



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES PARA EL CONTROL  
DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA  
REALIZANDO ENSAYOS METALOGRAFICOS EN RODAMIENTOS EN BASE  
A NORMA ASTM E3-11 Y ASTM E407-07 EN INGENIO AZUCARERO**

**José Luis Oliva Contreras**

Asesorado por el MSc. Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES PARA EL CONTROL  
DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA  
REALIZANDO ENSAYOS METALGRÁFICOS EN RODAMIENTOS EN BASE  
A NORMA ASTM E3-11 Y ASTM E407-07 EN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ LUIS OLIVA CONTRERAS**

ASESORADO POR EL MSC. ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES PARA EL CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA REALIZANDO ENSAYOS METALOGRAFICOS EN RODAMIENTOS EN BASE A NORMA ASTM E3-11 Y ASTM E407-07 EN INGENIO AZUCARERO**

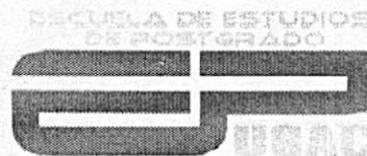
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha noviembre de 2015.

**José Luis Oliva Contreras**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



AGS-MIMPP-004-2015

Guatemala, 07 de abril de 2016.

Director  
Juan José Peralta Dardón  
Escuela de **Ingeniería Mecánica Industrial**  
Presente.

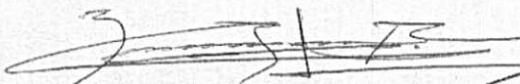
Estimado Director:

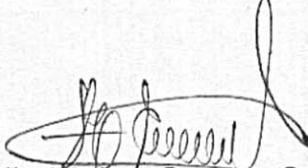
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **José Luis Oliva Contreras** con carné número **2009-14966**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

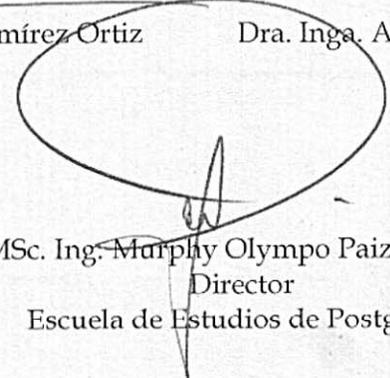
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

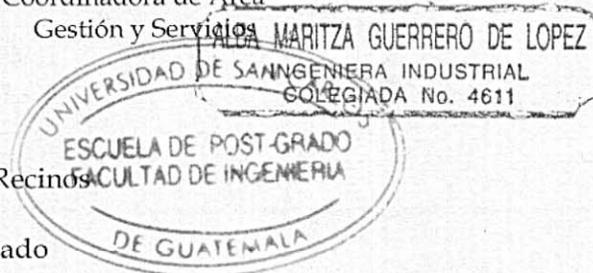
Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"

  
MSc. Ing. Hugo Leonel Ramirez Ortiz  
Asesor (a)

  
Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola  
Coordinadora de Área  
Gestión y Servicios

  
MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.066.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES PARA EL CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA REALIZANDO ENSAYOS METALOGRAFICOS EN RODAMIENTOS EN BASE A NORMA ASTM E3-11 Y ASTM E407-07 EN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante universitario **José Luis Oliva Contreras**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón  
**DIRECTOR**

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2016.

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

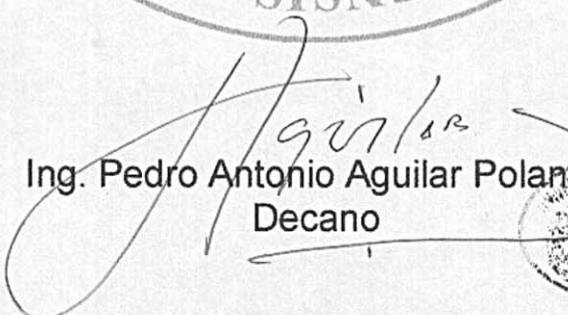


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.199-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES PARA EL CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA REALIZANDO ENSAYOS METALOGRAFICOS EN RODAMINTOS EN BASE A NORMA ASTM E3-11 Y ASTM E-407-07 EN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante universitario: **José Luis Oliva Contreras**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, abril de 2016

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Sobre todas las cosas, por estar en los momentos más difíciles a mi lado, llénarme de bendiciones para alcanzar este anhelado momento de mi vida.
- Mis padres** Este éxito es más suyo que mío, gracias por todo el cariño y apoyo que me brindaron.
- Mis hermanos** Son el regalo más grande que Dios me dio. Raquel Oliva, por ser para mi vida como una madre y el ejemplo más grande a seguir. Alberto Oliva por ser mi gran apoyo y un gran ejemplo de pasión y entrega.
- Mi familia** Por su cariño y apoyo en todo momento.
- Mis amigos** Por las experiencias vividas y compartidas

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles y brindarme las fuerzas necesarias para alcanzar mis metas.
<b>Mis padres</b>	Por todo el cariño, apoyo que me brindaron y porque de una u otra forma orientaron mi educación para alcanzar mis metas.
<b>Ana Raquel Oliva</b>	Por ser para mi vida como una madre y el ejemplo más grande a seguir.
<b>Mario Alberto Oliva</b>	Por llenar mi vida de tanta alegría, por ser un gran ejemplo de pasión y entrega dejando una huella en mi vida.
<b>Mi familia</b>	Por su cariño y apoyo en todo momento.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme la formación profesional y los conocimientos adquiridos a lo largo de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
3. JUSTIFICACIÓN .....	9
4. OBJETIVOS .....	11
5. ALCANCES .....	13
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	15
6.1. Maquinaria agrícola .....	15
6.2. Rodamientos .....	15
6.3. Partes de los cojinetes.....	16
6.4. Tipos de rodamientos .....	16
6.4.1. Rodamientos de bola.....	16
6.4.2. Rodamiento de rodillos .....	17
6.4.3. Rodamientos de empuje .....	17
6.5. Fallas en desprendimiento de duales .....	17

6.6.	Falla por lubricación deficiente .....	18
6.7.	Desalineación de los baleros de los cojinetes .....	18
6.7.1.	Ajuste de los baleros de los cojinetes .....	19
6.7.2.	Carga excesiva en cojinetes.....	19
6.7.3.	Contaminación de los rodamientos .....	20
6.8.	Desgaste adhesivo.....	20
6.9.	Erosión por cavitación .....	20
6.10.	Desgaste abrasivo.....	21
6.11.	Desgaste Peelling .....	21
6.12.	Desgaste por corrosión .....	21
6.13.	Sistema de lubricación en los rodamientos .....	21
6.14.	Lubricación con grasa en los rodamientos .....	22
6.15.	Cantidad de grasa requerida .....	22
6.16.	Lubricación con aceite en los rodamientos .....	23
7.	PROPUESTA DE ÍNDICE .....	25
8.	MARCO METODOLÓGICO .....	29
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	33
10.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	37
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	39
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Parámetros para alineación de semirremolques de dos ejes..... 19
2. Análisis de fallas en equipos de arrastre de caña ..... 35

