinas. Estas actividades ayudan al supervisor a detectar el desgaste en una pieza que necesita un cambio o una reparación; de esta forma el equipo de mantenimiento puede prevenir fallas y mantener la máquina en óptimas condiciones durante más tiempo. Es decir, con estas actividades se pretende mejorar la disponibilidad de la máquina a través de un mejor mantenimiento preventivo.

En la revisión de las alertas de fallas, se encontró una reincidencia del mismo tipo de alerta según el componente. Por ejemplo: en los ejes y rodamientos las alertas en llantas es causada por llanta pinchada o por fin de vida útil. En el caso de llanta pinchada es difícil de corregir ya que se debe a objetos penetrantes en la carretera. Sin embargo en el caso de fin de vida útil todo depende que el supervisor aprenda a reconocer el punto en que la llanta necesita cambio antes de que ocurra un problema.

La mayoría de las fallas pueden ser solucionadas con inspecciones más frecuentes y conocimiento por parte del supervisor. A continuación se muestra un cuadro del plan de acción que deben complementar las actividades a realizar en los mantenimientos preventivos.

Como se muestra en el plan de acción, muchas de las actividades son de inspección, revisión y diagnóstico de los componentes para realizar el cambio o la reparación justa antes de que ocurra una falla.

En el Cuadro 4 se muestran las actividades que se deben agregar a las rutas de mantenimiento preventivo, específicamente para los sistemas de ejes y rodamientos, y motor. Estas actividades se realizaron de igual forma para los demás sistemas que más fallas presentaron la zafra pasada (ver plan de acción completo en anexos).

Las actividades del Cuadro 4 deben agregarse a los mantenimientos programados cada 250 horas de operación. Esto se debe a que el objetivo de estas actividades complementarias es hacer un mantenimiento preventivo más exhaustivo con el propósito de minimizar la ocurrencia de fallas.

Cuadro 4: Plan de acción de actividades complementarias para mantenimiento preventivo.

| Máquina | Sistema | Componente | Proyecto de mejora | Responsable |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|--|-------------------------|
| Transporte de caña | Ejes y rodamientos | Rueda - Llanta | Capacitación de interpretación de indicadores de desgaste para ayudar a determinar el fin de la vida útil de la llanta. Reemplazar | Supervisor de cabezales |
| | | Cubo/Maza eje libre - rodamientos | Examinar rodamientos manualmente, si presenta juego o fricción al girar la rueda debe reemplazarse. | Supervisor de cabezales |
| | | Cubo/Maza eje libre - empaque/sello | Buscar señas de desgaste en sello y tapadera de de bufa. Realizar el cambio en caso de desgaste. | Supervisor de cabezales |
| | Motor | Enfriamiento - radiador | Revisión de las fallas más comunes: fugas y obstrucción en radiador. | Supervisor de cabezales |
| | | Combustible - filtro | Reemplazo de filtro de combustible antes de que se atasque. | Supervisor de cabezales |
| | | Fajas - faja | Revisión de fajas para mantenerlas ajustadas. Realizar cambio de fajas si presentan indicios de rotura. | Supervisor de cabezales |
| | | Combustible - inyector | Verificar reportes de fallos de encendido, problemas de arranque, calado y titubeos. Limpiar los inyectores de combustible y examínelos en búsqueda de desgaste excesivo y daños. | Supervisor de cabezales |
| | | Admisión - turbocargador | Revisar falta de lubricación externa o interna. Revisión de erosión por causa de materiales extraños en entradas y salidas de aire. Intervalos de cambio de aceite, mantenimiento del sistema de filtro de aceite, control de la presión de aceite, cambio de filtro de aire en cada cambio de aceite. | Supervisor de cabezales |
| | | Enfriamiento - manguera | Reparación de manguera desgastada. | Supervisor de cabezales |
| | | Cargadores - delanteros | Revisión de desgaste en el cargador de motor. Revisión de tornillos flojos o mal colocados y realizar el ajuste. | Supervisor de cabezales |
| | | Enfriamiento - fan clutch | Revisión de las aspas, en caso de estar doblada, rota o agrietada, reemplazar el fan clutch. Revisión de fugas de aceite, si hay fuga cambiar fan clutch. Cambio de aceite de fan clutch. Hacer pruebas del embrague con el motor a temperatura de funcionamiento. | Supervisor de cabezales |
| | | Fajas - polea tensora | Revisión de desgaste para cambio de la polea tensora. | Supervisor de cabezales |
| | | Cargadores - traseros | Revisión de cargadores traseros del motor, cambio más frecuente. | Supervisor de cabezales |
| | | Combustible - manguera | Reparación o cambio de manguera desgastada. Uso de mangueras de mejor calidad. | Supervisor de cabezales |
| | | Admisión - empaque de turbocargador | Revisión del empaque de turbo para cambio. | Supervisor de cabezales |
| Enfriamiento - bomba de agua | Diagnóstico de temperatura, fugas o ruidos en la bomba de agua para mantenimiento. Cambio en caso de gran desgaste. | Supervisor de cabezales | | |
| Lubricación - bomba de aceite | Diagnostico de presión y partículas extrañas para evitar desgaste en bomba de aceite. Cambio de bomba en caso de gran desgaste. | Supervisor de cabezales | | |
| Escape - múltiple de escape | Revisión de taponamiento de conductos y reemplazo de componentes defectuosos o con rotura. | Supervisor de cabezales | | |

D. Hacer: personal responsable de ejecución.

Actualmente el mantenimiento preventivo se realiza cada 250 horas de trabajo por máquina, para el control de estas horas se utiliza un horómetro. El departamento de administración de maquinaria es el encargado de llevar este control. Cuando este instrumento alerta que la máquina llegó a sus 250 horas de trabajo, el programador junto al recolector de datos deben confirmar que la máquina necesita mantenimiento.

Cuando el horómetro alerta que la máquina necesita servicio, se hace una programación de mantenimiento. Luego el administrador de la maquinaria realiza la orden de mantenimiento para enviarla al departamento de maquinaria de cosecha.

El jefe de maquinaria de cosecha recibe la orden de mantenimiento y asigna la orden al supervisor responsable de la máquina, en este caso al supervisor de: cabezales, cosechadoras o alzadoras respectivamente.

La orden de mantenimiento es el paso clave en la propuesta de mejora. En este paso el departamento de administración de maquinaria debe incluir las actividades que se deben realizar en el mantenimiento de la máquina. Si hay nuevas actividades debe hacerlo saber al supervisor.

El encargado de revisar que el mantenimiento se haga de la forma adecuada es el supervisor de la máquina, junto a los mecánicos que realizan el trabajo de reparación. Como ya se mencionó anteriormente, las nuevas actividades para el mantenimiento preventivo necesitan de conocimiento técnico por parte del supervisor de maquinaria. De esta forma podrá tener la libertad de tomar decisiones respecto al cambio o reparación de uno de los componentes del sistema.

Cada supervisor posee el conocimiento técnico para realizar estas reparaciones en los mantenimientos. Lo que se busca con la propuesta de mejora es un cambio de cultura, es decir, que los trabajadores tengan la idea que es mejor realizar un trabajo de mantenimiento preventivo antes que un correctivo.

Por lo tanto, el departamento de administración de maquinaria se debe responsabilizar por hacer el análisis de fallas y agregar las actividades al nuevo plan de mantenimiento preventivo. Después debe comunicarlo al departamento de maquinaria de cosecha, en donde el supervisor de la máquina debe cumplir y velar por que este trabajo se realice de la mejor forma posible. En este caso la comunicación entre estos los departamentos es vital para el cumplimiento de la propuesta de mejora.

Para esta propuesta de mejora, los servicios pueden continuar haciéndose cada 250 horas de trabajo por máquina. La idea es que se hagan más revisiones para reparación o cambio de un componente dañado que puede provocar una falla. Aunque el tiempo de los mantenimientos preventivos puede aumentar, el tiempo perdido por mantenimientos correctivos se reduce radicalmente en comparación al tiempo invertido a evitar estas fallas por un buen mantenimiento preventivo.

