

---

FACULTAD  
DE INGENIRÍA

DPTO. INGENIERÍA  
MECÁNICA

VÍAS PARA LA INTRODUCCIÓN DE  
MEJORAS AL SISTEMA DE  
MANTENIMIENTO DE LA  
COSECHADORA DE CAÑA CCA-5000.

TESIS PRESENTADA EN OPCIONAL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Autora: Susana Figueredo Álvarez

Tutor: Dr. C Fernando D. Robles Proenza.

Curso 2017-2018

HOLGUÍN 2018





*" En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana."*

*Che*

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que hicieron posible la culminación de este trabajo y que creyeron en mí.

## RESUMEN

El presente Trabajo de Diploma aborda los fundamentos esenciales para obtener un Sistema de Mantenimiento alternativo, aplicable a la Cosechadora de Caña CCA-5000, con el objetivo de favorecer una alta confiabilidad de esta máquina. Este análisis se apoyó en el estudio de las insuficiencias detectadas en las etapas de pruebas de la cosechadora, en las zafras 2013/2014 y 2014/2015. Son utilizadas herramientas actuales de clase mundial de la Ingeniería del Mantenimiento, que incluye el uso de métodos como, Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMEF) y Análisis de Causa Raíz (ACR). El estudio aporta vías para implementar estas herramientas en la Cosechadora de Caña CCA-5000, proponiendo también, acciones preliminares para la introducción del control vibratorio, que por la complejidad de esta máquina, requerirá de otros estudios posteriores.

## ABSTRACT

The present work expose the essential foundations to get a maintenance system alternative, applicable to sugar cane's harvester CCC-5000, for favoring to the reliability of this machine. This analysis backed up in the study of insufficiencies detected in the stages of proofs of that harvester, in the sugar cane harvests 2013/2014 and 2014/2015. Tools of worldwide class of the Engineering of Maintenance are utilized, that you include the use of methods like, Reliability Centred Maintenance (RCM), Analysis Mode and Effects of Failure (AMEF) and Analysis of Cause Root (ACR). The study contributes to implement these tools in sugar cane's harvester CCC-5000, proposing also, preliminary actions for the introduction del vibratory control, than for the complexity of this machine, will call for another posterior studies.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
1.1. Mecanización agrícola en Cuba.....	5
1.2. Cosechadora de Caña Autopropulsada CCA-5000.....	8
1.3. Conceptos de Mantenimiento e ideas básicas de la evaluación de su concepción.....	9
1.4. Tipos de Mantenimientos.....	11
1.5. Análisis de la Confiabilidad.....	13
1.6. Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM).....	16
1.7. Análisis de Modo y Efecto del Fallo (AMEF).....	22
1.8. Introducción al Análisis de Causa Raíz.....	24
1.9. Principios teóricos que sustentan el análisis vibratorio en máquinas rotatorias.....	26
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	45
CAPÍTULO II. MEJORAS AL SISTEMA DE MANTENIMIENTO DE LA COSECHADORA DE CAÑACCA-500.....	46
2.1. Principio de funcionamiento y componentes de la máquina.....	46
2.2. Sistema de Mantenimiento Previsto para la Cosechadora de Caña CCA-5000.....	50
2.3. Resultados obtenidos en los Ensayos Tecnológicos Explotativos de la Cosechadora de Caña CCA-5000. Zafras 2013–2014 y 2014–2015.....	57
2.4. Vías para mejorar el Sistema de Mantenimiento de la CCA-5000.....	72

2.5.Premisas para implementar el Control Vibratorio.....	84
2.6.Valoración Económica, Medioambiental y Aporte a la Defensa.....	88
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	90
CONCLUSIONES GENERALES.....	91
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	94

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de los tiempos actuales exige de una óptima explotación de los procesos mecanizados, concentración y especialización de la producción y el incremento de la productividad del trabajo sobre la base de los rendimientos agrícolas y disminución de los costos de producción (Igarza, 2012).

En Cuba con el decursar de los años se ha desarrollado el cultivo de la caña como una de las principales fuentes de riquezas. Inicialmente este cultivo se cortaba manualmente por los esclavos como un método muy barato impuesto por los colonizadores, luego de la abolición de la esclavitud este producto se cosechaba por obreros y campesino que se dedicaban a este cultivo como su trabajo cotidiano, pero todavía manualmente. Antes del triunfo de la Revolución cubana, el 1 de enero de 1959, las condiciones de trabajo en los campos cañeros cubanos eran pésimas y no había ninguna preocupación de los gobernantes de turno por una mejoría en la calidad de vida de los macheteros que participaban en la cosecha cañera.

En 1959 hay cambios radicales en el ámbito económico y social en Cuba. Se inicia una etapa nueva en el campo de la mecanización agrícola y es entonces cuando comienzan a utilizarse a inicios de la década de los 60 en mayor escala las cosechadoras cañeras que mejoraron en sus inicios, de forma discreta la producción de azúcar, estas producciones se incrementaron paulatinamente.

En el país no existía ningún grado de mecanización en el corte y alza de la caña hasta 1961 que comienza a destacarse la colaboración soviética con relación a las nuevas máquinas cosechadoras que cumplían parte del proceso tecnológico de la cosecha, esta colaboración es comprendida en el período de 1963 a 1969 (Silveira, 1980). El 27 de junio de 1977 en Holguín se inaugura la fábrica de Combinadas Cañeras "60 Aniversario de la Revolución de Octubre", inaugurada por el Comandante en Jefe Fidel Castro con el objetivo de producir cosechadoras de caña y desarrollar la fabricación de nuevos prototipos cada vez mejores y con favorables condiciones de trabajo. De esta manera comienza todo un proceso de especialización y desarrollo en las cosechadoras de caña cubanas.



La agricultura cañera cubana está necesitada de una máquina cosechadora que cumpla con todos los requisitos y exigencias agro técnicas, técnico-explotativos y económicas, que logre altos índices productivos, de calidad del material cosechado, así como un aceptable grado de fiabilidad, los cuales garanticen un alto nivel de competitividad, tanto en el mercado cubano, como internacional (Informe comparativo; Cosechadora 4000 vs KTP-2M, CEDEMA 2000) es por eso que dentro del programa de investigaciones del Sistema de Cosecha de Caña de Azúcar en Cuba, la cosechadora de caña es un tema principal para su perfeccionamiento constante. Con el objetivo de elevar la producción de azúcar en el país debido a un alza del precio de la misma en el mercado mundial, se elaboró una tarea técnica y encomendada al CEDEMA (Centro de estudio de desarrollo de Maquinarias Agrícolas) para desarrollar un nuevo modelo de cosechadora cañera, siendo esta una forma de sustituir la importación de las costosas máquinas CASE IH. Como fruto del trabajo de los especialistas del CEDEMA fue fabricado el prototipo de prueba, combinada cañera autopropulsada CCA-5000 sometiéndolo a un mes de pruebas en los campos del central “Antonio Guiteras Holmes” en la provincia de Las Tunas. En este tiempo se presentaron algunos fallos que afectan directamente la productividad de la máquina encareciendo el proceso de explotación y mantenimiento. Debido a este contexto esta investigación se realiza por la necesidad de mejorar la fiabilidad y mantenibilidad de la cosechadora cañera cubana CCA-5000 surgiendo de esta manera la situación problemática siguiente:

**Situación problemática:** El sistema de mantenimiento de la cosechadora de caña CCA- 5000, máquina en vías de desarrollo para su fabricación masiva, no tiene previsto la aplicación inicial de tecnologías proactivas, que favorezcan la detección predictiva de averías y fallos.

**Problema de investigación:** ¿Qué acciones deben proponerse para la mejora del sistema de mantenimiento actual de la cosechadora de caña CCA-5000, que favorezca la detección, seguimiento y eliminación de las causas de sus principales fallos y averías?

**Objeto de estudio:** Cosechadora de caña CCA-5000.

**Campo de acción:** Sistema de mantenimiento de la cosechadora de caña CCA-5000.

**Objetivo general:** Analizarla implementación de acciones que favorezca la detección, seguimiento y eliminación de las causas de los principales fallos y averías en la cosechadora de caña CCA-5000, utilizando herramientas de actualidad de la Ingeniería del Mantenimiento, como vía de mejora del actual sistema de mantenimiento de esta máquina.

**Hipótesis:** Si se conoce el historial de averías y fallos de la cosechadora de caña CCA-5000, durante su período de pruebas y se logra establecer las posibles causas que las provocan, se pueden implementar acciones de mejora a su actual sistema de mantenimiento.

**Tareas de Investigación:**

1- Recopilación de información sobre las tendencias actuales de la Ingeniería de mantenimiento, en especial en las máquinas cosechadoras de caña.

2-Profundización en el estudio del diseño, flujo tecnológico y funcionamiento de la cosechadora CCA- 5000.

3- Análisis del resultado de las pruebas de la CCA- 5000.

4-Estudio del sistema de mantenimiento actual propuesto por los fabricantes.

5- Análisis del esquema de velocidades desde los principales órganos de trabajo de la CCA-5000.

6- Elaboración de informe final.

**Métodos de investigación:**

**1-Teóricos:**

a) Análisis y síntesis: para realizar un correcto estudio bibliográfico y resumir la información necesaria para dar solución al problema presentado.

b) Histórico-lógico: para realizar un estudio del objeto en el tiempo y elaborar posteriormente un análisis lógico de los resultados.

**2-Empíricos:**

a) Revisión de documentación técnica: para caracterizar el objeto de estudio.

b) Consulta a expertos: para obtener información acerca de la máquina y poder evaluar los indicadores de fiabilidad.

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.1. Mecanización agrícola en Cuba.

Desde el surgimiento de las primeras ideas del corte mecanizado Cuba estuvo vinculada a este proceso, entre los factores que contribuyeron a ello tenemos: la proximidad de Cuba en relación con el polo de desarrollo mundial en esta esfera, los Estados Unidos de América (EUA) y a la existencia de un elevado número de dueños de centrales azucareros de origen norteamericano (Ricardo, 2011).

En el año 1912 se produce un hecho que catalizó el desarrollo de la mecanización, la introducción del motor de combustión interna como parte de las máquinas y su fuente de energía principal, realizada por George D. Luce, el cual efectuó varios ensayos y consideró que en el año 1914 su máquina, estaba lista para la comercialización y fueron adquiridas por Australia, Hawai y Cuba. En el año 1915 en Matanzas en el Central “Rosario” (hoy Rubén Martínez Villena) se probaron las cosechadoras de George D. Luce.(ver figura 1.1).Algunas de las pruebas fueron filmadas con fines de promoción, era una máquina de arrastre acoplada a un tractor de cuatro cilindros y cuatro tiempos de 40 caballos de fuerza, fue la cosechadora D. Luce la primera en el mundo en venderse en varios países.

Hasta la década del 50 del siglo XX las máquinas transitaban por diferentes etapas evolutivas en las cuales influyen, por una parte, los adelantos tecnológicos ocurridos implantados en otras ramas como la militar y automotriz y por otro los avances que se fueron registrando en la ciencia en este campo, como son el uso de métodos estadísticos, perfeccionamiento de la técnica y medios de medición, la modelación, la teoría de sistemas y métodos de cálculo más fiables. Unido a esto el interés económico que despertó el desarrollo de la cortadora de caña desde la década de los veinte que se afianzó en los años treinta del pasado siglo y se continúa fortaleciendo hasta hoy debido a la existencia

de los grandes consorcios industriales destinados a la fabricación de la maquinaria agrícola en general.



**Figura 1.1:** Cortadora de caña de azúcar Luce, Luisiana EUA, 1912.

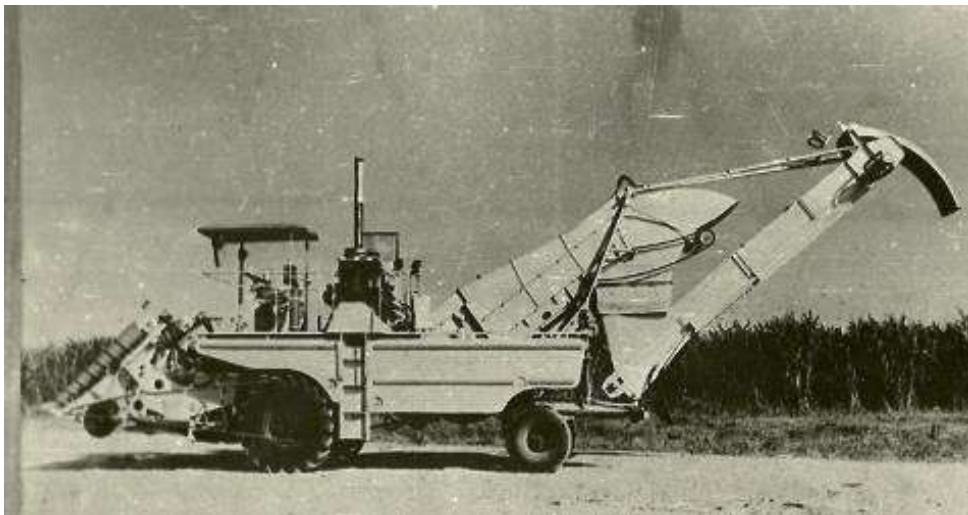
(Ricardo, 2011)

En Cuba el desarrollo y la investigación de la mecanización cañera se inician en los primeros años de la Revolución. A finales de la primera zafra de 1961 debido a las nuevas condiciones sociales que eliminaron el desempleo se registra un déficit de macheteros por lo que el Comandante Ernesto Che Guevara, entonces Ministro de Industria y máximo precursor de la mecanización en Cuba, crea en ese año una comisión para atender la cosecha de caña.

Las primeras máquinas que se desarrollaron en Cuba no dieron el resultado deseado, requerían de una gran organización de la agricultura cañera y el aumento de la producción que se obtenía no compensaba el esfuerzo realizado. (Pérez Pupo 2006).

Así técnicos y especialistas cubanos continuaron trabajando en diferentes planes de desarrollo y paralelamente a esto, se recibe la colaboración de la extinta Unión Soviética e inaugurada personalmente por el Líder de la Revolución Cubana, Fidel Castro Ruz se construye en 1977 la Fábrica de Combinadas Cañeras “ LX Aniversario de La Revolución de Octubre”. Su costo llegó a 47 millones de pesos (El portal de la industria cubana). Una de sus creaciones fueron las unidades de combinadas autopropulsoras KTP (ver figura 1.2 y 1.3).

Debido al constante perfeccionamiento de las máquinas combinadas cosechadoras de caña de azúcar, se le da continuidad al Programa de Investigación del Sistema de Cosecha de Caña de Azúcar en Cuba. Entre las décadas de los años sesenta y los setenta del siglo XX se produce el refinamiento en la calidad de terminación de estas máquinas, proporcionado por la influencia de la ciencia en su perfeccionamiento, la tecnología de fabricación, empleo de robots, el empleo de la computación como apoyo a los cálculos, el surgimiento de nuevos materiales y el cúmulo de experiencia obtenido durante los años de búsqueda y mejoras. Estas máquinas en general con esquemas más o menos similares, se caracterizan por poseer mejores condiciones de trabajo para el operador, confort, uso de accionamientos hidráulicos que posibilitan la regulación del movimiento de avance, altura de corte según las condiciones de explotación, así como el movimiento reversible para el caso de atoros en su proceso tecnológico, mayor fiabilidad de sus órganos de trabajo, motor potente y más económico. Estas máquinas con algunas limitaciones resuelven el problema de la mecanización cañera en el mundo.



**Figura 1.2:** Cosechadora de caña de azúcar KTP-1.(Ricardo, 2011).



**Figura 1.3:** Cosechadora de caña de azúcar KTP-2.(Ricardo, 2011)

### **1.2. Cosechadora de caña autopropulsada CCA-5000.**

La cosechadora de caña CCA-5000 (ver figura 1.4) representa un salto vanguardista en la mecanización de la caña de azúcar. Esta máquina es capaz de cosechar un surco o hilera (sin dañar los plantones) en cañaverales con marcos de siembra desde 1.4 m a 1.6 m, lo cual significa mejor calidad de corte y aumento de productividad con un mínimo de pérdidas de materia prima.

La CCA-5000 tiene un tamaño comparable a los modelos actuales de la competencia a nivel mundial. Con un adecuado balance de carga que le permite mejor desplazamiento y maniobrabilidad con excelentes condiciones operacionales, ha sido diseñada con un nuevo concepto revolucionario respecto a las anteriores cosechadoras KTP esta característica aumenta significativamente el costo-beneficio de la máquina. Esta cosechadora fue concebida con el objetivo de simplificar los mantenimientos. Los accesos a los componentes del motor, sistema hidráulico y mecánico son fáciles, lo que proporcionan rapidez en los servicios con mayor seguridad. En el diseño no se olvidó al operador para ganar mayor productividad, la CCA-5000 reservó el confort, buena visibilidad y facilidad operacional. Los mandos ubicados ergonómicamente aseguran comodidad y funcionalidad durante las jornadas de trabajo.

El conocimiento y la experiencia para cuidar la máquina, lo tiene el personal de asistencia técnica de la Empresa "60 Aniversario de la Revolución de Octubre" (KTP). Sus profesionales, entrenados para prestar los mejores servicios, tienen la tecnología y las herramientas adecuadas para realizar los diagnósticos correctos.

El soporte técnico avanzado del CEDEMA, es la garantía para el buen rendimiento de la máquina y su mayor productividad. (Senfort Betancourt Julio M, 2014).



**Figura 1.4:** Cosechadora de caña CCA-5000. (Informe combinada cañera CCA-5000)

### **1.3. Concepto de mantenimiento e ideas básicas de la evolución de su concepción.**

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA (1995), define al mantenimiento como: "El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorable y de acuerdo a las normas de protección integral."

Para Moubray (1997), el mantenimiento significaba "Acciones dirigidas a asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas".

Por su parte Anzola (1992), lo describe como "Aquél que permite alcanzar una reducción de los costos totales y mejorar la efectividad de los equipos y sistemas".



Otra definición la ofrece De la Paz (2003) expresando que: "El Mantenimiento es la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil, para lograr una mayor disponibilidad y cumplir con calidad y eficiencia su función productiva y(o) de servicio, conservando el medio ambiente y la seguridad del personal".

"El mantenimiento es el conjunto de actividades dirigidas a garantizar, al menor costo posible, la máxima disponibilidad del equipamiento para la producción; visto esto a través de la prevención de la ocurrencia de fallos y de la identificación y señalamiento de las causas del funcionamiento deficiente del equipamiento" (Tavares, 2000).

El mantenimiento debe garantizar que los equipos e instalaciones realicen la función productiva y(o) de servicios para lo que están destinados, con la máxima eficiencia, confiabilidad y calidad y con la menor afectación posible al medio ambiente y al personal que los atiende, a partir la observancia de las condiciones de trabajo y las acciones realizadas para alargar su vida útil, lograr una mayor disponibilidad y se produzcan la menor cantidad de fallas posibles.

A partir de los criterios formulados por los autores citados, en relación al concepto de mantenimiento, se puede definir como el conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado. Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operación, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos, procurando una inversión óptima de recursos.

