

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA Y  
CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE UNA FLOTA DE  
COSECHADORAS DE CAÑA DE AZÚCAR DE 40 t/h DE  
CAPACIDAD**

**Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico,  
que presenta el bachiller:**

**CHRISTIAN GUILLERMO HUANCAYA MENA**

**ASESOR: Ing. Jaime Remigio Collantes Bohórquez**

**Lima, Mayo de 2016**

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un proyecto de mejora de la Disponibilidad Mecánica y Confiabilidad Operacional de una Flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar, para lo cual se desarrolla un modelo que permita optimizar los referidos indicadores.

Se trabaja en base a la data de operación y mantenimiento de la flota con la que cuenta la empresa para un periodo de 17 meses, se parte de la realización del Análisis de Criticidad en donde se define y cuantifica los parámetros en base a los cuales se jerarquizarán las cosechadoras de la flota a partir de donde se seleccionará el equipo más crítico y se pasará a analizar cada una los modos de falla que ha presentado el equipo para dicho periodo. A continuación, se realiza el Análisis Modal de Fallas y Efectos en donde se logra clasificar y analizar cada una de los modos de falla que presentó el equipo crítico para el referido periodo, la máquina presenta 178 modos de falla, de los cuales se seleccionan los 5 más críticos en base a los índices de gravedad, ocurrencia y detectabilidad, para la obtención de resultados más fiables se tomaron los referidos modos de falla críticos de toda la flota.

Mediante un Software de Mantenimiento Especializado se estima los parámetros de vida de uno de los modos de falla críticos, a partir de donde se estima valores de Confiabilidad para determinados periodos de tiempo, posteriormente se calcula los Indicadores de Clase Mundial (MTBF, MTTR y Disponibilidad) y la Efectividad Global del Equipo (OEE) que permiten observar el estado actual de la flota. Seguidamente, se propone una serie de acciones para las Áreas de operación y mantenimiento que involucran a la empresa, con las cuales se pueda prevenir que vuelva a ocurrir la falla crítica. Más adelante, y para el modo de falla seleccionado se genera una Orden de Trabajo enfocada para el Área de Mantenimiento mediante la cual se planea incrementar la confiabilidad del componente afectado. En seguida, se realiza un análisis técnico de la Optimización del Plan de Mantenimiento Propuesto en donde se estima el incremento de producción, y en cuanto mejora la disponibilidad de la flota mediante la aplicación del mismo. Finalmente, se efectúa un análisis económico en donde se justifica la implementación del Plan en base a costos de repuestos, mano de obra, consumo de combustible, costo de producción de Etanol y precio de venta de Etanol.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<sup>ii</sup>  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE UNA FLOTA DE COSECHADORAS DE CAÑA DE AZÚCAR DE 40 t/h DE CAPACIDAD

ÁREA : Producción/Mantenimiento # 53

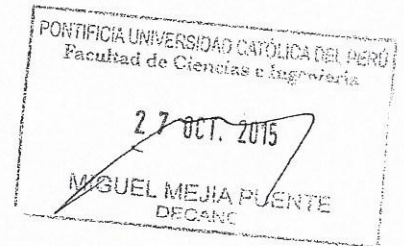
PROPUESTO POR : Ing. Jaime Remigio Collantes Bohórquez

ASESOR : Ing. Jaime Remigio Collantes Bohórquez

TESISTA : Christian Guillermo Huancaya Mena

CÓDIGO : 20074429

FECHA : 19 de Octubre de 2015



**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

Con el pasar de los años la sociedad va dependiendo cada vez más de la riqueza generada por negocios en los cuales necesariamente están implicados equipos mecanizados y en algunos casos automatizados. Se ha vuelto crucial conocer los procesos que originan las fallas de los equipos y lo que se debe de hacer para evitarlas de tal forma que cada activo continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga.

La Industria de la producción de Etanol no es la excepción a la regla, Caña Brava es el conglomerado de 3 empresas del Grupo Romero que se dedican exclusivamente a la producción de este compuesto químico a partir de la caña de azúcar, la cosecha de la caña se realiza por medio de equipos mecanizados. La empresa cuenta con una flota de 12 Cosechadoras de Caña de la marca *John Deere* modelo 3520, la flota presenta un rendimiento de 62% sobre la base de su capacidad de producción actual.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un proyecto de mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar seleccionando las mejores actividades de mantenimiento. Lo cual se logrará mediante:

- Obtención, revisión y organización de información de operación y mantenimiento en campo de los distintos equipos que conforman la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.
- Definir y cuantificar los parámetros en base a los cuales se compararán los equipos que conforman la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.
- Desarrollar un modelo para calcular la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.
- Optimizar el Plan de Mantenimiento con el que cuenta la empresa de modo que permita mejorar el rendimiento de la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.

JS

JS



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA Y  
CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE UNA FLOTA DE  
COSECHADORAS DE CAÑA DE AZÚCAR DE 40 t/h DE  
CAPACIDAD**

Introducción

1. Estado del Arte
2. Fundamentos Teóricos
3. Metodología del Mantenimiento Aplicado a la Flota de Cosechadoras
4. Presentación de Resultados y Plan de Mantenimiento

Recomendaciones

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

*Máximo: 100 páginas*

Ing. Jaime Remigio Collantes Bohórquez

Asesor



## DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y hermano que siempre me brindaron su apoyo y confianza. A Amanda q.e.p.d.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que han permitido el desarrollo del presente trabajo, especialmente a mis padres que siempre fueron fuente de sabiduría y experiencias.

A mi casa de estudios, la Pontificia Universidad Católica del Perú, a mi asesor, el ingeniero Jaime Collantes Bohórquez por su tiempo, conocimiento impartido y por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo.

Al personal de IPESA PERU sede Lima, en especial a la señorita Karla Oliver por todo su apoyo.

A todo el personal de Caña Brava por brindarme las facilidades para la estadía en sus instalaciones y brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo, a los ingenieros Pedro Trigoso y Michael Casanova por haber realizado las gestiones correspondientes. Al ingeniero Vladimir Oliva y a la señorita Ana Paula López por bríndame toda la información necesaria durante mi estancia en la plantación.

Finalmente mi más sincero y especial agradecimiento a los Ingenieros Luis Suarez y Elías Arellano que sin su paciente y continuo aporte no hubiese sido posible la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE SÍMBOLOS .....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: .....	3
1. ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1. Caña de Azúcar .....	3
1.2. Etanol a partir de Caña de Azúcar.....	4
1.3. Ciclo de la Caña de Azúcar.....	5
1.4. Cosechadoras de Caña de Azúcar .....	6
CAPÍTULO 2 .....	12
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
2.1. Funcionamiento del Equipo.....	12
2.2. Conceptos del Mantenimiento .....	28
CAPÍTULO 3 .....	34
3. METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO APLICADO A LA FLOTA DE COSECHADORAS.....	34
3.1. Recopilación, Organización y Presentación de la Data.....	34
3.2. Análisis de Criticidad aplicado a la Flota de Cosechadoras .....	37
3.3. Equipo Crítico .....	45
3.4. Elaboración del Análisis de Modo y Efecto de Falla(AMEF) del Equipo Critico .	45
3.5. Análisis de Datos de Vida de los Modos de Falla Críticos.....	58
CAPÍTULO 4 .....	60
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	60
4.1. Estimación de los Parámetros de Vida .....	60
4.2. Cálculo de Indicadores de Mantenimiento de Clase Mundial.....	65
4.4. Plan de Mantenimiento Propuesto.....	71
4.5. Análisis Técnico del Plan.....	79

4.6. Análisis Económico del Plan .....	81
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES .....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS	





## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción	Unidad
MTBF	Tiempo Medio Entre Fallas	[h]
MTTR	Tiempo Medio para Reparar	[h]
A	Disponibilidad	
TF	Tiempo de Funcionamiento	[h]
TC	Tiempo Calendario	[h]
TPP	Tiempo de Paradas Planificadas	[h]
TOP	Tiempo de Operación	[h]
TPE	Tiempo de Preparación de Equipo	[h]
TON	Tiempo de Operación Neta	[h]
TPNP	Tiempo de Paradas No Programadas	[h]
TOU	Tiempo de Operación Utilizable	[h]
TPO	Tiempo Perdido por Operación	[h]
TPN	Tiempo Productivo Neto	[h]
TPD	Tiempo Perdido por Defectos	[h]

## INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años la sociedad va dependiendo cada vez más de la riqueza generada por negocios en los cuales necesariamente están implicados equipos mecanizados y en algunos casos automatizados. En muchos casos, cuando estos activos fallan pueden llegar a generar incluso pérdidas humanas.

Se ha vuelto crucial conocer los procesos que originan las fallas de los equipos y lo que se debe de hacer para evitarlas de tal forma que cada activo continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga [1].

La Industria de la producción de Etanol no es la excepción a la regla, Caña Brava es el conglomerado de 3 empresas del Grupo Romero que se dedican exclusivamente a la producción de este compuesto químico a partir de la caña de azúcar. La compañía cuenta con 9,400 hectáreas de caña cultivados en las cercanías al Valle del Chira, en la región de Piura (Perú), el Ingenio tiene una capacidad de producción de 370 mil litros de etanol por día, con una molienda de 4300 toneladas de caña.

La cosecha de la caña se realiza por medio de equipos mecanizados, mientras que el transporte de la misma, del campo al ingenio se realiza por medio de camiones preparados para tal fin. [2]

La empresa cuenta con una flota de 12 Cosechadoras de Caña de la marca *John Deere* modelo 3520, la flota presenta un rendimiento de 62% sobre la base de su capacidad de producción actual.

En la actualidad, las grandes empresas azucareras a nivel mundial cuentan con programas de mantenimiento eficientes, lo que les permite tener una alta disponibilidad mecánica lo que les da ventaja frente a las empresas de nuestro país.

En el presente trabajo se revisaran los métodos de cálculo de Disponibilidad y Confiabilidad, posteriormente se jerarquizará los equipos de la flota que mayores problemas presente mediante Análisis de Criticidad y partir de eso analizar sus sistemas críticos para posteriormente mediante estadística aplicada optimizar la toma

de decisiones de mantenimiento (reparar, repotenciar o reemplazar según sea el caso) para minimizar costos.

### **Objetivo General**

Desarrollar un proyecto de mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar seleccionando las mejores actividades de mantenimiento.

### **Objetivos Específicos**

- Obtención, revisión y organización de información de operación y mantenimiento en campo de los distintos equipos que conforman la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.
- Definir y cuantificar los parámetros en base a los cuales se compararán los equipos que conforman la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.
- Desarrollar un modelo para calcular la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.
- Optimizar el Plan de Mantenimiento con el que cuenta la empresa de modo que permita mejorar el rendimiento de la flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar.

## CAPÍTULO 1:

### i. ESTADO DEL ARTE

#### 1.1. Caña de Azúcar

La Caña de Azúcar es un producto que fue introducido al Perú por los españoles durante la colonia, se cultiva en la costa, selva y valles interandinos. Las características climatológicas de la costa norte del Perú tales como abundante sol y escasas lluvias hacen que se pueda sembrar y cosechar durante todo el año, razón por la cual nuestro país cuenta con el mayor rendimiento promedio mundial en (kg/ha).

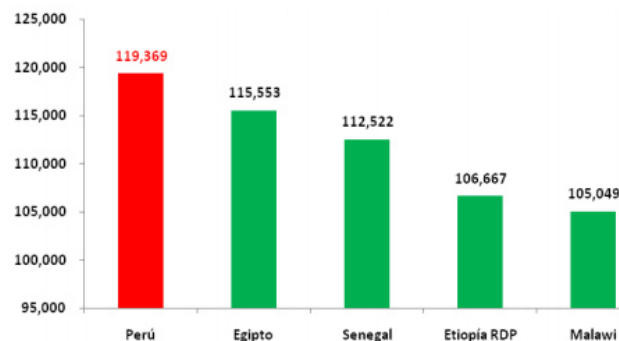


Figura 1.1: Principales Rendimientos Promedios Mundiales 1992-2011(kg/ha) [3].

Tradicionalmente la caña de azúcar se ha utilizado para la elaboración de aguardientes industriales como el ron y el cañazo, para la producción de azúcar y en la elaboración de chancaca. Asimismo la medicina tradicional la emplea para el alivio de dolores renales y para combatir afecciones hepáticas [4].

## 1.2. Etanol a partir de Caña de Azúcar

Las crecientes necesidades del consumidor (menor contaminación y menores costos del combustible) y los cambios económicos (precio volátil del petróleo) hacen que se vuelva una prioridad iniciar la producción de etanol en el país. Este compuesto químico se puede obtener a partir de caña de azúcar, maíz, remolacha y otros vegetales, pero se cuenta con una tecnología más desarrollada para el primer producto, además de obtenerse mejores resultados. [3]

Tabla 1.1: Rendimiento Energético anual y Balance energético neto del Etanol producido a partir de la Caña de Azúcar con respecto al producido a partir de otros cultivos [5].

Cultivo	Combustible	Rendimiento energético anual <sup>a</sup> (GJ/ha)	Balance energético neto <sup>b</sup>
Caña de azúcar	Etanol (de azúcar)	~120	~8
Remolacha dulce	Etanol (de azúcar)	~140	~2
Maíz	Etanol (de almidón)	~70	~1,5
Yuca (mandioca)	Etanol (de almidón)	~80	
Trigo	Etanol (de almidón)		~2
Palma de aceite	Biodiésel	~193	~9
<i>Rapeseed</i>	Biodiésel	~42	~2,5
Semilla de soya	Biodiésel	~14	~3
Celulosa	Etanol		2-36 (teórico)

<sup>a</sup> Promedio. <sup>b</sup> Worldwatch Institute (2006)

Tabla 1.2: Ventajas de producir etanol a partir de la caña de azúcar con respecto a producirlo a partir del maíz [6].

	Maíz	Caña
Reducción emisiones CO2	28%	92%
Contenido energético	1:1.2	1:8.3
Rendimiento (l / Ha)	3100	9000
Impacto en cadena alimenticia	Alto	Poco relevante

### 1.3.Ciclo de la Caña de Azúcar

El inicio del proceso para la obtención del etanol se inicia con la siembra de la caña, la cual se hace por medio del cultivo de tallos o estacas que contengan de 2 a 3 yemas o de 30 cm. de largo, estos se entierran de forma horizontal y dejando una distancia aproximada de 1.4 m entre surcos para facilitar la cosecha mecanizada.

En el caso particular de esta empresa se cuenta con un laboratorio especializado de control de plagas mediante control biológico de los mismos y el riego se hace mediante un sistema de riego por goteo lo cual permite ahorrar gran cantidad de agua.

Posteriormente se deja completar su ciclo de crecimiento, el cual demora aproximadamente 1 año, una vez sembrado se puede cosechar hasta 9 veces (zafra) antes de tener que realizar una nueva siembra.

Las Caña es cortada, trozada y limpiada para posteriormente ser transportada a la fábrica donde se realiza el ciclo de producción de Etanol.



Figura 1.2: Proceso de obtención de Etanol a partir de la Caña de Azúcar [7].

## 1.4.Cosechadoras de Caña de Azúcar

Si bien durante siglos la cosecha de la caña se realizó de forma manual e inclusive en muchas zonas aún se sigue haciendo mediante este método, se enfocará esta parte en el desarrollo histórico de la tecnología de los equipos mecanizados de cosecha y como estos han ido evolucionando hasta llegar al modelo actual.

### 1.4.1.Cosechadora Rowland

Es la primera cosechadora mecanizada que se inventó, fue patentada de 1890 por John Rowland. Según descripciones de la época este equipo de 27 metros de largo era capaz de propulsarse mediante un sistema que aprovechaba el vapor sobrecalentado en un depósito. El sistema de corte de la caña constaba de una cuchilla que mediante movimiento oscilante pendular cortaba la caña, el sistema de corte no funcionó por lo que posteriormente fue reemplazado por discos cortadores.

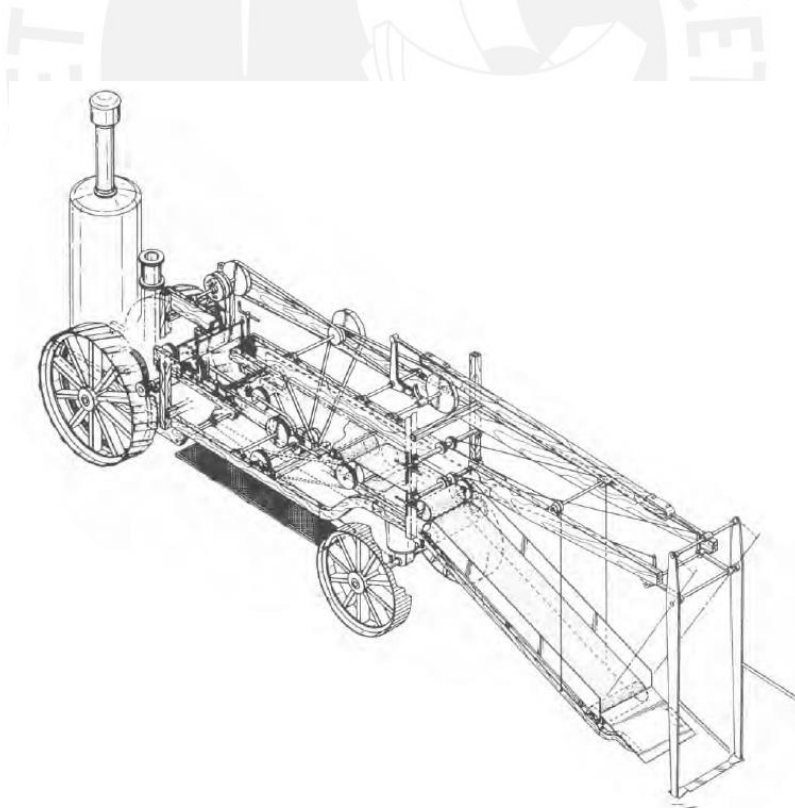


Figura 1.3.: Cosechadora de Caña Rowling[8].

### 1.4.2. Cosechadora Falkiner

Cosechadora inventada por Ralph Falkiner en 1925, esta máquina es capaz de cortar y despuntar la caña, además tiene un depósito con una capacidad de carga de hasta media tonelada. Su sistema está compuesto por un par de cuchillas rotativas, brazos canalizadores, sistema de elevación, rodillos trozadores y cuchillas despuntadoras. Tiene una capacidad de corte de 40 t/h.



Figura 1.4: Cosechadora de Caña Falkiner [8].

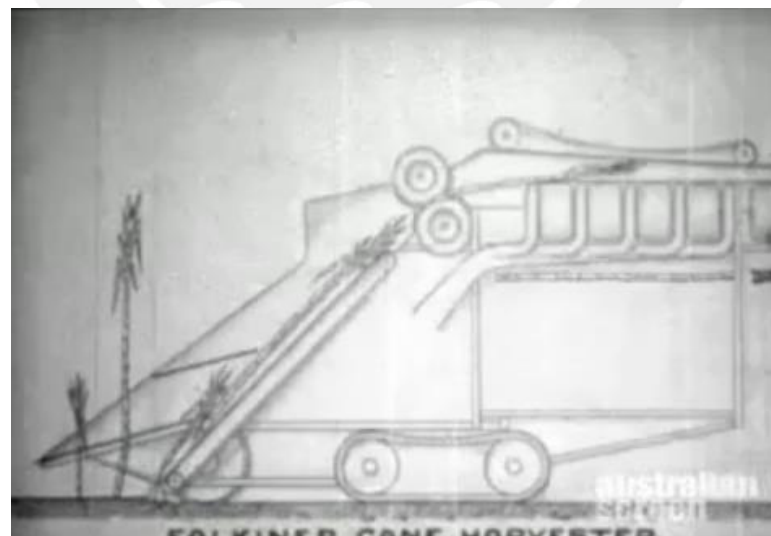


Figura 1.5: Procesamiento de la Caña en la Cosechadora Falkiner [9].



### 1.4.3. Cosechadora Edgecombe

Esta cosechadora con capacidad de producir hasta 200 t/d requiere que la Caña este espaciada en hileras de 1 a 1.5 m, otra característica de este equipo es que puede cortar en cualquiera dirección, así como caña fresca o quemada.

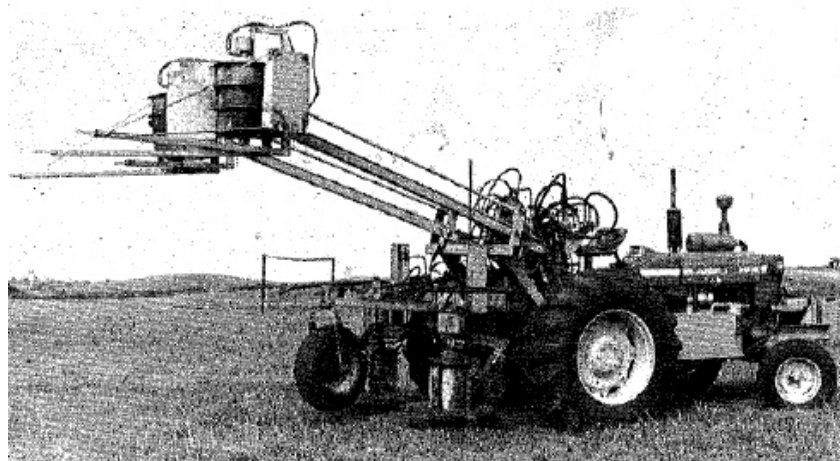


Figura 1.6: Cosechadora de Caña Edgecombe[10]

### 1.4.4. Cosechadora Midway

Con una capacidad de producción de hasta 100 t/día, el mecanismo de corte está localizado entre las llantas delanteras y la llanta posterior. La caña es cortada y direccionada debajo del tractor, el despuntador se montado en la parte frontal del tractor.

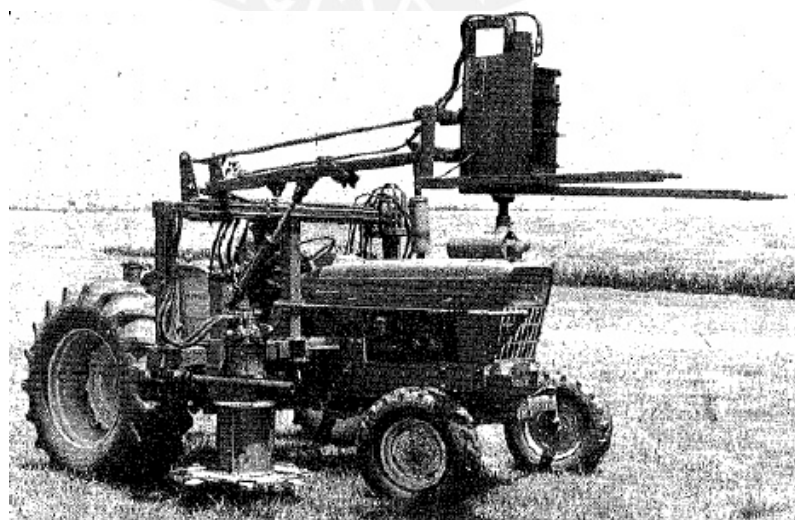


Figura 1.7: Cosechadora de Caña Midway[10].

#### 1.4.5.Cosechadora Bell

Con una capacidad de 13 t/h y equipada con un sistema de corte de base similar a la cosechadora Edgecomber es capaz de cortar 2 hileras de caña simultáneamente, la caña cortada dejada a su paso requiere ser agrupada en paquetes(de 200 kg aproximadamente) para ser cargada por el equipo.



Figura 1.8: Cosechadora de Caña Bell [10].

#### 1.4.6.Cosechadora Simon

Necesita de un tractor que permita propulsarlo, posee sistema de corte de base, de división de cosecha y de despuntado



Figura 1.9: Cosechadora de Caña Simon[11].

#### 1.4.7. Cosechadoras Frontales Montadas

Con una capacidad de 30 t/h y diseñada para operaciones de caña quemada, corta una hilera de caña por pasada. Tiene la capacidad de despuntar la caña.



Figura 1.10: Cosechadora de Caña Frontal Montada [10].

#### 1.4.8. Cosechadora Orbach

Con una capacidad que fluctúa desde 20 t/h hasta 40 t/h esta cosechadora puede realizar corte de base, despuntar y agrupar la caña en el campo. Tiene que ir acoplado a un tractor de aproximadamente 50 kW de Potencia.



Figura 1.11: Cosechadora de Caña Orbach[10].

#### 1.4.9. Cosechadora Vicro

Este equipo tiene una capacidad aproximada de 25 t/h, va acoplada a un tractor y corta hileras de caña que se encuentren adyacentes al equipo. La cosechadora está diseñada para realizar corte de base, superior y agrupa caña en el campo. Se requiere un tractor de más de 60 kW de Potencia.



Figura 1.12: Cosechadora de Caña Vicro[10].

## CAPÍTULO 2

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Funcionamiento del Equipo

La empresa cuenta con una flota de 12 cosechadoras *John Deere* 3520, estas cumplen la función de cortar, trozar, limpiar y descargar la caña en el equipo de traslado (Autovolteo), el cual a su vez lo vierte a un camión especialmente modificado (Cañera) y este lo lleva hasta la fábrica para su posterior procesamiento y obtención de etanol, tal como se aprecia en la figura 2.1. Cabe destacar que estos equipos permiten la cosecha en verde. De la totalidad de la flota, 7 de estas cosechadoras tienen sistema de rodaje por Ruedas y 5 por Oruga.

Tomando como base la figura 2.2 se procederá a realizar una explicación general del circuito de procesamiento de la caña, para posteriormente entrar a mayor detalle en cada uno de los sistemas que componen la cosechadora.

El procesamiento de la caña se inicia en los discos recogedores o recolectores, los cuales están ubicados a cada uno de los lados del despuntador (1), los mismos se encargan de agrupar las puntas de la caña (cogollo) y las dirigen al disco de corte, el cual se halla en la parte central del despuntador (1).