E. Verificar: evaluación del rendimiento.

Para el control del mantenimiento preventivo se deben establecer indicadores que permitan evaluar los resultados del mismo. De esta forma sabremos si las actividades que se están evaluando para prevenir fallas son las correctas o si se deben hacer cambios a las actividades en las rutas de mantenimiento.

El fin último del mantenimiento de una máquina es aumentar su disponibilidad para que opere en el proceso de cosecha. En consecuencia, se debe medir y controlar el rendimiento del mantenimiento con respecto a la disponibilidad. Se proponen los siguientes indicadores para evaluar la funcionalidad del plan de mantenimientos preventivos.

- **Disponibilidad total:**

Es necesario medir la disponibilidad de la máquina respecto al tiempo ocupado por el mantenimiento preventivo. Si bien es importante aumentar la disponibilidad por la ausencia de fallas.

También es necesario evaluar que los tiempos de mantenimiento no excedan los tiempos planificados, ya que esos tiempos afectan la disponibilidad de las cosechadoras por ser un proceso que opera continuamente. Su medición es de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento preventivo}}{\text{Horas totales}}$$

- **Disponibilidad por fallas:**

El índice de disponibilidad se ve afectado en gran parte por las fallas ocurridas en la máquina. Se debe controlar este indicador porque las fallas y mantenimientos correctivos presentaron la mayor parte de tiempos perdidos para las máquinas cosechadoras.

Este se calcula de igual forma que la disponibilidad total, pero en este caso con los tiempos perdidos por mantenimiento correctivo debido a las fallas.

$$\text{Disponibilidad por fallas} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales}}$$

Para ambos indicadores se debe exigir que la disponibilidad esté por encima del 90% de la meta que se establece en Pantaleón. Un aumento en la disponibilidad también mejorará el indicador de OEE de la maquinaria.

Además de los indicadores de disponibilidad de maquinaria, se debe controlar que los mantenimientos estén cumpliendo con el propósito de prevenir fallas.

- **Tiempo medio entre fallas:**

El tiempo medio entre fallas es un indicador importante para llevar el control de los mantenimientos de una máquina. Este indica el tiempo promedio que transcurre entre una falla y la próxima en la máquina.

Este tiempo se calcula con el tiempo en que la máquina está en funcionamiento dividido entre el número de veces en que la máquina tuvo fallas. Este KPI se puede calcular como se muestra a continuación:

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento correctivo}}{\text{Número de ordenes de mantenimiento correctivo}}$$

El propósito con este indicador es que las horas del tiempo entre la primera falla y la siguiente sea más extensa, es decir, que el tiempo de funcionamiento de la máquina sea más prolongado y a la vez el número de fallas se reduzca.

- **Tiempo medio entre reparaciones**

Otro de los indicadores que permiten identificar que el plan de mantenimiento de la maquinaria es el adecuado es el tiempo medio entre reparaciones. Al momento de

realizar los mantenimientos se desea que el tiempo que se tarda en realizar las reparaciones sea lo más estándar posible.

Si el tiempo medio entre reparaciones permanece en un mismo rango de horas, significa que el mantenimiento en los tiempo programados. Por lo tanto, la disponibilidad de la maquinaria no bajará debido a atrasos en los mantenimientos. Este KPI se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo medio entre reparaciones} = \frac{\text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Número de ordenes de mantenimiento}}$$

El indicador de tiempo medio entre fallas y tiempo medio entre reparaciones deberán ser tomados semanalmente. Cada dato nuevo debe ser comparado con el de la semana anterior, de esta forma se podrá determinar si se ha mejorado continuamente en los mantenimientos de la maquinaria.

Adicionalmente, los resultados de los KPI de tiempo medio entre fallas y tiempo medio entre reparación deben ser comparados con el de la disponibilidad de la maquinaria. Es de esperar que si los dos indicadores mencionados mejoran, la disponibilidad también mejorará.

Sin embargo, es importante mencionar que el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparación pueden mejorar pero la disponibilidad no. Si esto sucede, hay que recordar que las fallas no son el único factor que puede afectar la disponibilidad; en tal caso se debe analizar otros factores que pueden causar que la máquina no esté en condiciones de realizar su trabajo como: factores climáticos o abastecimiento de combustible.

F. Propuesta de adquisición de maquinaria.

La meta del ingenio Pantaleón es crecer en la cosecha mecanizada del 30% actual del total de la cosecha, a un 50% a un plazo de 5 años.

Existe una capacidad de crecimiento en la producción de toneladas de caña cortada en el proceso de cosecha mecanizada solo con la mejora de disponibilidad de la maquinaria. Ya que como se mostró anteriormente la producción perdida en toneladas durante la zafra fue de 48% (ver Cuadro 4).

Sin embargo, la producción total que se puede aumentar con la mejora en la disponibilidad son 374,340 toneladas de caña cortada y el total de tonelaje cosechado en la zafra fue de 2,598,086. Por lo tanto, esta cantidad como porcentaje ($374,340/2,598,086$) representa sólo un 14% de aumento en la producción.

Para que la empresa crezca más del 14% en la cosecha mecanizada es necesario ampliar su capacidad instalada de máquinas cosechadoras. Para esto se propone la adquisición de otras cuatro máquinas cosechadoras. Para esto se debe analizar la opción más rentable de adquisición de estas máquinas para la empresa, por medio de un análisis de compra o renta.

VII. COSTOS

Para determinar si el sistema es rentable la variable más importante a evaluar es la de costos. Los equipos tienen una vida útil determinada y a medida que transcurre el tiempo estos sufren desgaste y depreciación. Por esta razón el costo del mantenimiento correctivo aumenta con los años simulando una curva ascendente en los costos. Esto aumenta la frecuencia en cambio de repuestos y ese desgaste se ve reflejado en pérdida de producción y calidad.

Los costos por mantenimiento se mejoran cuando se capacita a los técnicos de mantenimiento, con el análisis de datos recolectados sobre las fallas del equipo y una buena programación en el calendario de actividades de mantenimiento.

El factor principal para reducir los costos por mantenimiento correctivo es la reducción de fallas en el equipo. El mejor medio para reducción de fallas es un buen plan de mantenimiento preventivo. A largo plazo una inversión en mantenimiento preventivo es menor al costo por reparación de fallas y pérdidas por improductividad de la máquina.

Para determinar si es rentable mejorar un mantenimiento preventivo se debe analizar el costo de realizar un mantenimiento contra el costo de oportunidad por fallas en el equipo. En este caso el costo de oportunidad está representado por perder la producción porque la máquina falló y dejó de trabajar.

Los costos por mantenimiento se puede dividir en: costos por operación de la maquinaria (que pueden ser fijos y variables) para el caso del mantenimiento de las máquinas compradas. En el caso de las máquinas rentadas el costo del mantenimiento es por operaciones de mano de obra.

A. Costos fijos de operación de la máquina.

El costo por mano de obra de mantenimiento es el sueldo bruto anual fijo de cada trabajador más las horas extras y otras prestaciones como: bonificaciones, bono 14, aguinaldo y vacaciones. Este sueldo se multiplica por el porcentaje de horas/hombre que se dedican a realizar en el mantenimiento.

Por lo tanto es de esperar que los costos de mano de obra para mantenimiento aumenten ya que a medida que transcurren los años la máquina necesita de mayor mantenimiento y aumenta el tiempo dedicado a realizar las reparaciones por parte de los trabajadores.

B. Costo variable de operación de la máquina.

1. Costo por lubricantes. El cambio de lubricantes es el principal insumo en los mantenimientos preventivos. En las tarifas de costos de Pantaleón, este rubro es el costo de lubricantes multiplicado por el porcentaje consumido en las horas de operación de la máquina. Este se suele mantener constante ya que los servicios se realizan siempre cada 250 horas y el cambio de aceite es en las mismas cantidades para todos los servicios.