### TABLAS

- I. Cantidad de avisos por fallas pertenecientes a los equipos de arrastre de caña ..... 34
- II. Cantidad de avisos por componente de equipo ..... 35
- III. Costos de materiales e insumos a utilizar ..... 37
- IV. Cronograma de actividades ..... 39



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>G</b>	Cantidad de grasa en rodamientos
<b>B</b>	Carga de los rodamientos
<b>D</b>	Diámetro de los rodamientos



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Es la acción mecánica de rozamiento y desgaste que se provoca por el erosión de un metal.
<b>Agrícola</b>	Se refiere a todo lo que tiene que ver con la agricultura, arado de tierras y técnicas de cultivos.
<b>Alineación de equipos</b>	Es una técnica que permite coincidir los equipos en puntos determinados, para evitar el desgaste y vibración.
<b>Balero</b>	Otro nombre que se les da a los cojinete de bola.
<b>Bioetanol</b>	Es un alcohol producido a partir de productos agrícolas como el trigo, patatas y caña de azúcar.
<b>Calidad en los equipos</b>	Es la estandarización de los procesos para lograr la satisfacción del cliente mejorando la durabilidad de los equipos y garantizando un buen servicio.
<b>Carretas Cañeras</b>	Equipos que son enganchados a los cabezales para el transporte de caña de los cañales al proceso de alimentación de caña para la extracción de azúcares.

<b>Cavitación</b>	Es el efecto hidrodinámico que se produce cuando en alguna sustancia se provoca un cambio de presión y con ello formación de burbujas que implosionan.
<b>Corrosión</b>	Deterioro de un metal por un ataque electroquímico producido por su entorno.
<b>Desalineamiento</b>	Es la desviación de un eje en relación a un punto de referencia.
<b>Desgaste</b>	Es la pérdida de partículas en la superficie de los materiales.
<b>Desprendimiento de duales</b>	Se refiere a la pérdida de las llantas traseras o delanteras de los equipos.
<b>Disponibilidad</b>	Es la medida que indica cuánto tiempo un equipo se encuentra operando.
<b>Erosión</b>	Desgaste producido en la superficie de un cuerpo por el roce o frotamiento de otro.
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).
<b>Lubricación</b>	Es la acción de reducir el la fricción, disipación de calor y dispersión de contaminantes.
<b>Metalografía</b>	Es la ciencia que estudia las características micros estructurales o constitutivos de los materiales.

<b>Pelling</b>	Desgaste por descascaro ligero o colocación de la superficie provocado por un lubricante inadecuado.
<b>Rodamientos</b>	Son los componentes rodantes de la maquinaria que distribuyen la fuerza y transfieren el movimiento.
<b>SAE</b>	Sociedad de Ingenieros de Automoción (Society of Automotive Engineers).
<b>Zafra</b>	Es un período en la cosecha de caña de azúcar.



## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es analizar cada una de las fallas que son provocados en los equipos de arrastre de caña, tiene como principal objetivos las fallas que provocan el desprendimiento de los duales en los equipos de arrastre de caña, para implementar un modelo de mantenimiento que permita reducir el impacto económico que provocan las fallas de desprendimiento de duales en el mantenimiento de los equipos de arrastre de caña.

Para determinar las principales causas del desprendimiento de duales es necesario analizar, por medio de métodos de análisis estadísticos descriptivos, los historiales de las fallas en los equipos de arrastre de caña durante una temporada de zafra. Se analizará las micro estructuras de los rodamientos, por medio de metalografía, debido a que los rodamientos son lo que soportan la mayor peso en las equipos de arrastre de caña.

Para determinar la rentabilidad del modelo de mantenimiento propuesto, es necesario comparar el control de costos generados durante temporadas anteriores en los equipos de arrastre de caña con el modelo propuesto por medio de indicadores de mantenimiento, procedimientos de mantenimiento y plan de mantenimiento preventivos y programas de lubricación de los equipos.



## INTRODUCCIÓN

El transporte de equipos de arrastre de caña es primordial para poder mantener los molinos de trituración de caña en su máxima capacidad (36000 toneladas diarias de caña). La caña es utilizada para transformarla en azúcar, alcohol, bioetanol y bagazo de caña para la generación de energía eléctrica.

En el ingenio es necesario analizar las fallas que provocan baja disponibilidad de maquinaria de equipos de arrastre de caña, que pudieran influir en el paro de los molinos de trituración de caña y evitar la producción de azúcar, que es de vital importancia durante la temporada de zafra. Se plantea realizar análisis de fallas por medio de la utilización de métodos estadísticos para determinar las fallas potenciales que generan la indisponibilidad de la maquinaria (Pulido Gutiérrez, 2008).

Por medio de métodos estadísticos y métodos metalográficos se realizarán programas de mantenimiento que representen un control de costo en fallas prematuras de los rodamientos; lo cual provoca que los indicadores de mantenimientos como disponibilidad, calidad en conformidad de maquinaria e inventarios impacten en el presupuesto de costos de maquinaria.

Durante el estudio se determinará qué fallas son provocadas por los sistemas de rodamiento y que pudieran representar el impacto en la disponibilidad de la maquinaria. Debido a que los rodamientos son los que soportan 40 toneladas de peso promedio que tiene una carreta cañera; es necesario que se realice un buen mantenimiento, por medio de programas que garanticen la vida útil de los rodamientos.

El estudio consiste en analizar la causa de las fallas prematuras de los rodamientos en los equipos de arrastre de caña, siendo un motivo por el cual se genera el desprendimiento de las llantas de los ejes o el desprendimiento de los duales. Por medio de pruebas metalográficas en los sistemas de rodamientos con base a las normas ASTM E3-11 y ASTM E407-07, se detallará el método de preparación de probetas de un tamaño de 12 milímetros de largo por 3 milímetros de ancho y 5 milímetros de altura (Barreiro Apraiz, 1984).

- Descripción de los capítulos

En el primer capítulo, la maquinaria agrícola utilizada para el transporte de caña de las fincas a los molinos de producción de azúcar, etanol, bagazo de caña para generación de energía eléctrica y los componentes de que consta una carreta cañera.

En el segundo capítulo, la importancia los tipos de rodamientos utilizados en la industria. Los rodamientos de rodillo o de bola y los rodamientos utilizados en los equipos de arrastre de caña rodamientos cilíndricos por la capacidad de cargar que se tiene una carreta cañera.

En el tercer capítulo, se describen los tipos de fallas en los rodamientos que puede provocar que se genere un calentamiento en la bufa y se desprenda los duales durante su proceso de extrema carga y transporte de caña.