Los Divisores de Cosecha (2) separan las filas de la caña entreverada, arremolinada o caída. Los Rodillos Tumbadores (3) tumban la caña hacia delante a un ángulo óptimo de entrada a la cosechadora mientras que las Cortadoras de Base (4) cortan la parte de debajo de los tallos de la caña. El Rodillo Pateador (5) se encarga de canalizar la caña hacia los Rodillos Alimentadores (6) que regulan la velocidad de la caña, con lo que a su vez se logra conseguir la longitud de tallo deseado en los Rodillos Trozadores(7). Este sistema consta de 2 rodillos equipados con cuchillas, entre los que pasan las cañas, una vez trozadas pasan al depósito de recepción. Desde el depósito de recepción, la caña ya trozada pasa al sistema de elevación (8), mientras que el ventilador del Extractor Primario (9) se encarga de aspirar los restos de las hojas y la suciedad de la caña, la cual es expulsada y es vertida sobre el campo.

El sistema de elevación (8) canaliza y entrega la caña trozada a un vehículo de transporte equipado para recolectar caña denominado Autovolteo, este equipo auxiliar puede ir por detrás, por la izquierda o por la derecha de la cosechadora dependiendo de la disposición de la cosecha y del tipo del terreno.

En la parte final del proceso, a la salida del Sistema de Elevación, al caer la caña trozada al Autovolteo el material suelto restante lo aspira el ventilador del Extractor Secundario (10). Los restos aspirados se canalizan a través de una capota giratoria (11) de tal forma que se evita que estos caigan en el Autovolteo.

Todos los actuadores hidráulicos (Pistones, Motores) de la cosechadora son accionados por el caudal generado por el Sistema de Bombas (12) que son a su vez accionadas por el Motor (13). El equipo cuenta con un sistema de refrigeración (14). Asimismo, el sistema de Rodaje (15) es por medio de motores hidráulicos que impulsan el equipo. En el gráfico A1.1 (Anexo 1) se puede observar a detalle el procesamiento de la caña al interior del equipo.



Figura 2.1: Cosechadora vertiendo caña procesada al Autovolteo (izq.), Autovolteo vertiendo caña procesada al Camión(Cañera) (der.) y Camión trasladando caña procesada al Ingenio (Fabrica) para la posterior conversión a Etanol (abajo) [12].

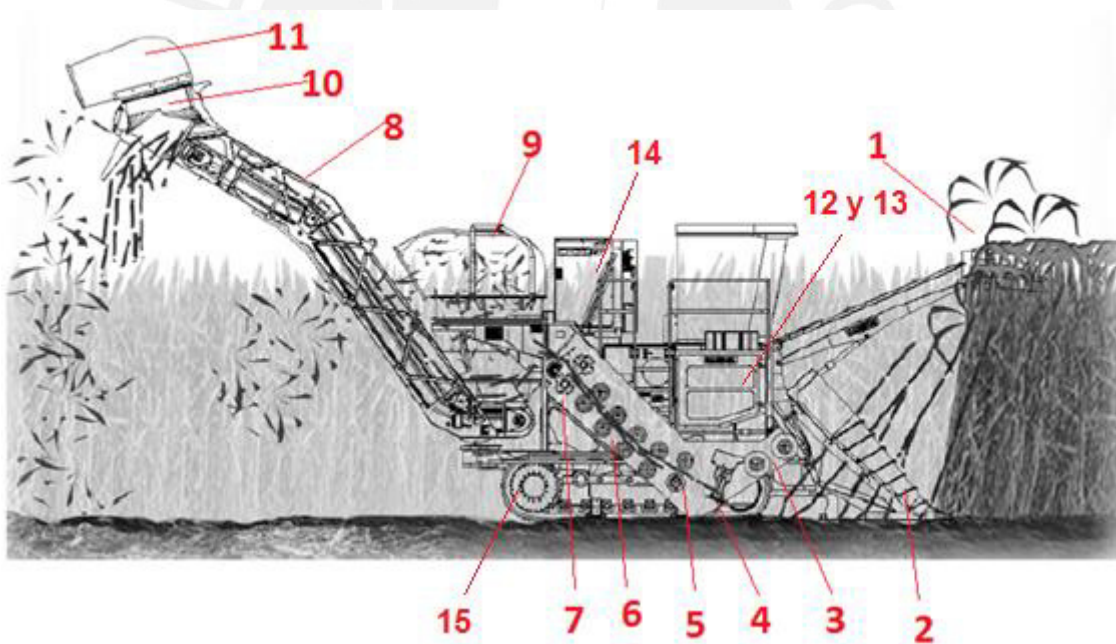


Figura 2.2: Vista de Corte de la Cosechadora de Caña John Deere 3520 [13].

### 2.1.1. Sistema de Despuntado

El Sistema de Despuntado consta de 2 discos colectores y de 1 despuntador, el cual se encuentra ubicado entre ambos discos. La función del Despuntador es cortar la parte superior de la caña (Cogollo) que no es aprovechable para la producción de

Etanol, esta representa aproximadamente el 8% del largo total de la caña. Una vez que la caña ha sido despuntada, las puntas que han sido cortadas son tiradas fuera de la cosechadora mediante la rotación de los colectores. El despuntador es de doble sentido de giro, dependiendo de si es que se quiere lanzar la parte cortada de la caña hacia la derecha o hacia la izquierda.

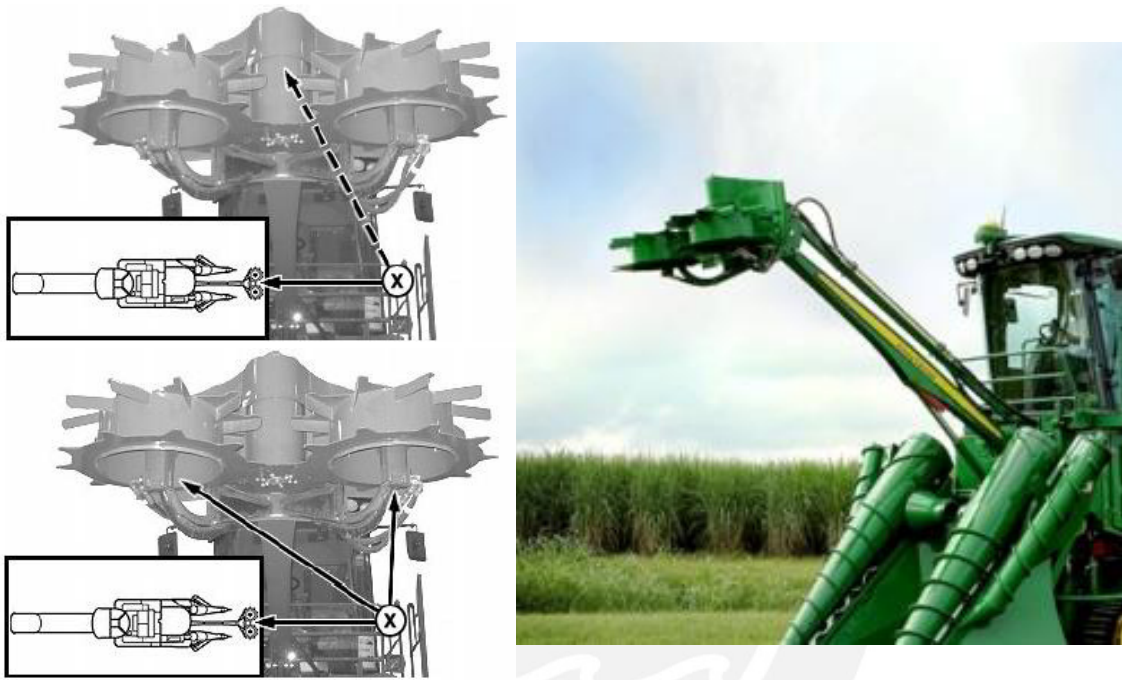


Figura 2.3: Ubicación de los Motores del Disco Colector y del Despuntador (izq.) [15] y vista panorámica del Sistema de Despuntado (der.) [14].

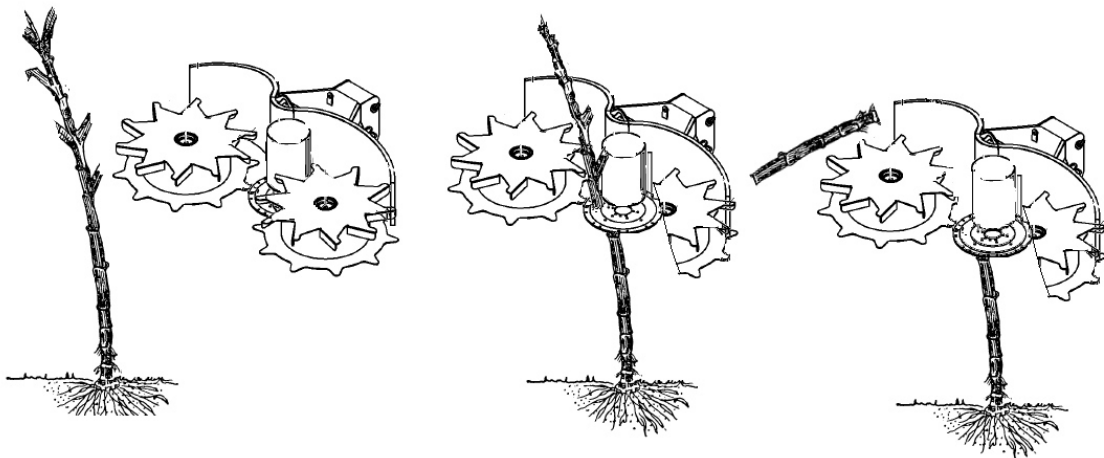


Figura 2.4: Representación del Proceso de Despuntado de Caña [16], [17].



### 2.1.2. Sistema de División de Cosecha

El Sistema de División de Cosecha está conformado por los Divisores de Cosecha, Divisores de Cosecha Exteriores (Auxiliares), Cuchillas Laterales y Rodillos Pre Tumbadores. Asimismo, tiene elementos auxiliares como Cuchillas Laterales, Punta y Zapatas.

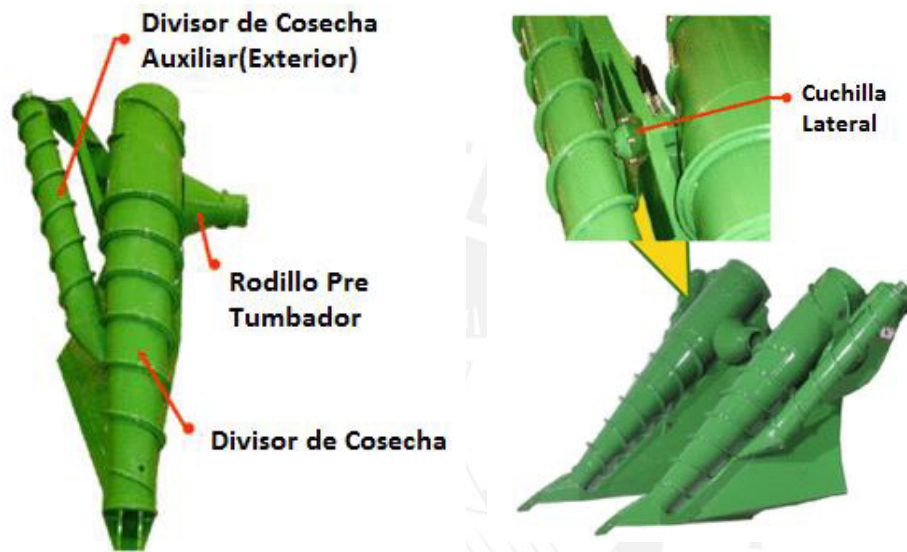


Figura 2.5: Partes del Sistema de División de Cosecha [18].

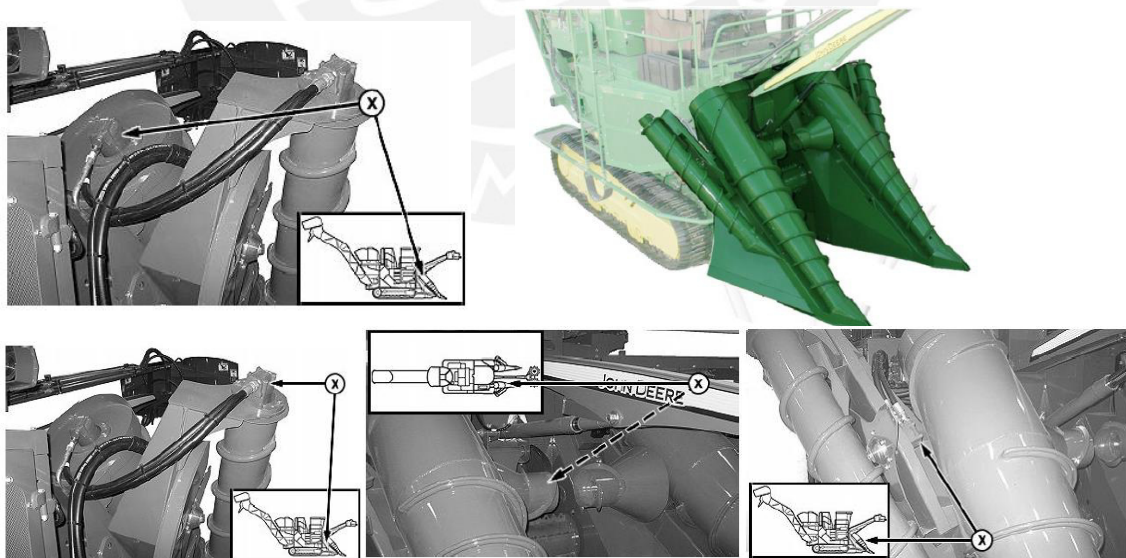


Figura 2.6: De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, ubicación del Motor del Divisor de Cosecha, Vista panorámica del Sistema de Despuntado, Motor del Divisor de Cosecha Exterior, Motor del Rodillo Pre Tumbador y Motor de la Cuchilla Lateral.[15],[19].

La función de los Divisores de Cosecha es separar las hileras de cañas que se encuentren enredadas y levantar las que se encuentren caídas, esto se logra mediante el giro de dos sinfines los cuales giran de forma helicoidal. Los Divisores de Cosecha Auxiliares (Exterior) giran en la dirección opuesta al de los Divisores de Cosecha, la función de estos es empujar las hileras de caña lejos de la Cosechadora. Los Rodillos Pre Tumbadores tienen la función de direccionar la caña hacia el centro de la garganta de la Cosechadora.

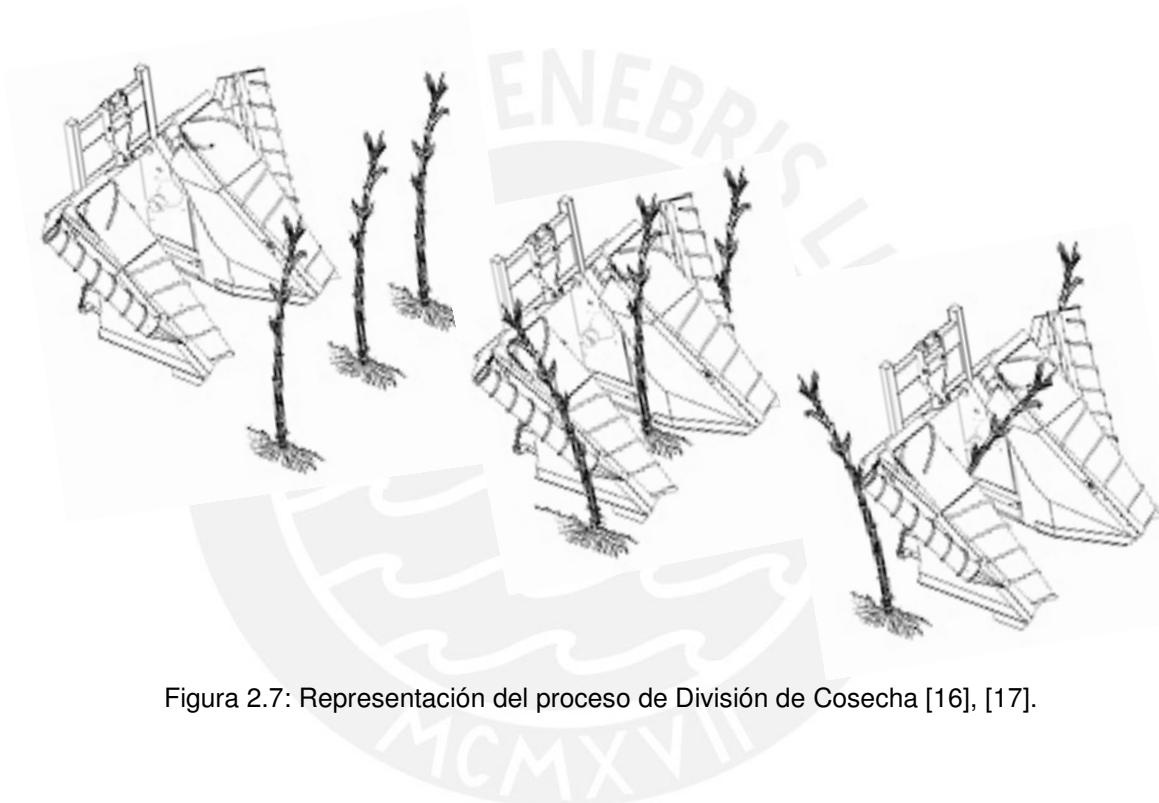


Figura 2.7: Representación del proceso de División de Cosecha [16], [17].

### 2.1.3. Sistema de Tumbado

Este sistema está conformado por 2 rodillos: El Rodillo Tumbador Superior y Rodillo Tumbador Inferior. La posición del Rodillo Tumbador Superior es regulada por un cilindro hidráulico mientras que la posición del Rodillo Tumbador Inferior es ajustada manualmente. Este sistema se encarga de empujar la caña hacia adelante a un ángulo óptimo de entrada a la cosechadora, también se encarga de alinear la caña con la cosechadora de forma que se logre canalizar esta de manera tal que entre a la garganta como un colchón de caña uniforme. Todo esto con objetivo de direccionar la caña para el siguiente proceso que es el del Sistema de Corte de Base.

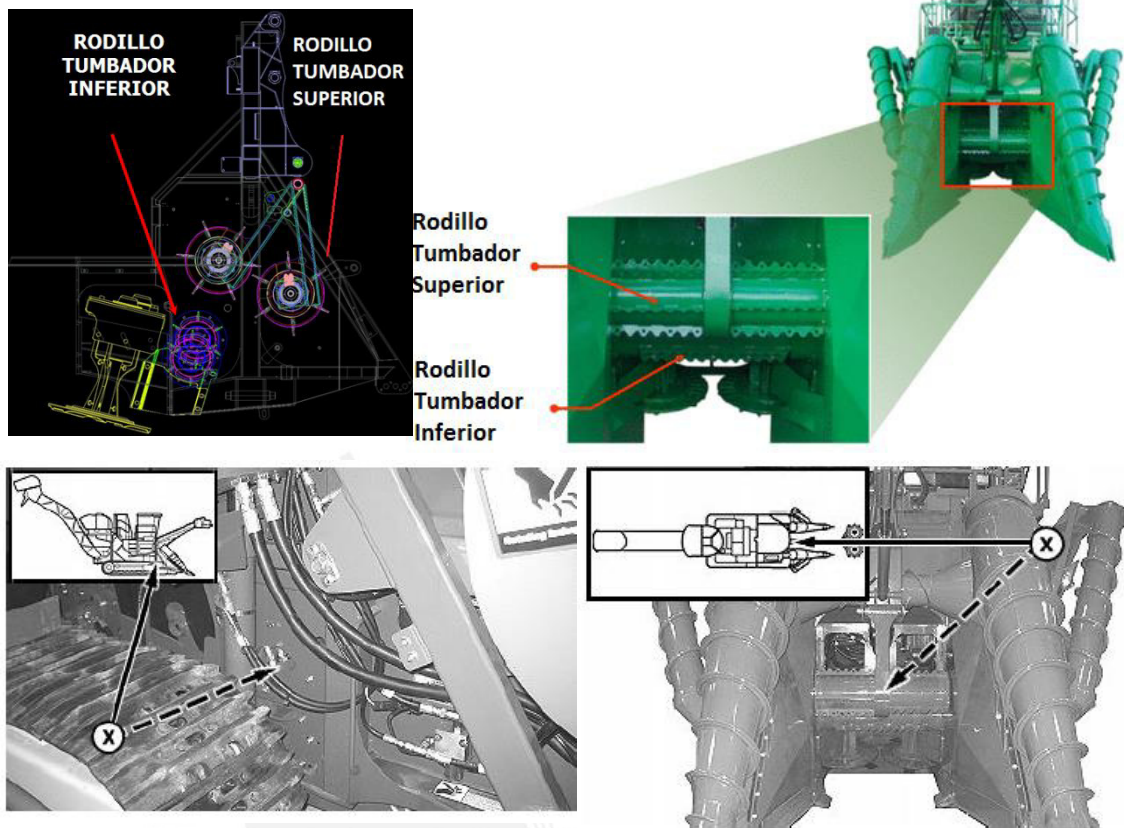


Figura 2.8: De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, Diversas Posiciones que pueden adoptar los Rodillos Tumbadores, Vista Panorámica del Sistema de Tumbado, ubicación del Motor del Rodillo Tumbador Inferior y Ubicación del Rodillo Tumbador Superior [15], [20],[21].

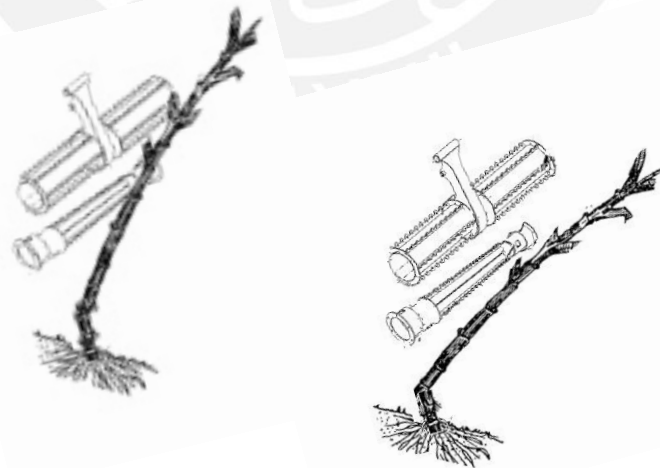


Figura 2.9: Representación del proceso de Tumbado [16], [17].

### 2.1.4. Sistema de Corte de Base

El sistema de Corte de Base está compuesto por un par de discos contra rotantes con 5 cuchillas recambiables cada uno, con un diámetro estándar de 61 cm. Un sistema de Engranajes se encarga de transmitir la Potencia del motor Hidráulico hasta los discos. La función de los Discos Contra Rotantes es cortar la caña lo más cerca a la superficie sin que se raje a una altura aproximada de 50 mm respecto a la superficie y direccionarla hacia los Rodillos Alimentadores, esto último con la ayuda del Rodillo Pateador o Levantador.



Figura 2.10: Ubicación del Motor Hidráulico y de la Caja de Engranajes (izq.) y Vista Panorámica del Sistema de Corte de Base (der.) [22].

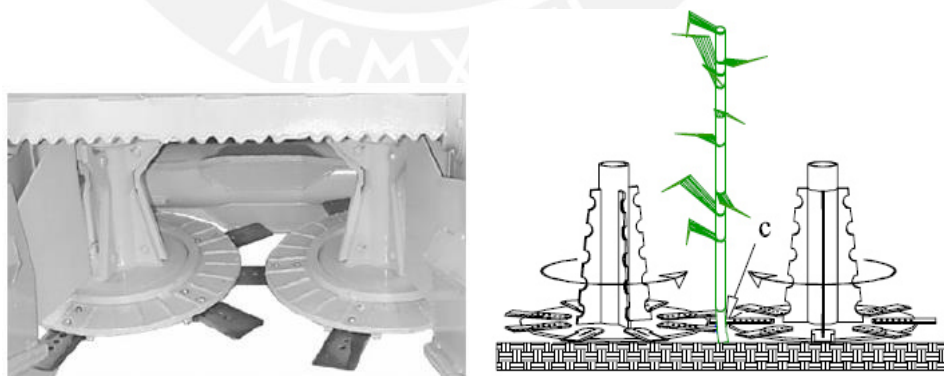


Figura 2.11: Detalle de los Cortadores de Base [16], [23].



Figura 2.12: Representación del Proceso de Corte [16], [17].

### 2.1.5. Sistema de Alimentación

El sistema de Alimentación está compuesto por 10 Rodillos (4 Rodillos Fijos, 5 Rodillos Móviles y 1 Rodillo Pateador). El Rodillo Pateador se encarga de levantar y canalizar la caña cortada por el Cortador de Base, los demás Rodillos Alimentadores de encargan de transportar la caña hacia los Rodillos Trozadores, la velocidad del recorrido por estos rodillos determinará la longitud de los trozos de caña.