2. Costo por repuestos. El costo de los repuestos puede ir variando en cada mantenimiento, ya que el cambio de las piezas depende del desgaste que tengan y el costo de cada una es diferente. Cabe resaltar que ningún mantenimiento será igual que el anterior. Si se deben realizar las mismas inspecciones en cada mantenimiento, sin embargo la sustitución de una pieza depende de qué tan desgastada esté.

3. Servicio de reparación y mantenimiento. El costo por servicio de reparación se refiere a los materiales e insumos utilizados para corregir un desgaste en la pieza de una máquina. Este rubro es distinto al costo de repuesto ya que no implica el cambio total de una pieza, al contrario este implica un gasto menor para alargar la vida útil de la pieza.

C. Costo variable de operaciones por mano de obra.

En el caso de las máquinas con renta/leasing el costo por mantenimiento es outsourcing y este tiene una tarifa fija establecida por la empresa que presta el servicio.

Cuadro 5: Tarifa histórica del costo por 1 hora de operación de una cosechadora oruga propia.

| AÑO DE VIDA ÚTIL DE COSECHADORA | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| COSTOS FIJOS DE OPERACIÓN MÁQUINA | | | | | |
| COSTO POR M.O MANTENIMIENTO | \$3.47 | \$4.45 | \$5.46 | \$7.05 | \$9.10 |
| COSTOS VARIABLES DE OPERACIONES MÁQUINA | | | | | |
| COSTO POR LUBRICANTES | \$5.89 | \$5.89 | \$5.89 | \$5.89 | \$5.89 |
| COSTO POR REPUESTOS | \$19.26 | \$24.71 | \$30.32 | \$39.17 | \$50.55 |
| SERVICIOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO | \$1.54 | \$1.98 | \$2.43 | \$3.13 | \$4.04 |
| TARIFA COSTO TOTAL POR OPERACIONES MÁQUINA | \$30.16 | \$37.03 | \$44.09 | \$55.24 | \$69.58 |
| COSTO VARIABLE DE OPERACIONES M.O | | | | | |
| COSTO M.O DE OPERACION Y PRESTACIONES | \$21.33 | | | | |

VIII. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA DE MEJORA

A. Análisis de costos para propuesta de mejora de mantenimiento preventivo.

La justificación de la propuesta de mejora para el plan de las rutas de mantenimiento surge de la idea que es económicamente más rentable para la empresa hacer la inversión en un mantenimiento preventivo que correr el riesgo de tener la máquina sin operar por su baja disponibilidad.

1. Costo de mantenimiento de máquinas cosechadoras. El plan de mantenimiento actual en Ingenio Pantaleón es realizar un mantenimiento por máquina cada 250 horas de operación, según las tarifas en el Cuadro 5, el costo estimado de mantenimiento preventivo de Pantaleón es de \$1,800 por máquina. En el cuadro 6 se muestra un resumen del costo total de mantenimiento para una máquina durante las 27 semanas de zafra.

Cuadro 6: Costo de mantenimiento preventivo de una máquina cosechadora.

| | |
|---|------------------|
| Total horas de producción (8 máquinas) | 19,378 |
| Total horas de producción (1 máquina) | 2,422 |
| Plan de mantenimiento (horas de producción) | 250 |
| Semanas de zafra | 27 |
| Costo de mantenimiento | |
| No. Mantenimientos en zafra | 10 |
| Costo de mantenimiento por máquina | \$ 1,800.00 |
| Costo por mantenimiento en zafra | \$ 18,000.00 |
| Costo por mantenimiento (1 semana) | \$ 666.67 |

Se utilizó el dato de total de producción en horas (ver Cuadro 1), este es un total de las horas de operación de las 8 máquinas cosechadoras durante toda la zafra. Según el plan de mantenimiento actual para las máquinas cosechadoras, se debe realizar un mantenimiento cada 250 horas de producción, por lo que se efectuaron 10 mantenimientos.

Dado que se tiene la tarifa del costo de mantenimiento por máquina, se determinó el costo total de los 10 mantenimientos en la zafra. Se determinó que el costo de un mantenimiento preventivo por semana es de \$666.67 (ver Cuadro 6).

2. Costo de indisponibilidad de máquinas cosechadoras. El porcentaje de indisponibilidad en una semana para las máquinas cosechadoras estuvo por debajo del 90% de la meta. Un punto medio para el indicador de disponibilidad durante las semanas por debajo de la meta fue el 80%. Por esa razón se utilizará ese valor para el análisis de costo una semana de indisponibilidad para una máquina cosechadora.

El costo en la producción por tener la máquina sin trabajar en Pantaleón tiene una tarifa de \$128.18. Este valor representa lo que la empresa pierde en valor monetario por la indisponibilidad de maquinaria. En el Cuadro 6 se muestra el costo por una semana de indisponibilidad de maquinaria.

Cuadro 7: Costo de indisponibilidad de una máquina cosechadora.

| | |
|---|--------------------|
| Total horas de producción (8 máquinas) | 19,378 |
| Total horas de producción (1 máquina) | 2,422 |
| Semanas de zafra | 27 |
| Costo de producción por indisponibilidad | \$ 128.18 |
| Costo de indisponibilidad | |
| Disponibilidad meta | 90% |
| Disponibilidad real | 80% |
| Indisponibilidad | 10% |
| Horas trabajadas por semana | 89.70 |
| Horas de indisponibilidad por semana | 8.97 |
| Costo de indisponibilidad (1 semana) | \$ 1,149.82 |

Al igual que en el cálculo del costo de mantenimiento de las cosechadoras, se utilizó el dato de total de producción en horas (ver Cuadro 1). Se determinó las horas por causa de indisponibilidad de la máquina con la diferencia de la disponibilidad meta menos la real (90%-80%) que representa un 10% de indisponibilidad sobre las horas trabajadas en la semana.

El costo total por indisponibilidad con la tarifa de \$128.18 en una semana con 10% bajo la meta es de \$1,149.82 en una semana. Por lo tanto la diferencia entre el costo de indisponibilidad menos el costo de un mantenimiento preventivo representa el ahorro por eficiencia y un buen seguimiento del plan de mantenimiento, como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 8: Resumen ahorro por mejora de disponibilidad.

| RESUMEN AHORRO POR MEJORA DE DISPONIBILIDAD | |
|---|---------------|
| Costo por mantenimiento (1 semana) | 666.67 |
| Costo de indisponibilidad (1 semana) | 1,149.82 |
| Ahorro por eficiencia de mantenimiento | 483.16 |

A mayor indisponibilidad de maquinaria, mayor es el tiempo perdido de producción. Esto significa que la empresa está dejando de ganar un porcentaje por debajo de lo que se tenía esperado.

Por ende, el ahorro que la empresa obtiene con un buen mantenimiento preventivo y evitar la indisponibilidad de la maquinaria es de aproximadamente \$ 483. Este ahorro justifica la propuesta de mejoras en la planificación de actividades para las rutas de mantenimiento de la maquinaria.

B. Aumento en producción por mejora en disponibilidad de maquinaria.

El propósito de mejorar el mantenimiento de las máquinas es incrementar su disponibilidad para operar. El porcentaje de participación de mantenimiento preventivo vs. correctivo es una forma de mejorar la disponibilidad, ya que con un mayor porcentaje de mantenimiento preventivo se evitan fallas y se mejora la disponibilidad de las máquinas.

Según el análisis de fallas y a los tiempos perdidos por las mismas se establecieron nuevas metas para la maquinaria de cosecha, que son logrables con el nuevo plan de acción de mantenimiento preventivo.