Históricamente el mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo, Moubray (1997), explica en su texto que desde el punto de vista práctico del mantenimiento, se diferencian enfoques de mejores prácticas aplicadas cada una en épocas determinadas. Para una mejor comprensión de la evolución y desarrollo del mantenimiento desde sus inicios y hasta nuestros días, Moubray distingue tres generaciones a saber.

**Primera generación:**

Cubre el período hasta el final de la II Guerra Mundial, en esta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples, fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Los volúmenes de producción eran bajos, por lo que los tiempos de parada no eran importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial, y solo se aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación.

### **Segunda generación:**

Nació como consecuencia de la guerra, se incorporaron maquinarias más complejas, y el tiempo improductivo comenzó a preocupar ya que se dejaban de percibir ganancias por efectos de demanda, de allí la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y debían prevenir, idea que tomaría el nombre de mantenimiento preventivo. Además se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, o sea las revisiones a intervalos fijos.

### **Tercera generación:**

Se inicia a mediados de la década de los setenta donde los cambios, a raíz del avance tecnológico y de nuevas investigaciones, se aceleran. Aumenta la mecanización y la automatización en la industria, se opera con volúmenes de producción más altos, se le da importancia a los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzan mayor complejidad las maquinarias y aumenta nuestra dependencia de ellas, se exigen productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo de mantenimiento preventivo.

## **1.4. Tipos de mantenimiento.**

Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento distintos: predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo, existen cuatro tipos de mantenimiento distintos:

- Mantenimiento predictivo, también llamado mantenimiento a condición.
- Mantenimiento preventivo, que puede ser de dos tipos: sustitución o reacondicionamiento cíclico.
- Mantenimiento correctivo, también llamado trabajo al fallo.
- Mantenimiento proactivo o búsqueda de fallos.

**El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición** consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar un fallo antes de que ocurra. Por ejemplo, la inspección visual del grado de desgaste de un neumático es una tarea de mantenimiento predictivo, dado que permite identificar el proceso del fallo antes de que el fallo funcional ocurra. Estas tareas incluyen: inspecciones (inspección visual del grado de desgaste), monitoreos (vibraciones, ultrasonido), chequeos (nivel de aceite). Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida. Por ejemplo, a partir de la medición de vibraciones de un equipo puede decidirse cambiarlo o no. Para que pueda evaluarse la conveniencia de estas tareas, debe necesariamente existir una clara condición de fallo potencial. Es decir, debe haber síntomas claros de que el fallo está en el proceso de ocurrir.

**El mantenimiento preventivo** se refiere a aquellas tareas de sustitución o de trabajo hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste: es decir, si la probabilidad de fallo aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento. Debe tenerse mucho cuidado, al momento de seleccionar una tarea preventiva (o cualquier otra tarea de mantenimiento), no confundir una tarea que se puede hacer, con una tarea que conviene hacerse. Por ejemplo, al evaluar el plan de mantenimiento a realizar sobre el impulsor de una turbina, podríamos decidir realizar una tarea preventiva (sustitución cíclica del impulsor), tarea que en general se puede hacer dado que el fallo, generalmente, responde a un patrón de desgaste (patrón B de los 6 patrones de fallo del RCM). Sin embargo, en ciertos casos podría convenir realizar alguna tarea predictiva (tarea a condición), que en muchos casos son menos invasivas y menos costosas.

**El mantenimiento correctivo o trabajo a la rotura.** Si se decide que no se hará ninguna tarea preactiva (predictiva o preventiva) para manejar un fallo, sino que se reparará el mismo una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el costo del fallo (directos, indirectos) es menor que el costo de la prevención, o cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva y

no se justifica realizar un rediseño del equipo. Esta opción solo es válida en caso que el fallo no tenga consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente. Es obligatorio en caso contrario hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias del fallo.

**El mantenimiento proactivo o de búsqueda de fallos** consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En el mantenimiento detectivo no se está reparando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que un fallo está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un cuarto tipo de mantenimiento. A este mantenimiento también se le llama búsqueda de fallos o prueba funcional, y al intervalo para el cual se realiza esta tarea se lo llama intervalo de búsqueda de fallos, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-FindingInterval). Por ejemplo, arrojar humo a un detector contra incendios es una tarea de mantenimiento detectivo.

### **1.5. Análisis de la Confiabilidad:**

La confiabilidad se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad también se define como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

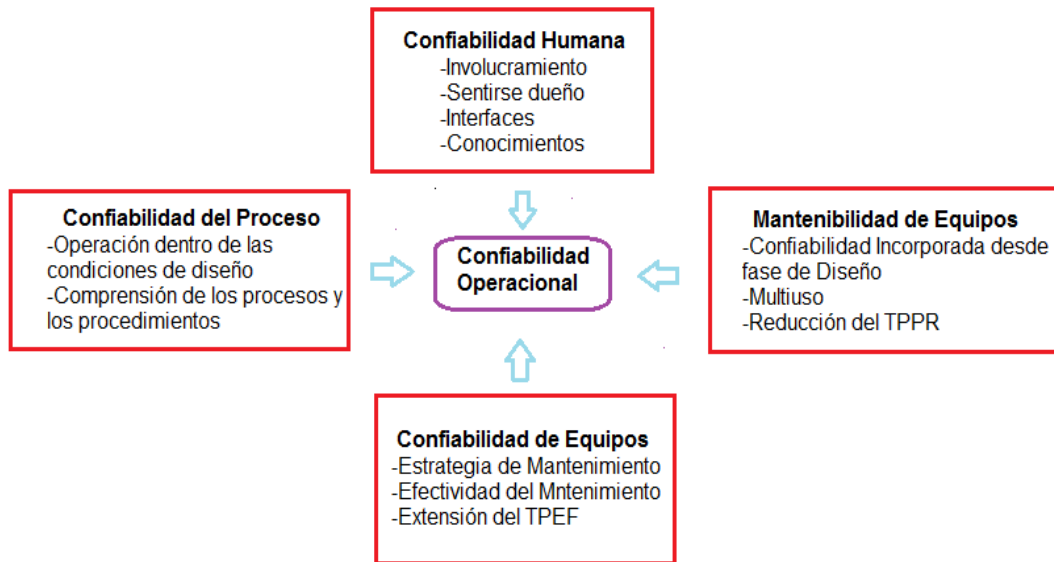
La ejecución de un análisis de la confiabilidad en un producto o un sistema debe incluir muchos tipos de exámenes para determinar cuan confiable es el producto o sistema que pretende analizarse.

Una vez realizados los análisis, es posible prever los efectos de los cambios y de las correcciones del diseño para mejorar la confiabilidad del sistema.

Los diversos estudios del producto se relacionan, vinculan y examinan conjuntamente, para poder determinar la confiabilidad del mismo bajo todas las perspectivas posibles, determinando posibles problemas y poder sugerir

correcciones, cambios y/o mejoras en productos o elementos. (Amándola 2003).

Es importante, puntualizar que en un sistema de Confiabilidad Operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos (ver figura 1.5): Confiabilidad Humana, Confiabilidad de los Procesos, Mantenibilidad y Confiabilidad de los equipos.



**Figura 1.5:** Parámetros que determinan la Confiabilidad Operacional.

(Carolina Altmann 2005.)

**Confiabilidad Operacional.** Las nuevas investigaciones están cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento, tal es el caso, de que debido a la gran cantidad de variables que están presentes en un contexto operacionales difícil determinar una relación directa y única entre el tiempo de vida útil de los equipos y sus probabilidades de fallo. Otra es que no existe un solo patrón de fallo, si no que existen seis tipos de patrones, sujetos a cambios en el tiempo. Además se ha demostrado que el riesgo puede controlarse. Como parte de estas nuevas tendencias surgen las metodologías de confiabilidad operacional. Existen cuatro parámetros operacionales a los que se debe hacer un adecuado análisis cuando queremos realizar un programa para optimizar la Confiabilidad Operacional de un activo. (Ireson et al,1996)

Para la ejecución de un programa de Confiabilidad Operacional debemos establecer planes y estrategias para lograr asentar las bases del éxito. Esos planes y estrategias consideran los siguientes aspectos:

- Evaluación de la situación en cuanto al tipo de equipos, modos de fallos relevantes, ingresos y costos, entorno organizacional, síntomas percibidos, posibles causas y toma de decisiones.
- Diseño del sendero, para poder orientar la secuencia de las metodologías que mejor se adaptan a las circunstancias.
- Generar niveles de iniciativas que permitan determinar el impacto potencial de cada una visualizando el valor agregado.

Los análisis de confiabilidad están conformados por una serie de elementos intrínsecos en las estructuras de los procesos, así como una serie de herramientas y filosofías, los cuales al ser interrelacionados proporcionan la información referencial para la toma de decisiones en cuanto al direccionamiento de los planes de mantenimiento. (De Abreu, J, 2001) Los elementos de confiabilidad inherentes en el comportamiento de los procesos y las instalaciones son los siguientes:

Fallo: Disminución o pérdida de la función del componente con respecto a las necesidades de operación que se requieren para un momento determinado. Es la incapacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Esta condición puede interrumpir la continuidad o secuencia ordenada de un proceso, donde ocurren una serie de eventos que tienen más de una causa. Existen dos tipos de fallos, las cuales son explicadas a continuación:

- Fallo funcional: Es la pérdida de capacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado.
- Fallo potencial: Se define cuando aparecen condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir un fallo funcional.

Las causas de cualquier fallo pueden ubicarse en una de estas categorías:

- Defectos de diseño
- Defectos de materiales

- Manufactura o procesos de fabricación defectuosos
- Ensamblaje o instalación defectuosos
- Imprevisiones en las condiciones de servicio
- Mantenimiento deficiente
- Malas prácticas de operación

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del componente de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, la magnitud del riesgo y las acciones de mitigación y de mantenimiento que requiere el mismo para asegurar al custodio o dueño del activo su integridad y continuidad operacional. Las herramientas en cuestión están basadas sobre una plataforma de cálculo de probabilidades estadísticas y ponderaciones relativas de los elementos financieros, operacionales, históricos y de seguridad. (Widman, 2000)

El empleo de las herramientas de confiabilidad permite detectar la condición más probable en cuanto al comportamiento de un activo, ello a su vez proporciona un marco referencial para la toma de decisiones que van a direccionar la formulación de planes estratégicos de mantenimiento de los activos de una organización. (Widman, 2000).

Actualmente se ha establecido la clasificación de Mantenimiento Clase Mundial, la cual permite identificar las organizaciones que planifican y ejecutan el mantenimiento dentro de los mejores índices de costo, seguridad, tiempo y confiabilidad, esta condición solo puede alcanzarse con el empleo de las herramientas de confiabilidad desarrolladas a nivel mundial ya que son el único medio efectivo para soportar la decisión de aplicar el mantenimiento en el momento oportuno con el menor costo y sin restringir la acción de mantenimiento sobre los requerimientos reales del equipo o componente.

#### **1.6. Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM).**

Para Ellman, H (1996) el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u

optimización de un plan eficiente de mantenimiento. Desarrollada por la UnitedAirline de Estados Unidos, el RCM analiza cada sistema y como puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada fallo son analizados y clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo. Estos fallos son estimados para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas.

Sanz Sacristán (2001) plantea que: " La idea central del RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo ". Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza esta función y sobre todo las condiciones que la interrumpen o dificultan, estas últimas son los fallos.

El proceso de análisis global del RCM planteado por Sanz Sacristán, J (2001) se resume como sigue:

- a) Análisis de fallos funcionales. Define el funcionamiento del componente en un equipo, su fallo funcional, y sus efectos de fallo.
- b) Selección de sistemas críticos. Determina y analiza que componentes de los sistemas se caracterizan como funcionalmente significativos.
- c) Decisión lógica del RCM. Incluye el análisis de los ítems funcionalmente significativos (IS), para determinar la consecuencia del fallo.
- d) Análisis de inspección. La inspección determina qué datos son necesarios para el apoyo del análisis RCM.
- e) Resumen de los requisitos de mantenimiento. Determina la agrupación de los requisitos óptimos del nivel de mantenimiento que se practica.

Ellman, H (1996) lo define también como: "El proceso analítico y sistemático basado en el entendimiento de la función de los sistemas y los fallos funcionales. El corazón de este proceso es una metodología de Análisis Sistemático de los Modos y Efectos de Fallo (AMEF), que pudieran ocurrir en



un equipo específico, evaluados en su contexto operacional. De este análisis se desprenden las posibles causas y mecanismos de fallos, y en consecuencia pueden inferirse las actividades preventivas, predictivas, detectivas y/o correctivas requeridas para evitar los fallos y/o mitigar sus consecuencias.

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

- 1) ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- 2) ¿Cuáles son los estados de fallos (fallos funcionales) asociados con estas funciones?
- 3) ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de fallo?
- 4) ¿Cuáles son los efectos de cada una de estos fallos?
- 5) ¿Cuál es la consecuencia de cada fallo?
- 6) ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir el fallo?
- 7) ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva?

El RCM muestra que muchos de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocados. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de los fallos se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales. A continuación se explican varios conceptos derivados del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, muchos de los cuales aún no son completamente entendidos por los profesionales del mantenimiento industrial.

Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aún cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos. Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve

descripción donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de disponibilidad del equipo.

### **Concepto y clasificación de los Modos de fallo.**

De Abreu, J (2001) plantea: “Modo de fallo no es más que el o los procesos físicos que ocurren (o cuyos efectos se combinan) para producir una inutilización del elemento o el equipo”.

Los modos de fallo se clasifican de la siguiente forma:

1. Fallo por deformación elástica inducida por fuerza, temperatura o por ambas causas. Ocurre cuando la deformación elástica de un elemento de una máquina causada por las cargas o temperaturas de operación impuesta, es lo suficientemente grande para interferir en la capacidad de trabajo de la máquina.
2. Fallo por compenetración (brinelado). Ocurre cuando las fuerzas estáticas entre dos superficies curvas en contacto dan por resultado la fluencia local de uno o ambos miembros embonantes, para producir una discontinuidad superficial permanente de tamaño significativo. Ejemplo en un cojinete de bolas con carga estática a la bola se fuerza a adentrarse permanentemente en el aro o pista. El trabajo del cojinete en estas condiciones puede dar por resultado vibraciones, ruidos y calentamientos ocurriendo la falla.
3. Fallo por fatiga. Concepto general que se aplica a la ruptura súbita y nociva de un componente mecánico en una o más partes, como resultado de la aplicación de cargas o deformaciones fluctuantes durante un intervalo de tiempo. El fallo ocurre por el inicio y propagación de una grieta hasta que ésta se hace inestable y se propaga súbitamente, causando el fallo.
4. Fallo por corrosión. Significa que una pieza mecánica se hace incapaz de realizar la función para la que fue diseñada debido al deterioro indeseable del material, provocado por la interacción química o electroquímica con el ambiente. La corrosión con frecuencia se combina con otros modos de fallo, como desgaste o fatiga. La fallo por corrosión puede ser por.

- Ataque químico directo. Implica el ataque corrosivo de la superficie de la parte mecánica expuesta al medio corrosivo, de manera más o menos uniforme.
- Corrosión producto a la cavitación. Corrosión química acelerada que se produce cuando, debido a diferencia en la presión de vapor, ciertas burbujas y cavidades de un fluido se colapsan fuertemente sobre las paredes de un recipiente de presión, haciendo que sean expulsadas partículas de la superficie y dejando esta última desprotegida contra el medio corrosivo.

Un modo de fallo es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de fallo. Por ejemplo, impulsor de la bomba de agua de los DAF modelo CF 75.310 desgastado es un modo de fallo que hace que la bomba llegue al estado de fallo identificado por el fallo funcional bombea menos de lo requerido. Cada fallo funcional suele tener más de un modo de fallo. Todos los modos de fallo asociados a cada fallo funcional deben ser identificados durante el análisis del RCM.

Para cada modo de fallo deben indicarse los efectos de fallos asociados. “El efecto de fallo es una breve descripción de qué pasa cuando el fallo ocurre”. (Aladon, 1991)

Categoría de consecuencias:

El fallo de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas (consecuencias de seguridad).
- Afectando al medio ambiente (consecuencias de medio ambiente).
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa (consecuencias operacionales).
- Ninguna de las anteriores (consecuencias no operacionales).

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellos fallos que no tienen ningún impacto cuando ocurren, salvo que posteriormente ocurra algún otro fallo. Por ejemplo, el fallo del neumático de auxilio no tiene ninguna consecuencia adversa salvo que ocurra un fallo posterior (ponche de un

neumático de servicio) que haga que sea necesario cambiar el neumático. Estos fallos corresponden a la categoría de fallos ocultos.

Cada modo de fallo identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: seguridad, medio ambiente, operacionales, y no operacionales, previa separación entre fallos evidentes y ocultos. El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de fallo va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado, lo que es bastante razonable: no sería lógico tratar de la misma forma a fallos que pueden afectar la seguridad que aquellas que tienen económicas. El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de fallos son distintas.

El efecto de fallo es una descripción de qué pasa cuando el fallo ocurre, mientras que la consecuencia de fallo clasifica este efecto en una de las 5 categorías, según el impacto que tienen estos fallos.

El fallo funcional identifica un estado de fallo: incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura. No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca con los modos de fallo: identificar las causas de esos estados de fallos (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad.).

Los equipos suelen tener dispositivos de protección, es decir, dispositivos cuya función principal es la de reducir las consecuencias de otros fallos (fusibles, detectores de humo, dispositivos de detención por sobre velocidad / temperatura / presión). Muchos de estos dispositivos tienen la particularidad de que pueden estar en estado de fallo durante mucho tiempo sin que nadie ni nada ponga en evidencia que el fallo ha ocurrido. Una válvula de alivio de presión en una caldera puede fallar de tal forma que no es capaz de aliviar la presión, si esta excede la presión máxima. Si no se hace ninguna tarea de mantenimiento para anticiparse a el fallo o para ver si estos dispositivos son capaces de brindar la protección requerida, entonces puede ser que el fallo solo se vuelva evidente cuando ocurra aquel otro fallo, cuyas consecuencias el dispositivo de protección está para aliviar.

## **1.7. Análisis de Modos y Efectos de Fallo (A.M.E.F).**

El A.M.E.F es un método que nos permite determinar los modos de fallos de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan. De esta forma se podrán clasificar los fallos por orden de importancia, permitiéndonos directamente establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando un mayor impacto económico, con el fin de eliminarlas por completo

Este proceso necesita de cierto período de tiempo para aplicarlo en el estudio de un sistema, un análisis detallado y una documentación acertada para poder generar una jerarquía clara y bien relacionada (ver figura 1.6). Su procedimiento como tal implica las siguientes actividades:

- Definir el sistema: Se refiere a que se debe definir claramente el sistema a ser evaluado, las relaciones funcionales entre los componentes del sistema y el nivel de análisis que debe ser realizado.
- El análisis de los modos de fracaso: Consiste en definir todos los modos de fallo potenciales a ser evaluados en el nivel más bajo. Por ejemplo, la pérdida del rendimiento, funcionamiento intermitente, etc.
- Análisis de los efectos de fallos: Define el efecto de cada modo de falla en la función inmediata, los niveles más altos de riesgos en el sistema, y la función misión a ser realizada. Esto podría incluir una definición de síntomas disponible al operador.
- La rectificación (Opcional): Determina la acción inmediata que debe ejecutar el operador para limitar los efectos de los fallos o para restaurar la capacidad operacional inmediatamente, además de las acciones de mantenimiento requeridas para rectificar el fallo.
- Cuantificación de la probabilidad de Fallos (Opcional): Si existe suficiente información, la probabilidad de fallo de cada modo de fallo deberían ser definidas. De esta forma puede cuantificarse la proporción de fracaso total o la probabilidad de fallo asociada con un efecto de un modo de fallo.