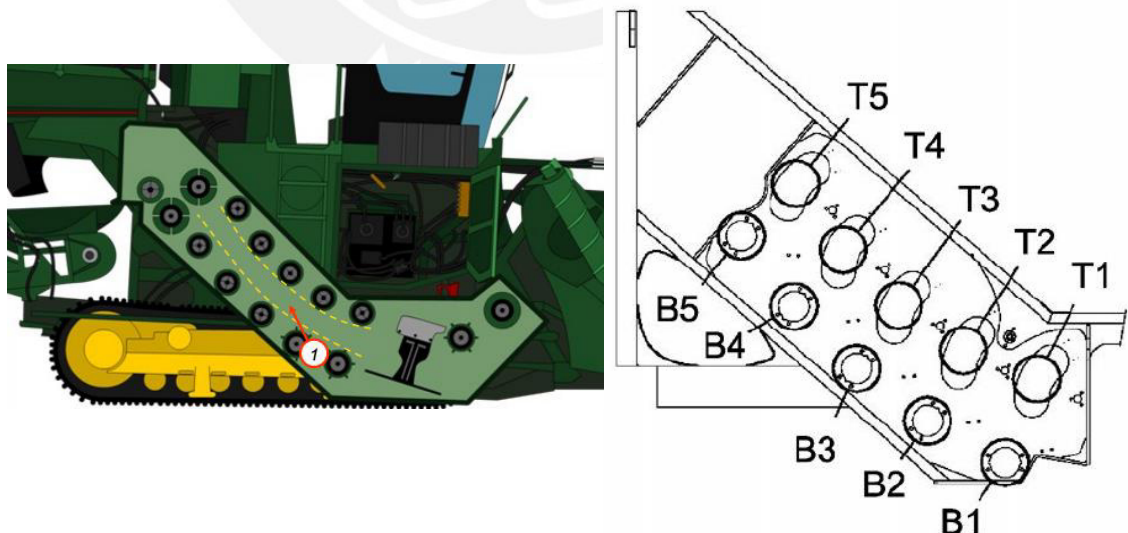


Figura 2.13: Vista Panorámica de los Rodillos Alimentadores (izq.) [24], ubicación del Rodillo Pateador (B1), Rodillos Fijos (B2, B3, B4 y B5) y Rodillos Móviles (T1, T2, T3, T4 y T5) (der.).[15].

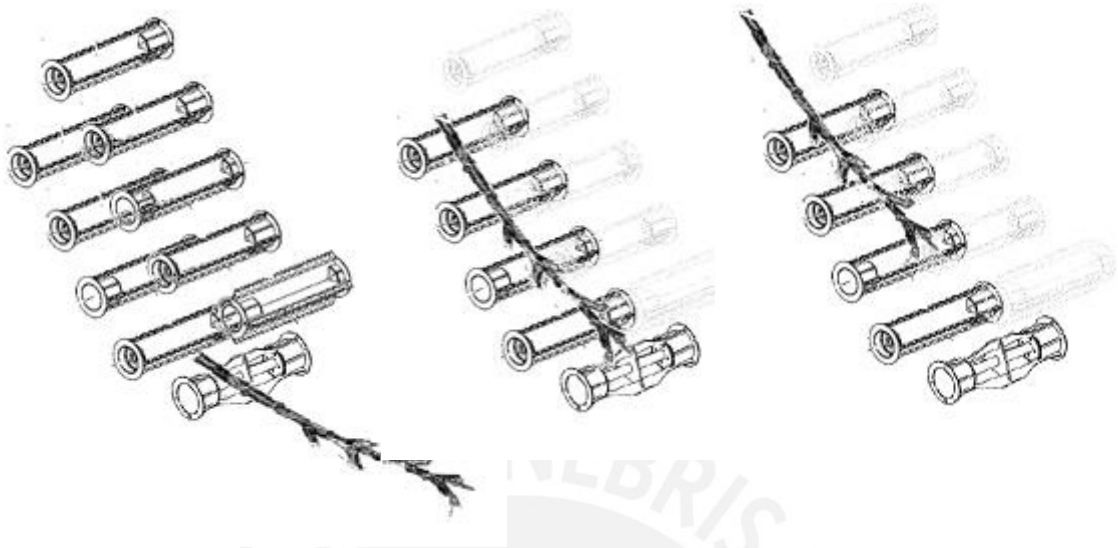


Figura 2.14: Representación del Proceso de Alimentación [16], [17].

### 2.1.6. Sistema de Trozado

El Sistema de Trozado está compuesto por 2 Rodillos Trozadores, los cuales se encargan de cortar la caña en trozos que pueden ir desde los 10 hasta los 23 cm., una vez cortados los trozos se dirigen hacia el Deflector de Caña y luego hacia el Canasto.

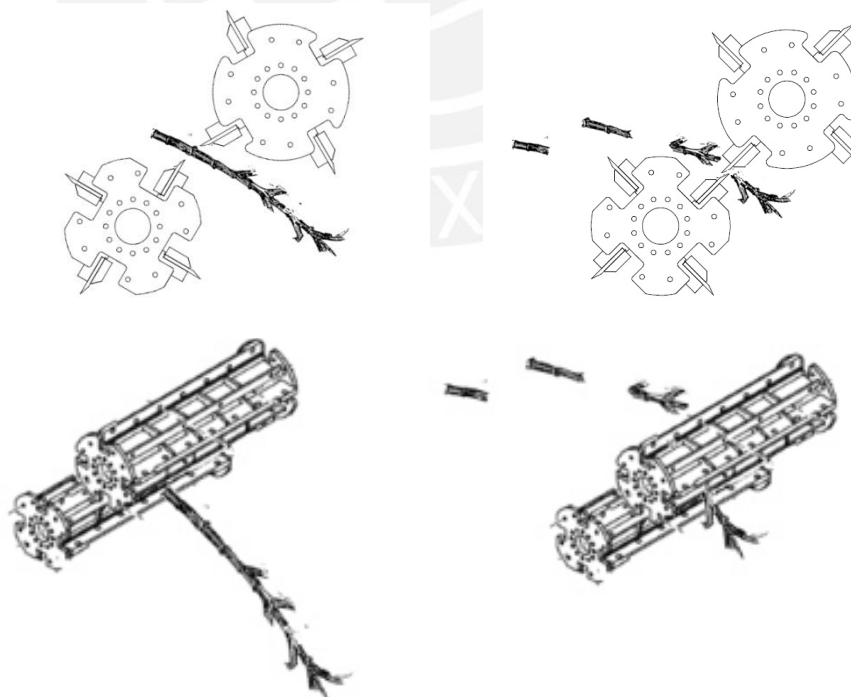


Figura 2.15: Representación del Proceso de Trozado [16], [17].

### 2.1.7. Sistema de Extracción Primario

El Sistema de Extracción Primario está compuesto básicamente de un ventilador accionado por un motor que se encarga de aspirar los restos de follaje y suciedad a medida que los trozos de caña van saliendo de los Rodillos Trozadores hacia el Canasto. Los restos de suciedad aspirada son direccionados por el Capuchón.

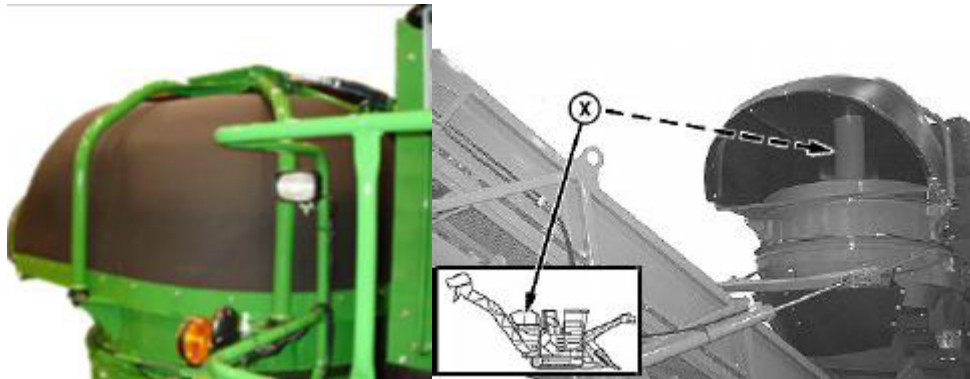


Figura 2.16: Vista Panorámica del Extractor Primario (izq.) [25] y ubicación del motor del extractor (der.) [15].

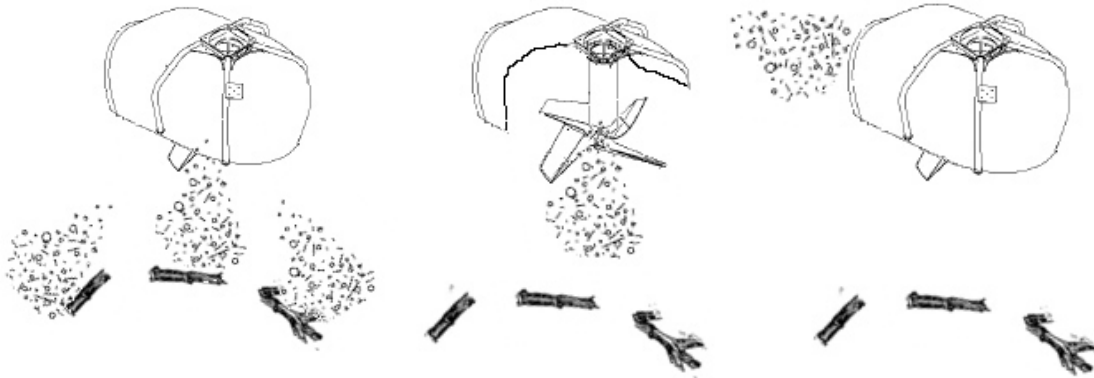


Figura 2.17: Representación del Proceso de Extracción [16], [17].

### 2.1.8. Sistema de Elevación

El Sistema de Elevación está compuesto por 2 cadenas paralelas las cuales están conectadas por medio de Taliscas. El sistema es accionado por 2 motores los cuales se encuentran en la parte superior del Elevador, estos transmiten potencia a la cadena

mediante Sprockets, el sistema se encarga de elevar los trozos de caña desde el Canasto hasta el Sistema de Extracción Secundario.

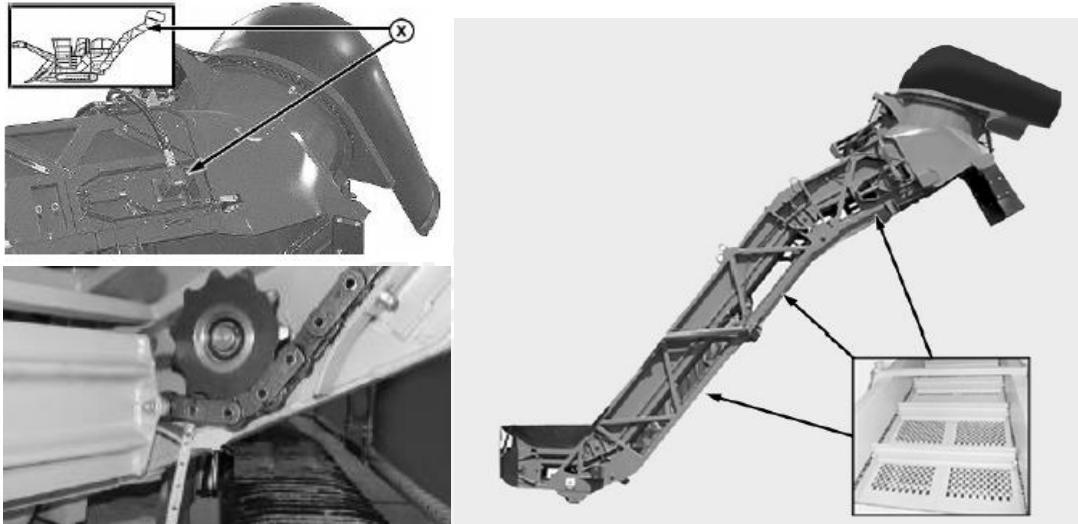


Figura 2.18: Ubicación del Motor de Accionamiento de las cadenas (esquina superior izquierda)[15], Detalle de la posición del Sprocket, la Talisca y la Cadena(esquina inferior izquierda) [13] y Vista Panorámica del Sistema de Elevación(derecha)[13].

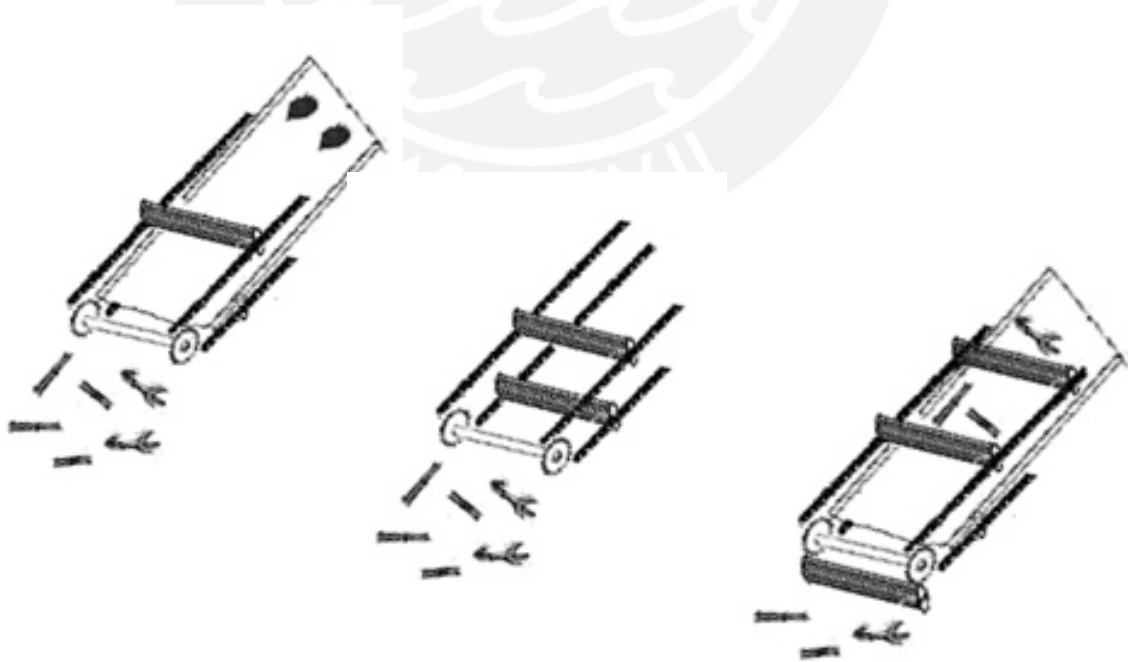


Figura 2.19: Representación del Proceso de Elevación [16], [17].



### 2.1.9. Sistema de Extracción Secundario y Sistema de Descarga

El Sistema de Extracción Secundario está compuesto por un Ventilador, el cual se encarga de aspirar el material suelto de la caña trozada que viene del Sistema de Elevación. Mientras que el Sistema de Descarga compuesto básicamente del *Bin Flap*, este se encarga de direccionar los trozos de caña ya limpiados hacia el Autovolteo.



Figura 2.20: Vista Panorámica del Extractor Secundario y Ubicación del Motor del Extractor [13].

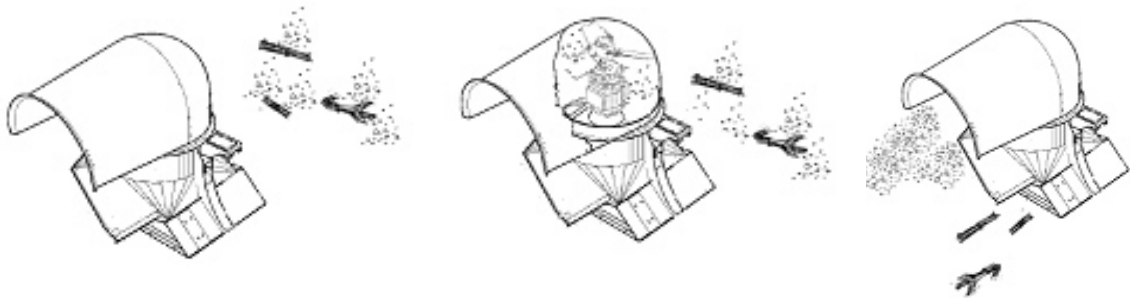


Figura 2.21: Representación del Proceso de Extracción Secundario [16], [17].

### 2.1.10. Sistema de Rodaje (Oruga)

Este Sistema está Compuesto por Cadena, Zapatas, Tensor, Rueda Guía y Rueda Motriz y tiene como función permitir el desplazamiento de la máquina, así como soportar el peso del mismo.



Figura 2.22: Vista Panorámica de la Oruga (izq.) y Ubicación del motor de avance motriz (der.)[26].

### 2.1.11. Sistema de Refrigeración

Este sistema está compuesto por Condensador, Enfriador de Aceite, Radiador e *Intercooler*. El Condensador es parte del circuito de aire acondicionado de la cabina del operador y se encarga de disipar el calor absorbido por el refrigerante (R134A), el Enfriador de Aceite se encarga de reducir la temperatura del aceite del sistema, el Radiador tiene como función disipar el calor del refrigerante del motor (50% agua + 50% etilenglicol) de tal manera que se evite el sobrecalentamiento del mismo, finalmente el *Intercooler* se encarga de reducir la temperatura del aire de admisión que se ha incrementado al pasar por el Compresor del Turbocompresor antes de que este entre a los Cilindros del Motor. En la figura 2.23 (der.) se puede observar la ubicación de cada uno de los componentes: Condensador (1), Enfriador de Aceite (2), Radiador (3) e *Intercooler* (4).



Figura 2.23: Vista Panorámica del Sistema de Refrigeración (izq.) y ubicación de sus componentes (der.)[27]

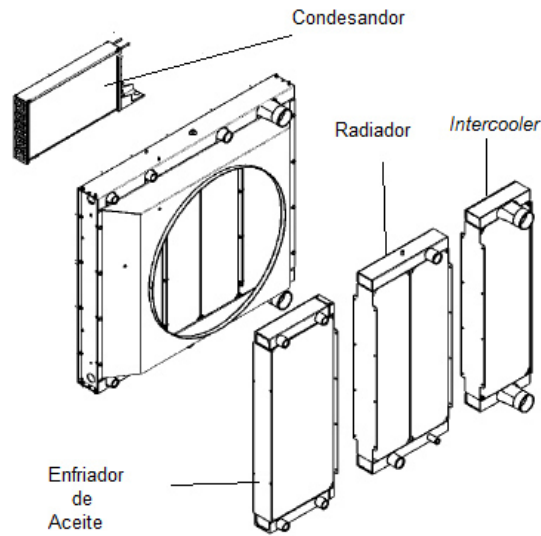


Figura 2.24: Representación del Paquete de Enfriamiento del Sistema [16].

### 2.1.12. Sistema Motor

El motor del equipo es de 6 cilindros, tiene una cilindrada de 9 litros y es capaz de generar una potencia de 251 kW. La totalidad de la potencia que este genera sirve para accionar la transmisión (Caja de Bombas).

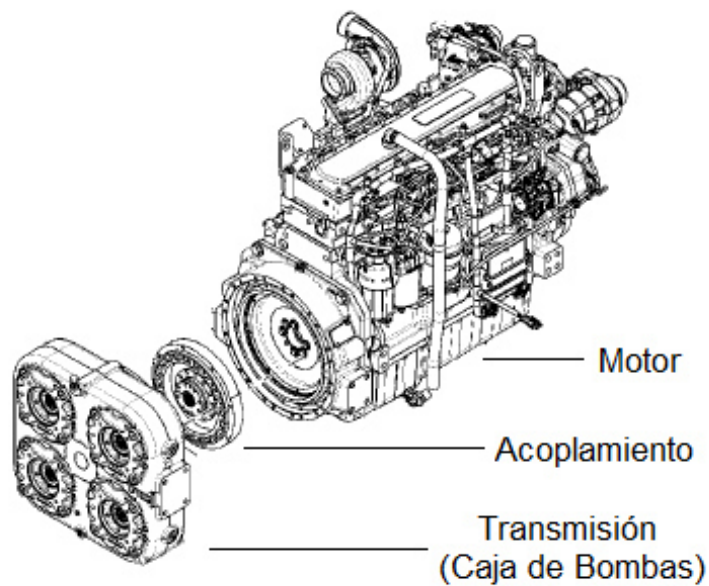


Figura 2.25: Representación de la Conexión entre el Motor y el Sistema de Generación [16].

### 2.1.13. Sistema de Generación

Este Sistema está compuesto por la Caja de Bombas y por 12 Bombas, es en este sistema en donde se accionan las bombas de la Cosechadora y estas a su vez generan el caudal necesario para accionar los diversos actuadores hidráulicos del sistema (cilindros, motores). En la figura 2.27 se puede apreciar las siguientes distribuciones de bombas: Bomba de Avance Izquierda(1), Bomba de Avance Derecha(2), Bomba de Trozador-Cortador de Base(3), Bomba del Extractor Primario(4), Bomba de 3 Cuerpos(5) y Bomba de 5 Cuerpos(6).

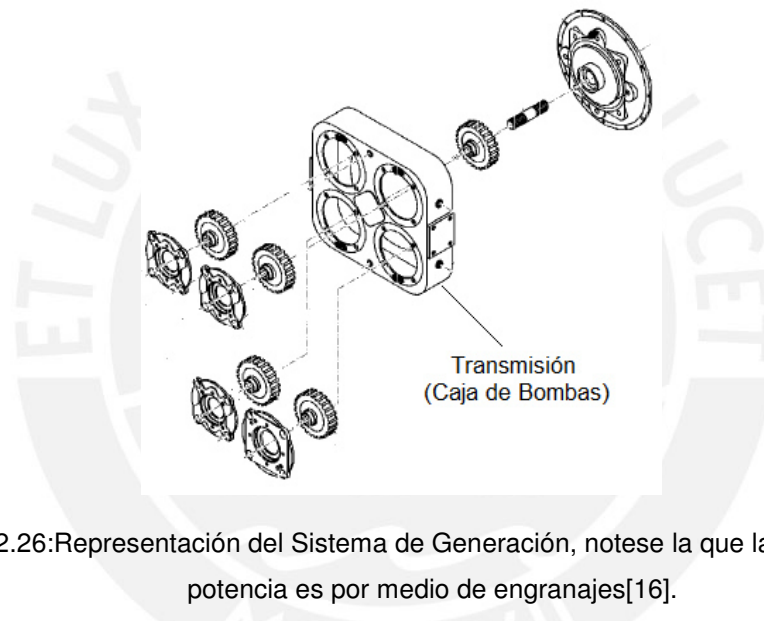


Figura 2.26: Representación del Sistema de Generación, notese la que la transmisión de potencia es por medio de engranajes[16].

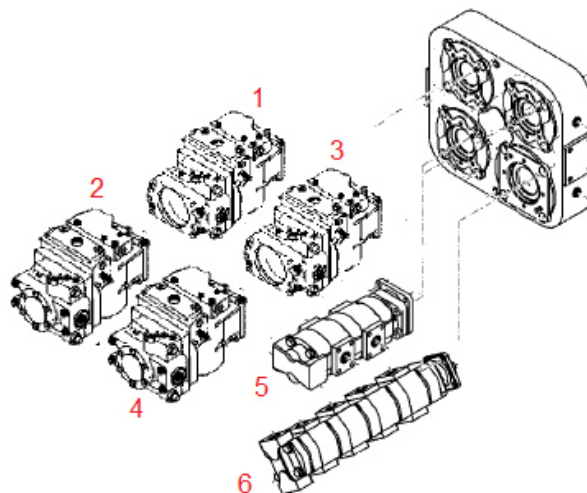


Figura 2.27: Representación del posicionamiento de las diversas bombas de la Cosechadora[16].

## 2.2. Conceptos del Mantenimiento

### 2.2.1. Análisis de Criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar procesos, sistemas o equipos de acuerdo a su importancia y el impacto que estos podrían generar en caso de que fallaran, de esta forma se puede direccionar el esfuerzo y los recursos en puntos que pueden resultar críticos. Para establecer que un elemento es más crítico que otro se deben de definir los criterios de evaluación y el peso ponderado de los mismos, estos deben de ser el resultado de un acuerdo entre las áreas de operación, mantenimiento y gerencia de la empresa. El cálculo de Criticidad queda determinado por las siguientes formulas:

Consecuencia= (Impacto Operacional) (Flexibilidad Operacional)+Otros Criterios

Criticidad= (Frecuencia de Fallas) (Consecuencia)

Tabla 2.1: Tabla de Análisis de Criticidad Genérico

p= puntaje de 1 a 4										
g=Es el peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación										
Criterios de Evaluación										
Procesos/Sistemas/Equipos			Elemento Nº 1		Elemento Nº 2		Elemento Nº 3		Elemento Nº 4	
N	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Frecuencia de Fallas									
2	Impacto Operacional									
3	Flexibilidad operacional									
4	Criterio 4									
5	Criterio 5									
6	Criterio 6									
7	Criterio 7									
8	Criterio 8									
9	Criterio 9									
Consecuencia										
Criticidad										

### 2.2.2. Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Es una metodología que permite identificar, evaluar y prevenir los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un proceso, sistema o equipo. La realización de un Análisis de Modo y Efecto de Falla bien estructurado involucra la cooperación tanto de las áreas de operación como de mantenimiento.

Una vez seleccionado el elemento a analizar se debe desglosar este en sistemas y subsistemas en base a las funciones específicas que realizan. Asimismo en el Anexo 2 se define algunos términos empleados en la elaboración del AMEF, los cuales servirán para la realización de un análisis más acertado.

Tabla 2.2: Tabla de Análisis de Modo y Efecto de Fallos Genérico.

Nombre del Elemento						Empresa:	Responsable del diseño:			Página:	
Tipo de Rodaje						Área:				Fecha:	
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR

### 2.2.3. Análisis Causa Raíz

La falla de un componente se puede originar por errores de diversa naturaleza tanto operacionales, mantenimiento o diseño. Esta metodología permite determinar las causas que originan determinado problema, se basa en el principio de que es mejor eliminar las causas en lugar de solo aliviar los síntomas que se manifiestan.

Si se logra focalizar los esfuerzos a las causas del problema se espera reducir la probabilidad de que las fallas se vuelvan a repetir.

### 2.2.4. Curva de la Bañera

Esta gráfica representa la tasa de fallas de un componente o sistema durante un lapso de tiempo, en ella se pueden apreciar 3 etapas que son: Mortalidad Infantil, Tasa de Fallas Constante y Desgaste. Dependiendo la forma de la curva se podrá escoger la política de mantenimiento más adecuada.