En el cuarto capítulo, se detallan los tipos de desgaste que puede ocurrir en un cojinete por estar sometido a extrema presión, falta de lubricación y mala instalación del sistema de rodamientos y por mantenimiento deficientes.

En el quinto capítulo, se realiza un estudio por medio de pruebas de grasas lubricantes en rodamientos y pruebas de aceites lubricantes en rodamientos, para analizar rendimientos de los rodamientos.

En el sexto capítulo, se analiza los procedimientos de un programa de mantenimiento no planificado, por medio de la recepción de maquinaria, creación de avisos, planificación de trabajo y reserva de repuestos.

En el séptimo capítulo, se detallan las herramientas de control para análisis de fallas en equipos de arrastre de caña. Los métodos aplicados son: Diagrama de Pareto para determinar las fallas potenciales y el análisis de modo y efecto de falla para determinar la criticidad de la fallas.

En el octavo capítulo, se enfoca en el análisis metalográficos de los rodamientos, por medio de las estructuras cristalinas de los rodamientos para determinar las fallas prematuras. Los Ensayos metalográficos según norma ASTM E3- 11 y ASTM E407- 07.



## 1. ANTECEDENTES

Ramírez (2007) indica que: “cuando se tome decisiones para poder realizar un mantenimiento que involucre normas y procedimientos ISO 9000 es necesario poder realizarlos como fueron formulados”. El mantenimiento debe constituirse como un sistema de gestión que pueda ser realizado en base a procedimientos, debidamente registrados y controlables. Todo aquello que se puede medir por medio de análisis estadísticos puede ser controlado y mejorar sus procesos.

Bazt (2013) realizó un estudio con base al tipo de banda que tiene las llantas en equipos de transporte pesado, determinando que equipos son los que presentan un menor costo por kilometraje recorrido; es un estudio muy aplicado para control de costo al establecer los parámetros e indicadores de desgaste en las llantas. El desgaste en llantas genera un alto costo por la mala alineación de los equipos por fallas en los rodamientos.

Zapata(2005) estudió cada una de las fallas que se puede tener en los cojinetes de biela de los camiones por medio de analizar los desgastes y cada una de las fallas más repetitivas en el deterioro de los cojinetes. Los métodos que se utilizaron en la tesis fueron metalografía, microscopia y los ensayos de dureza. Por norma SAE para cojinetes de cobre – plomo, Zapata determinó que los parámetros de fabricación no eran los requeridos y que el “desgaste más agresivo era por cavitación” El plan de respuesta lo planteó por medio de la realización de pruebas en análisis de aceite de motor.

El estudio de Exon (2001) explica que no solo tiene que ver completamente el tipo de lubricantes que se utiliza en los cojinetes si no también el diseño de fabricante por medio de 5 fallas comunes que son: 1. sobrecalentamiento “decoloración de las pistas”, 2. descomposición química, 3. programa de mantenimiento deficiente, 4. Desalineación y 5. Cargas y pre-cargas en baleros.

Barreiro (1984) Menciona “La clasificación de los tipos de estructuras analizado microscópicamente en base a los ensayos en normas ASTM”. El ensayo para determinar el desgaste de los rodamientos se realizara con especificaciones de la norma ASTM E3-11 y ASTM E407-07 analizando el tipo de falla y desgaste en los rodamientos.

El manual de mantenimiento 14-Sp para ejes semirremolques (MERITOR, 2008) indica que el deterioro de los rodamientos es influido por la mala alineación en los equipos, Meritor establece tres parámetros, uno es la orientación al eje, el segundo ángulo de caída de ejes y el tercer parámetro convergencia de ejes. La orientación del eje en los equipos semirremolques es por medio del pivote de dirección. El procedimientos consiste en medir la distancia del pivote de dirección al primer eje de lado derecho y la distancia del pivote de dirección de lado izquierdo, la diferencia no tiene que ser mayor a  $\pm 1.59$  mm ( $\pm 0.0625$  pulgadas) y la separación entre ejes no mayor a  $\pm 0.79$  mm ( $\pm 0.03125$  pulgadas).

Raouf (2000). Relaciona los costos de mantenimientos por medio de “Costo directos de mantenimiento, que son los costos de mano de obra, materiales, equipos y herramientas, costos de paro de operaciones debido a fallas, costo de la calidad de reparación, costos de deterioro de los equipos por falta de mantenimientos adecuado y costos de mantenimientos excesivo”. En la

investigación se toman en cuenta los costos más representativos siendo los costos generados por materiales, equipos, costos por paro de la maquinaria correspondientes a la indisponibilidad de maquinaria y los costos por calidad en reparación de la maquinaria.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los equipos de arrastre de cañas son todos los equipos críticos necesario para transportar caña de las fincas a los molinos de fábrica para la producción de azúcar, alcoholes y bioetanol. Se establecen en Guatemala dos temporadas para el mantenimiento de la maquinaria agrícola; en la primera, es la temporada de noviembre del 2014 a mayo 2015 zafra, en donde se realizan mantenimientos correctivo y preventivos no planificados; en la segunda, es la temporada que corresponde desde abril 2015 a octubre 2015; temporada de reparación, se realiza el mantenimiento de la maquinaria por medio de rutas de mantenimiento y programas de reparación por categoría de maquinaria.

Durante la temporada de noviembre del 2014 hasta abril 2015, se tuvo baja disponibilidad de la maquinaria llegando a un 82%, un 10% debajo de la meta de disponibilidad de maquinaria durante la zafra 2014-2015. Los mantenimientos correctivos por desprendimiento de duales en los equipos de arrastre de caña fueron los que provocaron mayor impacto en la disponibilidad de la maquinaria( según reporte de mantenimientos 2014-2015 de zafra del gremio azucarero), generando incrementos en los costos de mantenimientos, debido a la disposición de repuestos, lubricantes y los servicios realizados por los proveedores para la reparación de la maquinaria agrícola, se debe remarcar que el mantenimientos solo sirvió para poner en marcha los equipos y no dando certeza de su veracidad.

El desprendimiento de los rodamientos en los equipos de arrastre de caña provocó una alerta en el indicador de índices de accidentes del área de

transporte de caña, generando baja disponibilidad en los equipos críticos de arrastre de caña.

Debido a la mala lubricación que se tiene en los sistemas de rodamientos, la falta de procedimientos y estandarización de los procesos de reparación de equipos de arrastre, se genera calentamientos en las bufas, fundición de los cojinetes por degradación de la grasa, desprendimientos de los espárragos, propiedades que inciden en el desgaste prematuro de las llantas. Los daños conllevan a elevar los costos de mantenimientos por reemplazo de repuestos e indisponibilidad de maquinaria.

Al proponer un sistema de mantenimiento que ayude a mitigar los daños y controlar los costos de reparación, por métodos metalográficos en sistemas de rodamientos, se plantea la siguiente interrogante. ¿Para realizar un análisis de fallas para sistemas de rodamientos lo se podrá determinar por medio de metalografía?