- **Análisis crítico (Opcional):** Nos permite determinar una medida que combina la severidad o impacto del fallo con la probabilidad de que ocurra. Este análisis puede ser cuantitativo o cualitativo.
- **Acción correctiva (Opcional):** Define cambios en el diseño operando procedimientos o planes de prueba que mitigan o reducen las probabilidades críticas de fallo.
- **Análisis de Modos y Efectos de Fallo funcional.** Un A.M.E.F. funcional se basa en la estructura funcional del sistema en lugar de los componentes físicos que lo componen. Un A.M.E.F. de este tipo debe utilizarse si cualquiera de los componentes no tienen identificación física o si el sistema es muy complejo. Es idéntico al A.M.E.F normal, solo que los modos de fallos son expresados como fallos para desarrollar las funciones particulares de un subsistema.

Igualmente el análisis funcional debe considerar las funciones primarias y secundarias, que quieren decir, las funciones para que el sub-sistema está provisto y las funciones que son solamente una consecuencia de la presencia del sub-sistema respectivamente.

Análisis del Modo y Efecto de Fallo Potencial (AMEF de Proceso)										AMEF Número		1			
Descripción			Responsable del proceso			Página		De							
Año modelo / Vehículo (s)			Fecha de elaboración			Preparado por									
Equipo de trabajo			Fecha del AMEF												
Requerimientos del proceso / Funciones	Modo de falla potencial	Efectos Potenciales de la Falla	1 Severidad	Causa(s) Potencial(es) / Mecanismo(s) de falla	Ocurren	Controles del Proceso Actuales	1 Detección	NPR	Acciones recomendadas	Responsable y fecha objetivo de cierre (Para la Acción Recomendada)	Resultados de las Acciones Tomadas				
											2	Acciones Tomadas	Severidad	Ocurren	Detección
			1							2	2				

**Figura 1.6:** Análisis de Modo y Efecto de Fallo de Procesos. :(Labañino 2013.)

## **1.8. Introducción al Análisis de Causa Raíz.**

Cuando ocurre un fallo, éste se percibe a través de ciertas manifestaciones o síntomas, no así la causa del fallo. Esto lleva en muchas oportunidades a actuar sobre las consecuencias y no sobre la raíz del problema, de modo que el fallo vuelve a repetirse una y otra vez. A mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz del fallo. Identificar la causa raíz es fundamental, pero sólo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas (Carolina Altmann, 2005).

El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para identificar causa de fallo, de manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es mejor para ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Análisis de fallo de componentes (CFA), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de Causa de Raíz (RCI), ésta herramienta incluye a la anterior, e investiga las causas físicas.
- Análisis de Causa Raíz (RCA), ésta herramienta incluye a los dos anteriores, y estudia además el error humano.

Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos del fallo o raíces físicas y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa – efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que el fallo se repita nuevamente. El Análisis de Causa Raíz (RCA) tiene distintas aplicaciones, que van incluso más allá del mantenimiento:

Análisis de Fallos, para encontrar fallos complejos en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva.

- Análisis de Fallos recurrentes de equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación Proactiva.
- Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), el cual se utiliza también en el RCM2.
- Análisis de errores humanos, en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de accidentes e incidentes, en sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SySO).

El análisis de Causa Raíz es un proceso de deducciones lógicas que permite graficar las relaciones causa-efecto que nos conducen a descubrir el evento indeseable o causa raíz, preguntándonos:

¿Cómo es la forma que puede ocurrir un fallo?

¿Por qué o cuales son las causas de la misma?

Los hechos deben respaldarse mediante observación directa, documentación y deducciones científicas. Se utilizan gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema y datos disponibles:

- Análisis causa-efecto
- Árbol de fallo
- Diagrama de espina de pescado (ver figura 1.7)
- Software de RCA que ayudan a la construcción del árbol de fallos y a la documentación del proceso.

Los beneficios de la aplicación de ésta poderosa herramienta son:

- Reducción del número de incidentes o fallos
- Aumento de la Confiabilidad y Seguridad
- Disminución de los costos de Mantenimiento
- Aumento de la Eficiencia y la Productividad



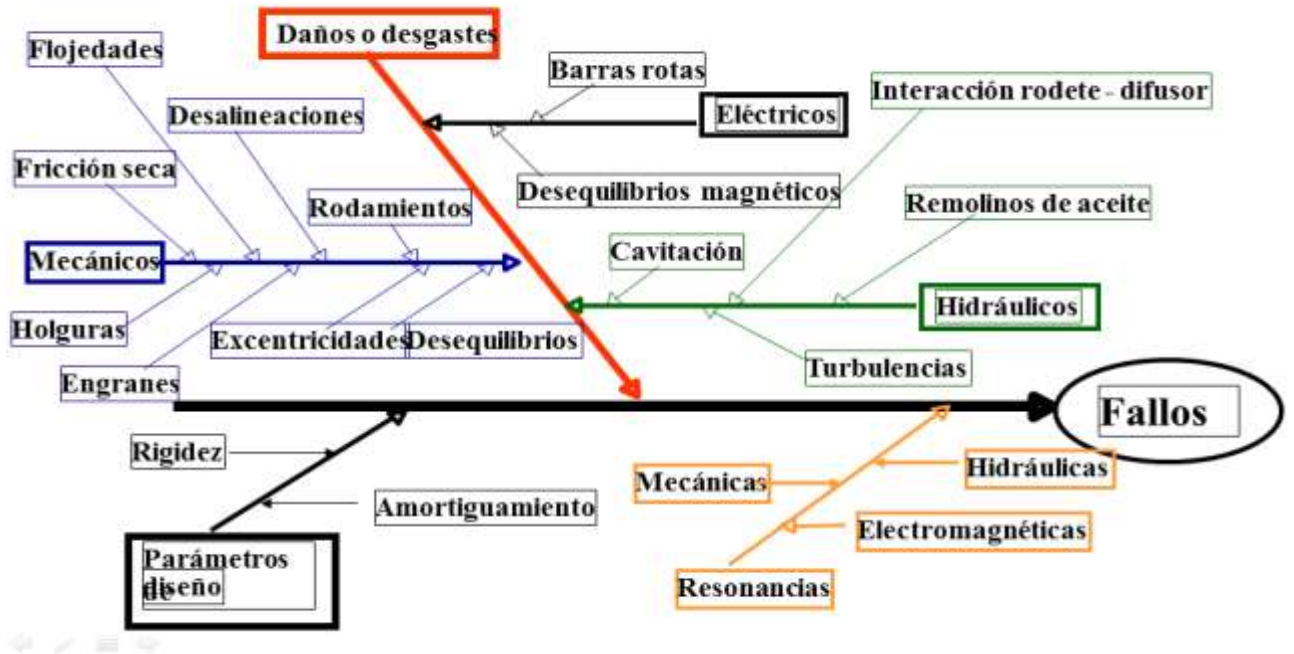


Figura 1.7: Análisis Causa-Efecto.(Batista, 2006)

### 1.9.Principios teóricos que sustentan el análisis vibratorio.

A través de los años ya sea por contacto directo o con el empleo de algún dispositivo de naturaleza subjetiva, los operadores de máquina han empleado técnicas de verificación auditiva. De aquí que, tradicionalmente y quizás en forma inconsciente, las vibraciones hayan sido utilizadas como un indicador del estado técnico de las máquinas. Hoy continúan siendo el fenómeno más representativo del estado técnico de éstas. La medición de vibraciones permite detectar fallos ya desarrollados o en período de desarrollo prematuro. (Palomino, 1997).La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio.

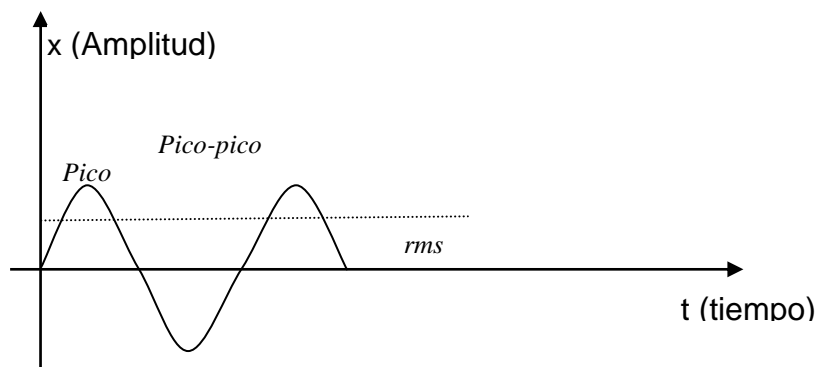


Figura 1.8: Representación gráfica de una oscilación periódica ( Batista,2006)

Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos; desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos. Estas causas como se puede suponer son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad, estas fuerzas son debidas al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se detecta estudiando las características de vibración.

Las características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración y energía de impulsos.

La frecuencia es una característica simple y significativa en este análisis. Se define como el número de ciclos completos en un período de tiempo. La unidad característica es cpm (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto) identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

La amplitud de la vibración indica la importancia o gravedad del problema. Esta característica da una idea de la condición en la que se encuentra la máquina. Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, por tanto este es un indicador directo de la severidad de vibración. Esta última es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre las que tiene lugar. Así se tiene que para bajas frecuencias, por debajo de 600 cpm, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 y 60.000 cpm, se mide velocidad y para altas frecuencias, mayores a 60.000 cpm, se toman aceleraciones.

Las vibraciones en las máquinas se consideran como una forma de perturbación desde el punto de vista ambiental, pero lo más importante es el aspecto asociado con el comportamiento mecánico de las mismas. Más o

menos correctamente, las vibraciones son consideradas como señales, síntomas de daños que están ocurriendo o se encuentran en progreso [Bruel&Kjaer, 1984-1, 1984-2].

De forma general, se puede establecer una serie de influencias en la ocurrencia de fallos y las vibraciones que producen, como son:

1. Influencias intrínsecas
2. Errores de proyectos.
3. Fiabilidad de los datos utilizados para el diseño.
4. Errores de fabricación.
5. Errores de montaje, ajustes y tolerancias.
6. Esfuerzos residuales.
7. Fallos en el control de la calidad de fabricación.
8. Influencias aleatorias
9. Condiciones ambientales.
10. Utilización (uso) no adecuado.
11. Mantenimiento inadecuado.
12. Control del proceso ineficaz.
13. Ciclos de sobrecargas.
14. Desgastes y envejecimiento.
15. Régimen de funcionamiento.
16. Régimen de mantenimiento.
17. Régimen térmico.
18. Condiciones tribológicas.
19. Propiedades de los materiales

### **Defectos más frecuentes en máquinas rotatorias**

- Defectos mecánicos más frecuentes:

1. Desequilibrios.
2. Defectos de alineación.
3. Acoplamientos incorrectos.
4. Defectos de cojinetes de deslizamiento y rodadura.

5. Defectos de sellos, juntas y empaquetaduras.
6. Defectos de fijación y ajustes.
7. Defectos de válvulas.
8. Defectos de engranes y trenes de engrane.
9. Otras transmisiones defectuosas. Correas.
10. Defectos debido a la fricción y al desgaste.
11. Resonancias mecánicas.

### **Desequilibrios**

El desequilibrado de un rotor surge debido esencialmente a la no coincidencia del eje de rotación con el "eje principal de inercia", es el resultado de una distribución másica desigual del mismo, lo cual produce vibraciones, estas se deben a la interacción entre la componente másica desequilibrada y la aceleración radial debido al giro. Estas fuerzas generan una fuerza centrípeta.

Los desequilibrios se pueden clasificar en

- Estático. El eje principal de giro se encuentra desplazado paralelamente al eje teórico de rotación del rotor.
- De par. El eje principal de giro intersecta al eje teórico de rotación del rotor en el centro de gravedad del mismo.
- Dinámico. El eje principal de giro no es paralelo e intersecta al eje teórico de rotación del rotor.

Este fenómeno está asociado a la aparición de fuerzas desequilibradas que actúan sobre el sistema, cuyo origen puede ser:

1. Diseño, fabricación y/o montaje.
2. Materiales utilizados en la fabricación
3. Desgastes.
4. Incrustaciones.
5. Alteraciones mecánicas (roturas).

6. Deformaciones térmicas.

7. Deformaciones por fluencia del material del rotor.

### **Diseño, fabricación y/o montaje.**

- Carencia de simetría (configuración del rotor no simétrica desde el diseño, que en el momento de la fundición se haya desplazado un núcleo en el molde, o que no se haya labrado bien una zona basta de fundición o forja).

-Cojinetes incorrectamente alineados; puede ser por excesivas tolerancias en las dimensiones de algunas partes (excentricidad o falta de escuadra con el eje, juego).

-Partes ensambladas asimétricamente (ensamblaje por cuñeros), o que se desplacen durante el proceso.

-Velocidad rotacional nominal próxima a una velocidad crítica.

-El sentido de rotación es contraria a la del diseño.

### **Árboles disimétricos**

La presencia de chiveteroso planos en los árboles así como las muecas para barras y blindados de los motores y alternadores hace que la rigidez no sea la misma en cualquier dirección en un instante del ciclo de rotación.

### **Materiales utilizados en la fabricación**

-Falta de homogeneidad en el material, debida tal vez a oquedades en una pieza fundida, inclusiones, o a alguna otra variación en la densidad.

-En elementos de rotor (por ejemplo, un aspa de un ventilador, un álabe de una turbina pueden deformarse a la velocidad y temperatura de funcionamiento.

### **Desgastes:**

Si el desgaste no ocurre uniformemente alrededor del rotor, cosa que no es muy probable, resultará un desequilibrio. Si por causa de algún proceso de desgaste (abrasión, erosión, adhesión, etc.) ocurriese pérdida de material no uniforme alrededor del rotor, aparecerá con seguridad una pérdida de equilibrio.

### **Incrustaciones o depósitos de materiales.**

El desbalance aparecerá si la acumulación de suciedades (ejemplo lodos, polvos, etc.) no es uniforme alrededor del rotor. Este fenómeno es característico en ventiladores que trabajan en ambientes sucios.

### **Alteraciones mecánicas (roturas).**

**Pérdida de álabes.** Cuando se produce la rotura se observa una evolución brusca de las vibraciones. Además de provocar el desequilibrio másico provoca otras perturbaciones hidrodinámicas.

**Grieta transversal:** la evolución de una grieta puede dar lugar a consecuencias catastróficas la producirse la rotura del árbol. La rigidez de un árbol que presenta una grieta transversal varía con la dirección de la fuerza que interviene, principalmente el peso propio del árbol y la fuerza de inercia provocada. Durante el movimiento de flexión del árbol la grieta coincide con las fibras comprimidas y la grieta se encuentra cerrada y por tanto la rigidez del árbol es grande, mientras que cuando coincide con las fibras de tracción la grieta se encuentra abierta y la rigidez del árbol es menor. Esta variación de la rigidez con la rotación del árbol presenta una forma periódica y genera fuerzas periódicas y movimiento de oscilación del árbol.

### **Otros defectos**

-Flojedad en los álabes, una o varias paletas flojas, unión deficiente del disco posterior en el cubo.

-Curvatura o ángulo incorrecto de las paletas.

-Ajuste flojo del cubo en el eje.

### **Deformaciones térmicas.**

Si un rotor sufre un calentamiento asimétrico provocará una excentricidad adicional a la existente, esta deformación tiene tanta más importancia cuando mayor es la relación longitud / diámetro del mismo.

### **Desequilibrio térmico evolutivo.**

Puede ocurrir que un punto de un árbol que pasa por un orificio (cojinete, junta de estanqueidad) roce en una zona del mismo y se establezca un tipo de contacto con el aceite caliente de lubricación, de tal forma que se caliente más intensamente un lado del árbol que el opuesto, ello da lugar a deformación por dilatación y por consiguiente el correspondiente deslizamiento de su centro de gravedad generándose una fuerza centrífuga adicional a otras ya existentes.

#### **Deformación de rotores de turbinas.**

Aun siendo los rotores de turbinas homogéneos, la temperatura no está repartida de forma uniforme, por lo que éstas se deforman bajo la acción de tensiones térmicas, como consecuencia de ello los centros de gravedad se desplazan y se producen variaciones de esfuerzos internos. Por ejemplo algunos alabes rotos modifican las condiciones de expansión en una zona de la turbina y por consiguiente el reparto de temperatura.

#### **Deformación de rotores de alternadores.**

A causa de la importante energía disipada por el efecto Joule o de histéresis, es necesario refrigerar los rotores, por lo cual una disimetría en el caudal de aire debido a canales obstruidos o pérdidas de carga o bien que el sistema de enfriamiento no es homogénea para el rotor provoca altos niveles vibratorios en una toma de potencia de la máquina, respecto a la máquina trabajando en vacío. Esta variación de la amplitud de la vibración que se produce entre la máquina funcionando en vacío y con carga se conoce como sensibilidad,

#### **Retención de barras de alternadores.**

Al pasar corriente por una barra esta se calienta y se dilata. Si un obstáculo se opone a dicha dilatación aparecen esfuerzos internos en el rotor que lo deforman puesto que la dilatación no será simétrica. Este fenómeno será tanto más pronunciado cuando los coeficientes de dilatación de las barras son altos. Es bueno notar que aunque no haya obstáculos que se opongan a la dilatación pero el coeficiente de rozamiento estático entre barra y rotor sea alto se produce el efecto descrito anteriormente.

#### **Deslizamiento de barras de alternadores.**

En caso que el coeficiente de rozamiento no sea lo suficientemente alto para retener la barra el esfuerzo tangencial provoca el deslizamiento de la barra con ello la deformación del rotor

### **Deformaciones por fluencia del material del rotor.**

Cuando se pone en marcha una máquina, después de un prolongado período de paro, se pueden observar bajo ciertas condiciones deformaciones permanentes del árbol. Pueden producirse los casos siguientes:

**-Fluencia de rotores calientes**, aunque el tiempo de parada sea corto.

**-Fluencia de rotores fríos** si son muy flexibles y los tiempos de paradas muy prolongados.

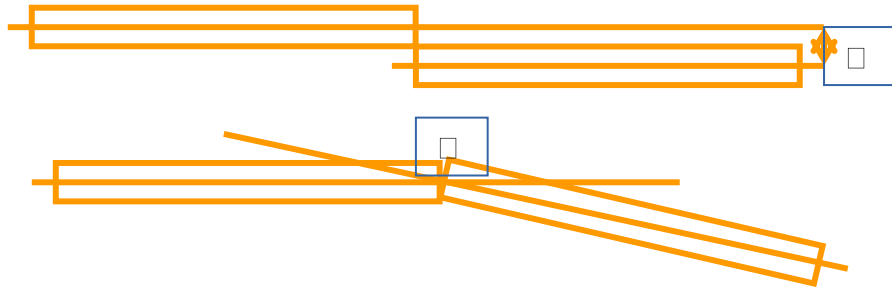
### **Defectos de alineación.**

El desalineamiento es una pérdida de concentricidad de la línea central del eje del rotor con respecto a la línea central del sistema de cojinetes. Se puede clasificar en dos grupos:

1. Desalineamiento angular. Existe un punto en el cual la línea central de rotor forma un ángulo.

2. Desalineamiento paralelo. Existe un punto en el cual la línea central de rotor posee un escalón.





**Fig. 1.9.**Árboles desalineados.( Batista, 2006)

### **Acoplamientos incorrectos.**

Las causas de los acoplamientos incorrectos pueden ser varias como:

- Falta de paralelismo entre los planos de ajuste de los acoplamientos.
- Incorrecta alineación.