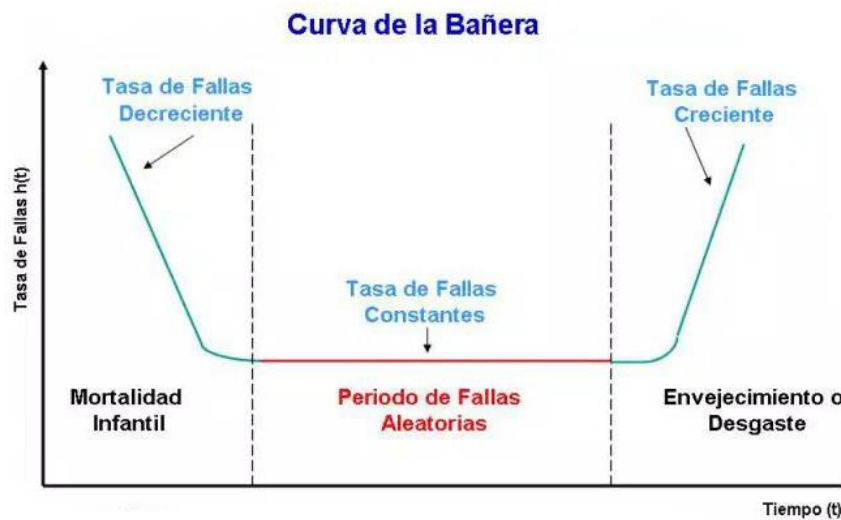


Figura 2.28: Curva de la Bañera [28].

Tabla 2.3: Posibles causas de la falla y acciones propuestas en función el periodo de aparición de la falla.

Periodo	Mortalidad Infantil	Tasa de Fallas Constante	Desgaste
Posible Causa de la Falla	Error de Diseño Mal Montaje Errores de Fabrica	Mala operación Accidentes	Uso continuo Fatiga
Acciones Propuestas	Verificación y pruebas de montaje	Operar bajo las recomendaciones	Mejorar Inspecciones

### 2.2.5. Confiabilidad

Es la confianza de que un equipo pueda realizar las funciones requeridas para las que fue diseñado, bajo las condiciones dadas para un periodo de tiempo dado. También puede ser definida como la probabilidad de que se produzca una falla para

determinado componente o sistema. En el Anexo 3 se ahonda en la terminología del concepto desde el aspecto gráfico estadístico y matemático.

### 2.2.6. Disponibilidad

Se define como la proporción de tiempo que un equipo está en condiciones de operar y realizar la función para la que ha sido diseñado respecto al tiempo total de horas para el periodo considerado.

Dónde:

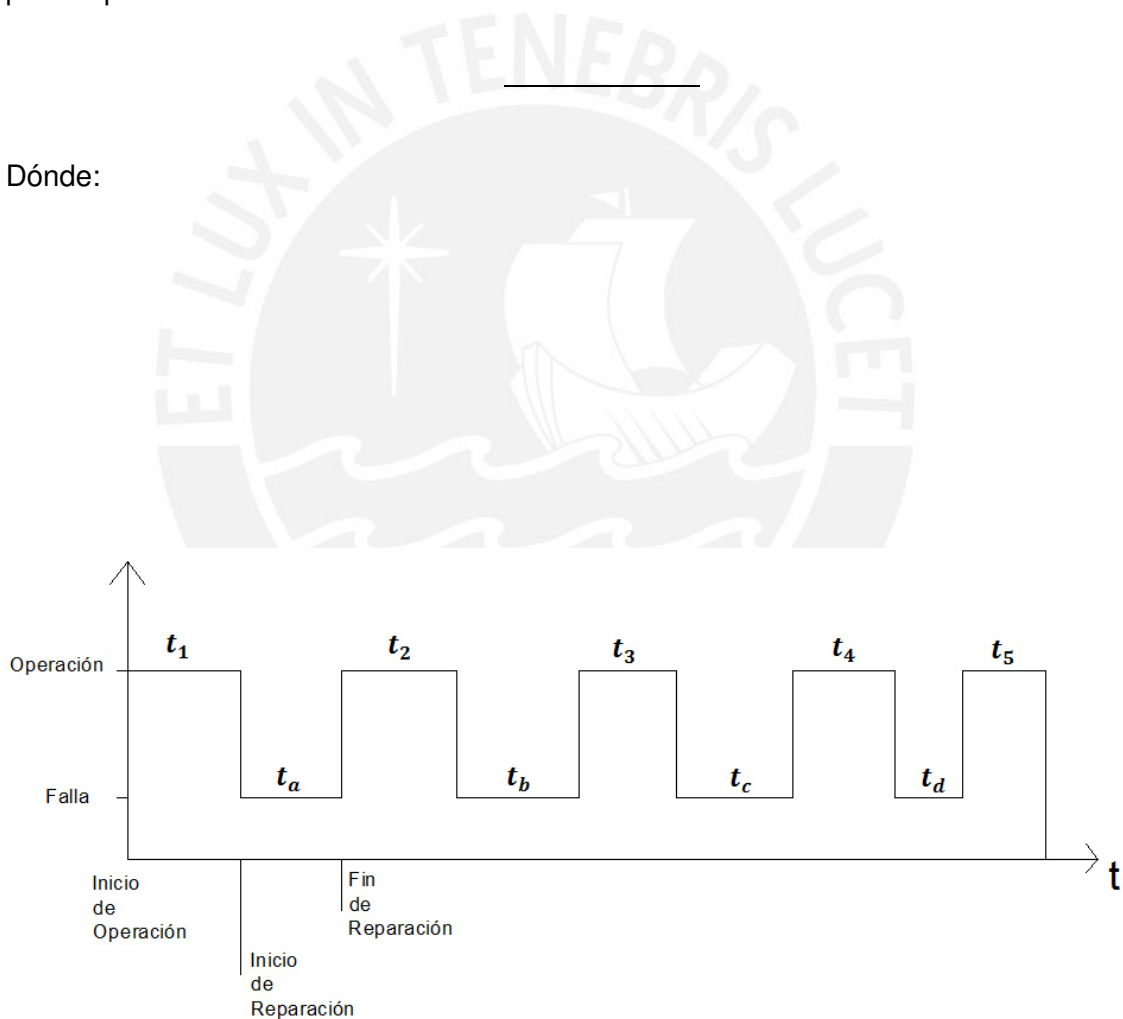


Figura 2.29: Diagrama del Tiempo de Operación y Fallas para determinado equipo que ha sido sometido a reparación



$\Sigma$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

$\Sigma$  \_\_\_\_\_

### 2.2.7.Efectividad Global de Equipo(OEE)

El Indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) permite conocer la efectividad productiva de los equipos y se define como:

$$(D \text{ ad}) * (R \text{ nto}) * (Cali \text{ ad})$$

Disponibilidad: Representa el tiempo que estuvo operando un equipo para un intervalo de tiempo.

\_\_\_\_\_

Rendimiento: Representa las perdidas debidas al mal funcionamiento del equipo.

\_\_\_\_\_

Calidad: Representa el porcentaje de tiempo utilizado para producir productos que no cumplen con los estándares establecidos.

\_\_\_\_\_


Donde las definiciones de TON, TF, TOU y TPN son explicados en la Figuras 2.30 y 2.31.

Tiempo Calendario(TC)			
Tiempo Productivo Neto (TPN)	Tiempo Perdido por Defectos (TPD)	Tiempo Perdido por Operación (TPO)	Tiempo de Paradas No Programadas(TPNP)
Producción Real	Fallas por Defectos: ✓ Rechazos de caña por parte de fábrica	Fallas de Operación: ✓ Falla Suministro de repuestos ✓ Falla Insumos(Aceite, combustible, refrigerante) ✓ Mala Operación ✓ Falta de Cañeras ✓ Falta de Autovolteos ✓ Caída de Demanda por Parada de Fábrica ✓ Cambio de Campo	Falla de los Equipos: ✓ Falla mecánica en cualquiera de sus sistemas
			Preparación de Equipos: ✓ Arranque ✓ Cambio de Turno
			Planeamiento y Control de la Producción: ✓ Ajustes de Producción ✓ Paradas Programadas de cosecha Mantenimiento ✓ Paradas Programadas de Mantenimiento
			Tiempo de Paradas Planificadas(TPP)

Figura 2.30: Distribución de Tiempos para el Cálculo de la Efectividad Global del Equipo

Tiempo Calendario(TC)	
Tiempo de Funcionamiento(TF)	
Tiempo de Preparación de Equipo(TPE)	
Tiempo de Operación(TOP)	
Tiempo de Paradas No Programadas(TPNP)	
Tiempo de Operación Neta(TON)	
Tiempo Perdido por Operación(TPO)	
Tiempo de Operación Utilizable(TOU)	
Tiempo Perdido por Defectos(TPD)	
Tiempo Productivo Neto(TPN)	

Figura 2.31: Tiempos Operativos



## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO APLICADO A LA FLOTA DE COSECHADORAS

#### 3.1. Recopilación, Organización y Presentación de la Data

Se recopiló información de operación y mantenimiento de la flota de Cosechadoras de la empresa Caña Brava, la data abarca el periodo que va desde Enero de 2014 hasta Mayo de 2015, esta incluye todo lo referido a tiempo de paradas, número de paradas, costos de mantenimiento, horas de operación, tonelaje cosechado y consumo de combustible. La misma fue ordenada y clasificada de tal forma que se pueda presentar y entender fácilmente.

##### 3.1.1. Tiempo de Paradas por Mantenimiento

El tiempo de Paradas es el periodo durante el cual un activo físico deja de cumplir aquello que el usuario desea que haga, esto puede suceder de forma súbita debido a fallas del equipo o por paradas programadas. En las tablas A4.1 y A4.2 (Anexo4) se presenta el tiempo Destinado a Paradas No Programadas y Paradas Programadas por cosechadora respectivamente.

Tabla 3.1: Tiempo Total Destinado a Paradas por Cosechadora (en horas)

Tiempo Destinado a Paradas Totales(en horas)		
Cosechadoras	Total	Acumulado (%)
Cosechadora LLANTAS N° 6	4883,91	13,76
Cosechadora ORUGA N° 7	4387,22	26,12
Cosechadora LLANTAS N°10	4113,81	37,71
Cosechadora ORUGA N°11	4003,9	48,99
Cosechadora ORUGA N° 8	3664,44	59,31
Cosechadora ORUGA N° 5	3631,44	69,54
Cosechadora ORUGA N° 9	2392,35	76,28
Cosechadora ORUGA N°12	2199,61	82,48
Cosechadora ORUGA N° 13	2073,52	88,32
Cosechadora LLANTAS N° 15	1720,37	93,16
Cosechadora LLANTAS N° 14	1424,91	97,18
Cosechadora LLANTAS N° 16	1001,68	100,00
Total general	35497,16	

En lo referido al tiempo destinado a paradas por Cosechadora, los equipos 6,7 y 10 resultan los más críticos.

### 3.1.2. Número de Paradas por Mantenimiento

El número de paradas es la cantidad de veces que un activo físico ha dejado de cumplir su función, esto puede suceder de forma súbita o por paradas programadas. En las tablas A4.3 y A4.4 (Anexo 4) se presenta el Número de Paradas No Programadas y Programadas por cosechadora respectivamente. En lo referido al número de paradas por Cosechadora, los equipos 8,9 y 7 resultan los más críticos.

Tabla 3.2: Número de Paradas Totales por Cosechadora

Número de Paradas Totales		
Cosechadora	Total	Acumulado (%)
Cosechadora ORUGA N° 8	710	11,11
Cosechadora ORUGA N° 9	684	21,82
Cosechadora ORUGA N° 7	658	32,12
Cosechadora ORUGA N°12	653	42,34
Cosechadora ORUGA N°11	648	52,48
Cosechadora ORUGA N° 13	568	61,37
Cosechadora ORUGA N° 5	565	70,21
Cosechadora LLANTAS N°10	544	78,73
Cosechadora LLANTAS N° 15	366	84,46
Cosechadora LLANTAS N° 16	346	89,87
Cosechadora LLANTAS N° 6	351	95,37
Cosechadora LLANTAS N° 14	296	100,00
Total general	6389	

### 3.1.3. Costo de Mantenimiento

El Costo de Mantenimiento es el valor monetario pagado por los materiales y servicios requeridos para restaurar un activo a un estado inicial y que de esta forma pueda realizar la función requerida.

Tabla 3.3: Costo del Mantenimiento General por Cosechadora

Costo del Mantenimiento General(USD)		
Cosechadoras	Total	Acumulado (%)
Cosechadora ORUGA N° 8	448751,69	16,28
Cosechadora ORUGA N° 9	417683,15	31,43
Cosechadora ORUGA N°12	308878,08	42,63
Cosechadora ORUGA N° 13	282600,59	52,88
Cosechadora ORUGA N° 7	243239,79	61,71
Cosechadora ORUGA N°11	218439,03	69,63
Cosechadora ORUGA N° 5	206669,25	77,13
Cosechadora LLANTAS N°10	152083,82	82,65
Cosechadora LLANTAS N° 15	145818,30	87,93
Cosechadora LLANTAS N° 16	132927,62	92,76
Cosechadora LLANTAS N° 14	124024,72	97,26
Cosechadora LLANTAS N° 6	75655,46	100,00
Total general	2756771,50	

En las tablas A4.5 y A4.6 (Anexo 4) se presenta el costo el Mantenimiento Correctivo y Preventivo por equipo. En lo referido a costos, las cosechadoras 8, 9 y 12 son las más críticas, nótese que las cosechadoras que poseen un sistema de Rodaje sobre Orugas son las que tienen un mayor costo de mantenimiento.

#### **3.1.4. Cantidad de Caña Cosechada por Equipo**

En la Tabla A4.7 (Anexo 4) se presenta la producción de caña por equipo, lo cual es un indicador de que por distintos motivos (eficiencia, capacidad, disponibilidad) el Área de Operación tienen predisposición por asignar mayor cantidad de frentes de cosecha a determinado equipo.

#### **3.1.5. Capacidad de Cosecha por Equipo**

En la Tabla A4.8 (Anexo 4) se presenta la capacidad de cosecha por equipo, lo cual es un indicador de la flexibilidad de determinada máquina para adaptarse a eventuales cambios de programa de cosecha.

#### **3.1.6. Consumo de Combustible por Equipo**

En la Tabla A4.9 (Anexo 4) se presenta el consumo de combustible por equipo, lo cual es un indicador de la eficiencia energética del equipo, principalmente del motor.

#### **3.1.7. Antigüedad de La flota**

En la Tabla A4.10 (Anexo 4) se presenta la antigüedad de la flota, lo cual en el caso de la flota es un indicador directo de la dificultad para encontrar determinada falla, principalmente en el sistema eléctrico, los modelos más actuales vienen con un mayor número de controladores equipados.

### **3.2. Análisis de Criticidad aplicado a la Flota de Cosechadoras**

Se jerarquizará los equipos que componen la flota en función de su impacto global, esto con el fin de optimizar la asignación de recursos. Al finalizar el análisis se podrá determinar el equipo crítico al cual se deberá direccionar el esfuerzo.

### 3.2.1. Criterios de Evaluación de Criticidad

Se establecerá una serie de criterios técnicos y económicos que permita evaluar de forma íntegra cada uno de los equipos, los factores de cada uno de los criterios se ponderarán en función a la data histórica de la flota procedente de las Tablas 3.1, 3.2, 3.3, A4.7, A4.8, A4.9 y A4.10 que abarca el periodo de Enero de 2014 a Mayo de 2015. La definición de los intervalos se hará de la siguiente manera:

Sea la Tabla 3.4 una tabla de referencia, se establecerán 4 intervalos que abarquen toda la escala de valores de cada criterio. Siendo “a” el valor máximo y “e” el valor mínimo de toda la escala de valores.

Tabla 3.4: Valores por Cosechadora del Criterio X

Criterio X	Valor
Cosechadora N° 1	a
Cosechadora N° 2	b
Cosechadora N° 3	c
Cosechadora N° 4	d
Cosechadora N° 5	e

Tabla 3.5: Ponderación de los factores del Criterio X

Criterio X	
_____	4
_____	3
_____	2
_____	1

Los criterios a evaluar son los siguientes:

### 3.2.1.1. Frecuencia de Fallas

Se basa en el número de paradas por mantenimiento que puede tener una cosechadora para el intervalo de tiempo analizado, en base a la Tabla 3.2 se establece la siguiente ponderación:

Tabla 3.6: Ponderación de los Factores de la Frecuencia de Fallas

Frecuencia de Fallas	
Muy Alta: [608,710] paradas/periodo	4
Alta:[504,608[paradas/periodo	3
Moderada:[400,504[paradas/periodo	2
Baja:[296,400[paradas/periodo	1

### 3.2.1.2. Impacto Operacional

Se basa en que tanto afecta al proceso la parada de un equipo, en este caso en el nivel de producción en toneladas de caña cosechada que alcanza cada equipo para el periodo de tiempo analizado, en base a la Tabla A4.7(Anexo 4) se establece la siguiente ponderación:

Tabla 3.7: Ponderación de los Factores de Impacto Operacional

Impacto Operacional	
Muy Elevado: [133027-168041] t/periodo	4
Elevado:[98012-133027[ t/periodo	3
Moderado:[62997-98012[ t/periodo	2
Bajo:[27982-62997[ t/periodo	1

### 3.2.1.3. Flexibilidad Operacional

Se basa en que tan indispensable es un equipo para la flota, es decir si un equipo falla que tan fácil es reemplazarlo por uno de similares características, el parámetro que se tomará como base es la capacidad de cosecha por equipo, medido en toneladas de caña cosechada por hora, de la tabla A4.8(Anexo 4). Cabe destacar que para este



punto es importante diferenciar entre las cosechadoras con sistema de rodaje por oruga y por llantas, por ser equipos de características distintas.

Tabla 3.8: Ponderación de los factores de Flexibilidad Operacional para Cosechadoras con Llantas

Flexibilidad Operacional(Llantas)	
No existe equipo similar de repuesto: [44,14-48,97] t/h	4
Equipo difícilmente reemplazable:[39,3-44,14[ t/h	3
Equipo con dificultad de reemplazo moderada:[34,46-39,3[ t/h	2
Equipo fácilmente reemplazable:[29,62-34,46[ t/h	1

Tabla 3.9: Ponderación de los factores de Flexibilidad Operacional para Cosechadoras con Oruga

Flexibilidad Operacional(Orugas)	
No existe equipo similar de repuesto: [39,2-42,33] t/h	4
Equipo difícilmente reemplazable:[36,08-39,2[ t/h	3
Equipo con dificultad de reemplazo moderada:[32,96-36,08[ t/h	2
Equipo fácilmente reemplazable:[29,84-32,96[ t/h	1

#### 3.2.1.4. Detectabilidad

Se basa en que tal complejo es encontrar la falla para determinado equipo, si bien todas las cosechadoras son del modelo 3520 de John Deere, las más recientes tiene un sistema electrónico más complejo y con más computadoras integradas, razón por lo cual encontrar las posibles fallas podría hacerse más tedioso. En base a la tabla A4.10 (Anexo 4) que muestra la antigüedad de la flota se establece la siguiente ponderación:

Tabla 3.10: Ponderación de los factores de Detectabilidad para Cosechadoras

Detectabilidad(Dificultad de Detección)	
Elevada: Cosechadoras de 2014	4
Moderada: Cosechadoras de antes de 2014	3

### 3.2.1.5. Tiempo para reparar

Se basa en la suma de los periodos de reparación por cosechadora para el periodo analizado. En base a la tabla 3.1 que muestra el tiempo total destinado a paradas, se establece la siguiente ponderación:

Tabla 3.11: Ponderación de los factores de Tiempo Promedio para Reparar

Tiempo para Reparar	
Muy Alto: [3915,4884[ horas/periodo	4
Alto:[2944 ,3915[ horas/periodo	3
Moderado:[1973 ,2944[ horas/periodo	2
Bajo:[1001 ,1973[ horas/periodo	1

### 3.2.1.6. Impacto en el Medio Ambiente

La cosechadora al ser un equipo que funciona por el accionamiento de un motor por combustión interna emite a la atmosfera gases tóxicos que afectan al hombre, a la flora y la fauna, y que a su vez contribuyen al efecto invernadero. No todas las cosechadoras contaminan lo mismo, una forma de cuantificar es el nivel de consumo de combustible por tonelada cosechada de cada equipo. En base a la tabla A4.9 (Anexo4) se establece la siguiente ponderación:

Tabla 3.12: Ponderación de los factores de Impacto en el Medio Ambiente

Impacto en el Medio Ambiente	
Catastrófico: [1,36 -1,49] l/t	4
Serio: [1,12 -1,36[ l/t	3
Moderado: [1,1 -1,12[ l/t	2
Ecológicamente amigable: [0,98 -1,1[ l/t	1

### 3.2.1.7. Impacto en la Seguridad del Personal

Al ser una flota con equipos de características similares, el mantenimiento de cada una de las cosechadoras tiene secuencias y parámetros de mantenimiento parecidos. Las precauciones y medidas de seguridad a tomar en cada una de las cosechadoras son las mismas.

Tabla 3.13: Ponderación de los factores de Impacto en la Seguridad del Personal

Impacto en la Seguridad del Personal	
Muy peligroso	4
Peligroso	3
Seguro	2
No involucra ningún tipo de riesgo	1

### 3.2.1.8. Facilidad para conseguir Repuestos

Al ser un equipo con características parecidas, los repuestos requeridos para cada cosechadora son similares.

Tabla 3.14: Ponderación de los factores de Facilidad para Conseguir Repuestos

Facilidad para conseguir Repuestos	
Muy Complicado	4
Complicado	3
Moderada	2
Fácil	1

### 3.2.1.9. Costo del Mantenimiento

Se basa en el costo del mantenimiento general por cosechadora para el periodo de tiempo analizado, en base a la tabla 3.3 se establece la siguiente ponderación:

Tabla 3.15: Ponderación de los factores de Costo del Mantenimiento

Costo del Mantenimiento	
Muy Alto: [355478-448752] USD/periodo	4
Alto:[262203 -355478[ USD/periodo	3
Promedio:[168930 -262203[ USD/periodo	2
Bajo:[75655 -168930[ USD/periodo	1

### 3.2.2. Matriz de Criticidad

Cabe recordar que la elaboración de la Tabla 3.18 se basa en que:

Consecuencia= (Impacto Operacional)\*(Flexibilidad Operacional)+ (Detectabilidad +Tiempo para Reparar +Impacto en el Medio Ambiente+ Impacto en la Seguridad del Personal +Facilidad para Conseguir Repuestos +Costo del Mantenimiento)

Criticidad= (Frecuencia de Fallas) (Consecuencia)

Asimismo el Criterio de Impacto en la Seguridad del Personal tendrá un peso de 4 porque es un factor que involucra vidas humanas de por medio, el criterio de Impacto en el Medio Ambiente se le asignará un peso de 3 mientras que a Impacto Operacional se le asignará peso de 2 por lo que se da a entender que se da mayor importancia al aspecto del cuidado del entorno que al de producción (cosecha). Al resto de criterios se le asignará peso 1.

La Criticidad Máxima se determina considerando el valor más crítico para cada criterio

Tabla 3.16: Criticidad Máxima

Criticidad Máxima	304
Frecuencia Máxima	4
Consecuencia Máxima	76

Tabla 3.17: Matriz de Criticidad

Matriz de Criticidad									
Frecuencia De Fallas	4	40	80	120	160	200	240	280	304
	3	30	60	90	120	150	180	210	228
	2	20	40	60	80	100	120	140	152
	1	10	20	30	40	50	60	70	76
		10	20	30	40	50	60	70	76
Consecuencia									




-  Color rojo  $180 \leq \text{Criticidad} \leq 304$
-  Color amarillo  $40 \leq \text{Criticidad} < 180$
-  Color verde  $10 \leq \text{Criticidad} < 40$

Tabla 3.18: Tabla de Resultados del Análisis de Criticidad

p= puntaje de 1 a 4		Criterios de Evaluación para la Flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar																										
g=Es el peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación																												
N	Criterios de Evaluación	Cosecha OrUGA N° 5		Cosechadora LLANTAS N° 6		Cosecha OrUGA N° 7		Cosecha OrUGA N° 8		Cosecha OrUGA N° 9		Cosecha LLANTA S N° 10		Cosecha OrUGA N° 11		Cosecha OrUGA N° 12		Cosecha OrUGA N° 13		Cosechadora LLANTAS N° 14		Cosechadora LLANTAS N° 15		Cosechadora LLANTA S N° 16				
		g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p	g	p			
1	Frecuencia de Fallas	3	3	1	1	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	1	1		
2	Impacto Operacional	2	2	4	1	2	4	3	6	3	6	2	4	2	4	4	8	4	8	4	8	4	8	3	6	3	6	
3	Flexibilidad operacional	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	1	1	1	1	1	4	4	2	2	2	4	4	3	3	3	3	
4	Detecabilidad	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	
5	Tiempo para Reparar	1	3	4	4	4	4	4	3	3	2	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
6	Impacto en el Medio Ambiente	3	4	12	3	9	3	9	2	6	3	9	3	9	4	12	2	6	3	9	1	3	2	6	1	3	3	
7	Impacto en la Seguridad del Personal	4	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12
8	Facilidad para Conseguir Repuestos	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	Costo del Mantenimiento	1	2	2	1	1	2	2	4	4	4	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
Consecuencia			38		33		40		48		44		35		39		60		47		55		44		41		41	
Criticidad			114		33		160		192		176		105		156		240		141		55		44		41		41	

### 3.3. Equipo Crítico

La Cosechadora Oruga N 12 es la cosechadora más crítica, por ende se deben de priorizar los recursos para el mantenimiento de este equipo.