El análisis metalográficos proporcionará información sobre estructura metalúrgica de los componentes internos de los cojinetes y los factores internos o externos que provocaron las fallas en sus componentes.

Se plantean la siguiente interrogante:

¿Por medio de análisis metalográficas se puede determinar las fallas prematuras de los rodamientos que provocan el desprendimiento de los duales, para establecer programas de mantenimiento que ayuden a reducir costos de reparación en equipos de arrastre de caña?

Al mismo tiempo, se generan las siguientes preguntas específicas:

- ¿Qué modelo de mantenimiento representará un mejor enfoque de competitividad en el mantenimiento y que se puedan visualizar en el control de costos?
- ¿Qué ventaja o desventajas se puede tener al cambiar de una grasa lubricante en cojinetes a aceite lubricante para sistemas de rodamientos en equipos de arrastre de caña, bajo el alcance de operación en un ingenio?
- ¿Bajo la normativa ASTM E3-11 y ASTM E407-07 se podrá determinar el desgaste en el sistema de rodamientos?
- ¿Qué tipos de indicadores enfocados en mantenimiento puede reflejar una mejora en la calidad de reparación de los equipos de arrastre de caña con relación a su tiempo disponible de operación?



### **3. JUSTIFICACIÓN**

El presente tema de graduación se desarrolla en la necesidad de reducir el desprendimiento de los duales de los equipos de arrastre de caña. En la zafra del año 2015, se generó un incremento 25% en comparación de la temporada de noviembre del 2014 a mayo del 2015 en los accidentes en carretas por fallas mecánicas de equipos, generando una baja disponibilidad de la maquinaria de 82%, siendo 10% menos de la meta estipulada por la empresa para equipos de arrastre de caña, los aspectos descritos generan altos costo de mantenimientos por repuestos, lubricantes y los servicios que fueron realizados por proveedores.

Debido a la caída en el precio del azúcar es necesario realizar proyectos que puedan generar un control de costos en el mantenimiento, para mejorar el tiempo medio entre las fallas y el tiempo medio de reparación, para ello se utiliza el análisis de las condiciones de operaciones para establecer programas de mantenimiento planificado.

Internamente, en el ingenio los equipos de arrastre de caña no cuentan con un programa de mantenimientos planificado por medio de rutas de mantenimientos y tampoco un programa de paros programados por kilometraje recorrido. La mala administración de los mantenimientos genera un bajo índice de disponibilidad de la maquinaria, debido a la operación de maquinaria bajo un régimen de mantenimiento correctivo no planificado.

El estudio tiene como razón principal analizar y controlar los costos directos de mantenimientos, principalmente en repuesto para sistemas de

rodamientos, lubricantes, desgaste prematuro de llantas, debido a la alta incidencia de accidentes cargados al área de maquinaria agrícola.

El análisis de desprendimientos de los duales se realizará por medio de métodos administrativos de mantenimientos, procedimientos estadísticos, análisis de fallas y ensayos metalográficos, basados en normas ASTM E3-11 y ASTM E407-07. Las normas descritas se enfocan en determinar las estructuras cristalinas de los sistemas de rodamientos, fallas prematuras de los cojinetes, adicionalmente ayudan a concretar programas de mantenimientos planificado, programas de lubricante, procedimientos de mantenimientos y rutas de los componentes de los equipos.

## **4. OBJETIVOS**

### **General**

Analizar las fallas en desprendimiento de duales para el control de costos de mantenimientos de equipos de arrastre de caña, mediante el uso de ensayos metalográficos.

### **Específicos**

1. Establecer un modelo de mantenimiento que determine el impacto en los equipos en términos de deterioro y control de costos, por medio de la metodología análisis de causa raíz.
2. Determinar las ventajas o desventajas al cambiar de grasas lubricantes a aceites lubricantes en los sistemas de rodamiento de los equipos de arrastre de caña bajo las condiciones de operación en un ingenio.
3. Analizar por medio de ensayos metalográficos, basados en normas ASTM E3-11 y ASTM E407-07 a los rodamientos utilizados en duales para determinar las estructuras cristalinas de los sistemas de rodamiento.
4. Establecer indicadores de calidad en conformidad de la maquinaria, por medio de fallas recurrentes, tiempo medio de reparación y tiempo medio entre fallas.



## 5. ALCANCES

La investigación se realizará dentro del área de maquinaria agrícola de un ingenio azucarero ubicado en Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. El estudio que se realizará será tipo analítico que consiste en analizar la forma de desgaste prematuro de los sistemas de rodamiento, basados en la normativa ASTM E3-11 y ASTM E407-07 daños, fallos en sistema de rodamientos y relacionarlos en el control de costos directos de mantenimientos de los equipos de arrastre de caña.

Debido a que se cuenta con 477 carretas para transporte de caña, 360 dollies para enganchar carretas y 30 autovolteos para el llenado de las carretas para transportar la caña. La cantidad de cojinetes para los ensayos metalográficos, se realizará por medio de métodos estadísticos probabilísticos para el tamaño de la muestra.

El tipo de análisis a realizar consiste en el estudio para determinar las fallas más frecuentes que provoca el desgaste prematuro de los rodamientos en los equipos de arrastre por medio de metalografía. Los registros llevados por cada una de las fallas que se provocaron en la temporada de zafra 2015, se realizarán análisis estadísticos enfocados en métodos de calidad por medio de gráficas de control, diagramas de Pareto, diagrama de causa y efecto. Para determinar las fallas potenciales de la maquinaria.

El período de tiempo de estudio se llevara 6 meses debido a que se dejará trabajar a los equipos durante una temporada de zafra. Los parámetros analizar serán las condiciones de operación, cargas variables, velocidades variables,

tipos de lubricación por medio de aceites lubricantes, grasa lubricantes y los dos tipos de suspensión utilizados.

## **6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **6.1. Maquinaria agrícola**

En el área de maquinaria agrícola los equipos de arrastre de caña son los encargados de transporte de caña a los molinos de extracción de jugo para luego pasar por los distintos procesos de transformación antes de llegar a ser convertida en azúcar.

Dentro de los equipos de trabajo se tiene: carretas cañeras, dollies y autovolteos. También se encuentran los equipos de arrastre de no caña como lo son las plataformas azucareras, carretones para usos varios, carretones para riegos y autocargables. Las carretas poseen los siguientes componentes

- Ejes y rodamientos
- Estructura
- Quinta Rueda
- Suspensión

### **6.2. Rodamientos**

Los rodamientos son los componentes rodantes capaces de soportar las cargas que se ejerce en los ejes y se caracterizan por la transferencia de cargas axiales y radiales (Mott, 2006, 597). Las cargas tanto radiales como axiales son las que se transmiten a lo largo del sistema de suspensión en los equipos de arrastre de caña.