### **Defectos de cojinetes de deslizamiento y rodadura.**

#### **Cojinetes de rodadura**

El concepto de vida nominal ajustada de un rodamiento fue introducido por la ISO en 1977 y se calcula por la fórmula

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 (C/P)^p$$

Donde

$L_{na}$ - vida nominal ajustada en millones de revoluciones

$a_1$ . – Factor de ajuste la vida por fiabilidad.

$a_2$ . – Factor de ajuste la vida por material.

$a_3$ . – Factor de ajuste la vida por las condiciones de funcionamiento.

C – Capacidad de carga en [N]

P – Carga dinámica equivalente.

$p$  – Exponente que toma el valor de  $= 3$  para rodamientos de bolas y  $= 10/3$  para rodamientos de rodillos.

Las probables causas que provocan que un cojinete de rodadura no alcance la duración prevista por cálculo pueden ser:

- Soporta cargas superiores a las previstas por diseño.
- Lubricación insuficiente o inadecuada.
- Manipulación negligente.
- Ajustes incorrectos.
- Montaje inadecuado.
- Existencia de niveles vibratorios no permisibles.

Algunas averías sufridas por un rodamiento es la siguiente:

- Desgastes producidos por: partículas abrasivas, lubricación inadecuada, por vibraciones.
- Adherencias.
- Fatiga superficial. Producidas por: corrosión, paso de corriente eléctrica, grietas, averías de la jaula.

### **Cojinetes de deslizamiento:**

Los cojinetes lisos pueden tener una lubricación natural o a presión (forzada). La lubricación forzada es característica en cojinetes que tienen que soportar grandes cargas. Los defectos más frecuentes están relacionados con:

- Holguras excesivas.
- Lubricación no adecuada.
- Remolinos de aceite.
- Cargas no apropiadas sobre el cojinete.

### **Holguras excesivas.**

El huelgo entre eje y cojinete es un parámetro importante de diseño que condiciona no solo el funcionamiento del cojinete, sino también la interrelación eje-cojinete. Así un cojinete con huelgo superior al correcto es menos capaz de absorber fuerzas dinámicas producidas por otros defectos, tales como desequilibrios y desalineación, en realidad el cojinete no es el causante de la vibración solo que el ahora admite más amplitud de la vibración de la que admitiría si el huelgo estuviese correcto. Huelgos excesivos pueden conducir a un rozamiento entre eje y cojinete que se traduce en desgaste que a su vez estas contribuyen a incrementar las vibraciones.

### **Remolinos de aceite.**

Este es otro problema asociado a cojinetes lisos, sobre todo en los de lubricación forzada y en máquinas de rotación relativamente altas.

En funcionamiento normal, el eje se aloja en una posición excéntrica y su movimiento bombea aceite creando una película en forma de cuña de alta presión, la cual soporta la carga del eje. La diferencia de presión existente respecto aguas abajo y aguas arriba con respecto a la cuña origina una fuerza tangencial en dirección de la rotación del eje. Esta fuerza a su vez induce un movimiento rotativo en la película en forma de cuña que se traduce en un movimiento excéntrico del eje. En la película la capa molecular de aceite en contacto con el eje gira a la velocidad de éste, mientras que la capa adyacente al cojinete tiene velocidad nula. Por tanto, el aceite entre el eje y el cojinete será arrastrado por las fuerzas de cizallamiento y tiende a girar a una velocidad que es el promedio entre la velocidad del eje y la del cojinete (velocidad nula).

### **Lubricación deficiente en cojinetes.**

Una lubricación no adecuada en cojinetes lisos puede ocurrir debido a.

- Uso de lubricantes mal especificados.
- Capacidad insuficiente de la bomba de aceite.
- Tuberías de transporte del aceite con diámetros incorrectos.
- Diseño incorrecto de las ranuras del cojinete.
- Fallas ocurridas accidentalmente en el suministro de aceite.

La deficiencia de lubricación puede causar el fenómeno de la fricción seca entre el eje y el cojinete.

En los cojinetes de sustentación axial provistos de patines las irregularidades de la superficie de contacto es un defecto que se manifiesta a través de incremento de la amplitud de las vibraciones.

### **Defectos de fijación y ajustes.**

Entre los defectos más frecuentes que pueden presentar los elementos de unión roscada son:

- Desgastes de la rosca.
- Perfil de la rosca arrugado originándose un tranque en la unión.
- Alargamiento del tornillo.
- Variación del paso de la rosca.
- Destrucción de la cabeza del tornillo y la tuerca.

Entre los defectos más frecuentes que pueden presentar los elementos unidos por chavetas y chaveteros son:

- Desgaste de la cuña o chaveta.
- Desgaste o deterioro del cuñero.

### **Defectos de válvulas.**

Los defectos de válvulas pueden ser:

- Falta de hermeticidad.
- Roturas de las válvulas.
- Resortes rotos que accionan las válvulas.

### **Defectos de engranes y trenes de engrane.**

Defectos que suelen ocurrir en la transmisión por engranes.

- Ruidos extraños.
- Calentamiento excesivo.

- Desajuste de las ruedas dentadas.
- Roturas de los dientes de las ruedas.
- Partiduras o grietas en los cojinetes en los cuales giran las ruedas.
- No tener la lubricación adecuada.
- Rotura de los elementos de fijación tales como cuñas y chavetas.

Los defectos que pueden aparecer en las ruedas dentadas son:

- Desgaste de los dientes.
- Roturas de los dientes.
- Roturas o agrietamiento de los brazos o la corona.
- Deterioro del cubo de la rueda así como el chavetero.
- Deterioro de la cara de los dientes.

El desgaste de los dientes de las ruedas dentadas puede ser de tres tipos:

- Desgaste normal.
- Desgaste abrasivo.
- Desgaste por sobrecarga.

Dos ruedas dentadas pueden presentar diferentes tipos de defectos debido a muy diversas razones. Entre las más importantes podemos ver las siguientes:

- Impacto radial de las ruedas dentadas debido a la excentricidad de una u ambas.
- Impacto axial, debido a juegos excesivos o falta de perpendicularidad entre plano de la rueda y eje sobre la cual rota.
- Defectos en el paso.
- Juego entre dientes (holguras).
- Desviación del perfil del diente, respecto al perfil teórico.
- Condiciones de deslizamiento y rodadura entre los perfiles de los dientes.

-Calidad de la superficie del perfil del diente, es decir, su desgaste, fisuras, deformaciones, grietas, roturas y escamas.

-Defecto en los ejes que sostienen las ruedas dentadas

**Impactos radiales y axiales:** Generalmente son causadas por defectos de fabricación o montaje incorrecto, el impacto radial está asociado generalmente algún tipo de desequilibrio de la rueda dentada, en cambio el impacto axial puede estar relacionado con que el plano de la rueda dentada no es perpendicular al eje de rotación, dando lugar a un movimiento que tiende a desplazar al eje fuera de su posición.

### **Otras transmisiones defectuosas. Correas.**

Las transmisiones por poleas y correas presentan varios defectos como pueden ser en la polea o en la correa. Los defectos más comunes son.

-Desgarraduras o desgastes de la correa.

-Poleas desequilibradas.

-Mala disposición de las poleas.

-Las poleas no se encuentran en un mismo plano.

-La correa no tenga la tensión requerida.

-Las poleas presentan oscilaciones.

-La correa esté torcida.

-Exista pérdida en la relación de transmisión.

-Desgaste de las poleas y de las correas.

-Sobrecalentamiento en la transmisión.

### **Defectos que pueden ocurrir en la transmisión por cadenas.**

-Los ejes no están paralelos.

-Existen abolladuras o roturas en los dientes y las ruedas.

-La transmisión presenta desajuste.

-La cadena está excesivamente tensa.

-Las ruedas están flojas.

-Falta de lubricación.

### **Defectos debido a la fricción y al desgaste.**

#### **Fricción seca.**

El fenómeno de fricción seca se produce cuando existe interferencia entre elementos estacionarios y elementos giratorios; este contacto directo entre superficies da lugar a la aparición de vibraciones auto excitadas. Este fenómeno puede tener lugar en:

-Cojinetes de deslizamiento sin las holguras adecuadas.

-Laberintos de turbinas, debido al contacto entre anillos laberínticos fijos y móviles.

-Extremos de alabes de un rodete con las carcasa de la máquina.

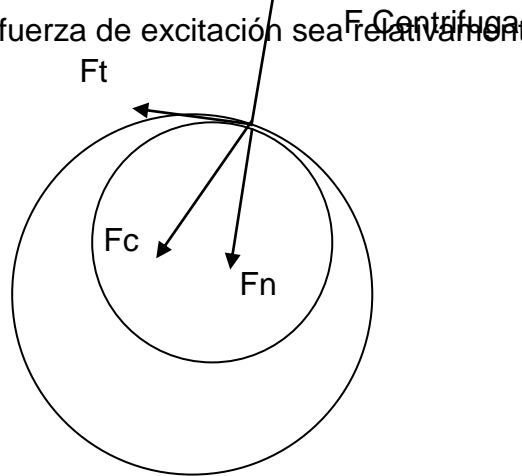
Cuando se produce un contacto radial entre la zona estática y la zona móvil se genera una fuerza de fricción de Coulomb. La cual induce una fuerza radial sobre el rotor y la fuerza de fricción es proporcional al componente radial de la fuerza de contacto.

La componente tangencial induce un movimiento de remolino que a su vez produce una fuerza mayor normal sobre el rotor, que provoca un mayor contacto radial y por consiguiente a la vez mayor fuerza de fricción, el movimiento en remolino es contrario al movimiento de rotación.

#### **Resonancias mecánicas.**

Puesto que las máquinas y sus estructuras son generalmente sistemas complejos compuesto de muchas masas y de elementos flexibles se conoce de la teoría de las vibraciones que estos sistemas están caracterizados por frecuencias y formas naturales de vibrar, estas propiedades están dictadas por las propiedades de los materiales de que está construida la máquina y por la distribución de las masas.

Un fenómeno de resonancia existirá si una fuerza que excita la máquina posee frecuencias muy próximas o coincide a una de las frecuencias naturales del sistema. El fenómeno de resonancia provoca grandes amplitudes de las vibraciones, aunque la fuerza de excitación sea relativamente pequeña.



**Fig. 1.10.** Fuerzas que actúan en la fricción seca en cojinetes de deslizamiento. (Batista, 2006)

### **Defectos eléctricos más frecuentes**

Los defectos o excitaciones de las máquinas eléctricas pueden ocurrir por causa de varios factores como son:

- Atracción magnética entre rotor y estator.
- Origen de fuerzas debido a la no uniformidad del huelgo entre rotor y estator
- Origen de fuerzas debido a daños o mal funcionamiento de las bobinas.

### **Defectos hidráulicos más frecuentes**

1. Desequilibrio hidráulico.
2. Interacción rodete difusor.
3. Pulsaciones de presión en la tubería de aspiración.
4. Desprendimiento rotativo.
5. Turbulencia.
6. Resonancias hidráulicas.
7. Cavitación.



### **Desequilibrio hidráulico.**

La repartición no homogénea del fluido sobre el rodete produce un desequilibrio hidráulico que da lugar a vibraciones en las máquinas., en ocasiones a veces este tipo de desequilibrio provoca vibraciones más acentuadas que la provoca por desequilibrios mecánicos, este fenómeno es característico de máquinas que trabajan a altas velocidades. Este tipo de desequilibrio está originado por problemas de diseño y construcción de los rodetes y de la misma forma de los álabes del distribuidor lo que provoca el desprendimiento de capas límites del fluido que comprometen la distribución simétrica del flujo.

### **Interacción rodete difusor.**

La fluctuación de presión que ocurre en la voluta o caja de espiral de las máquinas resultan de la interferencia hidráulica entre los alabes del rodete y los alabes del distribuidor (turbina hidráulica) o difusor (bombas centrifugas). El flujo a la entrada del rodete no tiene una distribución uniforme de velocidad debido a los alabes del distribuidor. Cerca de la arista de salida de los alabes del distribuidor se forma una región de muy baja velocidad. Y cuando un alabe del rodete se aproxima a esta región se establece una variación del campo de flujo y los alabes quedan sometidos a fluctuaciones de presión. Estas excitaciones son periódicas que dependen del número de alabes del rodete y del distribuidor.

### **Pulsaciones de presión en la tubería de aspiración.**

Pulsaciones de presión de gran amplitud pueden ocurrir en la tubería de aspiración a la salida de la máquina. Estas pulsaciones surgen debido a la presencia de flujo con vorticidad y de cavitación en el cono de aspiración. Cuando la máquina opera fuera del punto de diseño la velocidad del fluido a la salida de los alabes del rodete tiene una componente tangencial que induce una rotación en el fluido. El movimiento de rotación del vortice crea pulsaciones de presión.

### **Desprendimiento rotativo.**

Este fenómeno puede ocurrir en máquinas que operan bajo cargas parciales, es un fenómeno común en ventiladores y compresores axiales aunque también

se puede observar en bombas centrifugas. El mecanismo básico de formación es como sigue: cuando la máquina opera bajo carga parcial puede ocurrir desprendimiento de capa límite en la cara de succión del alabe y formación de una cavidad cuya dimensión va variando, el bloqueo parcial del paso del flujo provocado por la cavidad en un canal hace que parte del flujo que se dirigía a él se desvíe a los canales adyacentes, eso induce un aumento del ángulo de ataque en el alabe de delante (posición con referencia en sentido de rotación del rotor) con el consecuente aumento del ángulo de la componente de velocidad relativa respecto a la cara del alabe, mientras tanto en el alabe de atrás este ángulo disminuye. Así la capa límite del alabe de adelante se desprende mientras que la del alabe de atrás se estabiliza, por tanto el movimiento se propaga con movimiento circunferencial y en el mismo sentido que el de rotación del rodete.

### **Turbulencia.**

La turbulencia es un movimiento irregular que aparece en el fluido cuando atraviesa un cuerpo sólido. La turbulencia genera pulsaciones de presión del tipo caótico sobre todo en la parte trasera del cuerpo, esta turbulencia puede producirse antes de entrar en las máquinas es decir en las válvulas de entrada y también puede ocurrir dentro de la máquina por la existencia de la capa límite.

### **Resonancias hidráulicas.**

La interacción hidráulica de la máquina con sus circuitos puede generar fuertes oscilaciones de presión si ocurre el fenómeno de resonancia. Existe resonancia hidráulica cuando una pulsación de presión generada en la máquina se propaga con frecuencia muy próxima o coincide a una de las frecuencias modales del circuito. Por tanto es importante conocer el comportamiento modal de los circuitos.

### **Cavitación.**

Se origina en zonas de baja presión debido a velocidades locales elevadas. Este fenómeno se manifiesta con micro cavidades al inicio lo que genera ruido a altas frecuencias y erosión., las cavidades mayores que provoca el fenómeno

genera vibraciones y ruido de baja frecuencia cuando la cavitación ya está bien desarrollada.

**La formación y la consecuencia de la cavitación es función de muchos factores tales como:**

- Tipo y tamaño de la máquina.
- Velocidad específica de trabajo.
- Punto de funcionamiento y otras características.

Las medidas de vibración se realizan colocando los sensores en los soportes de los cojinetes. Con equipos especializados para medir vibraciones. Algunos de estos instrumentos son el medidor de vibraciones TV-300, analizador de vibraciones VIBXPERT y el analizador de vibraciones Smart Scanner.

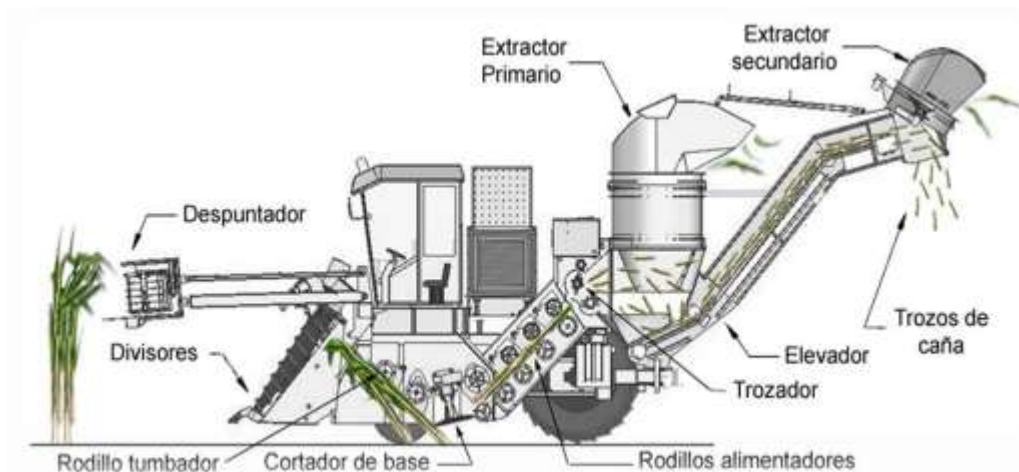
## CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

1. Existe en la actualidad una tendencia a utilizar sistemas de gestión de mantenimiento que centran la atención en la detección de los fallos funcionales y aplican novedosos métodos de análisis de las causas y consecuencias de los mismos.
2. Entre los métodos más integradores y de alta efectividad en la Ingeniería de Mantenimiento se encuentra el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, que establece una secuencia lógica y racional para predecir fallos, anticiparse a sus consecuencias y garantizar alta capacidad de trabajo de equipos y maquinarias.
3. El Sistema actual de Mantenimiento de la cosechadora de caña CCA-5000 es incompleto y no tiene en cuenta en su totalidad las tendencias actuales de la Ingeniería del Mantenimiento, que incluye la aplicación de métodos como el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Efectos de Fallo (A.M.E.F), Análisis de Causa Raíz, entre otros.
4. Un desempeño adecuado y buen funcionamiento futuro de la Cosechadora de caña CCA-5000, estará relacionado con un efectivo Sistema de Mantenimiento que favorezca la elevación de su confiabilidad, aspecto esencial para lograr mayores índices de productividad y resultados de alta competitividad internacional.

## CAPÍTULO II. MEJORAS AL SISTEMA DE MANTENIMIENTO DE LA COSECHADORA DE CAÑACCA-5000.

### 2.1 Principio de funcionamiento y componentes de la máquina.

Como se explica anteriormente, la cosechadora de caña CCA-5000 tiene un tamaño comparable a los modelos actuales de la competencia a nivel mundial. Ha sido diseñada con un nuevo concepto revolucionario respecto a las anteriores cosechadoras KTP, esta característica aumenta significativamente el costo-beneficio de la máquina. Esta cosechadora fue concebida con el objetivo de simplificar los mantenimientos. Es fácil el acceso a componentes del motor, sistema hidráulico y mecánico, lo que proporciona rapidez en los servicios y mayor seguridad. Con la nueva cabina el operador de la CCA-5000 tiene mayor confort, visibilidad y facilidad operacional.