### 3.4. Elaboración del Análisis de Modo y Efecto de Falla(AMEF) del Equipo Crítico

#### 3.4.1. Descripción de Criterios

##### 3.4.1.1. Gravedad

El Índice de Gravedad (G) quedará directamente ligado al tiempo que demora reparar determinada falla. Cabe destacar en este punto que este tiempo es la suma del tiempo de llegada del repuesto al lugar donde se averió el equipo más el tiempo que tomó efectuar la reparación como tal, la empresa aún no ha adoptado la política de diferenciar estos tiempos en su registro de data.

Tabla 3.19: Ponderación del Criterio de Gravedad

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Tiempo de Reparación: [0 - 2 [ horas/falla	1
Tiempo de Reparación: [2 - 4 [ horas/falla	2
Tiempo de Reparación: [4 - 6 [ horas/falla	3
Tiempo de Reparación: [6 - 8 [ horas/falla	4
Tiempo de Reparación: [8 - 10 [ horas/falla	5
Tiempo de Reparación: [10 - 12 [ horas/falla	6
Tiempo de Reparación: [12 - 14 [ horas/falla	7
Tiempo de Reparación: [14 - 16 [ horas/falla	8
Tiempo de Reparación: [16 - 18 [ horas/falla	9
Tiempo de Reparación: [18 - 20 ] horas/falla	10

##### 3.4.1.2. Ocurrencia

El Índice de Ocurrencia(O) que evalúa la probabilidad de que se produzca el Modo de Fallo, se determinará por el número de veces que se ha producido determinada falla para el periodo de tiempo analizado.

Tabla 3.20: Ponderación del Criterio de Ocurrencia

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
Número de Fallas: [1 - 2] fallas/periodo	1
Número de Fallas: [3 - 4] fallas/periodo	2
Número de Fallas: [5 - 6] fallas/periodo	3
Número de Fallas: [7 - 8] fallas/periodo	4
Número de Fallas: [9 - 10] fallas/periodo	5
Número de Fallas: [11 - 12] fallas/periodo	6
Número de Fallas: [13 - 14] fallas/periodo	7
Número de Fallas: [15 - 16] fallas/periodo	8
Número de Fallas: [17 - 18] fallas/periodo	9
Número de Fallas: 19 a más fallas/periodo	10

### 3.4.1.3. Detección

El Índice de Detección (D) quedará ligado al tiempo en que se demora en encontrar la causa de determinada falla.

Tabla 3.21: Ponderación del Criterio de Detección

Detección	
Descripción	Puntaje
Tiempo de Detección: [0 - 2 [ horas/falla	1
Tiempo de Detección: [2 - 4 [ horas/falla	2
Tiempo de Detección: [4 - 6 [ horas/falla	3
Tiempo de Detección: [6 - 8 [ horas/falla	4
Tiempo de Detección: [8 - 10 [ horas/falla	5
Tiempo de Detección: [10 - 12 [ horas/falla	6
Tiempo de Detección: [12 - 14 [ horas/falla	7
Tiempo de Detección: [14 - 16 [ horas/falla	8
Tiempo de Detección: [16 - 18 [ horas/falla	9
Tiempo de Detección: [18 - 20 ] horas/falla	10

Tabla 3.32: Análisis Modal de Fallas y Efectos Aplicado a la Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 1 de 11						
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huancaya Menta		Fecha: 12/10/2015						
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR	
Motor	Filtro de Combustible	Limpieza de impurezas el combustible que ingresa al sistema de inyección	No limpia las impurezas contenidas en el combustible	Obstrucción	Máquina no arranca o baja la velocidad de giro del motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 250 horas	1	7	1	7	
	Filtro de Aire	Limpieza de impurezas el aire que ingresa al motor	No limpia o limpia de manera parcial las impurezas el aire	Obstrucción	Baja la velocidad de giro del motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 250 horas	1	10	1	10	
	Termostato	Mantener un temperatura adecuada del motor	No regula adecuadamente la temperatura	Componente Interno dañado	Sobrecalentamiento del Motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 6000 horas	2	1	1	2	
	Conductos de Refrigeración del Motor	Mantener un temperatura adecuada del motor	No mantiene la temperatura en un rango adecuado	Conductos bloqueados	Sobrecalentamiento del Motor	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	5	1	2	10
	Cámara de Combustión	Elemento dentro del cual la mezcla de aire y combustible es comprimida para su ignición	El elemento deja pasar sustancias extrañas a la cámara	Filtración de Refrigerante a la Cámara de Combustión	Humo de color blanco sale por el tubo de escape	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	3	2	1	6
	Cañería de Riel de Motor de Combustión	Elemento dentro del cual circula combustible	El elemento no permite la circulación del combustible o de una parte de ella	Fuga de combustible	Fuerte olor a gasolina	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	4	1	2	8
	Múltiple de Admisión del Motor	Conducir el Aire hacia los Cilindros	El elemento no conduce el Aire o lo hace de manera parcial	Obstrucción	Activa la alarma del motor de combustible	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	1	1	1	1
	Toma de Aire	Conducir el Aire hacia el Filtro	El elemento no conduce el Aire o lo hace de manera parcial	Obstrucción	Baja la velocidad de giro del motor	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	1	1	1	1
	Válvula de Presión de Combustible del Motor	Ajustar y mantener la Presión en la Cañería del Riel	No ajusta la presión en la Cañería del Riel	Mecanismo interno dañado	Máquina no arranca	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	1	1	1	1
	Turbocompresor	Sobrealimentar de Aire a determinada presión al Motor	Sobrealimentar de Aire con menor presión que la requerida	Alojamiento de Abrazadera	Baja la velocidad de giro del motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 12000 horas	Mantenimiento 12000 horas	1	1	1	1
	Bomba de inyección de Combustible	Elevar la presión del combustible hasta pulverizarlo	No eleva la presión del combustible	Mecanismo interno dañado	Máquina no arranca	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	2	1	1	2
	Batería	Almacenar energía eléctrica	No almacena energía eléctrica	Borrera Aflojada	Problemas con el arranque de la máquina	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	Mantenimiento 3000 horas	1	8	1	8
	Conector de Alarma de régimen del motor	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Componente Interno dañado	Problemas con el arranque de la máquina	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	Mantenimiento 3000 horas	2	2	1	4
					Acumulación de Suciedad	Regimen del Motor por encima del limite	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1



Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 2 de 11					
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015					
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR
Motor	Sensor del Múltiple de Admisión	Recibir información de la temperatura del Aire de Admisión y transformarla en una señal eléctrica	Transmite información errónea	Componente Interno dañado	Mediciones erróneas de la temperatura del Aire de Admisión	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Alternador	Generar corriente eléctrica	No genera corriente eléctrica	Componente interno dañado	Problemas con el arranque de la máquina	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	4	1	2	8
	Unidad de Control del Motor (ECU)	Controlar los sistemas del motor: combustible, aire y la ignición	Transmite información errónea	Conectores Sucios	Aparecen alarma de tensión de alimentación, se apaga el equipo	Operacional	Mantenimiento 12000 horas	1	3	1	3
	Bomba de 3 Cuerpos	Entregar el caudal necesario para la funciones del Elevador, Rodillos Alimentadores y Rodillos Turbadores	No transmite información	Conectores Sueltos	No aparecen datos en la pantalla	Operacional	Mantenimiento 12000 horas	3	2	1	6
Generación	Manguera de Caja de Bombas	Conducir el Caudal desde las distintas Bombas de la Caja hacia los Actuadores Hidráulicos (Bombas, Cilindros)	No conduce el caudal	Rotura	El equipo presenta falla en alguna de las funciones del Elevador, Rodillos Alimentadores o Rodillos Turbadores	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
	Bomba de 5 Cuerpos	Entregar el caudal necesario para accionar los motores de los Discos Colectores, Cuchillas Laterales y Despuntador	No entrega el caudal necesario	Descalibración de la Presión en la Bomba de 5 Cuerpos	Los motores no se activan y por ende no se puede desmochar la caña	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	7	1	3	21
Despuntado	Bloque del Despuntador	Direccionar el caudal y limitar la presión del mismo	No direcciona el caudal	O-ring dañado	Los motores no se activan y por ende no se puede desmochar la caña	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2
	Cableado del Despuntador	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Cableado desconectado	No activa el Despuntador	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
División de Cosecha	Divisor de Cosecha	Levantar caña caída y separar las hileras de caña enredada	No levanta la caña caída ni separa las hileras de caña enredada	Cable roto	No activa el Despuntador	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2
	Perno Fusible	Elemento de sacrificio que evita que la Estructura del Divisor de Cosecha sufra daños.	La punta del divisor queda inoperativa	Atramiento	Se dejará de cosechar un porcentaje importante de caña	Operacional	Inspección Visual	1	4	1	4
	Zapata Flotante	Impedir que la caña salga de la boca de la cosechadora	Permite que la caña salga de la boca de la cosechadora	Impacto	Se dejará de cosechar la caña caída	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	5	1	5
					Impacto	Se dejará de cosechar un porcentaje importante de caña	Operacional	Inspección Visual	1	4	1
				Rozamiento Zapata	Se dejará de cosechar un porcentaje importante de caña	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2
				Rotura de Cadena		Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 3 de 11						
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015						
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR	
División de Cosecha	Punta de Divisor de Cosecha	Levantar la caña e introducirla en la cosechadora	No levanta la caña caída	Impacto	Se dejará de cosechar la caña caída	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	2	1	2	
	Cuchillas Laterales	Cortar los tallos enredados que no pudieron entrar en los Divisores de Cosecha Auxiliares Exteriores	No corta los tallos enredados que no pudieron entrar en los Divisores de Cosecha Auxiliares Exteriores	Desgaste Atramiento	Se dejará de cosechar un porcentaje importante de caña	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	
	Motor del Divisor de Cosecha	Accionar (hacer girar) al Divisor de Cosecha	No acciona al Divisor de Cosecha	Componente interno dañado	No se podrá separar las hileras de cañas enredadas	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	3	1	6	
	Manguera del Divisor de Cosecha	Conducir el caudal de aceite desde la Bomba de 5 Cuerpos al motor del Divisor de Cosecha	No conduce el caudal	Rotura	El motor del Divisor de Cosecha no se acciona	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	3	1	6	
	Manguera del Rodillo Pre Tumbador	Conducir el caudal de aceite desde el motor del Sifin exterior hacia el motor del Rodillo Pre Tumbador	No conduce el caudal	Rotura	El motor del Rodillo Pre Tumbador no se acciona	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2	
	Estructura de Soporte del Divisor (H)	Soportar el mecanismo de los Divisores	Deja de soportar el mecanismo de los Divisores	Rotura de la Estructura	Se detiene el mecanismo	Operacional	Inspección Visual	5	2	2	20	
	Motor de Rodillo Tumbador Flotante	Accionar (hacer girar) al Rodillo Tumbador	No acciona al Rodillo Tumbador	Componente interno dañado	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	Operacional	6	2	2	24	
	Manguera del Rodillo Tumbador	Conducir el caudal de aceite desde la Bomba de 3 Cuerpos al motor de los Rodillos Tumbadores	No conduce el caudal	Rotura	Rotura	No se podrá tumbar la caña	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2
	Cuchillas del Cortador de Base	Cortar la caña al nivel del suelo	No corta la caña	Impacto Desgaste	Impacto	Se detiene la cosecha de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	10	1	10
	Disco del Cortador de Base	Soportar las Cuchillas del Cortador de Base	No soportan las cuchillas o estas se encuentran flojas	Impacto Desgaste	Alfajamiento Impacto	Se detiene la cosecha de caña	Operacional	Mantenimiento 500 horas	1	2	1	2
Corte de Base	Piernas del Cortador de Base	Facilitar el ingreso de la caña hacia los Rodillos Alimentadores	No facilita el ingreso de caña	Atornillamiento	Se detiene la cosecha de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	2	1	2	
	Rodillo del Cilindro de Suspensión	Permite el movimiento de la suspensión	No permite el movimiento	Desgaste Rotura	No se podrá ajustar la altura del nivel de corte	Operacional	Inspección Visual	5	4	1	20	
	Guía de Caña	Impedir que la caña salga de la boca de la cosechadora	Permite que la caña salga de la boca de la cosechadora	Rotura	Se dejará de cosechar un porcentaje importante de caña	Operacional	Inspección Visual	5	1	1	5	
				Atornillamiento de Niple			Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	5	1	5
				Niple dañado			Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	3	1	3
			Rotura			Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	
			Tapa Alfajada			Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	3	1	1	3	

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12										Responsable del diseño:	Página: 4 de 11
Tipo de Rodaje: Oruga										Christian Huancaya Mena	Fecha: 12/10/2015
Empresa: Caña Brava											
Área: Cosecha-Mantenimiento											
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR
Corte de Base	Cañería del Cilindro de Suspensión	Conducir el caudal de aceite desde el Bloque de Suspensión hacia el Cilindro de Suspensión	No conduce el caudal	Rotura	No se podrá ajustar la altura del nivel de corte	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	4	1	8
	Manguera del Cilindro de Suspensión	Conducir el caudal de aceite desde la válvula de elevación al Cilindro de Suspensión	No conduce el caudal	Rotura	No se podrá ajustar la altura del nivel de corte	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	3	1	6
	Bloque de Suspensión	Direccionar el caudal y limitar la presión del mismo	No direcciona el caudal	Alojamiento de la tapa de la válvula de Suspensión	No se podrá ajustar la altura del nivel de corte	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
	Caja del Cortador de Base	Reducir la velocidad de giro del Motor del Cortador de Base (2050 RPM) hasta 600 RPM y por ende incrementar el Torque	Reduce la velocidad de giro del motor por debajo de los 600 RPM	Alojamiento de Tapa	No se puede efectuar el corte de la caña	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	3	1	6
	Anillo del Cortador de Base	Sellar o hermetizar la caja del cortador de base	No hermetiza la caja del Cortador de Base	Desgaste de Anillos	Se reduce la velocidad de rotación de los Discos Cortadores de Base	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
	Sensor de Nivel del Cortador de Base	Recibir información del nivel de corte y transmitir en una señal eléctrica	Transmite información errónea	Acumulación de Suciedad	Lectura de datos erróneos	Operacional	Mantenimiento 6000 horas	1	2	1	2
	Sensor de Suspensión	Recibir información para amortiguar el desplazamiento sobre una superficie	Transmite información errónea	Deterioro	Lectura de datos erróneos	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2
	Rodillos Alimentadores	Transportar la Caña desde los Cortadores de Base hasta el Trozador	No transporta la Caña desde los Cortadores de Base hasta el Trozador	Atramiento Incendio por obstrucción	Se detiene la cosecha de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
	Rodillo Flotante	Transportar la Caña desde los Cortadores de Base hasta el Trozador	No transporta la Caña desde los Cortadores de Base hasta el Trozador	Alojamiento de Pernos	Se detiene la cosecha de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2
	Rodillo Pateador	Levantar y transportar la caña desde los Cortadores de Base hacia el siguiente Rodillo Alimentador	No levanta ni transporta la caña desde los Cortadores de Base hacia el siguiente Rodillo Alimentador	Alojamiento Obstrucción	Se detiene el Rodillo Pateador	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2
Arco del Rolo Flotante	Transportar la Caña desde los Cortadores de Base hasta el Trozador	No transporta la Caña desde los Cortadores de Base hasta el Trozador	Impacto	Se detiene el proceso de Alimentación de la caña, o mucha de esta cae al suelo	Operacional	Inspección Visual	3	2	1	6	
Acoples del Rodillo Pateador	Transmitir el Torque del motor hacia el Rodillo Pateador	No transmite el Torque	Atramiento	Se detiene el Rodillo Pateador	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2	

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12										Responsable del diseño:		Página: 5 de 11				
Tipo de Rodaje: Oruga										Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015				
Empresa: Caña Brava	Área: Cosecha-Mantenimiento	Control	Consecuencia de Falla	Efecto de Falla	Modo de Falla	Falla Funcional	Función	Componente	Sistema	G	O	D	NPR			
Alimentación										Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	
Aumento de esfuerzos, pérdida de energía y flojamiento de las uniones										Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2	2
Se detiene el Rodillo Alimentador										Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	3	1	6	6
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base hacia los Rodillos Alimentadores										Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	5	1	2	10	10
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Operacional	Mantenimiento 3000 horas	3	1	1	3	3
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	1
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2	2
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	1
Componente Interno dañado Desacoplamiento										Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	4	1	8	8
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base, se detiene el flujo de caña hacia los Trozadores										Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2	2
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2	2
Rotura de Pernos										Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2	2
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	4	1	8	8
No se puede direccionar la caña cortada por el Cortador de Base										Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento de 3000 horas	1	1	1	1	1
No se puede controlar el tamaño de los trozos de caña										Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2	2
Se detiene el flujo de caña hacia los trozadores										Operacional	Inspección Visual	3	1	1	3	3

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12						Responsable del diseño:		Página: 6 de 11				
Tipo de Rodaje: Oruga						Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015				
Empresa: Caña Brava												
Área: Cosecha-Mantenimiento												
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR	
Trozado	Cuchillas Trozadoras	Corta la caña en trozos que van desde 10 hasta los 22 cm.	No troza la caña	Desgaste	Se detiene la cosecha de caña	Operacional	Mantenimiento 500 horas	2	5	1	10	
	Acoples del Rodillo Liso	Transmitir el torque del motor hacia el Rodillo Liso	No transmite el Torque	Impacto		Operacional	Mantenimiento 500 horas	1	10	1	10	
	Chumacera del Rodillo Trozador	Soportar el Rodamiento que descansa sobre el semieje acoplado a los Rodillos Trozadores		Atramiento	Se detiene el Rodillo Liso	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	
				Rotura	Se detiene el Rodillo Alimentador	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	3	1	1	3	
				Penetración de Contaminantes	Incremento de temperatura del rodamiento, agarramiento, sonidos fuera de lo comun. Se detiene el Rodillo Trozador	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	3	3	1	9	
				Aflojamiento	Se detiene el Rodillo Trozador	Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	2	1	1	2
				O-ring de la válvula dañado	Atramiento constante de los Rodillos Trozadores	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	1	2	1	2
				Aflojamiento de la tapa de la válvula		Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	Inspección Visual	1	1	1	1
				Aflojamiento de la Tapa		Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
				Aflojamiento del Niple	No se puede trozar la caña		Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
Extracción Primaria	Deflector de Caña	Dirigir a diferentes alturas los trozos de caña hacia la Canasta del Extractor Primario	No dirige la caña trozada	Rotura de Pasadores Elásticos	Mala limpieza de los trozos de caña y perdida de un porcentaje importante de estas	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	
	Aspas del Extractor Primario	Aspirar los restos de suciedad de la caña	No aspira los restos de suciedad de la caña	Desgaste	Mala limpieza de los trozos de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	4	1	4	
	Templador del Extractor Primario	Ajustar o Templar la Cadena del Capuchón del Extractor Primario	No ajusta la Cadena	Fiuración	No se puede hacer girar el capuchón del Extractor Primario	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	
	Topes del Extractor Primario	Reducir las vibraciones provocadas por el movimiento del Extractor	No reducen las vibraciones	Mala ubicación	Vibración excesiva del Extractor, aflojamiento de las uniones	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	
	Capuchón del Extractor Primario	Direccionar los restos de suciedad aspirados	No direcciona los restos de caña	Atramiento	No se puede hacer girar el capuchón del Extractor Primario, los desperdicios quedan dispersados	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	
				Rotura		Medio Ambiente	Mantenimiento 3000 horas	Mantenimiento 3000 horas	4	1	2	8

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 7 de 11					
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015					
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR
Extracción Primario	Bomba del Extractor Primario	Entregar el caudal necesario para accionar el motor del Extractor Primario a una velocidad entre 1050 a 1200 RPM	No entrega el caudal necesario	Niple dañado O-ring de la brida dañado Brida de la Bomba dañada	El ventilador gira a una velocidad muy baja, no hay una adecuada limpieza de los trozos de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1
	Motor del Extractor Primario	Accionar (hacer girar) el Extractor Primario	No acciona el Extractor Primario	Problema en la Electro/válvula Alojamiento de Brida Obstrucción de Válvula de Alivio O-ring de la válvula dañado	El ventilador gira a una velocidad muy baja o no gira, no hay una adecuada limpieza de los trozos de caña	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2
	Manguera del Extractor Primario	Conducir el caudal de aceite desde la Bomba hacia el Motor del Extractor Primario	No conduce el caudal	Conector Flajo	El ventilador gira a una velocidad muy baja o no gira, no hay una adecuada limpieza de los trozos de caña	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Manguera del Capuchón del Extractor Primario	Conducir el caudal de aceite desde la Bomba hacia el Motor de Giro del Capuchón	No conduce el caudal	Rotura	No se puede hacer girar al Capuchón y por ende no se puede direccionar los desperdicios de la caña	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Sensor del Controlador Electrohidráulico (EDC) del Ventilador del Extractor Primario	Recibe información de la magnitud del caudal de aceite que circula por el Motor del Extractor Primario	Transmite información errónea	Acumulación de la Suciedad	La Velocidad de Giro del Motor disminuye	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Fusible del Sistema de Extracción Primario	Proteger el circuito eléctrico de sobrecorrientes	No protege al Extractor Primario	Exceso de corriente	No activa el Extractor Primario	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Cableado del Sistema de Extracción Primario	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Rotura	No activa el Extractor Primario	Operacional	Inspección Visual	3	1	1	3
	Conectores de la Bomba del Base del Motor del Extractor Primario	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Acumulación de suciedad	La Velocidad de Giro del Motor disminuye	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Estructura del Extractor Primario (Araña)	Soporta al Motor del Extractor Primario	Soporte aflojado	Rotura de Pernos	El Extractor Primario queda inoperativo	Operacional	Inspección Visual	4	1	2	8
		Fija al Capuchón del Extractor Primario y soporta al Motor Primario	No soporta al Motor de Extractor Primario	Rotura	El Extractor Primario queda inoperativo	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12										Responsable del diseño:		Página: 8 de 11	
Tipo de Rodaje: Oruga										Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015	
Empresa: Caña Brava													
Área: Cosecha-Mantenimiento													
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR		
Extracción Primario	Corfina del Extractor Primario	Evitar que rebalse la caña trozada del canasto	Permite que la caña trozada rebalsa del canasto	Rotura	No se podrá recoger los trozos de caña trozada del Trozador, gran cantidad de caña trozada aprovechable se desperdicia	Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1		
	Soporte de Corfina de Canasta del Extractor Primario	Soportar la Corfina	No soporta la Corfina	Rotura	No se podrá recoger los trozos de caña trozada del Trozador, gran cantidad de caña trozada aprovechable se desperdicia	Operacional	Inspección Visual	4	1	2	8		
	Templador de Cadena del Elevador	Templar la Cadena del Elevador	No temple la Cadena	Rotura	La cadena se afloja	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1		
Elevación	Taliscas	Trasladar los trozos de caña desde el Canasto hacia el Extractor Secundario	No traslada los trozos de caña	Rotura	La cantidad de caña que se eleva se reduce podría desbordar caña del Canasto	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2		
			Mucha de la caña que se trasladada queda atorada entre las Taliscas y la base	Alojamiento de Pernos	La velocidad de elevación de la caña se reduce, podría desbordar el Canasto	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2		
			Traslada los trozos de caña a baja velocidad	Rozamiento excesivo con protector	La velocidad de elevación de la caña se reduce, podría desbordar el Canasto	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2		
				Alojamiento	La velocidad de elevación de la caña se reduce	Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	10	1	10		
			Transmite Potencia entre el Arbol del Motor Hidráulico (Conductor) y el Arbol Conducido	No transmite Potencia o transmite solo una parte	Descarilamiento o	La Cadena se sale de las ranuras del Sprocket, se detiene circuito de elevación	Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	6	1	6	
				Atoramiento	Se detiene el circuito de elevación	Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	1	1	1	1	
			Direccionar el caudal y limitar la presión del mismo	No direcciona el caudal	O-ring de la válvula dañado	El elevador gira lento	Operacional	Inspección Visual	1	2	1	2	
Cilindro de Elevación del Elevador		Permitir elevar el nivel en el que se encuentra el Elevador entre un rango que va de 3,5 hasta 5,9 metros	Levanta el Elevador muy lentamente y no puede mantenimiento a determinado nivel	Sello desgastado	No se puede direccionar la caña ya cortada, trozada y limpiada	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 1500 horas	2	2	1	4		
				Dobladura	El elevador gira, pero no se le puede hacer regresar	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	1	1	1		
		Bascular el Elevador una amplitud de 170 grados	Hace bascular al Elevador muy lentamente	Alojamiento de Niple	No se puede direccionar la caña ya cortada, trozada y limpiada	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	1	1	1		
			Niple dañado			Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	1	1	1		