### **6.3. Partes de los cojinetes**

Los cojinetes según sus distintas aplicaciones se pueden clasificar en cojinetes que soportan cargas axiales, cojinetes que soportan cargas radiales y los que son capaces de soportar tanto cargas axiales como radiales” (Mott, 2006, 604). Para las aplicaciones de los equipos de arrastre los cojinetes son cojinetes cilíndricos que se dividen: corona, cono, taza y rodillos.

### **6.4. Tipos de rodamientos**

Para aplicar los distintos tipos de cojinetes es importante tomar en cuenta la carga aplicada al rodamiento, las condiciones de operación o calentamiento, la resistencia al tipo de carga axial o radial, el tipo de lubricación y el costo de mantenimiento (Zapata, 2005, 7).

#### **6.4.1. Rodamientos de bola**

Zapata (2005, 8) estudio que los cojinetes de bola son diseñados para soportar cargas radiales y cargas axiales, se clasifican en:

- Rodamientos de una hilera son capaces de soportar cargas de empuje axial muy elevadas
- Cojinetes de doble hilera se utilizan para cargas radiales altas y axiales ligeras.
- Rodamiento de contacto angular son utilizados para altas cargas axiales.

#### **6.4.2. Rodamiento de rodillos**

Estos se clasifican según norma ISO 15, 104, 355 y DIN ISO 281.

- Rodillos cilíndricos debido al área en contacto de rodillos soportan una mayor carga radial, pero también es necesario una mejora alineación para no provocar fallas.
- Aguja son utilizados en superficies más reducidas y son capaces de soportar cargas axiales y radiales.
- Rodillos cónicos son los rodamientos más utilizados en transporte, por las disposiciones de los caminos y tiene la característica de tener un menor coeficiente de fricción, por lo consecuente tiene mayor velocidad.

#### **6.4.3. Rodamientos de empuje**

Según norma ISO 15 los rodamientos de empuje se clasifican en rodamientos de empuje de bola, rodamiento de empuje de rodillo recto y rodamiento de empuje de rodillos cónicos utilizados para trabajar en velocidades altas (Zapata, 2005, 7).

#### **6.5. Fallas en desprendimiento de duales**

Las fallas en los rodamientos son las causas principales por paros no programados en los equipos de arrastre de caña, lo que genera altos costos por reemplazo y baja disponibilidad en la maquinaria.

Las causas principales de las fallas son: la lubricación, montaje, sobre carga, mal mantenimientos y la contaminación o las condiciones de operación. La diferente metodología en aplicación nos brinda las herramientas y

estrategias adecuada de montaje, datos económicos de pérdida, la disponibilidad y la calidad del mantenimiento. (Meritor, 2008,15).

#### **6.6. Falla por lubricación deficiente**

Debido a que no se tiene un programa de lubricación de los rodamientos al ingresar a la reparación mayor a 6000 Kilómetros se nota una decoloración de las pistas y los elementos rodantes entre negra y azul.

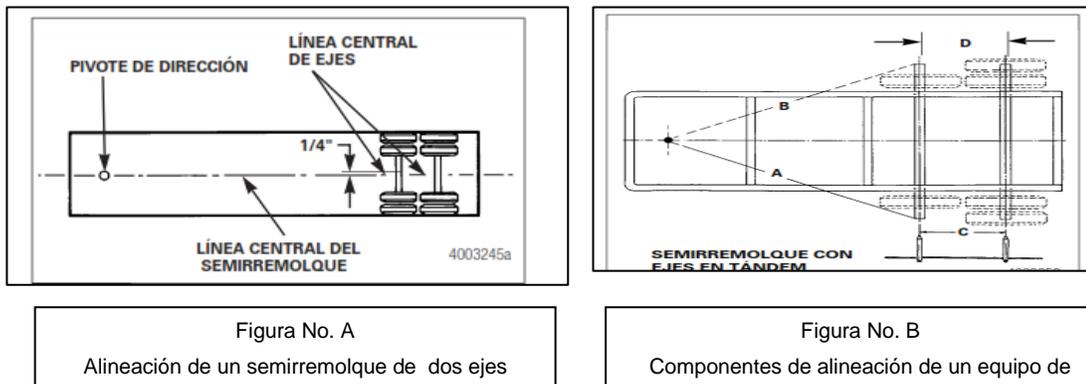
#### **6.7. Desalineación de los baleros de los cojinetes**

El desgaste de los cojinetes es paralelo al borde de la pista. La alineación de los equipos de arrastres es por medio de: orientación de eje y convergencia del eje. Alineación de un semirremolque de dos ejes. En la figura 1 se observa los parámetros para alineaciones de carretas cañeras (Meritor, 2008,17).

- Colocar el semirremolque en línea recta en un piso completamente nivelado. Realizar movimientos hacia delante y así atrás para que todos los componentes se ajusten después de realizado el mantenimiento.
- Desacoplar y colocarlo sobre los patines de apoyo o patas de soporte
- Retire las piezas que obstruyan el paso entre el chasis el pin master o pivote de dirección.
- Colocar un gancho al pivote de dirección y medir la distancia de "A". Luego compararla con la distancia del pivote hacia "B" la diferencia no debe ser mayor a  $\pm 1.59$  mm ( $\pm 0.0625$  pulgadas).

- Medir la distancia entra “C” y “D” la diferencia entre estas dimensiones no debe ser superior a  $\pm 0.79$  mm ( $\pm 0.03125$  pulgadas).

Figura 1. **Parámetros para alineación de semirremolques de dos ejes**



Fuente: Manual de semirremolques, Meritor. p. 45

### 6.7.1. Ajuste de los baleros de los cojinetes

El ajuste del balero de los cojinetes provoca sobrecarga o poco precarga aplicada con el torque para ajuste del balero.

### 6.7.2. Carga excesiva en cojinetes

La pre-carga inadecuada lo que puede provocar poco vida útil al rodamiento, provoca fallas dando un apariencia de picaduras en los rodamientos. (Meritor, 2008,40). La excesiva carga en los rodamientos puede provocar fallas por falta de aceite o grasas lubricantes.

### **6.7.3. Contaminación de los rodamientos**

Es las fallas más comunes en los rodamientos provocados por suciedad que está presente en el rodamiento o por el desgaste de las partículas que provocan el desprendimiento de pedazos de los baleros de los cojinetes.

### **6.8. Desgaste adhesivo**

El desgaste adhesivo es: “producido cuando las dos superficies se encuentran en contacto directo sin una adecuada lubricación provoca calor debido a la fricción entre las dos piezas” (Barreiro, 1894, 55). El desgaste adhesivo es provocado por la deficiencia que se tiene en el sistema de mantenimiento planificado específicamente en el período de lubricación de los elementos rodantes. Los factores de fallas; deficiencia de lubricantes en los rodamientos, desalineación de los equipos de arrastre y sobre carga de los equipos de arrastre.