**Figura 2.1:** Esquema tecnológico de la cosechadora cañera CCA-5000.  
(Informe combinada cañera CCA-5000.)

Los sistemas y componentes principales de la máquina (ver fig. 2.1) se enumeran de la siguiente forma:

- 1.-Despuntador: Tritura las hojas y el cogollo, esparciéndolo de modo uniforme sobre el suelo.
- 2.-Divisores de línea: Cortan las cañas del surco vecino que dificultan el trabajo de la cosechadora.

3.-Divisores helicoidales: Levantan y separan las cañas del surco que se está cosechando del surco contiguo.

4.-Rodillo tumbador: Orienta e inclina el haz de cañas que se va a cortar, facilitando la operación del corte de base y la alimentación de la máquina.

5.-Cortador de base: Corta la caña en su base y conduce el haz de caña al rodillolevantador.

6.-Rodillo levantador: Levanta el haz de caña cortado por el cortador de base, dirigiéndolo hacia el interior de la máquina hasta los rodillos alimentadores.

7.-Rodillos alimentadores: Trasladan el haz de cañas hasta los rodillos trozadores.

8.- Rodillos trozadores: Corta la caña en trozos y los lanza a la cámara del extractor primario.

9.- Extractor primario: Realiza la limpieza de los trozos, retirando las hojas, pajas y otras impurezas.

10.-Elevador de tablillas: Conduce los trozos por la estera hasta la descarga. Tiene piso perforado para permitir que salgan la tierra y otras impurezas.

11.-Extractor secundario: Realiza la segunda limpieza de los trozos retirando las impurezas remanentes.

Entre los principales requisitos de explotación de la combinada cañera CCA-5000, están:

### **Capacidad de cosecha en caña verde por hora de tiempo de trabajo principal 50 toneladas/hora**

1. Índice de consumo máximo de lubricante total en masa: 0.80% del consumo de combustible.
2. Duración del mantenimiento técnico de turno no mayor de 10 horas.
3. Coeficiente de seguridad tecnológica: mayor de 0.98.
4. Coeficiente de seguridad técnica: mayor de 0.95.
5. Tiempo de explotación económica no menos de: 7 años.

De igual manera pueden significarse como requisitos técnicos esenciales:

1. La cosechadora tiene un corta cogollo desmenuzador regulable en altura en un rango de 1 a 4 metros.
2. Desde la cabina del operador se controla y realiza la regulación de la altura del corte. Posee un sistema automático de copiado del relieve del suelo para mantener constante la regulación realizada de este parámetro.
3. La máquina está dotada de espirales dobles separadores de la caña del surco contiguo.
4. Posee cuchillas de corte laterales con desplazamiento de arriba abajo y viceversa con accionamiento opcional desde la cabina.
5. Presencia de mecanismos hidráulicos con hidromotores y circuitos que permiten la reversibilidad, con mangueras que resisten dos veces o más las presiones de trabajo normales de los sistemas óleo hidráulicos. Los sistemas hidráulicos que se utilizan en la máquina tienen elementos que están estandarizados u homologados con los diferentes productores que comercializan en el mundo agregados y componentes óleos hidráulicos.
6. La cosechadora está equipada con sistemas de protección y señalización en la cabina con parada automática del motor cuando lo requiera para los casos de:
  - Baja presión de lubricación del motor principal.
  - Alta temperatura del agua de refrigeración del motor principal.
  - Bajo nivel del agua de refrigeración del motor en el radiador.
  - Indicación de obstrucción o colmataje del filtro de depuración del aire de admisión del motor principal.
  - Indicación de presencia de agua en el filtro primario o de depuración basta del combustible del motor principal.
  - Indicación de obstrucción o colmataje de los filtros de los sistemas hidráulicos de la cosechadora.
  - Alta temperatura del lubricante de los sistemas hidráulicos.

- Bajo nivel en los sistemas hidráulicos producto de una rotura que ocasione altas pérdidas de lubricantes.
- 7. La capacidad del tanque de combustible permite el trabajo ininterrumpido de 10 horas con carga normal con un 5 a 10 % de reserva.
- 8. La máquina posee un solo transportador de descarga, con piso rasurado longitudinalmente que permita la eliminación de tierra, y el mismo debe girar en su base 170 grados para cosechar surcos contiguos con una altura de la descarga al transporte de 4 metros como mínimo. El transportador cuenta con un deflector en su descarga que permita la distribución uniforme de los trozos de caña en el transporte.
- 9. El sistema de limpieza es neumático, de manera que garantiza los requisitos aerotécnicos planteados, el sistema tiene un método de regulación desde la cabina del operador que permita mantener el nivel de limpieza y pérdidas requeridas de acuerdo a las condiciones, variedades y rendimientos agrícolas donde se coseche. Además, las impurezas que se depositarán en el campo, tienen un deflector que permita dirigir a voluntad desde la cabina el chorro de materias extrañas hacia el área cosechada.
- 10. La longitud del trozo de caña debe estar en el rango de 200 a 250 mm con un 85 % de los trozos con corte limpio como mínimo y una desviación del trozado no mayor del 20 % de la longitud inferior. El tronizador debe contar además con un sistema de fijación de las cuchillas que permita un cambio rápido de las mismas.
- 11. La traslación de la cosechadora será hidrostática permitiendo el desplazamiento de la cosechadora en una gama continua de velocidades de 0 a 25 Km por hora hacia delante y hacia atrás, con la posibilidad adicional de velocidad de para el trabajo de 0 a 10 Km, por hora hacia delante y hacia atrás.
- 12. El radio de giro máximo de la cosechadora es mayor de 6 metros.
- 13. Los puntos de lubricación son de fácil acceso



14. Posee sistema de alumbrado para trabajo nocturno.

## **2.2. Sistema de mantenimiento previsto para la Cosechadora de Caña CCA-5000.**

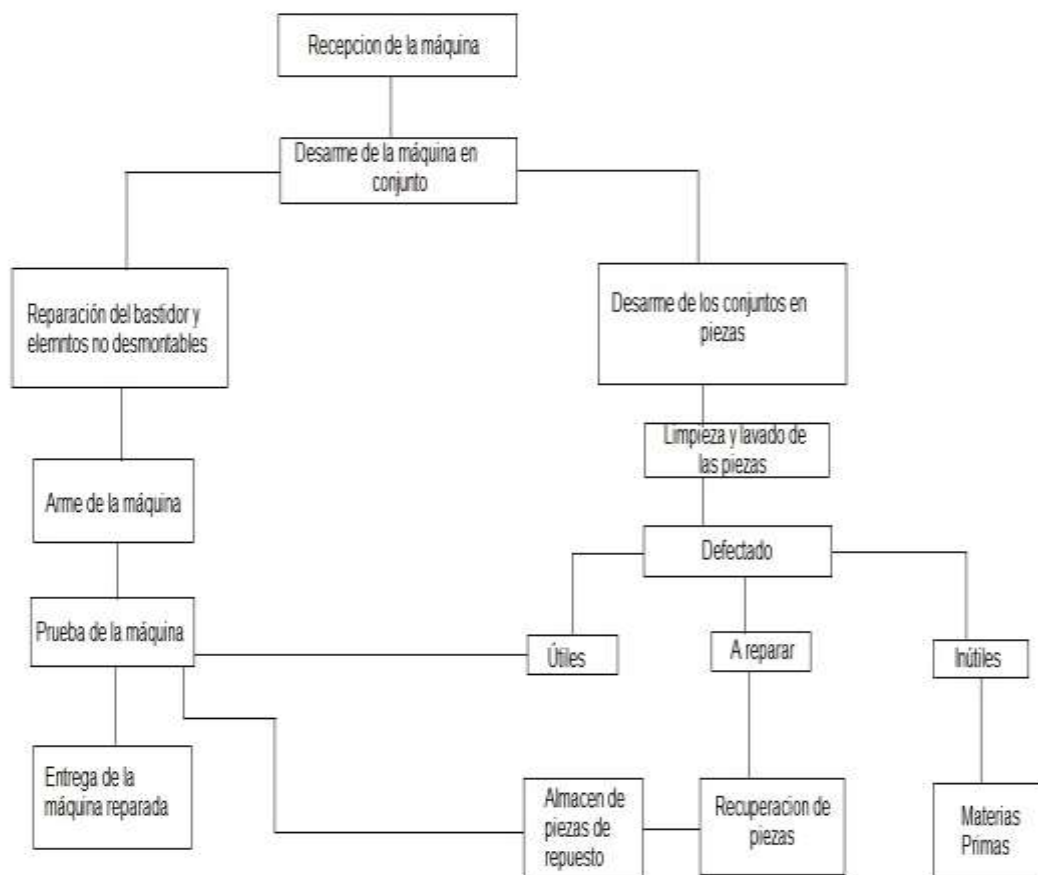
En la agricultura es especialmente importante que la maquinaria se encuentre preparada de forma adecuada para el trabajo, debido a las particularidades de la producción en determinados períodos agro-técnicos. Los agregados agrícolas, en la mayoría de los casos, trabajan en condiciones extremas, caracterizadas por altos niveles de polvo, humedad, temperatura, suelos irregulares y en ocasiones, enlodados, entre otros factores. El polvo, por ejemplo, se asienta en superficies de los agregados, contaminando las grasas y lubricantes. El desplazamiento por superficies irregulares trae por consecuencia vibraciones, carga irregular del tren de rodaje y desajustes y holguras en sujeciones y uniones. La resistencia de los implementos varía constantemente debido a las diferentes condiciones del suelo, esto provoca la carga irregular del motor y el desgaste de las transmisiones. Como resultado de estos factores pueden disminuir considerablemente los índices de explotación de las máquinas e inclusive, pueden ocurrir paros de los agregados por desgaste técnico si no se cumplen con calidad en el período establecido las actividades encaminadas a mantener la maquinaria en buen estado técnico, garantizando con ello la fiabilidad de las cosechadoras.

El prototipo de cosechadora de caña autopropulsada CCA-5000 fue concebida con un sistema de mantenimiento muy semejante al de otras cosechadoras de prestaciones similares que han cosechado caña en las condiciones de explotación de Cuba.

De las referencias más importantes, en este sentido, está la experiencia acumulada durante décadas de uso de las combinadas cañeras cubana KTP y las prácticas en este sentido en las cosechadoras importadas, donde se destacan, los sistemas de mantenimiento usados por las cosechadoras CASE.

Respecto a las combinadas KTP-1, el jefe de pelotón se responsabilizaba con la ejecución de los mantenimientos según el programa previsto (ver figura 2.3). La realización de los mantenimientos (mantenimiento diario m1, m2 y m3) se realizaban directamente en el campo siendo asistido técnicamente por medio de talleres móviles (novias), no existiendo para tales efectos un lugar adecuado, cada pelotón de combinada contaba con un taller móvil atendido por un mecánico "B", el noviero y el operador que participaba en la realización de los mantenimientos. Para la ejecución de las operaciones de los mismos se confeccionaban guías (ver anexo1), siendo estas de gran importancia, ya que recogían una serie de regulaciones de la combinada para su correcto estado técnico.

Referente a la organización de las reparaciones de las máquinas era una mezcla de operaciones especializadas e individuales (ver figura 2.1). Ejemplo: sistema hidráulico, freno, transmisiones motrices y transmisiones en general. El resto de los mecanismos realizaban su reparación por los operadores y mecánicos, además existía la brigada de especialización de control de piezas y la asistencia brindada por la fábrica de combinadas.



**Figura 2.2:** Esquema del proceso tecnológico empleado en la reparación. (Raúl Atá, 1974).

Es necesario significar que el Sistema de Mantenimiento aplicado a las antiguas cosechadoras de caña KTP, recogen las distintas operaciones a realizar por el número y especialidad de los obreros con los procesos tecnológicos necesarios en una determinada secuencia de trabajo. Sin embargo los planes no especifican la periodicidad de los mantenimientos a realizar, por lo que el sistema se convierte netamente en un sistema correctivo.

Carta tecnológica organizativa		Tipo de equipo: Combinada Cañera Modelo: KTP-1		Operación: Mantenimiento Diario	
No. orden	Operaciones	Cantidad de obreros	Calificación de los obreros	Herramientas, instrumentos y equipos necesarios	Secuencia de trabajo
1	2	3	4	5	6
1	Limpiar la combinada	2	Calificado de mecánico	2 ganchos 1 compresor 1 pistola de presión 2 pares de guantes	Se elimina la tierra, la paja de los restos de caña cortada de las siguientes partes: receptoras, el picador, los transportadores, las cadenas, la malla protectora del radiador y el motor
2	Chequear el estado de los embeagues de seguridad del eje intermedio	2	Obrero calificado de mecánico y obrero auxiliar	1 llave de cubo 12 mm 1 llave española 30 mm 1 pinza	Se pone en marcha el motor y se hace girar los discos del aparato de corte, posteriormente se desconecta el sistema agrícola por medio de su palanca y el frenaje de los discos debe ser de 10-15 segundos.
3	Chequear apriete de los discos rotatorios	2	Mecánico y auxiliar	1 llave de ojo 24 mm calzo de madera de (15x20x30) cm	Con el motor en marcha se levanta el tren delantero hasta su posición máxima y se coloca el calzo de madera debajo de la lengüeta de contrapunto. En esta posición se aprietan los 12 tornillos (6 en cada disco)

**Figura 2.3:** Sistema de Mantenimiento aplicado a las cosechadoras de caña KTP-1. Fragmento. (Guerrero 1979).

En la actualidad, por su amplia aplicación y conocimiento en el sector agrícola cañero, el Sistema de Mantenimiento de las Cosechadoras de Caña CASE ha sido seleccionado para aplicarlo al prototipo CCA-5000. Este sistema recoge dos grupos de acciones, diferenciadas en Mantenimiento Técnico Diario y Mantenimiento Técnico.

El Mantenimiento técnico diario (ver anexo 3) el cual indica tres operaciones: limpiar, revisar y engrasar, que deben ser ejecutadas a los distintos sistemas de la máquina. Sin embargo no se significa en la documentación disponible, cuáles de estas acciones cotidianas, deben ser realizadas antes, durante o después de finalizada la jornada de trabajo. Esta carencia, deja manos de la

responsabilidad del operador de acometer las distintas acciones especificadas por el fabricante, cuando lo considere oportuno.

**Tabla No. 1.** Mantenimiento Técnico Diario. (CEDEMA, 2015)

No.	Definición	Limpiar	Revisar	Engrasar
1	Caja de filtro de aire	X	X	
2	Indicador de polvo	X	X	
3	Entrada de filtro de aire (gomas y presillas)	X	X	
4	Nivel de aceite del motor		X	
5	Nivel de líquido refrigerante del radiador		X	
6	Nivel de aceite hidráulico en depósito		X	
7	Nivel de aceite de la caja de bombas		X	
8	Nivel de aceite del cortadora base		X	
9	Nivel de aceite del cortador		X	
10	Comprobación del juego en las piernas del corte base		X	
11	Deformación en los discos de corte		X	
12	Salidero por los sellos de las piernas del corte base		X	
13	Jaula alimentadora de las piernas del corte base		X	
14	Respiradero del cortador de la base		X	
15	Respiradero de la caja de la bomba		X	
16	Respiradero de la caja del respirador		X	
17	Respiradero del tanque de combustible		X	
18	Respiradero del tanque hidráulico		X	
19	Cubo de los rodamientos del extractor primario	X	X	
20	Rodamiento de los ejes del transportador de descarga		X	X
21	Tablillas del transportador de descarga		X	
22	Apriete de las contratueras del cilindro de dirección		X	X

23	Bisagras del divisor línea (sinfines)		X	X
24	Brazos del corta cogollo		X	X
25	Extremos del cilindro de giro del transportador		X	X

La propuesta de Mantenimiento Técnico (ver anexo 3) está organizada para los distintos conjuntos de la cosechadora:

1. Motor
2. Parte Hidráulica
3. Parte Delantera: Corta Cogollo y Divisores de Línea
4. Mecanismo de Corte Lateral
5. Cortador Base
6. Tren de Tambores alimentadores
7. Mecanismo Tronzador
8. Extractor Primario
9. Transporte de Carga
10. Extractor Secundario
11. Suspensión Delantera
12. Reductores Traseros
13. Frenos

**Tabla. 2.** Mantenimiento Técnico. (CEDEMA, 2015)

No.	Motor	Revisar	Limpiar	Engrasar	Cambiar	Periodicidad
1	Electrólito de la batería	X				50 horas
2	Filtros de los gases del cárter	X	X			250 horas
3	Elemento filtrante del purificador de aire	X	X		X	250 horas
4	Tensión de la correa	X				50 horas
5	Calibración de	X				1200 horas

	las válvulas y la unidad inyectora					
6	Filtro decantador de agua y limpieza fina					250 horas
7	Aceite de motor					250 horas
8	Filtro centrifugo de aceite del motor				Lavar	250 horas
9	Filtro de aceite del motor				X	250 horas
	<b>Parte hidráulica</b>					
1	Filtros hidráulicos de succión de la transmisión	X	X			250 horas
2	Filtros hidráulicos de retorno al tanque	X	X			750 horas
3	Filtros hidráulicos de succión en el tanque		X			Entre zafras
4	Aceite hidráulico de la caja de				X	250 horas

	bombas					
5	Rodamiento del árbol del ventilador del enfriador de aceite			X		50 horas
6	Eje de accionamiento de las bombas de traslación	X		X		50 horas

Las limitaciones del sistema utilizado están relacionadas con los plazos fijos propuestos. Es evidente que los mismos son tiempos asignados por el fabricante y no tienen en cuenta las condiciones reales de explotación de nuestro país ni tampoco aparecen referenciados como un resultado de la aplicación de técnicas de control de tiempos o de estudios de fiabilidad.

### **2.3. Resultados obtenidos en los Ensayos Tecnológicos Explotativos de la Cosechadora de Caña CCA-5000. Zafra 2013-2014 y 2014-2015.**

A partir de la necesidad de sustituir el parque de máquinas en el país por otras de mayor rendimiento productivo, fiabilidad y confort, que laboren en campos de alto rendimiento agrícola con una elevada eficiencia productiva, se desarrolló un nuevo modelo de máquina cosechadora de caña de azúcar. El prototipo de máquina cosechadora de caña modelo CCA 5000, estuvo en una fase previa de investigación durante la Zafra 2013/2014, los ensayos de funcionalidad efectuados en la UBEAPA "Antonio Guiteras Holmes" de la provincia Las Tunas. Las pruebas se realizaron finalizando la zafra bajo condiciones adversas pues los campos no reunían las condiciones y diversidad de rendimientos agrícolas que se requieren para realizar estas evaluaciones, además las lluvias propias del período afectaron mucho el desarrollo de la investigación. Durante el estudio se recopiló información técnica e indicadores de calidad, con los cuales se confeccionó un informe con valoraciones y todas las insuficiencias detectadas, lo que proporcionó una herramienta para realizar las



modificaciones en las máquinas de la serie cero en fase de fabricación en la República de China.