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 9 de 11						
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huarcaya Mena		Fecha: 12/10/2015						
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR	
Elevación	Manguera del Elevador	Conducir el caudal de aceite desde la Bomba de 5 Cuerpos a los Cilindros de Elevación del Elevador	No conduce el caudal	Rotura	No se puede direccionar la caña ya cortada, trozada y limpiada	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	3	1	6	
	Manguera del Cilindro de Giro del Elevador	Conducir el caudal de aceite desde la Bomba de 5 Cuerpos a los Cilindros de Giro del Elevador	No conduce el caudal	Rotura Aflojamiento	No se puede direccionar la caña ya cortada, trozada y limpiada	Medio Ambiente/Operacional Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual Inspección Visual	2	4	1	8	
	Tornamesa	Soportar o Abajar los Cilindros de Giro del Elevador y mantener lubricado el mecanismo de giro	No mantiene lubricado	Aflojamiento de Niple	Agrietamiento del mecanismo de giro	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	
	Cable de Giro de Cadena del Elevador	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Rotura Cable Suelto	Cadena no se activa Cadena no se activa	Operacional Operacional	Mantenimiento 3000 horas Mantenimiento 3000 horas	1	2	1	2	
	Cableado del Sistema de Elevación	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Rotura Cableado desconectado Contactos Eléctricos del Elevador	Funciones del Elevador no responden Funciones del Elevador no responden Cadena no se activa	Operacional Operacional Operacional	Inspección Visual Inspección Visual Inspección Visual	2	2	1	4	
	Protección del Elevador	Soporta la estructura de elevación	Presenta abertura en algún punto de la Estructura	Rotura Rotura de Pernos	Gran cantidad de caña aprovechable se desperdicia Gran cantidad de caña aprovechable se desperdicia	Operacional Operacional	Mantenimiento 1500 horas Mantenimiento 1500 horas	2	3	1	6	
	Piso del Elevador	Permitir el traslado de la caña trozada y limpiada hacia el Elevador Secundario	No permite el traslado de caña hacia el Elevador Secundario	Rotura	Rotura	Gran cantidad de caña aprovechable se desperdicia	Operacional	Mantenimiento 1500 horas	1	3	1	3
	Pin del Elevador Secundario	Unir las Aspas del Ventilador al Cubo del mismo	No permite el traslado de caña trozada y limpiada hacia el Elevador Secundario	No une las Aspas del Ventilador al Cubo	Pin del Elevador Secundario	Aflojamiento	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Motor del Elevador Secundario	Acobinar (hacer girar) el Elevador Secundario	No acciona al Elevador Secundario o lo hace a una velocidad demasiado baja (inferior a 1650 RPM)	No acciona al Elevador Secundario o lo hace a una velocidad demasiado baja (inferior a 1650 RPM)	Componente Interno dañado	No hay una adecuada limpieza de los trozos de caña	Operacional	Mantenimiento 1500 horas	4	1	2	8
	Manguera del Motor del Elevador Secundario	Conducir el Caudal desde la Bomba de 3 Cuerpos hacia el Motor del Elevador Secundario	No conduce el caudal	No conduce el caudal	Aflojamiento	No hay una adecuada limpieza de los trozos de caña	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
Conectores del Motor del Elevador Secundario	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	No transmite la electricidad	Acumulación de Suciedad	No activa el Elevador Secundario	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	
Amplio del Elevador Secundario	Soportar el Elevador Secundario	No soporta al Elevador Secundario	No soporta al Elevador Secundario	Rotura	La caña que viene del elevador deja de ser limpiada	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1	



Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 10 de 11					
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015					
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR
Descarga	Cableado de funciones del	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Rotura	Funciones de binflap no se activan	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	BinFlap	Canalizar la caña ya cortada, trozada y limpiada a los Autovoltios	No canaliza la caña procesada	Rotura	Caña ya cortada, trozada y limpiada se desperdicia	Operacional	Inspección Visual	1	4	1	4
Rodaje	Cadena de Orugas	Transmitir Potencia entre el Arbol del Motor Hidráulico(Conductor) y el Arbol Conducido	No trasmite Potencia o transmite solo una parte	Afijamiento	La velocidad de avance de la máquina se reduce	Operacional	Inspección Visual	5	1	2	10
	Manguera del Motor de la Oruga	Conducir el Caudal desde la Bomba de Mando hacia el Motor de la Oruga	No conduce el caudal	Or-ring del niple dañado	El equipo reduce su velocidad de avance e inclusive puede quedar detenido	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Sensor de la Oruga	Recibir información de velocidad y transmitirla en una señal eléctrica	Transmite información errónea	Rotura	Lectura de datos erróneos	Medio Ambiente/Operacional	Inspección Visual	2	2	1	4
Refrigeración	Sensor del Paquete	Recibir información de presencia de objetos cercanos y transformarla en una señal eléctrica	Transmite información errónea	Conectores sueltos	Lectura de datos erróneos	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2
	Paquete de Enfriamiento	Enfriar el aceite, el refrigerante del motor, del Aire Acondicionado y el aire que sale del Turbocompresor	No enfria alguno de los elementos	Sensor deteriorado	Lectura de datos erróneos	Operacional	Inspección Visual	6	1	2	12
Refrigeración	Intercóoler	Enfriar el Aire que sale del Compresor del Turbo	No enfria el Aire que sale del Compresor del Turbo	Suciedad acumulada	Lectura de datos erróneos	Operacional	Inspección Visual	1	1	1	1
	Manguera del Bloque	Conducir el Aceite hacia el Paquete de Enfriamiento	No conduce el caudal	Obstrucción	Recalentamiento del Motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	8	1	8
	Manguera del Intercóoler	Conducir el Aire que sale del Compresor del Turbocompresor hacia el Paquete de Enfriamiento	No conduce el caudal	Fuga de Refrigerante	Baja la velocidad de giro del motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	9	1	3	27
	Manguera del Refrigerante	Conducir el Refrigerante (R134A) desde la Cabina hacia el Paquete de Enfriamiento	No conduce el caudal	Mala conexión	Recalentamiento del Aceite	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	4	1	2	8
	Manguera del Radiador	Conducir el Refrigerante del Motor( 50% Agua y 50%Etilenglicol) hacia el Paquete de Enfriamiento	No conduce el caudal	Rotura	Recalentamiento del Aceite	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	3	1	1	3
					Afijamiento	Baja la velocidad de giro del motor, se reduce el volumen de Aire que ingresa a la Cámara	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1
				Rotura	El sistema de Aire Acondicionado de la Cabina deja de funcionar	Medio Ambiente/Seguridad	Mantenimiento 3000 horas	2	1	1	2
				Rotura	Sobrecalentamiento del Motor	Medio Ambiente/Operacional	Mantenimiento 3000 horas	3	1	1	3

Nombre del Equipo: Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520 #12		Empresa: Caña Brava		Responsable del diseño:		Página: 11 de 11						
Tipo de Rodaje: Oruga		Área: Cosecha-Mantenimiento		Christian Huancaya Mena		Fecha: 12/10/2015						
Sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de Falla	Control	G	O	D	NPR	
Cabinas	Motor del Aire Acondicionado	Accionar el Compresor del Sistema de Aire Acondicionado	No acciona el Compresor	Mecanismo interno dañado	No se puede regular la temperatura al interior de la Cabina	Seguridad	Inspección Visual	6	1	2	12	
	Circuito de Refrigerante de Aire Acondicionado	Mantener la temperatura adecuada en la Cabina de Operación	No mantiene la temperatura adecuada en la Cabina	Rotura o Alojamiento de Conexión	No se puede regular la temperatura al interior de la Cabina	Seguridad	Inspección Visual	2	2	1	4	
	Sistema de Luces	Proveer iluminación al operador en condiciones de baja visibilidad	No provee iluminación	Fusible dañado	Apagan las luces	Seguridad	Mantenimiento 250 horas	1	2	1	2	
	Bus CAN	Permitir comunicación entre controladores	Comunicación entre controladores intermitente o nula	Cableado Suelto	Apagan las luces	Seguridad	Mantenimiento 250 horas	1	1	1	1	
	GPS	Permite posicionamiento del equipo	No transmite ubicación	Componente interno dañado	Se dejan de visualizar datos en el panel de control	Operacional	Inspección Visual	3	1	1	3	
	Conectores del Sistema de Aire Acondicionado	Conducir o Transmitir la electricidad	No transmite la electricidad	Terminales sucios	Se dejan de visualizar datos en el panel de control	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2	
	Escalera de la Oruga	Facilitar el acceso del operario a la cabina	No facilita el acceso al operario	Conectores sueltos	Se activa alarma de GFS	Operacional	Inspección Visual	2	1	1	2	
	Pasamanos de la Oruga	Facilitar el acceso del operario a la cabina	No facilita el acceso al operario	Suciedad acumulada	Se desactiva el sistema de calefacción	Seguridad	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	
				Cableado dañado	Se desactiva el sistema de calefacción	Seguridad	Mantenimiento 3000 horas	1	1	1	1	1
				Rotura	El operario no puede manejar la máquina	Seguridad	Inspección Visual	1	1	1	1	1
			Rotura	El operario no puede manejar la máquina	Seguridad	Inspección Visual	1	1	1	1	1	

### 3.5. Análisis de Datos de Vida de los Modos de Falla Críticos

Se puede apreciar que los modos de falla con el valor de NPR más alto y por ende más críticos son:

Tabla 3.23: Componentes con el valor de NPR más alto

Componente	Sistema	Modo de Falla	NPR
Paquete de Enfriamiento	Refrigeración	Fuga de Refrigerante	27
Motor de Rodillo Tumbador Flotante	Tumbado	Componente Interno dañado	24
Bomba de 5 Cuerpos	Despuntado	Descalibración de la Presión	21
Rótula del Cilindro de Suspensión	Corte de Base	Desgaste	20
Estructura de Soporte del Divisor(H)	División de Cosecha	Rotura de la estructura	20

#### 3.5.1. Paquete de Enfriamiento

Tabla 3.24: Fallas presentadas en el Paquete de Enfriamiento

Equipo	Descripción	Sistema	Estado	Tiempo hasta la Falla(h)
Cosechadora 16	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	2422,5
Cosechadora 14	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	2432,9
Cosechadora 15	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	2466
Cosechadora 13	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	5783,1
Cosechadora 12	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	6128,9
Cosechadora 12	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	F	54,5
Cosechadora 5	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	6388,2
Cosechadora 11	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	6437
Cosechadora 10	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	F	7579,8
Cosechadora 7	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	F	13201,1
Cosechadora 7	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	1099,6
Cosechadora 9	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	15319,8
Cosechadora 8	Fuga de Rrefrigerante	Refrigeración	S	16175,2

### **3.5.2. Motor de Rodillo Tumbador Flotante**

En la tabla A5.1 (Anexo 5) se muestra las fallas presentadas en el Motor de Rodillo Tumbador Flotante para el periodo analizado.

### **3.5.3. Bomba de 5 Cuerpos**

En la tabla A5.2 (Anexo 5) se muestra las fallas presentadas en la Bomba de 5 Cuerpos para el periodo analizado.

### **3.5.4. Rótula del Cilindro de Suspensión**

En la tabla A5.3 (Anexo 5) se muestra las fallas presentadas en la Rótula del Cilindro de Suspensión para el periodo analizado.

### **3.5.5. Estructura de Soporte del Divisor(H)**

En la tabla A5.4 (Anexo 5) se muestra las fallas presentadas en la Estructura de Soporte del Divisor (H).

Debido a la poca frecuencia de fallas presentada en el caso del Paquete de Enfriamiento (solo 3 fallas en 17 meses) y la Bomba de 5 Cuerpos (solo 4 fallas en 17 meses) se opta por no trabajar con estos modos de falla. De los modos de falla restantes (Componente Interno Dañado, Desgaste y Rotura de la Estructura) se elige el más crítico (mayor valor de NPR) que es el que involucra al Motor del Rodillo Tumbador Flotante.

## CAPÍTULO 4

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

#### 4.1. Estimación de los Parámetros de Vida

Una vez que se ha recopilado y ordenado la información referente a los tiempos de falla para los modos de falla críticos se utilizará modelos probabilísticos, los cuales entregarán estimaciones de tasa de fallas en función del tiempo, probabilidad de sobrevivir de los componentes, tiempo medio para fallar. Los modelos son caracterizados por el comportamiento de la falla de los componentes. [31]

Se optará por utilizar el modelo de distribución de Weibull debido a que es una distribución flexible, dado que se puede utilizar independientemente de la forma en que varíe la tasa de fallas del modo de falla estudiado, de esta forma se simplifica de cierto modo el análisis de datos.

### 4.1.1. Motor del Rodillo Tumbador Flotante

#### 4.1.1.1. Gráfico de Weibull

Caracterización del modelo probabilístico a partir del comportamiento de los datos de falla del Motor del Rodillo Tumbador Flotante.

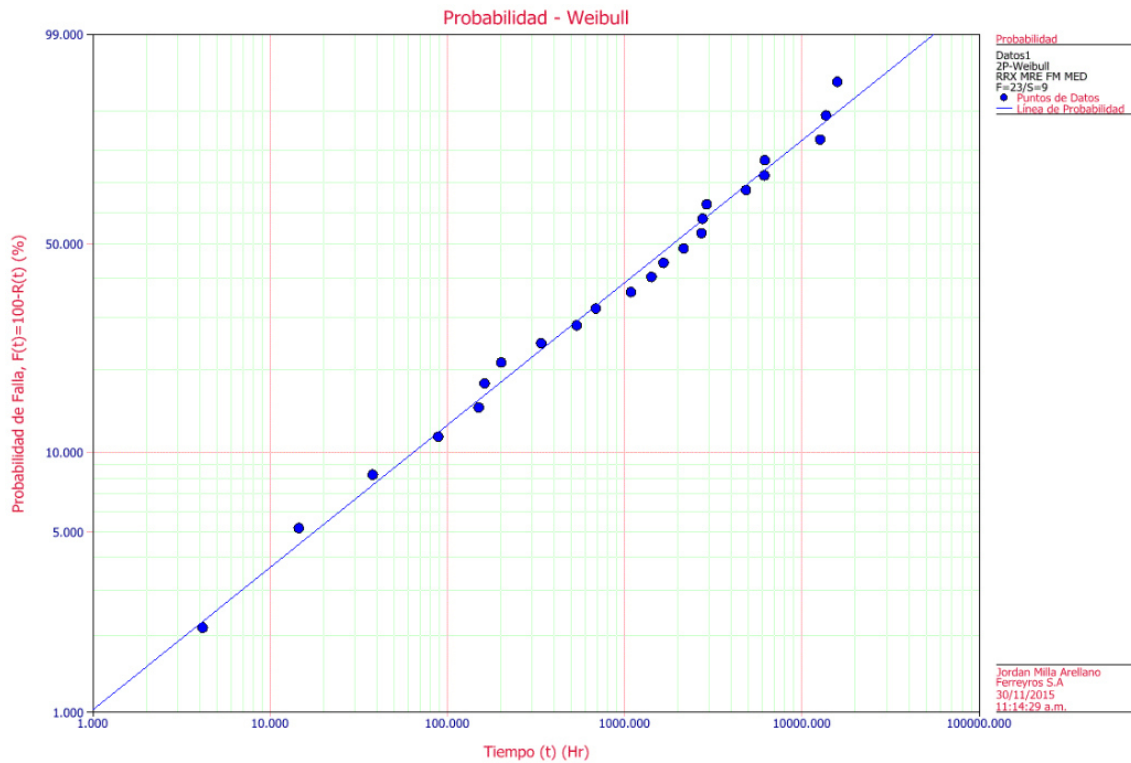


Figura 4.1

Tabla 4.1: Parámetros de Distribución del Motor del Rodillo Tumbador Flotante.

Distribución	$a(\beta)$	$a(\eta)$	MTTF(H)	Etapas de Vida
2P Weibull	0,56	3602,02	5988,56	Mortalidad Infantil

El valor del Parámetro de Forma ( $\beta$ ) representa la pendiente de la curva y es utilizada para determinar qué actividades de mantenimiento se debe de optar para este modo de falla.

El valor del Parámetro de Escala ( $\eta$ ) representa el punto en el cual el 63,2% de los Motores lleguen a fallar con este modo de falla.

El valor del Parámetro de Localización ( $\gamma$ ) representa el punto en el cual la curva de Weibull cambia de forma.

#### 4.1.1.2. Gráfico de Confiabilidad

En la Figura 4.2 se presenta la tendencia de la curva en el tiempo en donde se aprecia como el modo de falla comienza con una alta confiabilidad, pero esta decrece con el paso del tiempo.

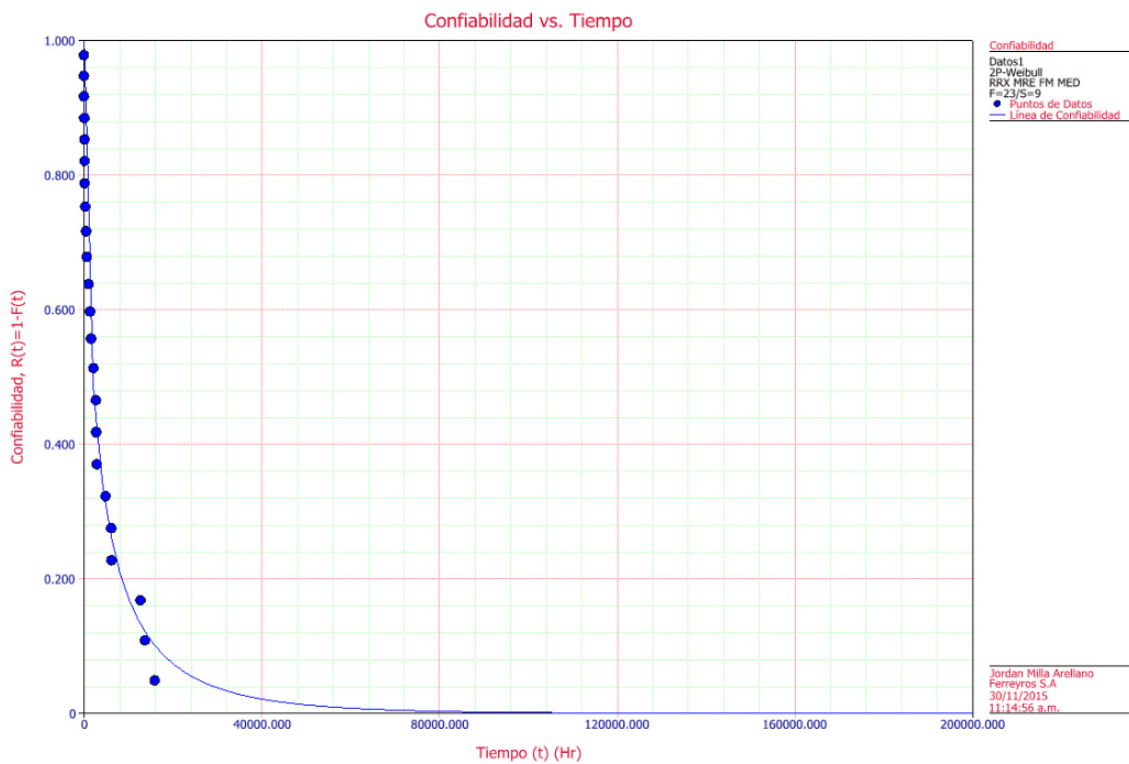


Figura 4.2: Confiabilidad vs Tiempo del Motor del Rodillo Tumbador.

Tabla 4.2: Parámetros de Confiabilidad

Componente	Tiempo de Cambio(H)	Confiabilidad(R)	B10
Paquete de Enfriamiento	2804	0,42	64,14

En la tabla 4.2 se presentan los valores de confiabilidad obtenidos para el Motor del Rodillo Tumbador, de donde se obtiene:

- Tiempo de Cambio de los componentes del motor se realiza en promedio cada 2804 horas actualmente.
- Actualmente se tiene una confiabilidad de 42%.
- El 10% de los Motores ha fallado a las 64,14 horas.

#### 4.1.1.3. Gráfico de Distribución

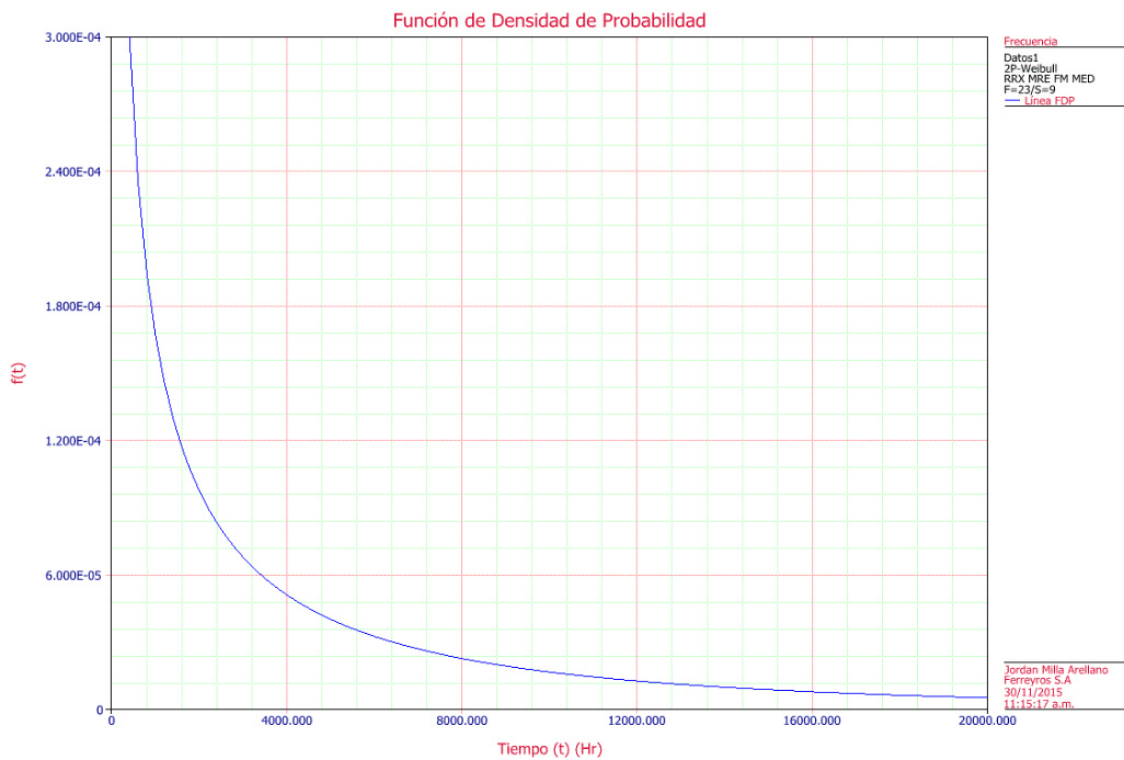


Figura 4.3: Función Densidad de Probabilidad



#### 4.1.1.4. Gráfico de Tasa de Fallas

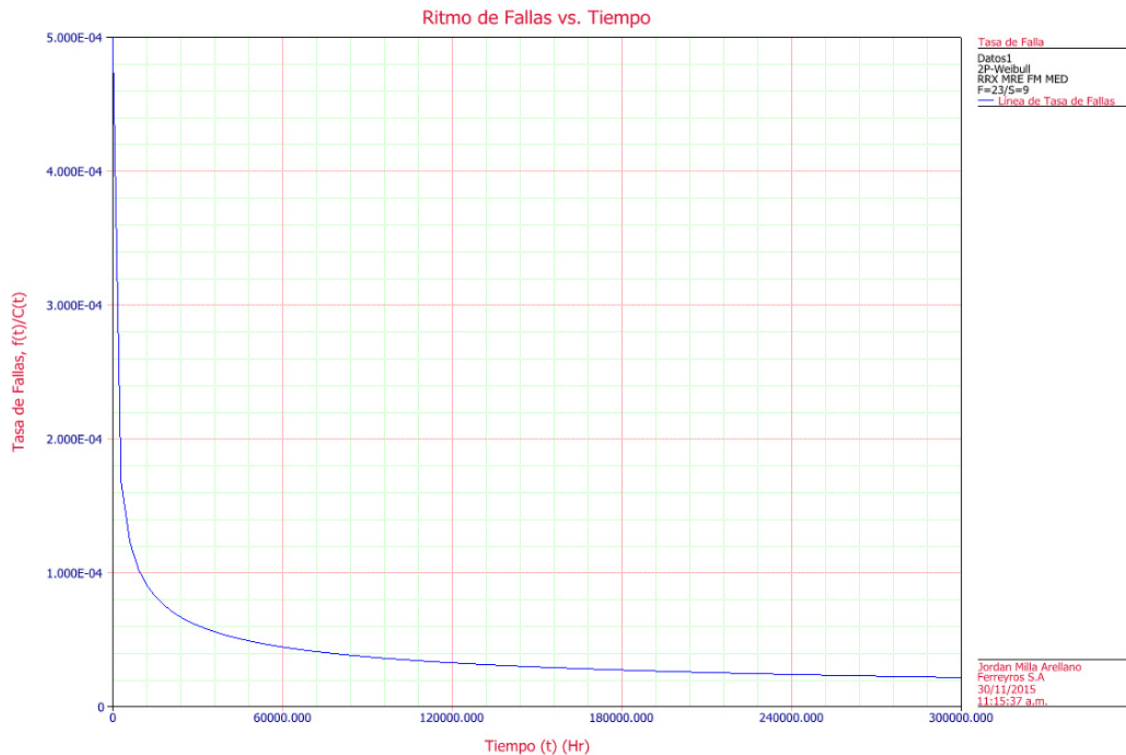


Figura 4.4: Ritmo de Fallas vs Tiempo

En la figura 4.4 se aprecia una tasa de fallas inicial muy alta que desciende hasta un comportamiento aleatorio, generalmente llamada “Mortalidad Infantil”. Según Altmann [32] esta puede ser debida a:

- Fallas de Calidad
- Fallas de Montaje
- Errores de Diseño
- Errores Humanos de Operación
- Errores Humanos en el Mantenimiento

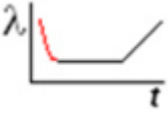
Asimismo, diversos autores llegan a la conclusión de que entre las principales causas se encuentran:

- Calidad en el Diseño                    5%
- Calidad en la Fabricación            10%
- Calidad en la Instalación            20%

- Calidad en la Operación 20-35 %
- Calidad en el Mantenimiento 30-45%

En casos como este la estrategia a tomar es dejar que el equipo cumpla su ciclo de vida y “corra hasta que falle”, una vez que esto suceda tratar de encontrar la causa o el origen de la falla mediante un análisis causa raíz de la misma.