Cuadro 9: Cambio en mantenimiento por propuesta de mejora y mejora en tiempos de producción.

| % Participación | Acumulado | Meta | % Cambio | Tiempo perdido en producción por mantenimiento (horas) | Cambio en tiempo de producción (horas) |
|---------------------|-----------|-------|----------|--|--|
| | | | | ANTES | DESPUES |
| General | | | | | |
| Mantto preventivo | 55.6% | 71.7% | -16.0% | 1,360.00 | (217.99) |
| Mantto correctivo | 44.4% | 28.3% | 16.0% | 12,179.00 | 1,952.13 |
| Cosechadoras | | | | 13,539.00 | 1,734.14 |
| Mantto preventivo | 60.9% | 80.0% | | | |
| Mantto correctivo | 39.1% | 20.0% | | | |
| Alzadoras | | | | | |
| Mantto preventivo | 72.8% | 75.0% | | | |
| Mantto correctivo | 27.2% | 25.0% | | | |
| Cabezales | | | | | |
| Mantto preventivo | 33.3% | 60.0% | | | |
| Mantto correctivo | 66.7% | 40.0% | | | |

En el Cuadro 7 se muestra que el cambio general de mantenimiento preventivo vs. correctivo es de un 16%. Se tomaron los tiempos perdidos en producción debido a mantenimientos (antes del plan de acción), y en base a esto se estimó las horas extra que puede operar la maquinaria (después del plan de acción).

En el Cuadro 7 se determinó que es posible incrementar el tiempo de producción de la maquinaria en 1,734.14 horas. Estas horas significan tiempo real de trabajo que la maquinaria de cosecha puede operar.

El incremento en las horas de producción significa un incremento en la disponibilidad del equipo. En el cuadro a continuación se calcula la disponibilidad antes y después del plan de acción para los mantenimientos preventivos.

Cuadro 10: Cálculo en incremento de la disponibilidad de la maquinaria.

| | | |
|---|--------------|----------------|
| Horas por mantenimiento | 13,539.00 | |
| Horas totales de trabajo (en zafra) | 36,288.00 | |
| Horas de trabajo optimizadas por plan de mejora | 1,734.14 | |
| Horas trabajadas ANTES | 19,928.00 | |
| Horas trabajadas DESPUES | 21,662.14 | |
| Cálculo de disponibilidad | | |
| | ANTES | DESPUES |
| Horas de trabajo posibles | 22,749.00 | 22,749.00 |
| Horas de trabajo reales | 19,928.00 | 21,662.14 |
| Disponibilidad | 88% | 95% |
| Diferencia de disponibilidad | 7% | |

Debido al incremento de las 1,734 horas en la producción de la maquinaria de cosecha, se puede mejorar la disponibilidad de la maquinaria en un 7% respecto al 88% que se tuvo en la zafra pasada. Este aumento del 7% en disponibilidad es el que se utiliza para calcular el impacto financiero de la propuesta de mejora.

Cuadro 11: Cálculo del impacto financiero por aumento de disponibilidad en maquinaria.

| DESCRIPCIÓN | DATOS (EJEMPLO) | DATOS (EJEMPLO) | Diferencia |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------|
| HORAS SEMANALES POR CONTRATO | 96.15 | 96.15 | |
| DISPONIBILIDAD MINIMA PACTADA | 95% | 95% | |
| DISPONIBILIDAD REAL | 88% | 95% | 7% |
| INDISPONIBILIDAD | 7% | 0% | |
| HORAS DE INDISPONIBILIDAD | 6.73 | 0.00 | 6.73 |
| TARIFA DE CONTRATO POR HORA | \$ 128.18 | \$ 128.18 | |
| TOTAL A DESCONTAR | \$ 862.72 | \$ - - - | \$ 862.72 |

En el Cuadro 9 se muestran las horas que la máquina debe trabajar en una semana (96.15). El óptimo o meta debe ser del 95%, actualmente la disponibilidad real es de 88% que se traduce en una indisponibilidad del 7% ó 6.73 horas perdidas de trabajo a la semana. En Pantaleón se utilizan tarifas por hora/máquina que representan el monto en dólares equivalente a \$128.18. Por lo tanto, si se aumenta la disponibilidad en 6.73 horas esto representa \$862.72 de utilidad semanal por cada máquina.

La zafra tiene una duración de 27 semanas multiplicado por \$862.72 representa un total de \$23,293.32 de ganancia por máquina. En el Cuadro 10 se muestra el cálculo del porcentaje de crecimiento monetario que representa la propuesta de mejora.

Cuadro 12: Resumen de ganancias para máquinas cosechadoras.

| Resumen de ganancias máquinas cosechadoras | | |
|--|------------|------------|
| Total producido en zafra | 779,425.89 | |
| Número de maquinas | 1 | 8 |
| Ahorro por máquina en zafra | 23,293.32 | 186,346.55 |
| | | 24% |

En conclusión la propuesta de mejora proyecta un aumento de 7% en disponibilidad de maquinaria dando como resultado un 24% de ganancia en la producción de máquinas cosechadoras. Esto equivale a un monto total de \$186,346.55 durante la zafra.

C. Análisis de adquisición de máquinas cosechadoras.

Ingenio Pantaleón adquiere las máquinas cosechadoras de dos formas: compra o renta (leasing). Por lo tanto se debe comparar los flujos de efectivo de los dos métodos de adquisición para determinar la opción más rentable. A continuación se presenta un análisis de valor presente neto (VPN) para determinar el método a utilizar para la adquisición de maquinaria.

1. Análisis VPN para compra de cosechadora. El costo de la cosechadora oruga tiene un valor de \$310,000 con la empresa llamada MRSA. Este es el valor de la inversión inicial para el plan de adquisición por compra.

Los flujos de los costos de operaciones y la mano de obra de operación para las máquinas cosechadoras se calculó en base a un registro histórico de la vida útil de los últimos 5 años. En el departamento de maquinaria corporativa se manejan los costos en base a tarifas del costo de una hora de operación.

Para determinar los costos de operación por compra de la máquina, en cada año de vida útil se multiplicó la tarifa del costo total por operaciones máquina (Cuadro 5) por el total de horas que trabaja una máquina durante la zafra. Se asumió un total de 2,000 horas anuales por máquina ya que es un número de horas mínimas de operación que siempre cumple una cosechadora. Además se consideró un incremento del 3% para los costos de operación, considerando el alza en precios por inflación.

Para los costos de la mano de obra por operaciones se utilizó la tarifa de \$21.33 por hora (Cuadro 5). Además se incluyó un crecimiento de 1% para ajustar el costo por un crecimiento en tiempo dedicado de la mano de obra a los servicios de la máquina.

Cuadro 13: Análisis VPN compra de cosechadoras de caña.

| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Antigüedad NPV | |
|--------------------------------------|-------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Horas anual por unidad | 2,000 | 10/11 | 11/12 | 12/13 | 13/14 | 14/15 | 15/16 | | |
| Inversión inicial | | (310,000) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Valor de Rescate | 15% | | | | | | 46,500 | | |
| Total ingresos | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 46,500 | | |
| Costos de operación | 3% | | 60,316 | 76,281 | 90,826 | 113,799 | 143,332 | | |
| MO Operación | 1% | | 42,660 | 43,087 | 43,517 | 43,953 | 44,392 | | |
| Depreciaciones | 5 | | 62,000 | 62,000 | 62,000 | 62,000 | 62,000 | | |
| Total egresos | | | 164,976 | 181,368 | 196,343 | 219,752 | 249,724 | | |
| Utilidad | | | (164,976) | (181,368) | (196,343) | (219,752) | (203,224) | | |
| Escudo fiscal de costos | 31% | | 51,143 | 56,224 | 60,866 | 68,123 | 77,415 | | |
| Neto IVA | 12% | | (17,112) | (3,329) | (4,211) | (5,014) | (6,282) | | |
| Depreciación | | | 62,000 | 62,000 | 62,000 | 62,000 | 62,000 | | |
| Flujo neto sin financiamiento | | | (327,112) | (55,163) | (67,354) | (78,490) | (95,910) | (71,722) | (601,937) |
| Tasa de descuento | 10% | | | | | | | | |

Utilizando una tasa de descuento del 10%, que utiliza Pantaleón para proyectos de compra de maquinaria, se obtuvo un VPN de \$601,937 que deben ser pagados para la compra de una máquina.