### **6.9. Erosión por cavitación**

Tipo de desgaste que se produce cuando se aplican altas velocidades en los elementos rodantes, lo que provoca un cambio de presión y con ello, la formación de burbujas. Las burbujas implosionan con los cojinetes provocando desgaste. “Dos factores que puede provocar el desgaste por erosión por cavitación son viscosidad inadecuada del lubricante e intervalos de cambio de aceite muy prologados”. (Barreiro, 1894, 55).

#### **6.10. Desgaste abrasivo**

Se provoca un desgaste abrasivo cuando partículas extrañas se encuentran en contacto con los cojinetes, como consecuencia se tiene desprendimiento de las partículas de los rodamientos. “Otra causa puede ser la diferencia de dureza entre el rodamiento y la superficie que se tiene en contacto” (Barreiro, 1894, p. 55). El mayor problema es debido a que durante el montaje de las piezas se encontraba residuos de material desgastado que no son retirados o no se realiza un cambio adecuado de lubricantes en los rodamientos.

#### **6.11. Desgaste Peelling**

Es un desgaste por descariado ligero o coloración de la superficie de los rodamientos desgastado por un lubricante inadecuado o una lubricación inadecuada en los equipos de arrastre de caña. (Barreiro, 1894, p. 55).

#### **6.12. Desgaste por corrosión**

Desgaste debido a la reacción química, que se sufre por los componentes de los lubricantes presentes en contacto con el rodamiento (Barreiro, 1894, p.55). Para evitar las reacciones que química que tiene un rodamiento con el ambiente es necesario establecer aditivos dispersantes y anticorrosivos.

#### **6.13. Sistema de lubricación en los rodamientos**

Según las condiciones de operación es importante utilizar los distintos tipos de lubricantes. En los equipos de arrastre de caña se utiliza grasas como

lubricantes, pero es necesario migrar a la utilización de aceite debido a las diferentes fallas en los cojinetes.

#### **6.14. Lubricación con grasa en los rodamientos**

La lubricación con grasas lubricantes es la más utilizada en la maquinaria agrícola, debido a que no se necesita un elevado mantenimiento. Disminuye la frecuencia de lubricación y utilizada como un sellador para evitar el exceso de contaminantes debido a que la maquinaria agrícola trabaja bajo condiciones de exceso polvo.

#### **6.15. Cantidad de grasa requerida**

La cantidad de grasa requerida la brinda el manual del fabricante, pero en ocasiones donde no se tiene esta información se puede aplicar en el diagnóstico de fallas rápidas en rodamientos. (NSK, 2008, p. 2).

$$G = 0,005 DB$$

[Ec. 1.]

Donde:

G= cantidad de grasa, en gramos

D= diámetro del rodamiento, en mm

B= largo del rodamiento, en mm

## **6.16. Lubricación con aceite en los rodamientos**

Es importante tener en cuenta que los aceites lubricantes son utilizados para altas velocidades en los rodamientos y cuando son sometidos a altas temperaturas (Ramírez, 2007, p. 12). Las funciones de los aceites lubricantes son controlar fricción, reducir desgaste, proteger contra herrumbre y remover las partículas de desgaste de los rodamientos.

Las propiedades y composición química de los aceites lubricantes es detergente lo que evita mantenerla superficie donde se encuentra los rodamientos libres de depósitos y limpios de residuos, propiedad dispersantes mantiene los contaminantes insolubles en el lubricantes y índice de viscosidad que sufre pequeñas variaciones respecto a la temperatura a la cual operan los rodamientos.



## 7. PROPUESTA DE ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

ALCANCE

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1. MAQUINARIA AGRÍCOLA Y COMPONENTES DE EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA
  - 1.1. Tipos de suspensiones para equipos de arrastre
  - 1.2. Tipos de carretas para arrastre de caña
  
2. SISTEMAS DE RODAMIENTOS
  - 2.1. Parte de los cojinetes
  - 2.2. Tipos de rodamientos
  - 2.3. Rodamientos de bola
  - 2.4. Rodamiento de rodillos
  - 2.5. Rodamientos de empuje
  
3. ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES
  - 3.1. Fallas en rodamientos
  - 3.2. Falla por lubricación deficiente
  - 3.3. Desgaste por descarado ligero (peeling)
  - 3.4. Desalineamiento de los baleros de los cojinetes

- 3.5. Ajustes de los baleros de los cojinetes
  - 3.6. Carga excesiva en cojinetes
  - 3.7. Contaminación de los rodamientos
4. TIPOS DESGASTE EN RODAMIENTOS SEGÚN ASTM G65
- 4.1. Desgaste adhesivo
  - 4.2. Erosión por cavitación
  - 4.3. Desgaste abrasivo
  - 4.4. Desgaste Peelling
  - 4.5. Desgaste por corrosión
5. TIPOS DE LUBRICACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE RODAMIENTOS
- 5.1. Elección del sistema de lubricación
  - 5.2. Lubricación con grasa en los rodamientos
  - 5.3. Cantidad de grasa requerida
  - 5.4. Lubricación con aceite en los rodamientos
6. ANÁLISIS DE FALLAS EN DESPRENDIMIENTO DE DUALES
- 6.1. Programa de mantenimiento no planificado
  - 6.2. Recepción de maquinaria agrícola
  - 6.3. Creación de avisos de trabajo
  - 6.4. Planificación de orden de trabajo
  - 6.5. Planificación de reservas de repuestos.
7. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ ENFOCADA A DESPRENDIMIENTO DE DUALES PARA EQUIPOS DE ARRASTRE DE CAÑA
- 7.1. Diagrama de Pareto para análisis de fallas.
  - 7.2. Análisis de modo y efecto de fallas (FMEA)
  - 7.3. Diagrama de causa y efecto con base al mantenimiento

- 7.4. Estadística de fallas en rodamientos
- 7.5. Costos directos por fallas en rodamientos

## 8. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LOS RODAMIENTOS

- 8.1. Tipos de suspensión en equipos de arrastre de caña
- 8.2. Estructuras cristalinas en rodamientos
- 8.3. Ensayos metalográficos
- 8.4. Preparación de probeta para ensayo, según Norma ASTM E3-11 y ASTM E407-07
- 8.5. Corte del material para probeta de ensayo, según Norma ASTM E3 11 y ASTM E407-07
- 8.6. Probeta de ensayo para microestructuras, según Norma STM E3 11 y ASTM E407-07
- 8.7. Microscopio óptico

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS



## 8. MARCO METODOLÓGICO

El estudio será exploratorio debido a que no se cuenta con información de la condición de los rodamientos y las fallas que están sufriendo en operación, en el ingenio no se cuenta con una base de datos formal de la cantidad de fallas debido a desprendimiento de duales. El estudio también será descriptivo para describir las fallas y las causas probables que por las que estas ocurren. Para analizar las fallas de los rodamientos, se obtendrá por medio de un plan que cree un reportes que describan el tiempo de indisponible la maquinaria. Con base en la cantidad de datos obtenidos por paros no programados de la maquinaria, se realizarán análisis estadísticos para determinar dónde se encuentran las fallas más recurrentes por medio de métodos gráficos de control, diagramas de Pareto, diagramas de causa y efecto.