Tabla 4.3: Resumen de los Parámetros de los Modos de Falla

Componente	Motor del Rodillo Tumbador Flotante
Modo de Falla	Componente Interno Dañado
Distribución	Weibull 2P
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	0,56
Parámetro de Escala ( $\eta$ )	3 602,02
Paámetro de Localización ( $\gamma$ )	
MTTF(h)	5 988,56
Tiempo de Cambio(h)	2 804
Confiabilidad ( R )	42%
B10	64,14
Tasa de Falla	
Etapas de Vida	Mortalidad Infantil
Estrategia a tomar	Dejar que el componente falle y realizar Análisis Causa Raiz
Confiabilidad Esperada	70%

#### 4.2. Cálculo de Indicadores de Mantenimiento de Clase Mundial

Se denominan “Indicadores de Clase Mundial” a aquellos que son utilizados como valor de referencia en todos los países, de los 6 indicadores existentes se

seleccionaran los 3 más representativos: El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio para Reparar (MTTR) y Disponibilidad.

Se realizará un análisis mensual de la cosechadora crítica, para esto se clasifica la data suministrada por la empresa en tiempo de paradas programadas y no programadas, número de paradas programadas y no programadas, y el tiempo que estuvo en operación la cosechadora en determinado frente, tal como se muestra en la tabla A6.1 (Anexo 6).

Como ejemplo se muestra el trabajo efectuado por la Cosechadora #12 durante el mes de Enero de 2014. El Área de Operación determinó que existían cultivos de caña listos para cosechar en los frentes de San Vicente y Montelima.

Asimismo, durante ese mes, el equipo sufrió 26 paradas mecánicas, todas esas fueron por mantenimiento correctivo (no programado) que en total requirieron 56,19 horas de reparación.

Para obtener la cantidad de horas que la máquina estuvo en condiciones de operar durante ese mes se revisa el horómetro del equipo, en este caso operó durante 224,9 horas, data que fue extraída de los registros proporcionados por la empresa.

Se procede a hallar el Tiempo Medio entre Fallas, Tiempo Medio entre reparaciones y Disponibilidad.

De la ecuación

$$MTBF = \frac{224,9}{26} = 8,65 \text{ horas}$$

De la ecuación

$$MTTR = \frac{56,19}{26} = 2,16 \text{ horas}$$

De la ecuación

$$A = \frac{8,65}{8,65 + 2,16} = 0,8$$

A partir de donde se obtiene para la Cosechadora #12 y para el mes de Enero de 2014 una Disponibilidad Mecánica de 80%.

Tabla 4.4: Indicadores de Clase Mundial para la Cosechadora #12 por mes

	Tiempo de Paradas(h)	Número de Paradas	Tiempo en Operación(h)	MTBF(h)	MTTR(h)	Disponibilidad Mecánica
ene-14	56,19	26	224,9	8,65	2,16	80,01%
feb-14	106,03	46	275,8	6,00	2,31	72,23%
mar-14	0	0	0	-----	-----	-----
abr-14	18,79	8	110,6	13,83	2,35	85,48%
may-14	117,92	40	343,3	8,58	2,95	74,43%
jun-14	56,53	34	348,4	10,25	1,66	86,04%
jul-14	101,69	48	316,9	6,60	2,12	75,71%
ago-14	85,03	27	242,7	8,99	3,15	74,05%
sep-14	90,28	45	292,9	6,51	2,01	76,44%
oct-14	113,01	61	307,2	5,04	1,85	73,11%
nov-14	248,8	72	193,6	2,69	3,46	43,76%
dic-14	66,43	30	331,8	11,06	2,21	83,32%
ene-15	196,39	34	188,8	5,55	5,78	49,01%
feb-15	376,02	38	131,1	3,45	9,90	25,85%
mar-15	264,36	20	52,2	2,61	13,22	16,49%
abr-15	101,47	58	277,9	4,79	1,75	73,25%
may-15	200,67	66	331,9	5,03	3,04	62,32%
Promedio	2199,61	653	3970	6,08	3,37	64,35%

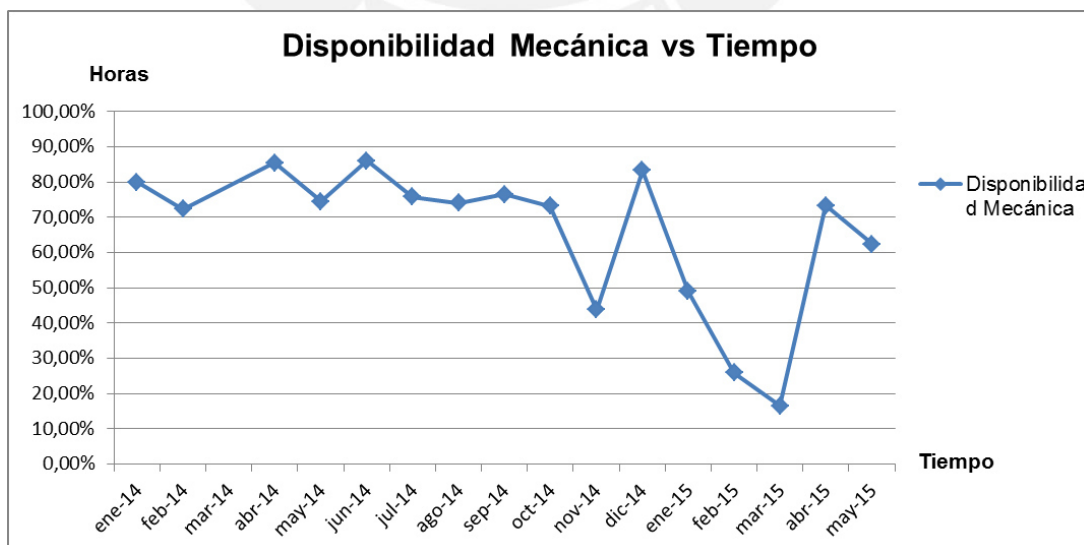


Figura 4.5: Disponibilidad Mecánica vs Tiempo

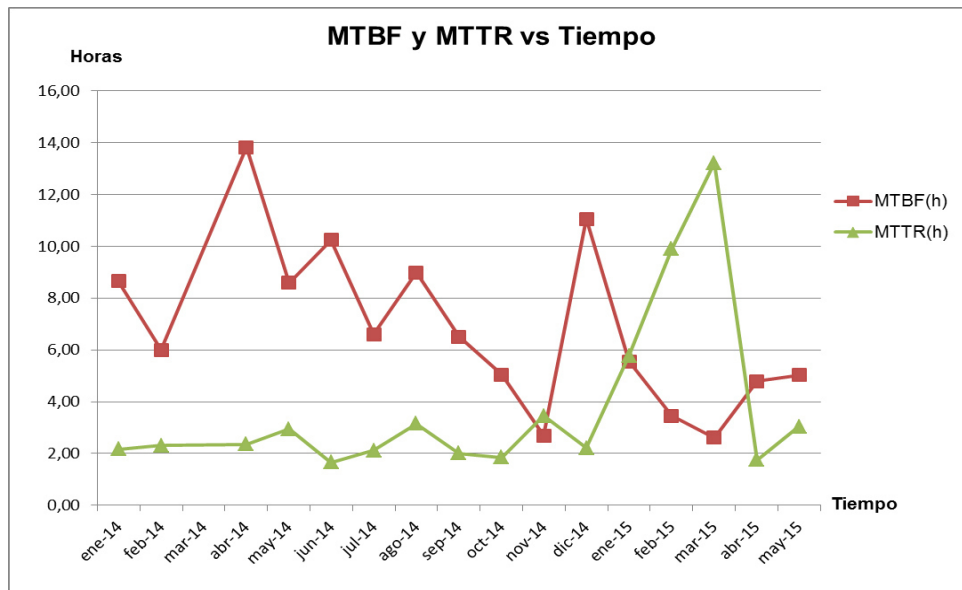


Figura 4.6: MTBF y MTTR vs Tiempo

### 4.3. Cálculo de Efectividad Global del Equipo

Se procede a determinar la Efectividad Global de la cosechadora crítica mes a mes, se presenta como ejemplo de cálculo el indicador hallado para el mes de Enero de 2014.

El Tiempo de Funcionamiento viene dado por:

Luego se calcula el Tiempo de Operación, cabe recordar que la empresa no cuenta con data registrada de los tiempos de preparación de equipo; sin embargo, se estimará que por cada 8 horas de funcionamiento se requiere 0.5 horas de preparación de la máquina ósea aproximadamente el 7% del tiempo total de funcionamiento se destina a preparación del equipo.

Posteriormente se calcula el Tiempo de Operación Neta

Luego se calcula del Tiempo de Operación Útil

Más adelante se calcula el Tiempo Productivo Neto, cabe resaltar que el Tiempo Perdido por Defectos es nulo en este caso debido que al margen de la calidad de la caña procesada toda es procesada por la planta de producción de Etanol.

Se calcula los parámetros que componen el OEE

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Finalmente se calcula la Efectividad Global del Equipo:

Tiempo Calendario = 31x24 = 744 horas	
Tiempo de Funcionamiento = 349,52	
Tiempo de Operación = 325,05	
Tiempo de Operación Neta = 268,21	
Tiempo de Operación Utilizable = 236,07	
Tiempo Productivo Neto = 236,07	

Figura 4.7

Tabla 4.5

	Tiempo Calendario (h)	Tiempo de Paradas Planificadas (h)	Tiempo de Funcionamiento (h)	Tiempo de Preparación de Equipo(h)	Tiempo de Operación (h)	Tiempo de Paradas No Programadas (h)	Tiempo de Operación Neta(h)	Tiempo Perdido por Operación (h)	Tiempo de Operación Utilizable(h)	Tiempo Perdido por Defectos (h)	Tiempo Productivo Neto(h)	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Efectividad Global de Equipo(OEE)
ene-14	744	394,48	349,52	24,47	325,05	56,84	268,21	32,14	236,07	0	236,07	76,7%	88,0%	100,0%	67,5%
feb-14	672	98,81	573,19	40,12	533,07	99,55	433,52	111,72	321,80	0	321,80	75,6%	74,2%	100,0%	56,1%
mar-14	744	0	744	52,08	691,92	0	691,92	0	691,92	0	691,92	93,0%	100,0%	100,0%	93,0%
abr-14	720	181,05	538,95	37,73	501,22	18,79	482,43	49,16	433,27	0	433,27	89,5%	89,8%	100,0%	80,4%
may-14	744	185,43	558,57	39,10	519,47	97,95	421,52	116,51	305,01	0	305,01	75,5%	72,4%	100,0%	54,6%
jun-14	720	149,38	570,62	39,94	530,68	43,23	487,45	86,75	400,70	0	400,70	85,4%	82,2%	100,0%	70,2%
jul-14	744	207,73	536,27	37,54	498,73	74,95	423,78	39,66	384,12	0	384,12	79,0%	90,6%	100,0%	71,6%
ago-14	744	304,6	439,4	30,76	408,64	70,55	338,09	77,41	260,68	0	260,68	76,9%	77,1%	100,0%	59,3%
sep-14	720	188,36	531,64	37,21	494,43	70,58	423,85	87,96	335,89	0	335,89	79,7%	79,2%	100,0%	63,2%
oct-14	744	141,74	602,26	42,16	560,10	96,4	463,70	116,51	347,19	0	347,19	77,0%	74,9%	100,0%	57,6%
nov-14	720	130,49	589,51	41,27	548,24	231,54	316,70	51,99	264,71	0	264,71	53,7%	83,6%	100,0%	44,9%
dic-14	744	173,21	570,79	39,96	530,83	59,53	471,30	82,44	388,86	0	388,86	82,6%	82,5%	100,0%	68,1%
ene-15	744	224	520	36,40	483,60	182,77	300,83	123,98	176,85	0	176,85	57,9%	58,8%	100,0%	34,0%
feb-15	672	355,66	316,34	22,14	294,20	70,28	223,92	74,08	149,84	0	149,84	70,8%	66,9%	100,0%	47,4%
mar-15	744	685,48	58,52	4,10	54,42	20,56	33,86	7,42	26,44	0	26,44	57,9%	78,1%	100,0%	45,2%
abr-15	720	190,56	529,44	37,06	492,38	92,56	399,82	127,02	272,80	0	272,80	75,5%	68,2%	100,0%	51,5%
may-15	744	87,04	656,96	45,99	610,97	191,24	419,73	40,4	379,33	0	379,33	63,9%	90,4%	100,0%	57,7%

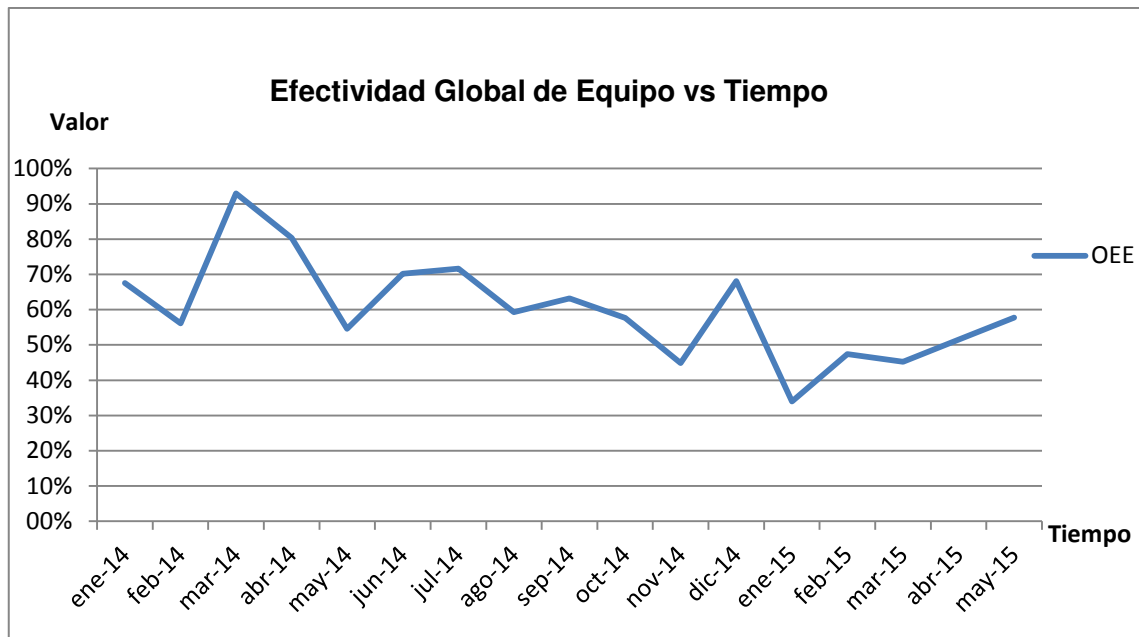


Figura 4.8: Efectividad Global del Equipo vs Tiempo

#### 4.4. Plan de Mantenimiento Propuesto

En base al modo de falla crítico se propone una serie de medidas con las cuales la empresa podrá mejorar la disponibilidad mecánica de su flota. Asimismo, se hace un repaso de la situación actual, de los planes de Mantenimiento con los que cuenta la empresa para el referido componente de tal forma que este pueda ser optimizado.

Finalmente se genera una Orden de Trabajo de la lista de tareas propuestas, mediante la cual se pueda lograr mejores resultados y más rápidamente.

##### 4.4.1. Motor del Rodillo Tumbador

El motor del Rodillo Tumbador es un motor de Anillo Dentado (*Geroller* o *Char-Lynn*) de 393,8 cm<sup>3</sup>/rev de capacidad, teniendo una velocidad de trabajo de 100 RPM, los rodillos son accionados por 1 par de los citados motores, los cuales como ya se comentó a mayor detalle en el primer capítulo se encargan de direccionar la caña y de darle un grado de inclinación adecuada.



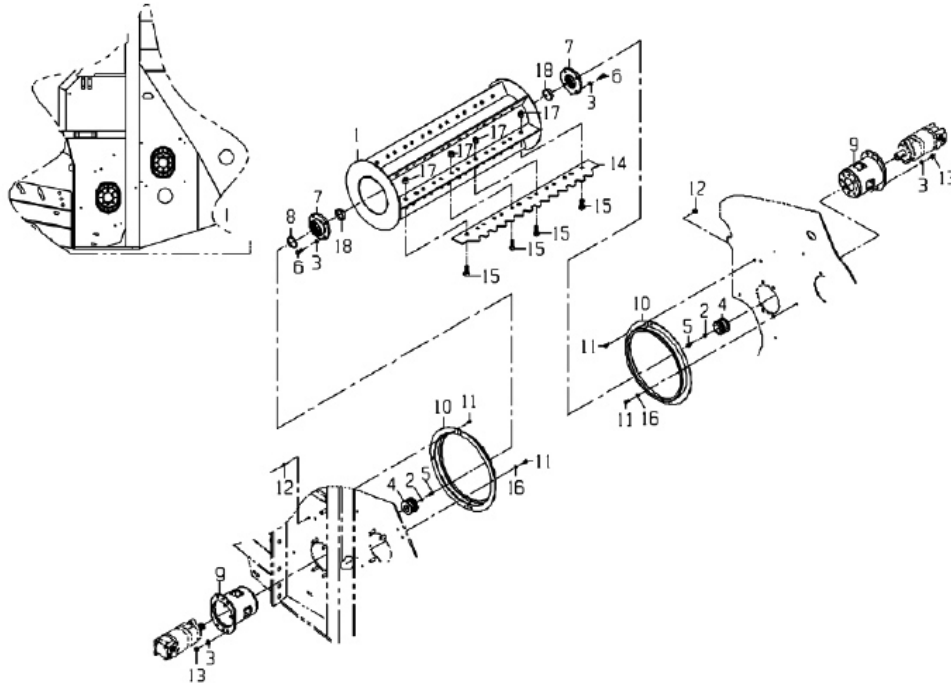


Figura 4.9: Detalle de la ubicación del motor (13) con respecto al resto de los componentes del Sistema de Tumbado de la Cosechadora. [33]

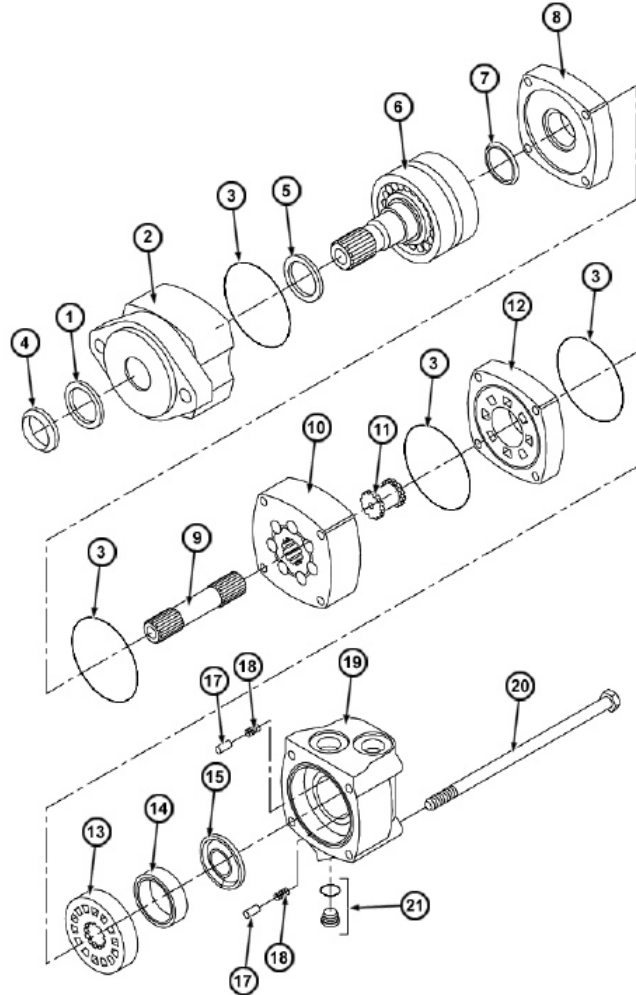
#### 4.4.1.1. Situación Actual

La reparación de este componente está dentro del Plan de Mantenimiento de 3000 horas con el que cuenta la empresa. Las fallas más comunes que se reportan son las de rotura del eje dentado y rotura de sellos, daños como desgaste de la carcasa son menos comunes. Asimismo, no se analizan fallas que puedan ser originados en otros componentes pero que se pueden manifestar en el motor.

#### 4.4.1.2. Propuestas

Para el Área de Mantenimiento:

- En caso de presentarse falla en los Ejes Dentados aplicar Análisis Fractográfico con el fin de determinar las causas de la falla (Sobrecargas, Diseño Inadecuado, Ambiente Agresivo). En la figura 4.10 se puede observar los sellos (retenes) y los ejes dentados con los que cuenta el motor.



- |                         |                            |                            |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 20. Tornillos de Unión  | 6. Conjunto Eje Rodamiento | 7. Reten                   |
| 19. Caja                | 1. Reten                   | 15. Reten Frontal exterior |
| 13. Válvula             | 3. Reten                   | 16. Reten Frontal interior |
| 14. Anillo              | 4. Reten                   |                            |
| 12. Placa de la Válvula | 5. Reten                   |                            |
| 13. Válvula             |                            |                            |

Figura 4.10: Vista Explosionada del Motor del Rodillo Tumbador [33].

- En caso de presentarse falla en el Motor realizar análisis de aceite, teniendo especial énfasis en la cantidad de partículas de hierro disueltas en este, ya que esto evidenciaría un desgaste acelerado de algunas partes metálicas críticas (eje dentado). En la figura 4.11 se puede apreciar que dependiendo de la presencia de determinado compuesto se puede determinar que componente sufre mayor desgaste.

Hidráulico	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Cojinetes	X	X	X				X		
Taladrado y Bielas	X					X			
Bujes		X							
Cilindros	X		X						
Cojinetes anti-fricción	X								
Empaquetaduras				X					
Engranajes	X								
Guías		X							
Tierra					X				
Motores	X			X					
Aditivos					X			X	
Enfriador de Aceite		X							
Pistones	X	X							
Bombas	X			X					
Bielas	X					X			
Válvula de carrete	X	X				X			
Placas de empuje		X							
Válvulas	X								
Aletas	X								

Figura 4.11: Origen de Partículas Metálicas en el Sistema Hidráulico [34].

- En caso de presentarse falla desgaste acelerado en los sellos, realizar un seguimiento al tiempo de vida de los mismos, temperaturas de aceite demasiado elevadas tienden a reducir el tiempo de vida de los sellos lo cual podría ser evidencia de una falla no del motor en sí, sino en el sistema de enfriamiento (Paquete de Enfriamiento) pero que indirectamente lo afecta. La temperatura del sello es crítica, si esta llega a ser demasiado elevada en este pueden llegar a presentarse fisuras o grietas que conducirán a una pérdida de la estanquidad o hermeticidad.

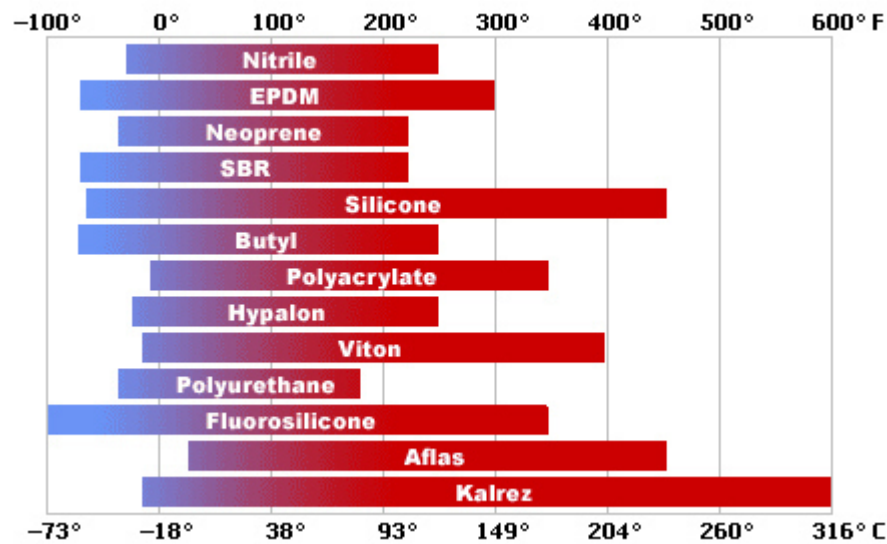


Figura 4.12: Temperatura de Trabajo permitida en función al material del sello utilizado [35].

- En caso que el componente falle tener en cuenta que el desgaste depende del tamaño de las partículas erosivas, se propone utilizar un filtro de mayor micraje (superior a 10 micras) para que de esta forma se reduzca la cantidad y el tamaño de partículas contaminantes que puedan llegar a efectuar desgaste erosivo en la Carcasa del Motor.
- En caso de presentarse falla recurrentes verificar la que la velocidad de trabajo del motor sea la óptima, una forma de poder conocer si un equipo rotativo está trabajando correctamente sin necesidad de detener la máquina es midiendo su velocidad de giro lo cual se logra por medio de un Tacómetro, este sensor óptico puede medir la velocidad rotativa mediante un haz de luz, existen dispositivos que pueden medir hasta una distancia de 8 metros, lo cual podría ser útil considerando el difícil acceso que tienen los rodillos tumbadores desde el exterior.