Para los flujos de renta de cosechadora se hizo la suposición que el arrendamiento se hizo con la empresa ARREND-TECUN, cuya oferta de alquiler es de \$182,994 al año (esto incluye arrendamiento, mano de obra y repuestos). Esta empresa ofrece contratos a 5 años. Para el VPN se utilizó la misma tasa de descuento.

Cuadro 14: Análisis VPN renta (leasing) de cosechadoras de caña.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
|--------------------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Horas anual por unidad | 2,000 | 10/11 | 11/12 | 12/13 | 13/14 | 14/15 | 15/16 | NPV |
| Inversión inicial | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Valor de rescate | | | | | | | 0 | |
| Total ingresos | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Costos de operación | | 182,994 | 182,994 | 182,994 | 182,994 | 182,994 | 182,994 | |
| Total egresos | | 182,994 | 182,994 | 182,994 | 182,994 | 182,994 | 182,994 | |
| Utilidad | | (182,994) | (182,994) | (182,994) | (182,994) | (182,994) | (182,994) | |
| Escudo fiscal de costos | 31% | 56,728 | 56,728 | 56,728 | 56,728 | 56,728 | 56,728 | |
| Neto IVA | 12% | 0 | (10,101) | (10,101) | (10,101) | (10,101) | (10,101) | |
| Depreciación | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Flujo neto sin financiamiento | 0 | (136,367) | (136,367) | (136,367) | (136,367) | (136,367) | (136,367) | (516,939) |
| Tasa de descuento | 10% | | | | | | | |

Con la opción de renta con la tasa de descuento del 10% se obtuvo un VPN de \$516,939 que se debe pagar para adquirir la máquina.

En el siguiente Cuadro se muestra un resumen del análisis del VPN para las dos opciones para adquirir las cosechadoras. Dado que el VPN del arrendamiento es más pequeño, es la opción que se debe tomar, ya que representa un ahorro de \$84,998 en adquisición de máquina.

Cuadro 15: Resumen de análisis de VPN para opción de compra vs. renta (leasing)

| Descripción | NPV Compra | NPV Renta |
|--------------|---------------|--------------|
| MRSA | (601,937) | |
| ARREND-TECUN | | (516,939) |
| Diferencia | | 84,998 |
| Variación | | 14% |

IX. CONCLUSIONES

- La propuesta de mejora para el proceso de cosecha mecanizada está enfocada a reducir los tiempos muertos de la maquinaria; a través de un ciclo de mejora PHVA para las rutas de mantenimiento de las máquinas. De esta forma se aumentan los porcentajes de disponibilidad y utilización de maquinaria, mejorando así la eficiencia en la producción de la cosecha mecanizada.
- El proceso actual de cosecha mecanizada tiene una improductividad en corte de caña de un 48% (374,000 toneladas) por debajo de la capacidad instalada, debido a tiempos perdidos de producción.
- Actualmente el indicador de la eficiencia general de los equipos (OEE) están por debajo de la meta, esto muestra que existe deficiencia en la utilización de las máquinas. De igual forma, la disponibilidad de la maquinaria es un indicador que afecta la productividad y en consecuencia son los factores que deben mejorar para aumentar la eficiencia del proceso de cosecha mecanizada.
- El punto crítico que afecta la productividad son las fallas en la maquinaria, esta es la causa de los mayores tiempos de improductividad. Utilizando un plan de actividades complementarias para el programa de mantenimiento preventivo se podrá mejorar la eficiencia de la maquinaria, ya que permite aumentar la disponibilidad, utilización y vida útil del equipo, permitiendo así que produzca por un tiempo más prolongado.
- Los tiempos perdidos por fallas afectan directamente la productividad. La propuesta de mejora reduce tiempos perdidos al mejorar el plan de mantenimiento de la maquinaria; este plan depende del departamento de maquinaria de cosecha y el departamento de administración de maquinaria. Ellos son los encargados del análisis de fallas, planificación de rutas de mantenimiento preventivo, ejecución y control del mantenimiento preventivo. Una buena comunicación entre estos departamentos es esencial para la correcta ejecución de dicho plan.

- Para mejorar el proceso de cosecha mecanizada y minimizar tiempo perdido por fallas, es de gran importancia el proceso de planeación en el ciclo PHVA. Este ciclo permite ajustarse continuamente a las posibles fallas de una forma más inmediata. La planificación debe realizarse trimestralmente desde que inicia la zafra.
- Con el fin de minimizar el margen de error en la implementación de los mantenimientos preventivos es necesario monitorear las actividades del proceso de cosecha. Junto a los indicadores de OEE se deben verificar los indicadores de tiempos medios entre fallas y reparación para asegurar que las actividades de mantenimiento tienen un impacto positivo en el proceso de cosecha mecanizada. El propósito es que los tiempos reales de producción sea acerquen más a los tiempos proyectados.
- Un mejor plan de las rutas de mantenimiento preventivo reduce los costos operativos de la cosecha mecanizada. Es más rentable el costo por realizar un mantenimiento preventivo que el costo por indisponibilidad de maquinaria, lo que representa un ahorro por mejora de la eficiencia del mantenimiento en \$483.16 a la semana.
- La mejora en mantenimiento preventivo de la maquinaria puede representar hasta 7% más en la disponibilidad. El impacto financiero de este aumento en la disponibilidad representa un incremento en la utilidad de 24% (\$186,346.55) respecto a lo que se produjo en la zafra anterior.
- Para cumplir con la meta del crecimiento del 50% en cosecha mecanizada a 5 años, Ingenio Pantaleón debe adquirir cosechadoras por medio de renta (leasing), que representa un ahorro de \$84,999 por máquina respecto a la opción de compra.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda un análisis más detallado de los avisos acumulados por fallas en la maquinaria. Es una parte clave que el jefe de mantenimiento logre determinar las razones causa y efecto de las fallas, así como la frecuencia con las que ocurrieron las mismas. Esta es la mejor forma de proponer nuevas actividades de revisión, cambios y reparación para las rutas de mantenimiento preventivo.

Se sugiere aumentar la meta del índice de utilización en el OEE de las cosechadoras, ya que es el proceso principal de producción para las toneladas de caña cortada. Debido a que el corte en la cosecha mecanizada afecta el proceso de alce y transporte. De igual forma se debe mejorar la disponibilidad de transporte de caña para evitar paros en el proceso de corte de la cosecha mecanizada. Todo esto a través de la correcta implementación de un ciclo PHVA que mejore los planes de mantenimiento preventivo, minimizando las fallas en maquinaria.

La comunicación entre el departamento de maquinaria de cosecha y el departamento de administración de maquinaria es de vital importancia para el desarrollo de este plan de mejora. Es recomendable involucrar a todo el personal de mantenimiento preventivo, gerentes, supervisores y mecánicos de los avances del proyecto para motivarlos y que se sientan comprometidos a lograr el objetivo. Es importante que puedan expresar sugerencias que contribuyan a mejorar la implementación del proyecto, con actividades como círculos de calidad.

Realizar un análisis financiero y de factibilidad para contratar un supervisor de cabezales para evitar los problemas recurrentes con este tipo de máquinas. También se debe analizar más a detalle las cuchillas de las cosechadoras, que representan una gran cantidad de alertas de falla durante la zafra; se debe buscar alternativas a mejor calidad o reemplazos más frecuentes junto al análisis de costo beneficio de ambas opciones.