Se decidió continuar la investigación con el primer prototipo, en esta ocasión se realizó el ensayo tecnológico explotativo bajo un cronometraje por turnos de control, en áreas de la UBEAPA "Jesús Rabí" ubicado en el municipio Calimete, provincia de Matanzas. El cronometraje fue ejecutado por estudiantes de cuarto y quinto años de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", especialistas del CEDEMA y el centro de altos estudios con la presencia de los especialistas de la fábrica 'LX Aniversario de la Revolución de Octubre' y AZCUBA. En las pruebas participaron especialistas del IAGRIC que tomaron muestras para caracterizar los campos y el desempeño agro-técnico del prototipo objeto de investigación. En esta oportunidad los ensayos se realizaron comenzando la zafra 2014/2015 en campos con los requerimientos óptimos para este tipo de investigación.

#### **Objetivos de las pruebas:**

Comprobar los índices de calidad del prototipo CCA-5000 y así poder determinar la efectividad de las modificaciones realizadas en el proyecto a partir del ensayo de funcionalidad.

Objetivos específicos:

- Comprobar a través del peritaje técnico, parámetros constructivos y funcionales, dados en la tarea técnica.
- Realizar la evaluación agro-técnica parcial en condiciones de explotación a la máquina en pruebas, obteniéndose los indicadores generales de limpieza, pérdidas en cosecha y capacidad de alimentación, así como los posibles daños a la plantación. De ser necesario se realizarán muestreos específicos en algunos conjuntos de la máquina.
- Determinar mediante la evaluación tecnológica explotativa los índices que caracterizan la efectividad de la máquina.
- Observar el impacto medio ambiental.
- Con los datos y análisis realizados durante el desarrollo de las pruebas se proporcionará una herramienta para ejecutar las modificaciones en

las máquinas de la serie cero en fase de fabricación en la República de China.

El nuevo prototipo de máquina cosechadora de caña de azúcar, modelo CCA-5000, llegó al país desarmada lo que permitió realizar el pesaje de algunos conjuntos, realizar algunas mediciones geométricas y cinemáticas antes de ser sometido a la Evaluación de Funcionabilidad. Como documentación preliminar, solo se contó con los índices de la Tarea Técnica y los parámetros cinemáticos del proyecto.

**Tabla No.3. Indicadores de la Tarea Técnica.**

Parámetros establecidos en la tarea técnica	
Cosechar en campos con rendimiento agrícola	Entre 35 y 180 t/ha
Cosechar con máxima eficiencia en un rango de rendimiento agrícola	Entre 50 y 130 t/ha
Rendimiento productivo principal	50 t/h
Consumo específico de combustible	No mayor de 1.2 l/t
Duración del mantenimiento técnico diario	No mayor de 1h
Porcentaje de pérdidas en cosecha	Entre 3 y 5%
Porcentaje de materias extrañas	No mayor del 5%
Coefficiente de seguridad tecnológica	0.98
Coefficiente de seguridad técnica	0.95
Longitud de los trozos	Entre 180 y 280mm

Características de la zona donde se desarrolló la investigación:

Zafra 2013/2014:

Para la evaluación se tuvieron en cuenta las condiciones existentes en las áreas de la UBEAPA "Antonio Guiteras Holmes" de la provincia Las Tunas, específicamente en las Cooperativas "La Horqueta" y "La Pedrera", considerando que el ensayo comenzó un mes antes de concluir la zafra, con la mayoría de los campos en fase de liquidación, otras máquinas cosechando en las áreas asignadas a la investigación, condiciones meteorológicas adversas finalizando la evaluación. Todo esto influyó sobre los resultados obtenidos en el

ensayo. La máquina se desempeñó en campos con rendimientos agrícolas que oscilaron entre 32 y 109 t/ha, cosechando las siguientes variedades de caña:

1. Barbado 80250
1. Cuba 13781.
2. Cuba 32368.
3. Cuba 86503.
4. Cuba 86156
5. Cuba 90105

Los campos no contaban con las condiciones agro-técnicas idóneas, es significativo el pobre acamellonamiento de los surcos y la irregularidad en estos, lo cual dificultó el corte y recogida de los tallos. Del análisis se concluye que los campos seleccionados no reunían todas las condiciones agro-técnicas necesarias que exigía la cosecha mecanizada.

#### **Zafra 2014/2015:**

La máquina cosechó en las cooperativas relacionadas a continuación:

1. La Esperanza.
1. Alexander Stamboliski.
2. Andrés Olano.
3. Los Indios.
4. Demetrio.
5. Batey.

La temperatura promedio mensual del aire es de 24.0°C con máximas de 34.4 °C y mínimas promedios de 13.0°C, la humedad relativa promedio es de 81.0% con máximas medias de 95.0% y mínimas medias de 37.0%, las precipitaciones promedio anuales entre 140-160 mm. Predomina el relieve conocido por llanos ondulados, con una variación de altura en el terreno, entre 2 y 10 m por cada km<sup>2</sup>. El suelo es rojo ocupando el 33 % de la zona central del municipio. Este tipo de suelo posee una estructura interna ahuecada, es decir, las rocas que le dieron origen son del tipo caliza o dolomitas jurásicas cavernosas, lo cual hace que el sistema de escurrimientos o acumulación de agua que en ellos abundan son del tipo subterráneas, es decir sumideros, ríos subterráneos y cuencas que acumulan cantidades de agua. Esto favorece la construcción de pozos y tuberías como mejor vía para la irrigación.

### **Proceso tecnológico:**

Los mecanismos que intervienen en el proceso tecnológico del modelo que se investiga, está formado por el Mecanismo Corta cogollos Desfibrador, Transportadores Helicoidales doble y Mecanismo de Cuchillas Laterales, Mecanismo de Corte Inferior o Cortador Base, Tren de Rodillos Alimentadores, Mecanismo Tronzador de dos paletas, el Sistema de Limpieza es por extracción (2), y Transportador de Descarga. Además se puede invertir el sentido de giro de los órganos de trabajo (reversible), lo cual permite reducir el tiempo de eliminación de los fallos tecnológicos. Por otra parte tiene dos ruedas motrices en la parte trasera y dos direccionales en la parte delantera y un sistema de suspensión hidráulico que permite pasar de la posición de transporte a la de trabajo, a la vez que permite la regulación de la altura de corte.

Una vez ocupada la posición de trabajo y fijada la altura de corte comienza el avance por la hilera a cosechar enfrentándose a la masa vegetal. El primero en hacer contacto es el Mecanismo Corta Cogollos cuya función es desmenuzar el cogollo y las hojas verdes de la caña y lanzarlos fuera del área a cosechar, el resto de la masa vegetal penetra en el canal de alimentación donde es organizada por los Transportadores Helicoidales, simultáneamente el Mecanismo de Cuchillas Laterales elimina las cañas que no se pueden organizar por los transportadores, todo ello permite una mejor asimilación de la masa vegetal y evita el arranque de las sepas.

La masa continúa su trayecto y pasa por un rodillo y un tambor denominados Tumbador y Gallego respectivamente, encargados de inclinar y acomodar la caña para que sea cortada en su base por el Mecanismo de Corte Inferior o Cortador Base, el mismo está dotado de dos discos con segmentos cortantes y dos brazos activos que una vez cortada la caña la entregan a un Tren de Rodillos Alimentadores que la transportan hasta el Mecanismo Tronzador, donde es cortada en porciones (trozos) que van cayendo en la Tolva del Transportador de Descarga, en ese momento los trozos y el resto de la masa es lanzada hacia la Cámara de Limpieza del Primer Extractor donde se separa parte de la materia extraña de los trozos de caña que caen en la Tolva del Transportador de Descarga y la estera del mismo se encarga de lanzarlos

hacia el medio de transporte, en ese momento pasan por la Cámara de Limpieza del Segundo Extractor encargado de realizar la segunda y última limpieza de la caña antes de caer en el medio de transporte que traslada el material cosechado hasta la Industria o el Centro de Beneficio.

El modelo de cosechadora CCA-5000, posee mayor porcentaje de hidraulización con respecto a máquinas similares de factura nacional, todos los mecanismos de la máquina están hidraulizados.

Este indicador de calidad (rendimiento productivo) se registra dentro de la información del peritaje, se tomó para comparar los valores obtenidos durante el desempeño del prototipo en ambas zafra, aunque las condiciones agro-técnicas y explotativas fueron diferentes, es significativa la disparidad entre uno y otro. En la zafra precedente el prototipo no tuvo las condiciones para un buen desempeño, como se aprecia en la actual contienda.

**Tabla No. 4.** Resultados del desempeño del prototipo en las Zafra 2013/2014 y 2014/2015 bajo cronometraje. (CEDEMA, 2015)

Denominación		Unidad	2013/2014	2014/2015
Rendimiento por horas de tiempo	Limpio	t/h	34.13	58.32
	Efectivo		30.96	50.03
	Productivo		14.91	29.48

En el período se tomó un número de muestras representativas del desempeño del prototipo en condiciones reales de explotación. Se presentaron problemas organizativos dados por falta de recursos, tales como las piezas de repuesto, fallos técnicos que para solucionarlos hubo que trasladarse hasta la Fábrica de Combinadas en Holguín, distante a cientos de kilómetros del área seleccionada para el ensayo, continuas interrupciones en la industria, falta de transporte y otras causales mantuvieron al prototipo inactivo durante largos períodos.

Indicadores productivos:

**Tabla No. 5.** Valores de indicadores productivos bajo cronometraje. (CEDEMA, 2015)

Indicadores bajocronometraje	2013/2014	2014/2015
Volumen de producción (t)	3720.791	6778.22
Promedio cosechado por jornada (t)	169.127	188.28
Velocidad de trabajo promedio (km/h)	3.74	5.832
Rendimiento por horas de tiempo efectivo (t/h)	30.96	50.03
Tiempo limpio de trabajo (h)	100.51	116.22
Tiempo efectivo (h)	120.19	135.49
Tiempo de Mantenimiento Técnico (h)	33.84	32.24
Tiempo para eliminar fallos tecnológicos (h)	3.56	3.73
Tiempo para eliminar fallos técnico (h)	21.92	45.70
Tiempo otras operaciones para eliminar fallos (h)	17.74	6.04
Tiempo explotativo (h)	239.24	252.14
Tiempo de paradas por otras causas (h)	97.01	137.82
Tiempo perdido imputable a la máquina (h)	45.45	56.19
Tiempo perdido no imputable a la máquina (h)	165.65	196.03
Tiempo general de observación (h)	336.28	389.96
Porcentaje de aprov. del tiempo efectivo (%)	50.24	29.80

El tiempo empleado en los mantenimientos técnicos diarios fue menor de los 60 min establecidos en la tarea técnica como tiempo mínimo, el incumplimiento de las normas del mantenimiento técnico diario, en parte por la premura de salir a cosechar reduciéndose el tiempo establecido para realizar dicha operación, además se violan pasos (engrase, ajustes, regulaciones, etc.), acelerando el desgaste de partes y piezas que reducen la vida útil de la máquina, aumentan los costos y disminuye la capacidad productiva.

Indicadores técnicos y tecnológicos.

Estos indicadores expresan el grado de confiabilidad tecnológica y técnica de la máquina sometida a condiciones reales de explotación.

**Tabla No. 6.** Valores de indicadores técnicos y tecnológicos bajo cronometraje.(CEDEMA, 2015)

Indicadores bajocronometraje	2013/2014	2014/2015
Consumo de combustible efectivo (l/t)	0.96	
Consumo de combustible por toneladas cosechadas (l/t)	2.24	1.38
Coeficiente de seguridad tecnológica	0.97	0.97
Coeficiente de seguridad técnica	0.82	0.72

El consumo de combustible establecido en la Tarea Técnica es de 1.2 l/t como resultado se obtuvo uno de 2.24 l/t y 1.38 l/t respectivamente, es decir, que se excedió en el consumo, motivado por la necesidad de adoptar una velocidad de corte por debajo de la nominal para evitar los embotamientos en los órganos de trabajo ya que algunos estaban con las revoluciones muy bajas, como fue el transportador de descarga, con el motor de combustión interna trabajando a 2100 rpm provoca un sobre consumo de diesel, hay que considerar que este no es el motor que por solicitud de AZCUBA llevará esta máquina.

El Coeficiente de Seguridad Tecnológica obtenido fue 0.97, estuvo muy próximo al fijado en la tarea (0.98), en parte estuvo motivado por la poca destreza y visibilidad de los operarios sobre todo al comenzar el corte en las cabeceras de las hileras, donde fueron reiterativos los embotamientos con la masa vegetal, en esto jugó un papel fundamental el mecanismo reversible que reduce el tiempo empleado en eliminar los fallos tecnológicos.

Otro indicador que tuvo un comportamiento adverso fue el Coeficiente de Seguridad Técnica, con 0.82 y 0.72 de 0.95 establecido en la tarea, las causas fundamentales estuvieron centradas en fallos imprevistos de componentes hidráulicos, el alternador y otros.

#### **Comportamiento de los tiempos:**

El análisis de los tiempos durante el trabajo de la cosechadora da una visión de la labor de la máquina en el campo y su aprovechamiento, esto permite definir donde se encuentran las principales causas que dificultan el trabajo eficiente de las cosechadoras.

**Tabla No. 7.** Valores de los tiempos cronometrados y el por ciento con respecto al tiempo general de observación.(CEDEMA, 2015)

Tiempos	2014/2015		2014/2015	
	H	%	H	%
Principal olimpico T1	100.512	29.889	116.223	29.81
Auxiliar T2	24.666	7.335	21.519	5.52
Operacionestécnicas T3	41.323	12.288	36.711	9.41
Eliminación de fallos T4	43.195	12.845	55.468	14.23
Necesidadespersonales T5	5.728	1.703	5.508	1.41
Traslados T6	23.657	7.035	16.471	4.22
Mantenimiento de los medios de transporte T7	0.162	0.049	0.241	0.06
Causas ajenas a la explotación T8	97.038	28.856	137.819	35.34
Duración de la observación TG	336.281	100.00	389.96	100.00
Perdido imputables a la máquina TI	45.450	13.515	56.191	14.41
Perdido no imputables a la máquina TNI	165.653	49.269	196.027	50.27
Total perdido	211.103	62.784	252.218	64.68

En la tabla anterior se desglosan todos los tiempos cronometrados durante el período de observación. El 62.8% en la zafra 1 y el 64.7 % en la zafra 2 corresponde al tiempo perdido y al tiempo operativo corresponde el 37.2% y el 35.3% respectivamente, es decir, al tiempo de operaciones de cosecha limpio de trabajo más el auxiliar (tiempo empleado en los virajes), (T1+T2).

**Tabla No. 8.** Desglose en por ciento de los tiempos perdidos.(CEDEMA, 2015)

Por ciento de tiemposperdidos (%)	2013/2014	2014/2015
Imputables a la máquina		
Eliminación de fallosteconológicos	7.830	6.64
Eliminación de fallostécnicos	48.237	81.32
Búsqueda y solución de losfallos	39.973	10.75
Traslados a causa de los fallos	4.960	1.29
Noimputables a la máquina		



Mantenimiento técnico diario	20.429	16.45
Regulación de los órganos de trabajo	0.580	2.28
Acondicionamiento de la máquina	3.937	0.00
Necesidades personales	3.458	2.81
Traslados, excepto los causados por fallos	12.920	8.03
Mantenimiento de los medios de transporte	0.098	0.12
Otras causas ajenas al proceso explotativo	58.579	70.32

Como se aprecia el mayor por ciento del tiempo perdido imputable a la máquina lo tiene la eliminación de fallos técnicos fundamentalmente en el sistema hidráulico, el transportador de descarga y el tercer tambor.

Por otra parte entre los no imputables, los problemas organizativos son los que tienen mayor peso con causas ajenas al proceso explotativo.

Interrupciones que afectaron el proceso explotativo:

- Falta de transporte por déficit de rastras
- Interrupciones en la industria.
- Falta de combustible
- Falta de aceite hidráulico.
- Roturas por obstáculos dentro del campo.
- Espera para cambiar de medio de transporte durante el proceso de cosecha.

Indicadores de calidad:

Pérdidas en cosecha.

En la tabla No.9 se exponen los valores porcentuales de las pérdidas en cosecha muestreadas durante el ensayo.

**Tabla No. 9.** Resultado del muestreo de las pérdidas de la cosecha. (CEDEMA, 2015)

Pérdidas de caña durante la cosecha		
Indicador	Promedio 2013/2014	Promedio 2014/2015
Trozos caídos (%)	1.87	1.7

Cañalarga (%)	7.76	1.2
Altura de corte (%)	1.60	0.6

Al analizar estos resultados vemos que la cosechadora CCA5000 sobrepasa el límite superior del rango asignado a ésta máquina que es de (3-5) %.

Materias extrañas.

La calidad del material cosechado se determinó con el muestreo realizado en los medios de transportes cargados por la máquina. En la tabla No.10 se muestran los resultados de esta evaluación.

**Tabla No. 10.** Porcentaje de materias extrañas.(CEDEMA, 2015)

Materias extrañas enviada a la Industria				
Indicador	2013/2014		2014/2015	
	Tarea Técnica	Promedio	Tarea Técnica	Promedio
Materia extraña total (%)	Menos de 5.0	16.46	Menos de 5.0	9.52
Materia extraña total (%)	Menos de 5.0	16.46	Menos de 5.0	9.52

La calidad del material cosechado se determinó por muestreos realizados en el basculador. Los resultados obtenidos da que el porcentaje de materias extrañas en la masa vegetal es superior al establecido en la tarea técnica que no debe exceder del 5%, (de este total el 3.3 % corresponde a cogollo) Esta cifra debe ser analizada con AZCUBA porque es muy baja para máquinas de esta generación. La causa está dada fundamentalmente por la paralización del mecanismo desfibrador de cogollos por rotura del hidromotor (sin repuesto), el cogollo es un elemento muy pesado al no eliminarse eleva dicho por ciento.

Resultados comparativos con el motor de combustión interna trabajando con las revoluciones nominales en 2100 y a 1800 rpm respectivamente.

Para verificar la propuesta cubana, sobre la efectividad del esquema tecnológico de la cosechadora con el motor de combustión interna (CATERPILAR) trabajando a 2100 y no con las 1800 rpm planteadas por HANSEN, se ejecutó el ensayo con las variantes antes expuestas cuyos resultados promedios se presentan en la tabla No. 11.

**Tabla No. 11.** Indicadores de cambio de las rpm del motor.(CEDEMA, 2015)

Indicadores con cambio de las rpm del motor	Unidades	2100	1800
Rendimiento productivo por horas de tiempo limpio	t/h	38.20	32.61
Rendimiento productivo por horas de tiempo efectivo	t/h	32.74	25.28
Promedio cosechado por jornada	T	182.41	118.29
Consumo de combustible efectivo	l/t	0.94	1.14
Consumo de combustible por toneladas cosechadas	l/t	2.30	2.46

Aunque los valores obtenidos no se acercan a los promedios establecidos en la tarea producto de las condiciones en que se realizaron los experimentos, si se aprecia la diferencia existente entre las variantes.