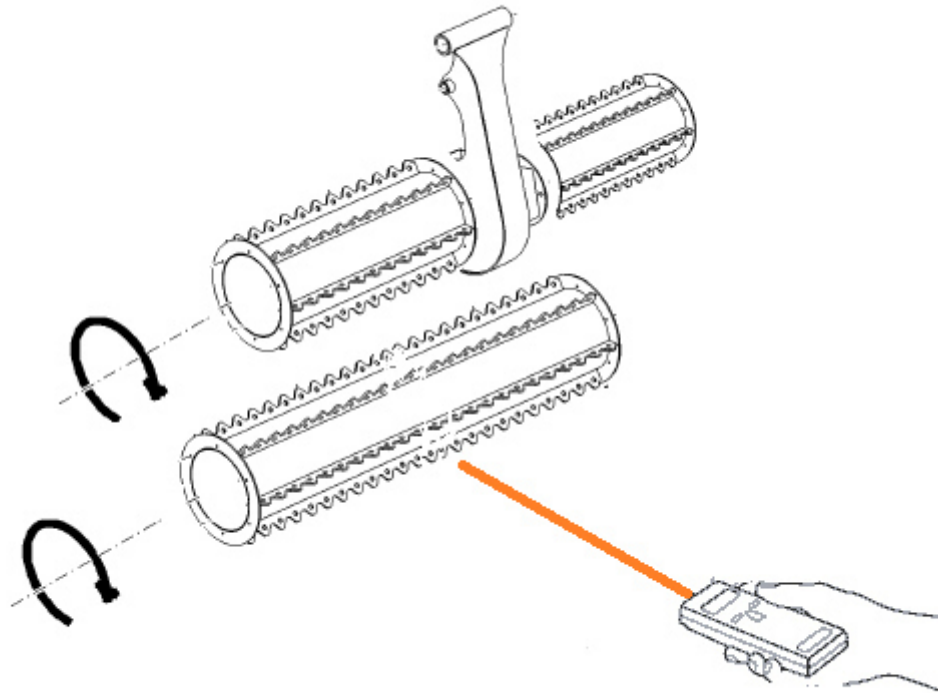


Figura 4.13: Representación esquemática del funcionamiento del Tacómetro durante el giro de los Rodillos.

- En caso de presentarse fallas recurrentes en los componentes verificar la temperatura de trabajo, mediante la utilización de Sensores Termograficos se podría analizar fallas del motor, cabe recordar que cuando los componentes mecánicos se desgastan tienden a disipar mayor cantidad de calor, por lo cual los equipos aumentan su temperatura de funcionamiento fuera de lo normal antes de llegar al punto de avería.
- Tener especial cuidado al momento de cambiar los sellos, ya que si se da el caso que los centros del eje y del alojamiento del retén están desalineados entonces se reducirá la vida del sello debido a que el desgaste se concentrará en uno de los lados del labio. En el Anexo 7 se presenta la secuencia de desmontaje del Motor del Rodillo Tumbador.

Para el Área de Operación:

- Realizar Mantenimiento Autónomo a una frecuencia de 1 vez por semana mediante recubrimiento de solución jabonosa sobre los Paquetes de Enfriamiento para detectar posibles fugas, de manera que se pueda mantener la temperatura del aceite a una temperatura adecuada y de esta forma alargar el tiempo de vida de los sellos del Motor del Rodillo.
- Realizar un seguimiento continuo del componente para detectar señales de anomalías tales como sobrecalentamiento o ruidos extraños.

#### 4.4.1.3. Orden de Trabajo Propuesta

La orden de trabajo se enfocará en dejar que el componente cumpla su ciclo de vida y falle para tratar de encontrar la causa de la misma mediante análisis de causa raíz.

Esto se logrará a partir del seguimiento y establecimiento de parámetros de funcionamiento regulares tales como temperatura, velocidad de giro de los rodillos y en el seguimiento del tiempo de vida de componentes críticos tales como los sellos.

Una vez que se encuentre la causa de la falla se trabajara en implementar mejoras dependiendo del origen de la falla.

Tabla 4.6

	Titulo	Orden de Trabajo de Mantenimiento		
	Area	Cosecha-Mantenimiento		
	Responsable	Jefatura de Mantenimiento		
	Trabajo	Reemplazo de componente averiado y analisis de la causa de la falla		
<b>1 Datos de la Orden de Trabajo de Mantenimiento</b>				
Tipo de Orden de Trabajo	Análisis Causa Raiz	Frecuencia	En caso de falla del componente	
<b>2 Datos del Equipo</b>				
Nombre	Cosechadora de Caña	Marca	John Deere	
Modelo	3520	Numero	12	
<b>3 Datos del Componente</b>				
Sistema	Tumbado	Componente	Motor del Rodillo Tumbador	
<b>4 Fechas</b>				
Fecha de Emisión		Hora	Duración	
Fecha de Inicio		Hora	Horómetro	
Fecha de Finalización		Hora	Horómetro	
<b>5 Personal Requerido</b>				
Operador del Equipo				
2-3 Técnicos Mecánicos				
<b>6 Descripción del Trabajo</b>				
N	Descripción de la Secuencia			Tiempo Estimado(h)
1	Una vez que el componente a fallado, apagar el equipo.			0,03
2	Etiquetar todas las mangueras que van hacia los Motores de los Rodillos.			0,4
3	Desconectar las mangueras, tapar los racores y mangueras para evitar que entre suciedad a los mismos.Tomar muestras de aceite para buscar causas de desgaste.			0,5
4	Quitar las tuercas y arandelas de seguridad que sirven de unión entre el motor y el Rodillo.Sujetar el Rodillo y quitar el tazón del motor y los motores.			0,54
5	Una vez extraído el motor, sacar los 4 Tornillos de Unión y separar la Caja del resto del Motor.			0,47
6	Retirar la Válvula,el Anillo y separar la Válvula de la Placa de la misma.			0,4
7	Sacar el Eje de Transmisión.Retirar el Conjunto Eje Rodamiento de la Caja.			0,33
8	Inspeccionar los Ejes de Transmisión y reemplazarlos en caso de indicios de daño.Realizar Analisis Fractografico a los mismos.			0,2
9	Retirar y Cambiar los Sellos en caso de indicios de desgaste.Analizar los mismos.			0,3
10	Una vez reemplazado el componente dañado realizar monitoreo de la velocidad de giro del rodillos.			0,2
11	Realizar un monitoreo de la temperatura de trabajo del Motor con el sensor Termografico.			0,2
12	En caso de encontrarse velocidad de giro fuera de lo normal o tempraturas de trabajo anomalas en el motor proceder analizar otras posibles causales de falla aparte de las propuestas.			1
<b>7 Suministros</b>				
N	Código	Descripción	Cantidad	
		Llaves y Tapones para Manguera	Variable	
		Tacometro y Sensor Termografico	1 c/u	
		Sellos del Motor	6	
<b>8 Servicio de Terceros</b>				
N	Servicio	Descripción	Empresa	
		Ninguno		
<b>9 Responsables</b>				
Emitido por:		Recibido por:	Creada por:	
Jefe de Mantenimiento		Técnico Mecánico	Christian Huancaya Mena	

#### 4.5. Análisis Técnico del Plan

Para el Periodo de Análisis de la flota se presenta los siguientes indicadores:

Tabla 4.12: Indicadores de Clase Mundial de la Flota para los Últimos 17 meses

	Tiempo de Paradas(h)	Número de Paradas	Tiempo de Operacion(h)	MTBF(h)	MTTR(h)	Disponibilidad Mecánica
Actual	35497,16	6389	34084,9	5,33	5,56	48,99%

Tabla 4.13: Tiempo Destinado a Fallas Actualmente

Componente	Confiabilidad Actual(%)	Tiempo Requerido para Reparar Falla(h)	Número de Fallas Actualmente	Tiempo Destinado a Fallas Actualmente(h)
Motor del Rodillo Tumbador	42%	5	23	115

En la tabla 4.13 se presenta el tiempo que se destina actualmente para la reparación del modo de falla crítico en el componente citado, con el valor de confiabilidad actual.

Tabla 4.14: Tiempo estimado destinado a Fallas en caso de incrementarse la confiabilidad del componente

Componente	Confiabilidad Estimada(%)	Tiempo Requerido para Reparar Falla(h)	Número de Fallas Estimadas	Tiempo Destinado a Fallas Estimado(h)
Motor del Rodillo Tumbador	70%	5	12	60

En la tabla 4.14 se presenta el tiempo que se destinaría para el cambio de componentes que fallen en caso se incrementara la confiabilidad del componente estudiado.

El tiempo de operación adicional que podría ganar la flota es de 55 horas, en el mejor de los casos, se debe de considerar que al introducir horas de operación se corre el



riesgo que ocurran nuevas fallas. Asimismo, se podría reducir el número de paradas no programadas en hasta 12.

Se debe de tomar en cuenta que la empresa no tiene planes de expansión en el corto plazo, no ha adquirido nuevas hectáreas de cultivo ni se han comprado nuevo equipos para la flota motivo por el cual sus programas de cosecha se mantienen. En otras palabras se planea cosechar la misma cantidad de caña para el mismo periodo de tiempo. A partir de donde se obtiene:

Con lo que se obtienen los indicadores estimados de la flota para los siguientes 17 meses.

Tabla4.15: Indicadores de Clase Mundial de la Flota para los próximos 17 meses

	Tiempo de Paradas(h)	Número de Paradas	Tiempo de Operacion(h)	MTBF(h)	MTTR(h)	Disponibilidad Mecánica
Estimado	35442,16	6378	34139,9	5,35	5,56	49,06%

Asimismo, el rendimiento actual de la flota viene calculado por:

$$\frac{n(s)}{as}$$

En la tabla A8.1 (Anexo 8) se presenta la cantidad de caña cosechada para el periodo analizado, lo cual viene a ser la producción real. En las tablas A8. 2 y A8.3 (Anexo 8) se tiene la capacidad de cosecha por equipo y el tiempo de Paradas No Programadas a partir de donde se obtiene la Posible Producción (sin fallas)(Tabla A8.4)(Anexo 8).

Asimismo, se sabe que hay un incremento de horas de operación estimado de 55 horas en las cuales se puede aprovechar para realizar labores de cosecha. Además se sabe a partir de la tabla A8.2 (Anexo 8) que la capacidad promedio de los equipos es de 36,79 t/h, a partir de donde se puede estimar la cantidad de caña adicional que se podría cosechar.

	$n(s)$	$as)$
$(1 \quad 79) + (787$		$79)$

#### 4.6. Análisis Económico del Plan

Partiendo del estimado de que la flota trabajará durante 34 139,9 horas durante los próximos 17 meses se estima que se podría reducir el número de veces que fallara el componente hasta en 12.

Tabla 4.16: Número de veces estimadas que se debe de realizar el mantenimiento para los próximos 17 meses.

Componente	Trabajo	Numero de Veces Estimadas
Motor del Rodillo Tumbador	Monitoreo y Analisis Causa Raiz	12

En base al estimado del número de veces que se realizaran los trabajos requeridos se proyecta los costos generales (repuestos, equipos requeridos y consumibles) tal como se muestra en la tabla 4.17 y se proyectan los costos de mano de obra tal como se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.17: Costo de Equipos, repuestos y consumibles para los próximos 17 meses

Componente	Trabajo	Repuesto o servicio requerido	Cantidad	Unidad	Costo Unitario(USD)	Costo general (USD)
Motor del Rodillo Tumbador	Monitoreo y Analisis Causa Raiz	Análisis de Aceite	12	unid	20	240
		Sellos	8	unid	91,59	732,7
		Eje Dentado	2	unid	111,23	222,5
		Acople de Eje	2	unid	28,63	57,3
		Tacometro	1	unid	101,9	101,9
		Sensor Termografico	1	unid	1400	1400

El detalle de los costos de los repuestos de encuentran en la figura A9.2 (Anexo 9).

Tabla 4.18: Costo de Mano de Obra para los próximos 17 meses

Componente	Trabajo	Tiempo requerido(h)	Número de veces estimadas que fallara	Tiempo Total que se requerira(h)	Número de Operario Requeridos	Costo horario del Operario(USD/h)	Costo de Mano de Obra(USD)
Motor del Rodillo Tumbador	Monitoreo y Analisis Causa Raiz	4,5	12	54	3	2,6	421,2

En la tabla A9.1 (Anexo 9) se muestra el consumo de combustible por tonelada de caña cosechada que asciende a 0,32 galones/t, en la tabla A9.2 (Anexo 9) se observa el precio del combustible (Diesel B6 en Piura) el cual asciende a 2,62 USD /galón.

Además se sabe que con las mejoras se espera obtener 2023,45 toneladas de caña adicionales a la producción actual.

Se calcula la cantidad de combustible adicional que se requerirá por las horas de operación extra.

$$(In \quad o) \left( \quad \right) \left( \quad \right)$$

$$(2023 \ 45)(0 \ 32)(2 \ 62)$$

Tabla 4.17: Resumen de Costos de Combustible requerido para los próximos 17 meses

Capacidad Nominal(t/h)	36,79
Incremento (t)	2023,45
Consumo de Combustible(g/t)	0,32
Precio de Combustible(USD/g)	2,62
Costo de combustible(USD)	1696,46

Asimismo del Figura A9.1 (Anexo 9) se puede obtener el valor del precio internacional del galón de etanol al 3 de diciembre de 2015, el cual es de 1,46 USD /galon. Además, se sabe que la planta de la empresa obtiene 0,08 m<sup>3</sup> etanol por tonelada de caña que procesa y que el costo de conversión es de 155,91 USD/ m<sup>3</sup> etanol.

Tabla 4.18: Resumen de Costos Producción de Etanol

Precio de Venta Etanol (USD/galon)	1,46
Precio de Venta Etanol (USD/m3 etanol)	384,21
Capacidad de Conversion de Planta (m3 etanol/t)	0,08
Precio de Venta (USD/ t)	30,74
Costo Conversión( USD / m3 etanol)	155,91
Costo Conversión( USD / t)	12,47
Precio venta por tonelada(USD/t)	30,74
Ganancia por tonelada(USD/t)	18,27

$$\left( \text{por } da \right) - \left( \right)$$

Una vez obtenida la ganancia por tonelada se procede a hallar la utilidad:

$$\left( \right) (In nto) - \left( \right) - (Cos ible)$$

$$(18 27)(20 45) - (3175 6) - (1696 46)$$

Con la implementación de la optimización del plan de Mantenimiento se lograría una utilidad de hasta 32 096,37 dólares americanos para los próximos 17 meses con lo cual se justificaría desde el punto de vista económico.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto de mejora de la disponibilidad y confiabilidad operacional, mejora la toma de decisiones de mantenimiento lo cual se refleja en un incremento de la disponibilidad mecánica de la flota y en la confiabilidad del componente crítico. Asimismo, podría incrementar el rendimiento actual de la flota.

Con el plan de mantenimiento que cuenta la empresa el rendimiento de la producción es de 1 278 167 toneladas de caña en los últimos 17 meses, con el desarrollo del proyecto de mejora se podrá llegar hasta 1 280 190,45 toneladas de caña para los próximos 17 meses.

Con el proyecto de mejora se podrá generar ganancias de hasta UDS en los siguientes 17 meses.

La Curva de Tasa de Fallas vs Tiempo del Motor del Rodillo Tumbador nos arrojó un parámetro de forma  $\beta < 1$ , lo cual es preocupante ya que es probable que los componentes del equipo tengan defectos de diseño o de fabricación, pero también podría darse el caso de que se esté realizando un mal montaje de los componentes. Se propone que la empresa abandone los mantenimientos preventivos de cada 3000 horas que se le da al componente y dejar que el mismo falle para aplicar un análisis causa raíz para detectar el origen de las mismas.

Se diseñó un modelo para levantar información en el cual se revisó, ordenó y clasificó toda la información referida a mantenimiento y operación de la flota de cosechadoras para el periodo analizado (17 meses) de manera que esta pudiese ser analizada y trabajada.

Se desarrolló un método para comparar rendimientos en el cual se definió y cuantificó los parámetros de comparación para los distintos equipos de la flota en base a los requerimientos y prioridades de la empresa de forma que se pueda encontrar el equipo crítico de manera tal que se pueda direccionar los recursos de la misma para obtener mejores resultados.

Se desarrolló un método personalizado del AMFE mediante el cual se aporta a la empresa una herramienta importante para direccionar sus recursos en anticiparse a las fallas más graves, se logró analizar 178 modos de fallas correspondiente a la

cosechadora crítica para un periodo de operación de 17 meses, se espera que pueda servir de modelo para un trabajo similar para toda la flota.

Se desarrolló un modelo para calcular la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de la flota de cosechadoras, el cual puede servir como base para un trabajo más amplio para toda la flota de la empresa y para otras compañías que se encuentren en el mismo rubro.

Se optimizó el Plan de Mantenimiento con el que cuenta la empresa de modo que permite mejorar el rendimiento de su producción y la implementación del mismo es justificada desde el aspecto técnico y económico.



## RECOMENDACIONES

Mejorar la descripción de las fallas funcionales, el modo y efectos de la falla, diferenciando el tiempo que toma detectar la falla y el tiempo que toma repararla. Esto daría como resultado la elaboración de un Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMEF) más fiable.

Hay paradas que involucran varios tipos de fallas, en estos casos se debe de diferenciar cuanto tiempo tomó detectar y reparar cada una de estas fallas por separado, esto dará como resultado data más fiable a partir de la cual se pueda trabajar.

La empresa debería adoptar la política de diferenciar el tiempo que toma hacer llegar determinado repuesto al lugar de la avería del equipo que toma realizar la reparación como tal, esto con el fin de obtener data más fiable para analizar.

Para la realización de un Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMEF) más completo se recomienda tomar en cuenta no solo el historial de fallas que ocurrieron para el periodo de tiempo analizado para la Cosechadora Crítica sino que se debería de tomar en cuenta el historial de fallas de toda la flota y asimismo las fallas que aún no han ocurrido pero que existe la posibilidad de que sucedan.

Se recomienda involucrar a los operarios en la práctica de realizar mantenimiento preventivo al equipo que manejan para un adecuado control y de esa forma anticiparse a las fallas.

Se recomienda abandonar la clasificación de fallas actual que se maneja en la empresa, la cual divide las fallas en mecánico, hidráulico, eléctrico y estructural, y adoptar la clasificación por sistemas (División de Cosecha, Corte de Base, etc.) tal como se presenta en el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMEF). Con esta nueva clasificación se logra un análisis más ordenado y permitirá una localización más rápida de las fallas.

Las propuestas de mejora son trabajos preliminares o propuestas iniciales, se necesitan especialistas en cada área y por ende se recomienda consultar con personal especializado en cada uno de los campos analizados.



## BIBLIOGRAFÍA

[1]MOUBRAY, John

2004 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Buenos Aires/Madrid: Ellmann, Sueiro y Asociados.

[2]CAÑA BRAVA

Quiénes Somos. Consulta: 7 de agosto de 2015

<http://www.canabrava.com.pe/nosotros/quienes-somos>

[3]MINISTERIO DE AGRICULTURA

2013 Caña de Azúcar: Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva. Consulta: 8 de agosto de 2015

[http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia\\_canaazucar.pdf](http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia_canaazucar.pdf)

[4]GENERACION

La Caña de Azúcar. Consulta: 8 de agosto de 2015

<http://www.generacion.com/magazine/73/cantildea-que-da-miel-sin-abejas>

[5]SANGUEZA, Eugenio

2009 “Agroetanol ¿un combustible ambientalmente amigable? “Interciencia. Caracas, año 2, volumen 34, pp. 106-112. Consulta: 9 de agosto de 2015.

<http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v34n2/art07.pdf>

[6]VASQUEZ, José

2008 Perspectivas en Biocombustibles [diapositiva 8].Consulta: 17 de agosto de 2015

<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2008/Lambayeque/EER-Lambayeque-JAVasquez.pdf>

[7]ECSA Ingenieros

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Agroindustrial COMISA Primera Etapa. Consulta: 9 de agosto de 2015.

<http://www.ecsa.com.pe/proyectos/produccion/estudio-de-impacto-ambiental-del-proyecto-agroindustrial-comisa-primera-etapa/206/>

[8]KERR, Bill y Ken BLYTH

1993 They're All Half Crazy: 100 Years of Mechanical Cane Harvesting. Brisbane: Cranegrowers, Consulta: 15 de agosto de 2015

[http://www.canegrowers.com.au/icms\\_docs/188386\\_Theyre\\_all\\_half\\_crazy\\_historical\\_Australian\\_sugarcane\\_industry.pdf](http://www.canegrowers.com.au/icms_docs/188386_Theyre_all_half_crazy_historical_Australian_sugarcane_industry.pdf)

[9]AUSTRALIAN SCREEN

An Australian Invention: Falkine Cane Harvester in Operation. Consulta: 15 de agosto de 2015

<http://aso.gov.au/titles/sponsored-films/an-australian-invention/clip1/#>

[10]Mechanical Sugarcane Harvesting. Consulta: 23 Abril de 2015

[http://www.sasa.org.za/Libraries/sasri\\_gen/Mechanical\\_Sugarcane\\_Harvesting.sflb.ashx](http://www.sasa.org.za/Libraries/sasri_gen/Mechanical_Sugarcane_Harvesting.sflb.ashx)

[11] Sugarcane Harvester – RCS. Consulta 28 de Octubre de 2015

<http://www.machines-simon.com/en/our-machines/special-machines/sugar-cane-harvester/193-sugar-cane-harvester.html>

[12] CAÑA BRAVA

2011 Siembra y Cosecha de la Caña de Azúcar

[13] DEERE & COMPANY

2008 Manual del Operador Cosechadora de Caña de Azúcar John Deere 3520.Thibodaux.

[14] DEERE & COMPANY

2015 Cosechadora 3520. Consulta: 17 de agosto de 2015

[https://www.deere.com/es\\_LA/products/equipment/sugarcane\\_harvester/harvester\\_3520/harvester\\_3520.page#viewTabs](https://www.deere.com/es_LA/products/equipment/sugarcane_harvester/harvester_3520/harvester_3520.page#viewTabs)

[15] JOHN DEERE THIBODAU

2013 Diagnostic Technical Manual 3520 Sugar Cane Harvester Diagnosis and Tests

[16] CATÁLOGO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO

2010 COLHEDORA DE CANA DE AÇUCAR 3520,3522

[17] FIGUEROA, Jenny

1963 Thesaurus. Boletín del Instituto Caro y Cuervo. Centro Virtual Cervantes

[18] JOHN DEERE BRASIL

2013 Colhedora de Cana John Deere 3520 & 3522 Divisores de Linhas e Tombadores [Diapositivas 2-4]. Consulta: 18 de agosto de 2015

<http://slideplayer.com.br/slide/1449819/>

[19] JOHN DEERE BRASIL

2008 Colhedora de Cana 3520 Divisores de Linha / Tombadores [Diapositiva 1].  
Consulta: 18 de agosto de 2015

<http://es.slideshare.net/JEFERSONPIRES2012/3-divisor-de-linha?related=1>

[20] JOHN DEERE BRASIL

2015 Colhedora de Cana John Deere 3520 & 3522 Divisores de Linhas e Tombadores [Diapositiva 7]. Consulta: 19 de agosto de 2015

<http://docslide.com.br/documents/colhedora-de-cana-john-deere-3520-3522-divisores-de-linhas-e-tombadores.html>

[21] JOHN DEERE

2008 Ajustes de la Cosechadora [Diapositiva 8].

[22] JOHN DEERE BRASIL

2015 Colhedora de Cana John Deere 3520 & 3522 Corte de Base [Diapositiva 4-14].  
Consulta: 19 de agosto de 2015

<http://docslide.com.br/documents/colhedora-de-cana-john-deere-3520-3522-corte-de-base.html>

[23]BRAUNBECK, Oscar

Colheita de Cana de Acucar com Auxilio Mecanico. Consulta:2 de Noviembre de 2015

<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30121.pdf>

[24] Colhedora de Cana John Deere 3520 & 3522 Rolos Alimentadores [Diapositiva 5].Consulta 2 de Noviembre de 2015.

<http://slideplayer.com.br/slide/2865674/>

[25] JOHN DEERE BRASIL

2013 Colhedora de Cana John Deere 3520 & 3522 Extrator Primário[Diapositiva 4].Consulta 4 de Noviembre de 2015.

<http://slideplayer.com.br/slide/7293441/>

[26]CURRO, Enzo

2013 Colhedora de Cana John Deere 3520 Material Rodante [Diapositivas 2 y 6].Consulta 5 de Noviembre de 2015

<http://slideplayer.com.br/slide/3136780/>

[27] JOHN DEERE BRASIL

2008 Colhedora de Cana John Deere 3520 Motor [Diapositiva 28].Consulta 5 de Noviembre de 2015.

<http://pt.slideshare.net/JEFERSONPIRES2012/12-motor>

[28] CASTELLANOS, Luis

2015 “Después de la Implantación”. Desarrollo de Sistemas de Información Bajo Enfoque Elemental. Maracaibo: Ediciones LC, pp.50-61. Consulta: 27 de Octubre de 2015.

<https://desarrollodesistemas.wordpress.com/tag/mantenimiento-de-sistemas/>

[29]MADRIGAL, Elizabeth

2004 Estimación e Inferencia de los Parámetros de la Distribución Hockey Stick, tesis de Maestría. Puebla: Universidad de las Américas, Ciencias con Especialidad en Ingeniería Industrial.Consulta:28 de Noviembre de 2015

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meii/madrigal\\_l\\_e/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meii/madrigal_l_e/capitulo2.pdf)

[29]DEL ROSARIO, Raúl

s/f Los Conductores Eléctricos Parte 1 [Diapositiva 2]. Consulta: 22 de septiembre de 2015

[30] GARCIA, Robert

2013 Mejoramiento de la disponibilidad y confiabilidad mecánica de un molino de secado en una planta de etanol de ciclo combinado y cogeneración, tesis de Bachillerato .Lima: PUCP, Ciencias e Ingeniería.

[31]COLLANTES, Jaime

2015 Curso Optimización de Decisiones de Mantenimiento. Consulta: 1 de diciembre de 2015.

[32] ALTMANN, Carolina

2015 La Efectividad de las Actividades de Mantenimiento. Consulta: 1 de mayo de 2016.

[33] DEERE & COMPANY

2011 Manual Técnico de Reparación de Cosechadora de Caña de Azúcar 3520 y 3522.Thibodaux.

[34] WIDMAN INTERNATIONAL SRL

2016 Origen de las Partículas Metálicas en el Sistema Hidráulico. Consulta:18 de abril de 2016.

<http://www.widman.biz/Analisis/tablas.html>

[35] WEB SEAL INC.

2016 Material Temperature Guide.Consulta:19 de abril de 2016

[http://www.websealinc.com/oring\\_temperatures.html](http://www.websealinc.com/oring_temperatures.html)