XI. BIBLIOGRAFÍA

ANOVA Consultores. OEE (Eficiencia General de Equipos). En: <http://www.anovacalidad.es/One%20Point%20Lessons/OPL%20OEE.pdf> [con acceso el 9 de septiembre de 2013]

Diseño del plan de mantenimiento. En: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1125/4/Capitulo%203.pdf> [con acceso el 9 de septiembre de 2013]

El proceso de la caña de azúcar. En: http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/proceso_cana_azucar.pdf [con acceso el 10 de agosto de 2013]

Galvis, D. Los Sistemas de Corte Mecanizado de Caña de Azúcar. Equipos de cosecha. En: http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no26_2010_p23-26.pdf [con acceso el 10 de agosto de 2013]

Giraldo, F. Cosecha, Alce y Transporte. En: http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p357-362.pdf [con acceso el 9 de septiembre de 2013]

Godoy, H. 2011. Guía de optimización de disponibilidad por mantenimiento de una máquina esmaltadora, caso de empresa productora de papel. Universidad ICESI. 49 págs.

Pantaleón. Procesos y comercialización. En: <http://www.pantaleon.com/agricola> [con acceso el 10 de agosto de 2013]

Price, S. Lease-Versus-Buy. Cost analysis. En: <http://www.siordata.com/publications/Price%20Ad.pdf> [con acceso el 10 de agosto de 2013]

SENATI. 2007. Serie: "Gestión de mantenimiento". Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Pág. 23-25.

SIMA. Mantenimiento preventivo. En: <http://www.mantenimientoplanificado.com/i%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20parte%201.pdf> [con acceso el 10 de septiembre de 2013]

Tecnicaña. Mecanización de la cosecha de caña de azúcar. En: http://www.tecnicana.org/pdf/2007/tec_v11_no19_2007_p33-34.pdf [con acceso el 9 de septiembre de 2013]

XII. ANEXOS

A. Glosario:

- **Alce:** en el proceso de cosecha es un sub proceso que traslada la caña cortada a las jaulas cañeras que luego serán transportadas a la planta.
- **Corte con quema:** es un proceso de quema de las hojas y basura en la caña de azúcar. Este se realiza para facilitar el corte a los operarios y agilizar la eficiencia de corte manual de las personas.
- **Corte en verde:** este proceso solo se lleva a cabo con máquinas cosechadoras. Significa que no hay que hacer un pre proceso de quema para realizar el corte de la caña.
- **Corte de cosecha mecanizada:** es un sub proceso de la cosecha. Este es el corte de la caña de azúcar con la utilización de maquinaria como las cosechadoras.
- **Disponibilidad de maquinaria:** es un indicador que muestra el porcentaje del tiempo que la máquina operó con respecto al tiempo teórico que debió operar.
- **Eficiencia:** es un indicador de las unidades que se están produciendo entre las unidades estándar o esperadas de la producción.
- **Falla:** es una avería que ocurre en una máquina que provoca un bajo rendimiento o inhabilita la capacidad de la máquina de seguir operando.
- **Mantenimiento correctivo:** son las reparaciones que se deben realizar a la máquina después de que haya ocurrido una falla.
- **Mantenimiento preventivo:** son las inspecciones, revisiones y cambios que se dan a la máquina para que continúe con su funcionamiento habitual o prevenir una posible falla.
- **Transporte:** es el proceso de movilizar la caña cortada en la cosecha, desde el campo hasta la planta en donde será procesada.
- **Cosecha:** es el proceso en donde se corta, se alza y se transporta la caña de azúcar.
- **Leasing:** Adquisición de un bien por medio de un contrato y el pago de la renta del mismo.

B. Datos acumulados OEE para zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón.

| Proceso Actividad | <i>Guatemala</i> | | | | | | OEE Acumulado | Utilización Meta | Desempeño Meta | Calidad Meta |
|--------------------------|--------------------------|---------------|----------------|----------------|-------------|-------------|------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| | | Utilización | Desempeño | Calidad | Real OEE | Meta OEE | | | | |
| Maquinaria | Alzadoras | <u>48.45%</u> | <u>100.00%</u> | <u>100.00%</u> | 48.45% | 58.00% | 48.45% | <u>64.38%</u> | <u>86.29%</u> | <u>96.00%</u> |
| | Cosecha Mecanizada | <u>62.50%</u> | <u>88.91%</u> | <u>86.59%</u> | 48.12% | 45.30% | 48.12% | <u>64.38%</u> | <u>73.38%</u> | <u>96.00%</u> |
| | Labores de Cultivo | <u>42.15%</u> | <u>86.53%</u> | <u>96.19%</u> | 35.08% | 31.10% | 35.08% | <u>42.92%</u> | <u>85.00%</u> | <u>96.00%</u> |
| | Motobombas | <u>47.01%</u> | <u>93.40%</u> | <u>97.33%</u> | 42.74% | 50.50% | 42.74% | <u>76.30%</u> | <u>69.00%</u> | <u>96.00%</u> |
| | Pivote | <u>42.11%</u> | <u>100.00%</u> | <u>41.64%</u> | 17.53% | 27.60% | 17.53% | <u>57.00%</u> | <u>57.00%</u> | <u>85.00%</u> |
| | Preparación de Suelos | <u>34.44%</u> | <u>100.00%</u> | <u>99.75%</u> | 34.35% | 41.00% | 34.35% | <u>45.00%</u> | <u>95.00%</u> | <u>96.00%</u> |
| | Transporte de Caña | <u>58.92%</u> | <u>68.84%</u> | <u>100.00%</u> | 40.56% | 62.00% | 40.56% | <u>77.81%</u> | <u>83.05%</u> | <u>96.00%</u> |
| Gerencia Agrícola | <u>47.94%</u> | <u>91.10%</u> | <u>88.79%</u> | 38.78% | 45.07% | 38.78% | <u>60.77%</u> | <u>78.99%</u> | <u>94.43%</u> | |

C. Datos acumulados para disponibilidad de maquinaria zafra 2012/2013 en Ingenio Pantaleón.

| Disponibilidad Cosecha | | |
|------------------------|------------|------------|
| Semana | Disp 12-13 | Meta |
| 1 | 99% | 90% |
| 2 | 99% | 90% |
| 3 | 96% | 90% |
| 4 | 96% | 90% |
| 5 | 92% | 90% |
| 6 | 92% | 90% |
| 7 | 92% | 90% |
| 8 | 93% | 90% |
| 9 | 94% | 90% |
| 10 | 93% | 90% |
| 11 | 94% | 90% |
| 12 | 93% | 90% |
| 13 | 87% | 90% |
| 14 | 91% | 90% |
| 15 | 93% | 90% |
| 16 | 89% | 90% |
| 17 | 90% | 90% |
| 18 | 92% | 90% |
| 19 | 93% | 90% |
| 20 | 94% | 90% |
| 21 | 97% | 90% |
| 22 | 97% | 90% |
| 23 | 97% | 90% |
| 24 | 97% | 90% |
| 25 | 95% | 90% |
| 26 | 96% | 90% |
| 27 | 97% | 90% |
| Acu | 94% | 90% |

| Disponibilidad Cosecha x familia | | | | | | |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Semana | 502 | 503 | 506 | 508 | 511 | Meta |
| 1 | 100% | 97% | 98% | 100% | 100% | 90% |
| 2 | 88% | 91% | 95% | 99% | 99% | 90% |
| 3 | 86% | 93% | 90% | 96% | 98% | 90% |
| 4 | 88% | 91% | 91% | 96% | 98% | 90% |
| 5 | 92% | 90% | 90% | 92% | 98% | 90% |
| 6 | 81% | 91% | 88% | 92% | 98% | 90% |
| 7 | 84% | 90% | 89% | 92% | 98% | 90% |
| 8 | 93% | 93% | 86% | 93% | 99% | 90% |
| 9 | 94% | 91% | 91% | 94% | 100% | 90% |
| 10 | 86% | 89% | 90% | 93% | 96% | 90% |
| 11 | 92% | 92% | 93% | 94% | 92% | 90% |
| 12 | 93% | 89% | 91% | 94% | 88% | 90% |
| 13 | 82% | 87% | 67% | 89% | 83% | 90% |
| 14 | 92% | 83% | 82% | 91% | 93% | 90% |
| 15 | 76% | 74% | 72% | 96% | 94% | 90% |
| 16 | 77% | 86% | 77% | 90% | 96% | 90% |
| 17 | 85% | 93% | 85% | 90% | 98% | 90% |
| 18 | 95% | 93% | 87% | 92% | 94% | 90% |
| 19 | 96% | 93% | 91% | 93% | 94% | 90% |
| 20 | 89% | 93% | 89% | 95% | 91% | 90% |
| 21 | 94% | 95% | 90% | 98% | 89% | 90% |
| 22 | 86% | 96% | 90% | 98% | 88% | 90% |
| 23 | 81% | 93% | 84% | 98% | 92% | 90% |
| 24 | 90% | 95% | 86% | 98% | 97% | 90% |
| 25 | 85% | 91% | 83% | 96% | 97% | 90% |
| 26 | 80% | 90% | 90% | 96% | 97% | 90% |
| 27 | 86% | 94% | 90% | 97% | 96% | 90% |
| Acu | 88% | 91% | 87% | 95% | 95% | 90% |