Debemos resaltar que en una de las muestras se logró un rendimiento productivo por horas de tiempo limpio de 60.2 t/h con el motor a 2100 rpm contra 43.28 t/h con la variante HANSEN, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla No.12.**Rendimiento productivo.(CEDEMA, 2015)

Indicadores con cambio de las rpm del motor	Unidades	2100	1800
Rendimiento productivo por horas de tiempo limpio	t/h	60.20	43.28
Rendimiento productivo por horas de tiempo efectivo	t/h	54.60	37.43

Esto demuestra que para asegurar alcanzar estos indicadores, debe mantenerse el motor trabajando a 2100 rpm como se establece en el proyecto cubano.

Las principales insuficiencias detectadas durante la realización del periodo de pruebas 2013/2014 están relacionadas con:

1. Insuficiente ajuste de las uniones estructurales roscadas.
1. Rotura de pasadores y apoyos del Tercer Tambor Superior.

2. Desajuste en el volante y la caja de engranaje del Mecanismo Tronzador.
3. Bajas revoluciones de los Tambores Alimentadores y el Mecanismo Tronzador.
4. Altura de la Primera Cámara de Limpieza fuera de los parámetros normados.
5. Choque del Transportador de Descarga con los medios de transporte, debido a la modificación en la altura de los mismos.
6. Baja revoluciones de la estera del Transportador de Descarga.
7. Poca apertura del deflector de la Segunda Cámara de Limpieza, provoca la caída de materias extrañas en el medio de transporte.
8. Rotura del acoplamiento de la Caja de Bombas.
9. Rotura del sello del hidromotor del Sistema de Enfriamiento de Aceite Hidráulico.
10. Salideros de aceite hidráulico por las uniones.
11. Fallos eléctricos en el Sistema de Ventilación de la Cabina (aire acondicionado) e inadecuada ubicación del mismo.
12. Conexión en serie del circuito hidráulico del Mecanismo de las Cuchillas Laterales, deben ser independientes y reversibles.
13. Desconexión del Mecanismo Corta cogollos (Desfibrador) por rotura de mangueras.
14. Poca hermeticidad de la cabina, lo que facilita la entrada de polvo y agua a su interior. Además el asiento no es regulable, el timón no es abatible y hay mala visibilidad, lo que reduce el confort.
15. Faltan puntos de engrase en las articulaciones del Mecanismo Corta cogollos.
16. Sin protección tubería del respiradero del tanque de combustible en el lateral derecho de la Cabina.
17. Falta cubierta de goma entre el Mecanismo Tronzador y la Tolva del Transportador de Descarga, para evitar la caída de trozos.
18. Fractura de segmentos en el Mecanismo Corta cogollos, presumiblemente por baja resistencia al impacto.

19.No coincidencia de la copilla ubicada en el Segundo Extractor con la engrasadora, lo que impide su lubricación, posibilitando la ocurrencia de un fallo.

Y las principales insuficiencias detectadas durante la realización del periodo de pruebas 2014/2015 están relacionadas con:

1. Desgaste en los bujes del brazo del cilindro direccional.
2. Rotura del pasador de unión de la viga de giro con el cilindro.
3. Rotura del hidromotor del mecanismo desfibrador ha impedido su funcionamiento afectando la eliminación de materias extrañas (cogollos).
4. Rotura del rodamiento inferior del rotor del extractor primario.
5. El extractor primario lanza las materias extrañas eliminada sobre el segundo medio de transporte.
6. Rotura del rodamiento del árbol de entrada de la caja de bombas por lubricación deficiente.
7. Rotura del eje de giro por fatigas.
8. Rotura de acoplamiento de la caja de bombas con el motor.
9. Rotura en los rodamientos del árbol superior del transportador de descarga.
10. Rotura del eje estriado de la última sección de la bomba triple.
11. Rotura del hidromotor del tercer tambor flotante.
12. Baja presión en el circuito hidráulico de accionamiento de la estera del transportador de descarga y el extractor secundario.
13. Baja potencia en el cortador base provocando embotamientos reiterados.
14. Fuga de aceite en el hidromotor del mecanismo de la cuchilla lateral.
15. Acumulación de paja en la base del sinfín exterior.
16. Rotura y desgastes de las aspas del extractor primario.
17. Poca visibilidad desde la cabina para efectuar la operación de la descarga.
18. Deformación en el área de fijación del cortador base.
19. La señal sonora del claxon es pobre y el operador del tractor no la escucha.

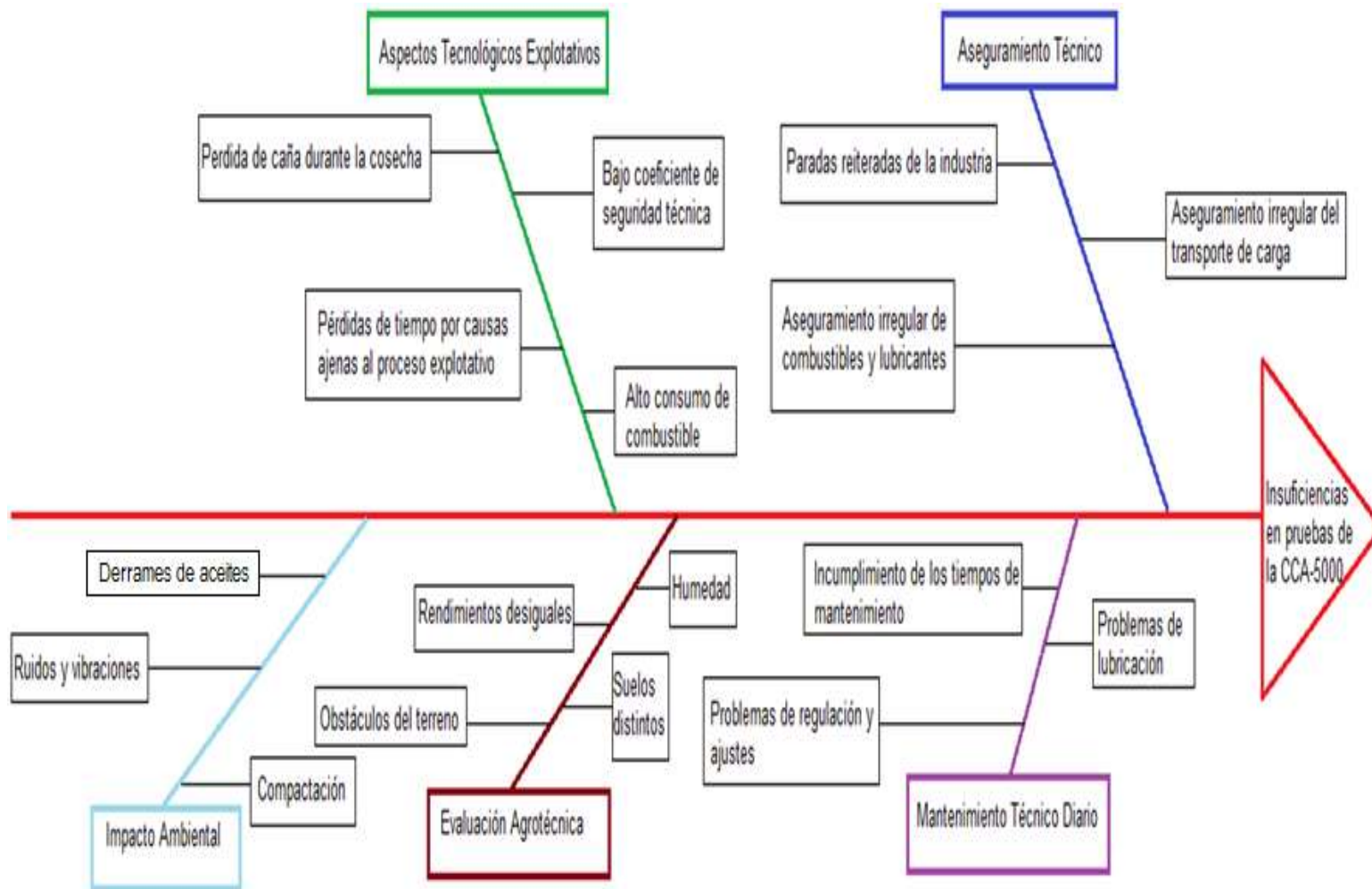
20. Las cuchillas laterales son fijas y el operador no las puede regular desde la cabina.
21. Las cuchillas laterales giran simultáneamente.
22. Pérdidas de caña al caer la masa desde el picador a la tolva del transportador.
23. Deterioro del recubrimiento de interior de la cámara de limpieza principal.
24. Reubicación de la gualdera protectora del transportador de descarga.
25. Dificultad para evacuar la paja que se acumula dentro de la cabina.
26. Falta de hermeticidad en la cabina.
27. Dificultad para sacar los filtros para el mantenimiento.
28. Algunos tornillos que soportan la caja de bombas no se pueden colocar.
29. Tornillos partidos y dañados que soportan la caja de bombas, analizar tipo de rosca y calidad.
30. Las mangueras de goma con alambre se ponen muy duras y se contraen cuando tienen un tiempo de trabajo haciendo muy difícil el montaje.
31. Tarda más de una hora para poder ver el nivel real de la caja de bombas en el visor.
32. El transportador de descarga es muy lento para subir y bajar.
33. Pérdida de la chumacera del transportador de descarga por rotura de los tornillos de fijación.
34. El interruptor térmico del enfriador no funciona.
35. Salidero de aceite por el sello del motor hidráulico del enfriador de aceite.
36. Falta de aislamiento de los cables y conectores del transportador de descarga.
37. Por el diámetro pequeño del drenaje del aceite del motor se hace muy lento evacuarlo.
38. La línea para rellenar de la caja de bombas tiene poca capacidad.
39. Rotura de las gualderas flotantes.
40. Incorrecta regulación del valvistor provoca baja velocidad en los tambores alimentadores.
41. La capacidad del tanque de combustible no le permite trabajar una jornada completa.

42. Las cañas largas son conducidas por los espirales de los sinfines hasta el final de estos provocando acumulación de masa vegetal contra la cabina.

#### **2.4. Vías para mejorar el Sistema de Mantenimiento de la CCA 5000.**

Independientemente de la técnica seleccionada en la aplicación del Análisis de la Causa Raíz, se van planteando hipótesis acerca de cómo un evento dado puede ser consecuencia de otro evento precedente. El tratamiento adecuado de la información es un elemento clave para explorar todas las posibilidades y verificar la conexión existente entre los diferentes eventos a considerar en el análisis tomando como base dos interrogantes básicas: ¿cómo? (cómo es que ocurre el fallo) y ¿por qué? (causa por la que ocurre el fallo).

Se identifican las soluciones necesarias y se proponen las correcciones, modificaciones o inversiones requeridas para eliminar la causa raíz y evitar la recurrencia del fallo por dicha causa. Se implementan las soluciones que se hayan decidido para eliminar la causa raíz. De esta forma se garantiza que el fallo no vuelva a ocurrir dado que no existe la verdadera causa que lo origina.



**Figura 2.4:** Análisis de Causa Raíz de las insuficiencias de la CCA-5000.



En el Mantenimiento Técnico Diario (MTD) utilizado, según la CASE, no hay especificaciones técnicas sobre las variables que pueden ser medidas, como son el nivel de aceite del motor, nivel de líquido refrigerante del radiador, nivel de aceite hidráulico en depósito, nivel de aceite de la caja de bombas, nivel de aceite del cortadora base o nivel de aceite del cortador. En cada uno de estos casos, el operador o el técnico que hace la revisión, debe tener indicaciones cuantitativas de cuáles son los niveles adecuados para que la máquina salga a trabajar. Por lo que estos valores deben ser incluidos en las indicaciones del MTD de la CCA 5000.

De igual forma, no se especifican ni cuantifican los niveles de ajuste de mecanismos y sistemas que deben ser revisados diariamente, como por ejemplo, aprietes de contratueras, estado de holguras y juegos entre elementos de trabajo, estado de rodamiento, estado de lubricantes y otras.

En este sentido, hay dos acciones de mejora importantes en MTD:

1-Identificar las variables de funcionamiento de la CCA- 5000, tales como temperatura, presión, niveles de ruido y vibraciones, entre otras, cuyos valores deben ser cuantificados y comparados con los valores establecidos de buen estado, en su manual de explotación y mantenimiento.

2-Debe lograrse la medición y el control de las variables de funcionamiento más significativas, mediante el uso de monitorización con instrumentación continua (on line), incluida en su diseño o control discreto (off line), con los instrumentos adecuados.

3-Las variables temperatura, presión, niveles de aceite y niveles de vibraciones son variables que debe ser priorizadas, para su control en las futuras modificaciones del diseño de la CCA 5000 y su sistema de mantenimiento.

En el caso del Sistema de Mantenimiento Técnico aplicado a la CCA 5000, es evidente que no se ha realizado un estudio riguroso de los plazos fijos establecidos en el sistema preventivo que utiliza. La totalidad de los tiempos son múltiplos de 50, lo que obviamente es una propuesta del fabricante, estimada según experiencias en condiciones totalmente diferentes a las de nuestro país.

Obtener los plazos de revisión y recambio de piezas, en maquinarias tan complejas, como las cosechadoras de caña, implican un riguroso trabajo de investigación, que parte de la aplicación de probados métodos científicos usados en la Ingeniería de Mantenimiento en la actualidad.

Mejorar el sistema preventivo de la CCA-5000 implica la aplicación de estos métodos, desde sus primeras etapas de diseño y prueba. Por lo que es recomendable para próximas etapas, la incorporación al sistema de pruebas del Método de Análisis de Causa y Efecto del Fallo, explicado en el capítulo anterior.

El AMEF es un método que nos permite determinar los modos de fallos de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan. De esta forma se podrán clasificar los fallos por orden de importancia, permitiéndonos directamente establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando un mayor impacto económico, con el fin de eliminarlas por completo.

Implementar el AMEF a las pruebas y al empleo de las CCA 5 000, significa establecer una secuencia que se fundamenta en la relación de causa y efecto de los fallos que aparecen en las distintas fases de su explotación.

Para la implantación de este método se debe realizar una identificación de los distintos fallos de la cosechadora que resulten críticos y las consecuencias de los mismos, además, es necesario identificar las formas en que puede fallar la máquina, las causas y los efectos sobre la organización.

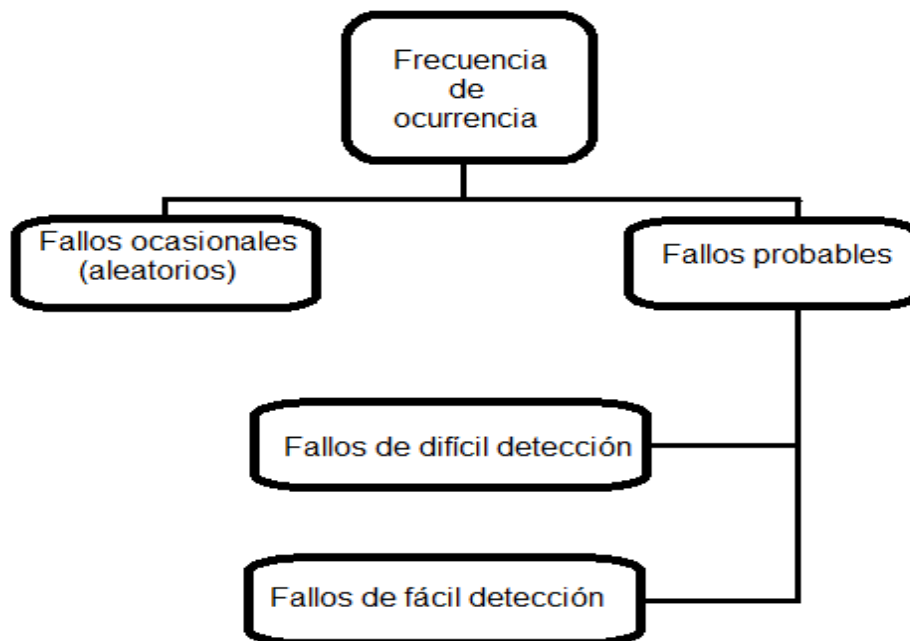
En la determinación de los modos fallos se debe tener en cuenta:

- Modos de fallos que han ocurrido previamente, los que son prevenidos con el plan de mantenimiento actual y los que no han ocurrido pero son razonablemente probables de ocurrir.
- Modos de fallos relacionados con el desgaste, defectos de diseño y errores humanos durante la operación y mantenimiento. La tabla 13 muestra las primeras hojas de información arrojadas por el AMEF.

**Tabla No. 13.** Hoja de información del AMEF. (CEDEMA, 2015)

Análisis del Modo y Efecto del Fallo				AMEF Número		
Descripción		Responsable del Proceso		Página		De
Año/modelo/ cosechadora(s)		Fecha de elaboración		Preparado por		
Equipo de trabajo				Fecha del AMEF		
Fallo Funcional	Modo de Fallo (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de fallo	Efecto de fallo	Actividad de Mant. Recomendada	

La clasificación de los fallos de la cosechadoraes de gran importancia para la asignación del tipo de mantenimiento a ejecutar sobre el activo. Para ello se utilizó como criterio de clasificación la frecuencia de ocurrencia de las mismas (ver figura 2.5).



**Figura 2.5:** Criterio de clasificación de los fallos.

Según este criterio de clasificación los fallos se pueden denominar como probables y ocasionales.

-Fallos ocasionales (aleatorios): por lo general no siguen un patrón previsible, por lo que es muy difícil estimar en qué momento se van a presentar, por ejemplo fallo de componentes eléctricos y electrónicos, atascamientos, golpes de los equipos con objetos externos, etcétera.

-Fallos probables: generalmente son fallos cíclicos, o sea, que están relacionados al deterioro por fatiga, desgaste, desajuste o falta de calibración del equipo o pieza. Estos fallos se dividen a la vez en fallos de difícil detección y fallos de fácil detección.

-Fallos de difícil detección: por las condiciones de operación y montaje del equipo la identificación del fallo es de alta complejidad.

-Fallos de fácil detección: son aquellos fallos que se pueden ubicar rápidamente, es decir, es fácil conocer el momento en que se presentan.