Se determinará por métodos metalográficos con base a norma de ensayos ASTM E3-11 y ASTM E407-07 daños y fallas en sistemas de rodamientos con relación a los costos de mantenimiento. Por medio de un análisis metalográficos podremos determinar la razón de las fallas prematuras en los rodamientos extendiendo la vida de útil de estos repuestos.

La metodología utilizada para análisis del desprendimiento de los duales consiste en realizar de modo experimental análisis metalográficos para determinar las fallas en los rodamientos, las características del material, deficiencias en lubricación y relacionarlos para la reducción en el control de costos de mantenimientos. Se divide en las siguientes fases:

- Fase I

Por medio de análisis de causa raíz enfocadas en el mantenimientos se realizara un estudio de las fallas concurrentes en los equipos de arrastre de caña para obtener la cantidad de fallas registradas en base a la creación de un reporte que detalle los avisos abiertos de maquinaria no disponible por la cantidad de fallas repetitivas y calcular la frecuencia acumulada para graficar el diagrama de Pareto, para analizar el 80%-20% de las fallas y compararlo con la metodología del modo y efecto de las fallas (FMEA).

El método modo y efecto (FMEA) consiste dividir en componentes un equipo para determinar las fallas en ese componentes en el modo de sus fallos y efectos que se producen, para cuantificarlo en la severidad de la falla, la ocurrencia con la que sucede sin ser detectada y la criticidad que puede provocar que el proceso deje de producir.

La muestra de la cantidad de cojinetes a evaluar, por medio de análisis metalográficos basados en norma ASTM E3-11 y ASTM E407-07 será una muestra probabilística con base en los tipos de suspensión utilizados en las carretas de arrastre de caña.

Para determinar las ventajas y desventajas de utilizar una grasa lubricante o un aceite lubricantes en el sistema de rodamientos, se analizará ambos bajos las condiciones de operación de los equipos de arrastre de caña durante la temporada de zafra.

- Fase II

Los análisis de fallas se realizarán por medio de los diagramas de Pareto, para obtener datos estadísticos de las fallas provocadas por el desprendimiento de duales y determinar la cantidad de horas perdidas de la maquinaria. Mediante los ensayos de metalografía se determinará el mecanismo más agresivo de desgaste en los cojinetes y los datos para analizar la ventaja o la desventaja de utilizar un aceite lubricante o una grasa lubricante para extender la vida útil de los rodamientos.

Se evaluarán las condiciones de operaciones de los equipos para establecer un programa de mantenimiento planificado, por medio de la cantidad de kilómetros recorridos de los equipos durante el periodo de producción de azúcar (zafra).

- Fase III

Se llevará a cabo un estudio comparativo en los métodos actualmente utilizados y una nueva metodología propuesta, para relacionar el costos de mantenimientos provocado en el desprendimientos de duales enfocándolos en costos generados por el tiempo perdido de la maquinaria, costos de repuestos, costos de mano de obra, costos de lubricantes, costos provocados por el desgaste prematuro de llantas y los costos por el consumo de combustible, para controlar los costos mediante procedimientos y programas de mantenimientos.



## 9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La técnica de análisis de la información que se aplicará será por medio de estadística descriptiva, para determinar las medidas de tendencia central de las fallas por medio de la creación de un reporte que detalle las fallas, tiempo perdido y las condiciones de operaciones de la maquinaria.

Las herramientas que se utilizan para los modelos estadísticos descriptivos serán por medio de hoja de recolección de datos, diagramas de Pareto, diagrama de causa y efecto, diagramas de dispersión y gráficos de control, por medio de los programas como: Excel, Mindject y Minitab, los cuales están diseñados para ejecutar funciones estadísticas.

Los datos serán obtenidos por medio de un reporte que detalla las fallas de las máquinas, para luego evaluar las fallas más concurrentes en los equipos de arrastre de caña que puede causar el desprendimiento de los duales y analizar por medio de metalografía las fallas que puedan provocar en los rodamientos fallas prematuras e influyan en el desprendimiento de duales en los equipos de arrastre de caña.

Al determinar las fallas que provocan el desprendimiento de los cuales es necesario correlacionarlos con las disponibilidad de la maquinaria, tiempo perdido de la maquinaria y el tiempo medio entre fallas, para luego establecer los planes de acciones para crear los indicadores que mejores los factores de disponibilidad y garanticen la reparaciones de la maquinaria agrícola.

En la tabla I se observa la cantidad de semanas correspondientes a la temporada de zafra, los componentes en que se dividen los equipos de arrastre de caña, la cantidad de avisos abiertos por las diferentes fallas y el tiempo de parada en horas de la maquinaria que afecta la disponibilidad de los equipos.

Tabla I. **Cantidad de avisos por fallas pertenecientes a los equipos de arrastre de caña**

<b>Componentes</b>	<b>Numero Avisos</b>	<b>Suma de Duración de parada en horas</b>
Carrocería	26	212,11
Chasis	1 176	15 772,23
Ejes y Rodamientos	1 686	8 766,37
Eléctrico y electrónico	140	184,24
Frenos	124	425,17
Hidráulico	28	203,37
Implementos y Accesorios	69	400,21
Llantas	7	15,57
Motor	24	149,37
reparación General	3	151,39
Suspensión	263	2 638,52
Transporte Caña	1	23,77
Tren de Potencia	117	1 033,82
<b>Total general</b>	<b>3 664</b>	<b>29 976,14</b>

Fuente: elaboración propia.

En los datos de la cantidad de avisos por equipos se obtendrá por medio de métodos estadísticos las fallas más repetitivas en componentes. El diagrama de Pareto es una herramienta de calidad utilizada para determinar las causas, priorización de los problemas primarios y evaluación de la solución.