D. Datos acumulados para estudio de tiempos perdidos en máquinas cosechadoras en zafra 2012/2013.

| Row Labels | Producción | % de tiempo perdido | % acumulado |
|--------------------------------|------------------|---------------------|-------------|
| 0000-TIEMPO NO PERDIDO | 19,928.00 | | |
| 6052-FALTA DE TRANSPORTE | 5,562.00 | 34.00% | 34.00% |
| 6012-MANTENIMIENTO CORRECTIVO | 5,229.00 | 31.96% | 65.96% |
| 6006-FALLAS MECANICAS | 1,388.00 | 8.48% | 74.44% |
| 6011-MANTENIMIENTO PREVENTIVO | 1,360.00 | 8.31% | 82.76% |
| 6050-EQUIPO PARQUEADO | 862.00 | 5.27% | 88.03% |
| 6059-Engrase y Manto diario | 579.00 | 3.54% | 91.56% |
| 6003-CONDICIONES CLIMATICAS | 289.00 | 1.77% | 93.33% |
| 6058-Abastecimiento Combust | 249.00 | 1.52% | 94.85% |
| 6055-PARO NO PROGRAMADO INGENI | 158.00 | 0.97% | 95.82% |
| 6033-TRASLADO DE EQUIPO | 153.00 | 0.94% | 96.75% |
| 6056-PROBLEMAS EN RUTA CAÑERA | 130.00 | 0.79% | 97.55% |
| 6053-FALTA DE EQUIPO DE COSECH | 103.00 | 0.63% | 98.18% |
| 6041-FALTA DE TRACTOR | 88.00 | 0.54% | 98.72% |
| 6054-PARO PROGRAMADO INGENIO | 85.00 | 0.52% | 99.24% |
| 6005-FALLAS ELECTRICAS | 48.00 | 0.29% | 99.53% |
| 6013-CAMBIO Y/O CALIB. IMPLME | 26.00 | 0.16% | 99.69% |
| 6057-Tractor parado imp dañado | 13.00 | 0.08% | 99.77% |
| 6008-FALTA DE LUBRICANTES | 9.00 | 0.06% | 99.82% |
| 6009-FALTA DE PERSONAL | 9.00 | 0.06% | 99.88% |
| 6002-MAQ. Y/O EQUIPO ATASCADO | 7.00 | 0.04% | 99.92% |
| 6051-FALTA DE CAÑA | 6.00 | 0.04% | 99.96% |
| 6007-FALTA DE COMBUSTIBLE | 3.00 | 0.02% | 99.98% |
| 6010-LLANTA PINCHADA | 2.00 | 0.01% | 99.99% |
| 6021-BRECHEO DE LOTES | 2.00 | 0.01% | 100.00% |
| Grand Total | 36,288.00 | 100% | |

E. Datos acumulados para análisis de fallas por sistema de transporte de caña en zafra 2012/2013.

| TextoGrpPartObj sistema | Values | | | |
|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|
| | Count of Aviso | Sum of Duración parada | Puntual % | % Puntual Acum |
| Ejes y Rodamientos | 117 | 8241.59 | 39.12% | 39.1% |
| Motor | 432 | 4341.03 | 20.61% | 59.7% |
| Tren de Potencia | 209 | 3705.76 | 17.59% | 77.3% |
| Carrocería | 87 | 1306.77 | 6.20% | 83.5% |
| Eléctrico y electrónico | 176 | 1026.02 | 4.87% | 88.4% |
| Aire Acondicionado | 52 | 669.59 | 3.18% | 91.6% |
| Frenos | 111 | 663.62 | 3.15% | 94.7% |
| Suspension | 35 | 459.14 | 2.18% | 96.9% |
| Chasis | 51 | 458.18 | 2.17% | 99.1% |
| Dirección | 7 | 127.77 | 0.61% | 99.7% |
| Hidráulico | 11 | 58.78 | 0.28% | 100.0% |
| TransporteCaña | 1 | 8.08 | 0.04% | 100.0% |
| Total general | 1289 | 21066.33 | 100.00% | |

F. Datos acumulados para análisis de fallas por sistema de cosechadoras oruga en zafra 2012/2013.

| TextoGrpPartObj sistema | Values Count of Aviso | Sum of Duración parada | Puntual % | % Puntual Acum |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|
| Motor | 36 | 520.02 | 22.36% | 22.4% |
| Implementos y Accesorios | 95 | 476.1 | 20.47% | 42.8% |
| TransporteCaña | 33 | 366.97 | 15.78% | 58.6% |
| Hidráulico | 32 | 363.81 | 15.64% | 74.3% |
| Tren de Potencia | 6 | 159.97 | 6.88% | 81.1% |
| Aire Acondicionado | 17 | 119.24 | 5.13% | 86.3% |
| Chasis | 17 | 111.63 | 4.80% | 91.1% |
| Eléctrico y electrónico | 12 | 100.73 | 4.33% | 95.4% |
| Carrocería | 2 | 42.66 | 1.83% | 97.2% |
| Dirección | 1 | 28.22 | 1.21% | 98.4% |
| Ejes y Rodamientos | 2 | 27.37 | 1.18% | 99.6% |
| Suspension | 1 | 8.9 | 0.38% | 100.0% |
| Total general | 254 | 2325.62 | 100.00% | |

G. Plan de acción para mejorar mantenimiento preventivo en máquinas de transporte de caña.

| Máquina | Sistema | Componente | Proyecto de mejora | Responsable |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|--|-------------------------|
| Transporte de caña | Ejes y rodamientos | Rueda - Llanta | Capacitación de interpretación de indicadores de desgaste para ayudar a determinar el fin de la vida útil de la llanta. Reemplazar | Supervisor de cabezales |
| | | Cubo/Maza eje libre - rodamientos | Examinar rodamientos manualmente, si presenta juego o fricción al girar la rueda debe reemplazarse. | Supervisor de cabezales |
| | | Cubo/Maza eje libre - empaque/sello | Buscar señas de desgaste en sello y tapadera de de bufa. Realizar el cambio en caso de desgaste. | Supervisor de cabezales |
| | Motor | Enfriamiento - radiador | Revisión de las fallas más comunes: fugas y obstrucción en radiador. | Supervisor de cabezales |
| | | Combustible - filtro | Reemplazo de filtro de combustible antes de que se atasque. | Supervisor de cabezales |
| | | Fajas - faja | Revisión de fajas para mantenerlas ajustadas. Realizar cambio de fajas si presentan indicios de rotura. | Supervisor de cabezales |
| | | Combustible - inyector | Verificar reportes de fallos de encendido, problemas de arranque, calado y titubeos. Limpiar los inyectores de combustible y examínelos en búsqueda de desgaste excesivo y daños. | Supervisor de cabezales |
| | | Admisión - turbocargador | Revisar falta de lubricación externa o interna. Revisión de erosión por causa de materiales extraños en entradas y salidas de aire. Intervalos de cambio de aceite, mantenimiento del sistema de filtro de aceite, control de la presión de aceite, cambio de filtro de aire en cada cambio de aceite. | Supervisor de cabezales |
| | | Enfriamiento - manguera | Reparación de manguera desgastada. | Supervisor de cabezales |
| | | Cargadores - delanteros | Revisión de desgaste en el cargador de motor. Revisión de tornillos flojos o mal colocados y realizar el ajuste. | Supervisor de cabezales |
| | | Enfriamiento - fan clutch | Revisión de las aspas, en caso de estar doblada, rota o agrietada, reemplazar el fan clutch. Revisión de fugas de aceite, si hay fuga cambiar fan clutch. Cambio de aceite de fan clutch. Hacer pruebas del embrague con el motor a temperatura de funcionamiento. | Supervisor de cabezales |
| | | Fajas - polea tensora | Revisión de desgaste para cambio de la polea tensora. | Supervisor de cabezales |
| | | Cargadores - traseros | Revisión de cargadores traseros del motor, cambio más frecuente. | Supervisor de cabezales |
| | | Combustible - manguera | Reparación o cambio de manguera desgastada. Uso de mangueras de mejor calidad. | Supervisor de cabezales |
| | | Admisión - empaque de turbocargador | Revisión del empaque de turbo para cambio. | Supervisor de cabezales |
| Enfriamiento - bomba de agua | Diagnóstico de temperatura, fugas o ruidos en la bomba de agua para mantenimiento. Cambio en caso de gran desgaste. | Supervisor de cabezales | | |
| Lubricación - bomba de aceite | Diagnostico de presión y partículas extrañas para evitar desgaste en bomba de aceite. Cambio de bomba en caso de gran desgaste. | Supervisor de cabezales | | |
| Escape - múltiple de escape | Revisión de taponamiento de conductos y reemplazo de componentes defectuosos o con rotura. | Supervisor de cabezales | | |

| Máquina | Sistema | Componente | Proyecto de mejora | Responsable |
|--------------------|-------------------------|--|---|-------------------------|
| Transporte de caña | Tren de potencia | Bloqueo - conjunto de bloqueo | Revisión de desgaste que puedan ocasionar fugas en flecha de bloqueo. Reparación y o cambio según la gravedad del desgaste. | Supervisor de cabezales |
| | | Eje motriz - conjunto de diferencial | Revisión de desgaste en la catarina. Revisión de posibles fugas por desgaste o daño en diferencial. | Supervisor de cabezales |
| | | Eje Cardan | Examinar el estado de la goma del fuelle del cardán: si detecta grasa el fuelle tiene fugas, si detecta holgura entre el árbol (ruido de golpe) el cardan está averiado. Realizar los cambios y reparaciones según el caso. | Supervisor de cabezales |
| | | Caja de Velocidades - caja principal | Inspección de la caja de velocidades, identificar posibles fugas para evitar calentamiento. | Supervisor de cabezales |
| | | Clutch/embrague - canasta,disco,collarin | Reparar o cambiar embrague con mayor frecuencia. Revisar que el clutch esté bien ajustado. | Supervisor de cabezales |
| | | Bloqueo - empaque/sello | Revisión de los sellos de flecha de bloqueo, cambio en caso de desgaste. | Supervisor de cabezales |
| | | Caja de Velocidades - selector | Inspección de posibles fugas en el selector. Revisión de las mangeras. | Supervisor de cabezales |
| | | Eje motriz - empaque/sello | Revisión de daños o desgaste en sellos y empaques, cambiar con más frecuencia. | Supervisor de cabezales |
| | Carrocería | Cabina - otros | Revisión de desgaste en la cabina, prevenir daños o roturas. | Supervisor de cabezales |
| | | Lámina - capó | Ajustar capo o cambiarlo en caso de desgaste que pueda provocar falla. | Supervisor de cabezales |
| | | Cabina - Chapa | Revisión de chapa en las puertas. | Supervisor de cabezales |
| | Eléctrico y electrónico | Eléctrico - batería | Diagnóstico del estado de la batería, realizar cambio en el nivel indicado. | Supervisor de cabezales |
| | | Electrónico - sensor | Cambio inmediato de sensor en caso de avería. | Supervisor de cabezales |
| | | Electrónico - módulo | Cambio inmediato de los módulos en caso de avería. | Supervisor de cabezales |
| | | Eléctrico - alternador | Diagnóstico del alternador, reparar o cambiar según diagnóstico. | Supervisor de cabezales |
| | | Eléctrico - cableado | Revisión de cables de batería. | Supervisor de cabezales |
| | Frenos | Neumático - válvula | Verificar que no exista fuga en las válvulas, si es así reemplazarla. | Supervisor de cabezales |
| | | Neumático - cámara de freno | Revisión sistema de frenos. Reparación o cambio de cámara de aire. | Supervisor de cabezales |
| | | Neumático - secador de aire | Reparación de valvula de aire en caso de desgaste. Cambiar secador de aire. | Supervisor de cabezales |
| | | Neumático - manguera | Reparación o cambio de manguera desgastada por falla, fisura o rotura. Uso de mangueras de mejor calidad. | Supervisor de cabezales |

H. Plan de acción para mejorar mantenimiento preventivo en máquinas de transporte de caña.

| Máquina | Sistema | Componente | Proyecto de mejora | Responsable |
|--------------|--------------------------|--|---|----------------------------|
| Cosechadoras | Motor | Admisión - turbocargador | Diagnóstico de la presión del turbo, si disminuye es necesario reparación o cambio. De igual forma se debe reparar o cambiar en caso de desgaste. | supervisor de cosechadoras |
| | | Combustible - filtro | Asegurar la limpieza frecuente de los filtros de combustible, las fallas ocurrieron por taponadura en filtro. | supervisor de cosechadoras |
| | | Lubricación - manguera de aceite | Revisión de las mangueras, en caso de desgaste y reparación previa se debe realizar el cambio para evitar que se rompa la manguera. | supervisor de cosechadoras |
| | Implementos y Accesorios | corte base - cuchillas | Inspección de las cuchillas, sufren desgaste con más frecuencia. Realizar el cambio más frecuente o utilizar cuchillas de mejor calidad. | supervisor de cosechadoras |
| | | divisor - tornillo sinfín | Revisión de tornillos de sinfín, fallas por desgaste normal. Es necesario hacer el cambio para evitar las fallas. | supervisor de cosechadoras |
| | | implemento agrícola - tornillería | Cambio de tornillos con desgaste para evitar que se quiebren. Revisar que estén bien ajustados. | supervisor de cosechadoras |
| | TransporteCaña | Extractor primario - rodamiento | Inspección a los cojinetes del extractor, en caso de desgaste realizar las reparaciones necesarias o cambio. | supervisor de cosechadoras |
| | | Elevador - cadena | Cambio de la cadena del elevador, se revienta con frecuencia debido a desgaste en la cadena. | supervisor de cosechadoras |
| | | Elevador - estructura | Diagnóstico de desgaste para soldar y realizar reparaciones al elevador. | supervisor de cosechadoras |
| | | Extractor primario - base de extractor | Reparación del capuchón primario que presenta desgaste frecuente. | supervisor de cosechadoras |
| | Hidráulico | cilindros - cilindro de levante | Cambio del cilindro de levante, presenta roturas con el desgaste. Revisión de las mangueras para evitar fugas. | supervisor de cosechadoras |
| | | mangueras - manguera de implemento | Cambio frecuente de las mangueras, ocurrieron roturas. Utilizar las mangueras de mejor calidad. | supervisor de cosechadoras |
| | | mangueras - manguera de levante | Cambio frecuente de las mangueras, ocurrieron roturas. Utilizar las mangueras de mejor calidad. | supervisor de cosechadoras |
| | | motor - motor tipo Char-Lynn | Revisión y reparación del sinfín y mangueras del motor en caso de desgaste. | supervisor de cosechadoras |