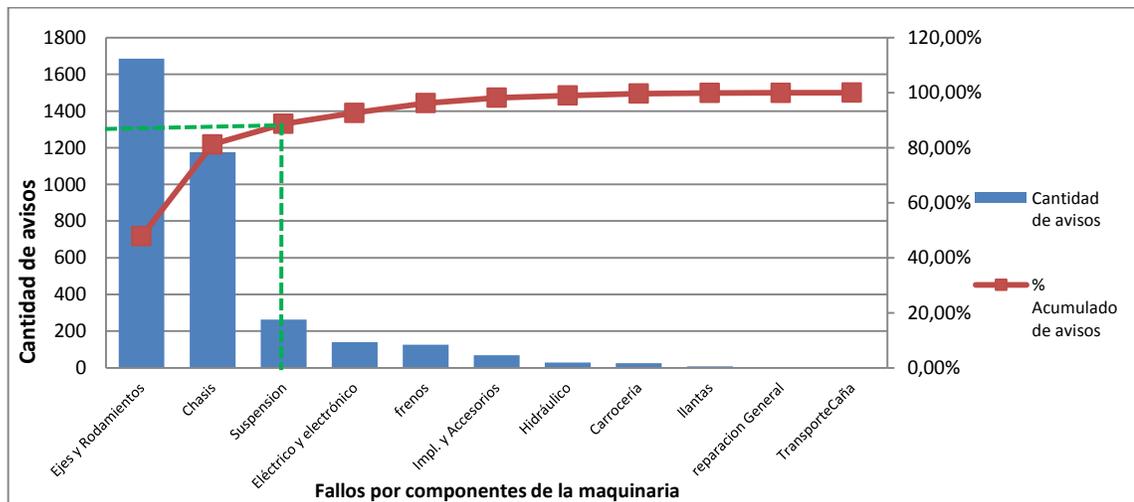
La tabla II representa a sumatoria de los avisos correspondientes a cada una de las fallas de los componentes de la maquinaria, para obtener el porcentaje acumulado de fallas y graficar el 80 % de las fallas más repetitivas.

Tabla II. Cantidad de avisos por componente de equipo

Componentes	Núm. Aviso	Suma parada	Acumulado Avisos	% cantidad de avisos	% Acumulado
Ejes y Rodamientos	1 686	8 766,37	1 686	47,84 %	47,84 %
Chasis	1 176	15 772,23	2 862	33,37 %	81,21 %
Suspensión	263	2 638,52	3 125	7,46 %	88,68 %
Eléctrico y electrónico	140	184,24	3 265	3,97 %	92,65 %
Frenos	125	425,15	3 390	3,55 %	96,20 %
Implemento y Accesorios	69	400,21	3 459	1,96 %	98,16 %
Hidráulico	28	203,37	3 487	0,79 %	98,95 %
Carrocería	26	212,11	3 513	0,74 %	99,69 %
Llantas	7	15,57	3 520	0,20 %	99,89 %
Reparación General	3	151,39	3 523	0,09 %	99,97 %
Transporte Caña	1	23,77	3 524	0,03 %	100,00 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Análisis de fallas en equipos de arrastre de caña



Fuente: elaboración propia.

Según los datos obtenidos al tomar la decisión de la investigación, se podrá notar que el 80% de las fallas más representativas se encuentran en ejes y rodamientos, chasis y suspensión. En este estudio se enfocará directamente en fallos por sistemas de rodamientos.



## 10. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Según Zapata V. (2005). Los cojinetes según sus distintas aplicaciones se clasifican en cojinetes que soportan cargas axiales, cojinetes que soportan cargas radiales y los que son capaces de soportar tanto cargas axiales como radiales. Para esta investigación en particular son componentes indispensables durante la reparación de fallas de los equipos.

- Mano de obra: necesaria e indispensable para la reparación de las fallas en los equipos.
- Asesor: profesional fundamental en la aportación de conocimientos para la ejecución y realización de la investigación.

Tabla III. **Costos de materiales e insumos a utilizar**

<b>Materiales e insumos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total de costos</b>
Cojinetes	Promedio de costo por prueba de cojinetes para dos equipos proporcionado por la empresa	Q 4 000,00
Retenedores	Promedio de costos para cambio de retenedores para dos equipos proporcionado por la empresa	Q 2 000,00
Repuestos y lubricantes	Costo por repuesto utilizados para la prueba y los lubricantes utilizados.	Q 600,00
<b>Total</b>		<b>Q 6 600,00</b>

Continuación de la tabla III.

<b>Costos para realización del análisis</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total de costo por 6 meses</b>
Combustible	Costo por consumo de gasolina debido a que el laboratorio para el análisis se encuentra en Palín, Escuintla.	Q 1 500,00
Materiales	Costo de materiales para realizar análisis metalográficos como disco para corte de piezas, lijas y reactivos	Q 1 000,00
Insumos	Costo de papelería y parqueo	Q 500,00
	<b>Total</b>	<b>Q 3 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se muestra el cronograma de actividades.

Tabla IV. Cronograma de actividades

Tipo de fase	Actividades	nov-15		dic-15		ene-16		feb-16		mar-16		abr-16	
		Semana 1-2	Semana 2-3										
Fase I: Investigación y muestreo	Investigación de los métodos de análisis metalográficos	■	■										
	Análisis de datos de la zafra 14-15			■									
	Diagrama de Pareto para determinar fallas potenciales				■								
	Diagrama de fallas por modo y causa (FMEA)					■	■						
Fase II Evaluación	Pruebas en cambio de grasas lubricantes a aceites lubricantes para rodamientos					■	■						
	Análisis de pruebas de rendimiento aceite lubricantes después de los 5000 Km							■					
	Ensayos metalográficos en rodamientos en base a normativas ASTM E3-11 y ASTM E407-07							■	■	■	■		
Fase III Económica	Análisis de datos económicos de la zafra 14 – 15										■	■	
	Propuesta para control de costos de mantenimiento											■	■

Fuente: elaboración propia.



## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Barreiro A. (1894). *Siderurgia y metalurgia, Diagrama de hierro carbono, tratamientos térmicos de los aceros* (pp. 1-315). Bilbao. Editorial Dossat, S.A.
2. Browmannell B. (2013). *Diseño de un sistema de costos estándar en una empresa reencauchadora de llantas para transporte pesado (Tesis de licenciatura de Ciencias Económicas)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
3. Diffuaa R. (2000). *Sistema de mantenimiento planificación y control*. México D.F. Editorial Limusa, S.A.
4. Meritor H. (2008). *Manual de mantenimiento 14-Sp, ejes para semirremolques* (pp. 41-47).
5. NSK B. (2008). *Diagnóstico rápido de fallas en rodamientos* (pp. 3-36).
6. NSK M. (2008). *Guía completa para la manipulación sin problemas de rodamientos, sellos, tapas de cubo y lubricantes para rodamientos*. (pp. 1- 49).
7. Piovan M. (2014). *Proyecto y cálculo de ejes y elementos accesorios (Tesis en doctorado)*. Universidad Tecnológica Nacional. Regional Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina.

8. Pulido G. (2008). *Diagrama de Pareto y estratificación, Calidad total y productividad* (pp. 177-202). México. McGraw Hill, tercera edición.
9. Ramírez H. (2007). *Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topso construcciones, S.A. (Tesis de maestría en Ingeniería de Mantenimiento)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
10. Sydney H. Estrada J. y Barrios M. (1988). *Introducción a la metalografía física*, México. McGraw Hill/ Interamericana de México, S.A.
11. Widman R. *Vida útil de rodamientos y cojinetes lubricados por grasa*. Santa Cruz, Bolivia, pp. (1-12).
12. Zapata V. (2005). *Análisis de fallas de cojinetes de biela de camiones de 2300 hp para minería (Tesis de Ciencia e Ingeniería Mecánica)*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.