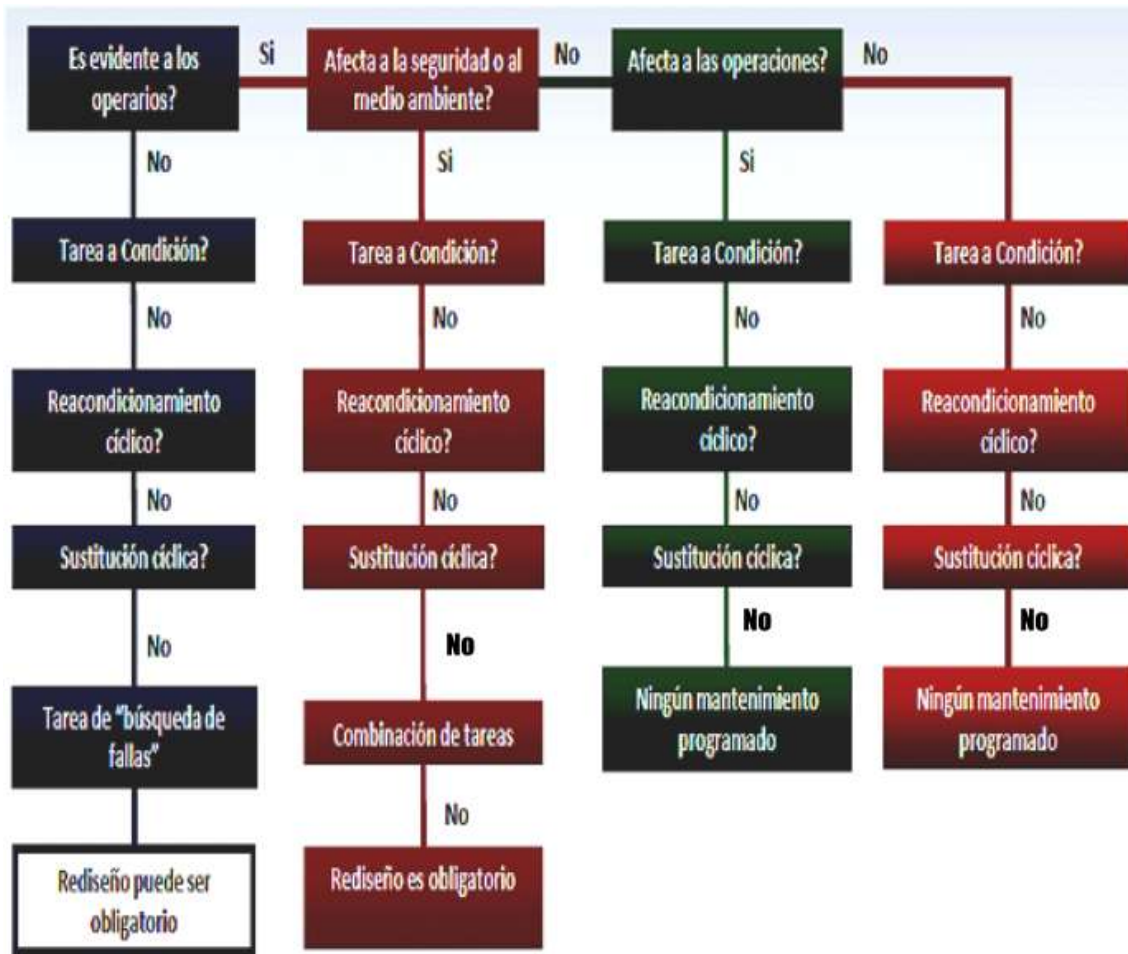
**Tabla No. 14.** Clasificación de los fallos de la cosechadora.(CEDEMA, 2015)

Cosechadora de Caña CCA-5000			Clasificación del fallo	
Fallos Funcionales	Parte del equipo afectado	Causa del fallo	Según frecuencia	Según detección

El diagrama es el que permite realizar, a través de sus pasos, el análisis correcto para la toma de decisiones en la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En este diagrama aparecen de forma organizada, lógica y detallada cada una de las interrogantes y condiciones a tener en cuenta en el proceso de análisis de los fallos, sus causas y consecuencias y el actuar ulterior en la solución de los mismos.

El proceso tiene como objetivos la búsqueda de las tareas de mantenimiento técnico económicos más eficientes, a través de la determinación de los requerimientos de mantenimiento de los elementos físicos de los equipos y

máquinas, en dependencia del contexto operacional en que son explotados para que continúen funcionando.



**Figura 2.6.**Proceso de decisión lógica. (Poveda, 2006.)

La explicación al proceso de decisión lógica sería:

Al ocurrir un fallo funcional hay que analizar si es evidente para el operario. Si el fallo no se puede detectar durante la operación habría que dilucidar si se pueden prevenir o evitar los riesgos de fallos múltiples. En caso afirmativo se realizarían tareas a condición o cíclicas (reacondicionamiento o sustitución) en dependencia de la condición técnica del sistema. En caso contrario se pueden realizar tareas de búsqueda de fallos. En algunos casos el rediseño puede ser obligatorio.

Si el fallo se puede detectar durante la operación hay que considerar si afecta la seguridad o el medio ambiente, si esto ocurre se deben realizar tareas de

mantenimiento para su prevención. Si no se puede prevenir, el rediseño es obligatorio.

Si el fallo no afecta la seguridad o al medio ambiente se evaluaría su comportamiento respecto a las operaciones (parada de la producción, afectación de la calidad, afectación del servicio al cliente, afectación de los costos operacionales).

De fallar algo, y detener o disminuir los niveles de producción o afectar la calidad, se debe estimar si es más barato prevenir el fallo que los costos que se generarían por la inactividad del sistema. Las tareas de mantenimiento se realizarían de ser muy elevados los costos por inactividad del sistema. En caso contrario, lo lógico es esperar hasta que falle el sistema.

Si el fallo no detiene o disminuye significativamente los niveles productivos, se valoraría si es más económico prevenir el fallo que los costos que se generarían por la acción directa para el restablecimiento del sistema, habría que hacer las tareas preventivas; de lo contrario se esperaría hasta que falle el sistema.

Para dar continuidad al proceso de toma de decisiones lógicas es preciso elegir, entre prevenir según condición técnica del sistema, o en dependencia de la fiabilidad conocida de sus elementos para realizar tareas preventivas cíclicas. El orden lógico a seguir sería preguntarse si es factible técnicamente y merece la pena realizar tareas según la condición técnica del sistema. Esto sólo es posible si:

Se puede identificar claramente el instante del Fallo Potencial.

2. El intervalo  $P - F$  (fallo potencial/fallo funcional) es suficientemente largo para poder prevenir el fallo.

3. Las tareas a ejecutar en el período  $P - F$  eliminan el riesgo de fallo.

Si alguna de estas tres condiciones no se cumple, entonces no es factible la aplicación de la tarea por estado de condición y es preciso ejecutar tareas cíclicas.

La tarea cíclica es técnicamente factible y merece la pena si:

1. Se conoce la probabilidad de trabajo sin fallo del sistema.
2. Las tareas de restauración o sustitución eliminan el riesgo del fallo.

En caso del no cumplimiento de una de estas dos condiciones no sería factible realizar la tarea cíclica y entonces sería preciso ejecutar tareas de búsqueda de fallos.

Tarea de búsqueda de fallos.

La ejecución de las tareas de búsqueda de fallos está sujeta a dos condiciones, sin las que no sería factible o no valdría la pena su realización:

1. Que sea posible comprobar que el sistema o elemento ha fallado.
2. Que el tiempo medio entre fallos sea poco disperso y por tanto sea posible establecer intervalos de comprobación confiables.

Si una o ambas condiciones no se cumplen, entonces es necesario rediseñar el sistema.

El análisis de los fallos permite facilitar la elaboración de un nuevo Sistema de Mantenimiento de la Cosechadora de Caña CCA-5000.

Al elaborar el nuevo Sistema de Mantenimiento, es necesario definir las tareas precisas y necesarias para evitar los fallos y mantener la funcionalidad y funcionabilidad de la cosechadora, para lo cual se debe hacer un análisis de los fallos utilizando el diagrama del proceso de decisión lógica.

**Tabla No. 15.** Análisis de los fallos.(CEDEMA, 2015)

Cosechadora de Caña CCA-5000									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas Planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente	Operacional	Sí	No	Cond.	Cícl.	

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se selecciona la política de mantenimiento a seguir según sea el tipo de fallo.

M.C: Mantenimiento Correctivo

M.P.P: Mantenimiento Planificado

M.P: Mantenimiento Predictivo

C.D: Corrección de Diseño

**Tabla No.16.** Selección preliminar de la política de mantenimiento. De acuerdo a los fallos ocurridos en las etapas de prueba.(CEDEMA, 2015)

F ALLOS	Posibles Sistemas de Mantenimiento							
	Zafra 2013/2014				Zafra 2014/2015			
	M.C.	M.P.P.	M.P.	C.D.	M.C.	M.P.P.	M.P.	C.D.
1	3		12	4	2	1	3	5
2	10		15	5	4	6	12	7
8				6	8	16	13	17
9				7	9	30	14	18
11				13	10	35	31	19
14				16	11		34	20
19				17	15			21
				18	23			22
				20	29			24
					33			25
								26



								27
								28
								32

Luego de seleccionar la política de mantenimiento a seguir en los dos estudios preliminares, se obtiene que el Sistema de Mantenimiento aplicado a la cosechadora está compuesto por una combinación de varios tipos de mantenimiento teniendo en cuenta las condiciones de diseño, como se expone en la tabla no,16

El estudio del origen de los fallos, conduce a conocer las causas, modos y efecto de los fallos y averías en las distintas etapas de explotación de la Cosechadora CCA-5000.

En resumen, hay que tener en cuenta las siguientes etapas:

1-Descripción del modo y efecto del fallo, teniendo en cuenta el fallo, sus síntomas, parte del equipo afectada, causas y efectos del fallo y la actividad de mantenimiento recomendada.

2- Evaluar si el fallo es funcionamiento o si es necesaria una corrección de su diseño.

3-Criterio de clasificación de los fallos, lo que recoge la frecuencia de ocurrencia dentro de la cual están los fallos ocasionales y los fallos probables.

4-Clasificación de los fallos, analizando fallos funcionales, parte del equipo afectada, causas y denominación del fallo.

5-Proceso de decisión lógica donde aparecen de forma organizada, lógica y detallada cada una de las interrogantes y condiciones a tener en cuenta en el proceso de análisis de los fallos.

6-Análisis de los fallos.

7-Selección de la política de mantenimiento.

Un primer paso debe estar orientado a perfeccionar el actual sistema previsto. El Mantenimiento Preventivo Planificado que debe ser aplicado en el caso estudiado,

teniendo en cuenta además otras experiencias internacionales, debe establecer plazos fijos de tiempos para operaciones tales como:

- Ajustes.
- Regulación.
- Lubricación.
- Cambio de piezas con plazos fijos de duración como: rodamientos, sellos y similares.
- Pintura y chapistería (al finalizar la zafra).
- Recubrimientos.
- Elementos con plazos fijos de duración del sistema hidráulico.
- Cambio de neumáticos.
- Otras acciones de similares características.

Las acciones de Mantenimiento Predictivo, basadas en la monitorización de variables principales de funcionamientos, deben priorizar:

- Control de variables de funcionamiento del motor de combustión interna.
- Control continuo de presión del sistema hidráulico. Varios puntos de monitorización con control de alarmas.
- Monitorización de los parámetros ergonómicos de la cabina. Empleo de sensores para controlar el nivel de vibración, nivel de ruido y contaminación de aire.
- Control periódico de estado de rodamientos. Uso de equipos portátiles de medición del mismo.
- Control sistemático de fugas de aceite. Utilización de equipos para detectar fugas. Control remoto de temperatura. Empleo de equipamiento termográfico. Control sistemático on line y off line.
- Control sistemático vibratorio en los distintos sistemas (sistema de corte, tronzador, extractores de limpieza).

## **2.5. Premisas para implementar el Control Vibratorio.**

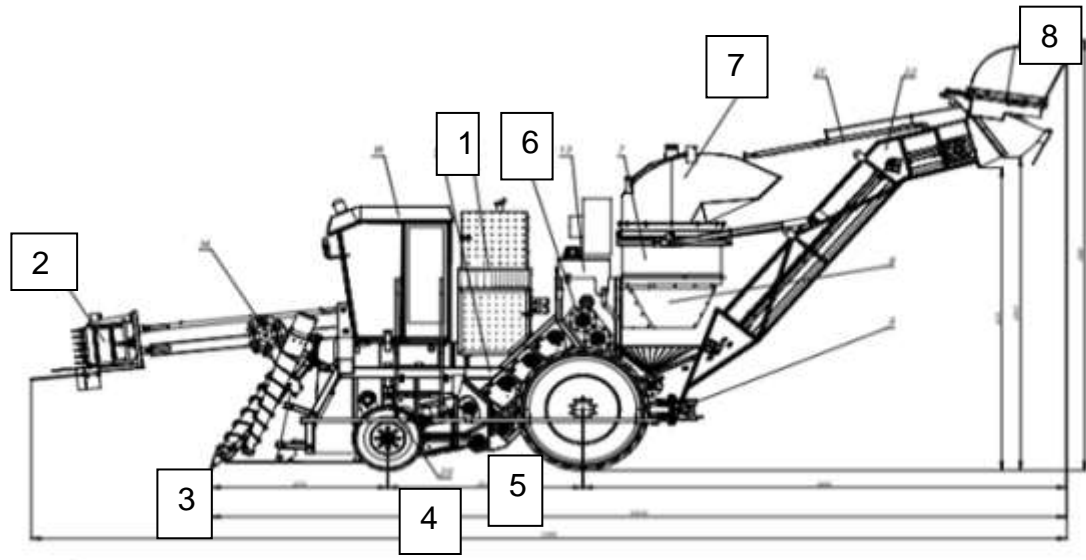
En las máquinas agrícolas en general y especialmente en la CCA 5000, los distintos sistemas y componentes tienen diferentes velocidades de trabajo,

provocando vibraciones en sus respectivas frecuencias de trabajo. Conocer la cinemática de esta máquina es el primer paso para implementar el control vibratorio.

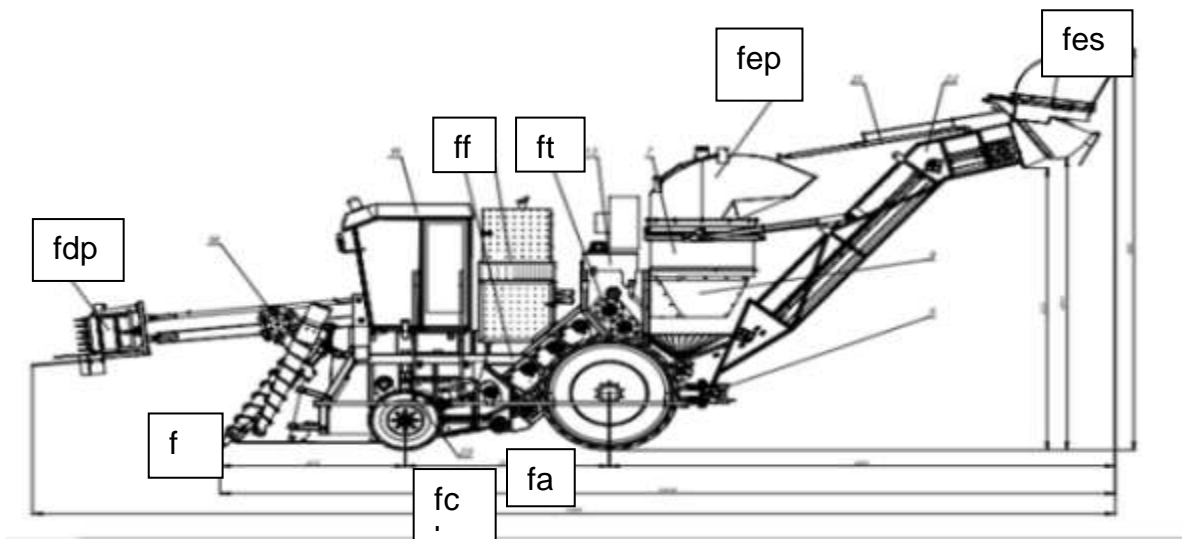
Un primer momento para iniciar la introducción del control vibratorio es poder establecer el que elementos o sistemas de trabajo de la CCA 5000 aportan o producen las perturbaciones más significativas. Preliminarmente se puede establecer que es necesario conocer las velocidades de dichos elementos o sistemas, fig. ( 2.7) para establecer un comportamiento preliminar vibratorio.

Estos elementos o sistemas son:

1. Motor ( Rango de Velocidades).
2. Despuntador
3. Divisores
4. Cortador de base
5. Rodillos alimentadores
6. Tronzador
7. Extractor primario
8. Extractor secundario



**Fig.2.7.** Velocidades de los principales sistemas de trabajo de la cosechadora CCA-5000.(Fuente propia)



**Fig.2.8.** Frecuencias Fundamentales. Máquinas funcionando sin carga.(Fuente propia)

Donde:

$ff$ : Frecuencia fundamental de giro del Motor ( Rango de Velocidades).

$f_{dp}$ : Frecuencia de giro del despuntador.

$f_d$ : Frecuencia de giro de los divisores.

$f_{cb}$ ; Frecuencia del cortador de base.

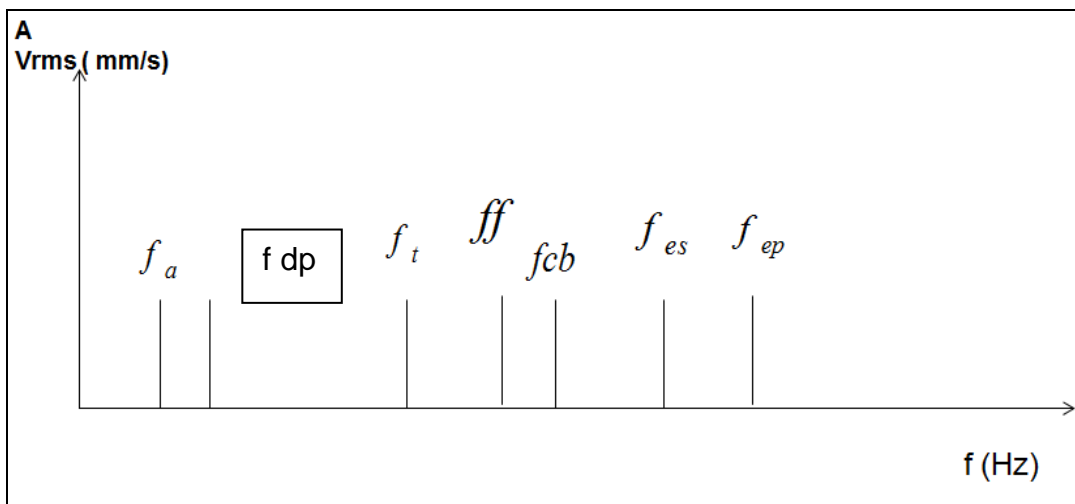
$f_a$  : Frecuencia de giro de los rodillos alimentadores.

$f_t$ : Frecuencia del corte del tronizador.

$f_{ep}$ : Frecuencia de giro del extractor primario.

$f_{es}$ : Frecuencia de giro del extractor secundario.

Definir el espectro de las posibles frecuencias vibratorias en la CCA 5000, es un paso indispensable en la introducción del control vibratorio para el Mantenimiento Predictivo.



**Fig.2.9** Posible espectro de frecuencias nominal de la CCA 5000.(Fuente propia)

La definición de preliminar de un posible espectro de frecuencias es el primero de los pasos para obtener la firma espectral vibracional de la CCA 5000 y conlleva a

estudios de mayor profundidad, que no se incluyen en los objetivos y alcance del presente trabajo.

## **2.6. Valoración Económica, Medioambiental y Aporte a la Defensa del país.**

La propuesta de un Sistema de Mantenimiento mixto, que incluye Mantenimiento Preventivo Planificado, Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Correctivo significa, además de mejores prestaciones técnicas y mayor confiabilidad, reducción de inventarios de piezas de repuesto, disminución de reparaciones, mayor producción de caña y en consecuencia altos niveles productivos de azúcar. La CCA-5000 está diseñada y probada para producir 50 t/h de caña. Ello condiciona que pérdidas de tiempo por roturas signifiquen afectaciones directas a la economía. Si se estima que cada tonelada de caña entregada a la fábrica aporta entre un 7% y un 9% toneladas de azúcar y los precios de este producto en el Mercado Internacional oscilan alrededor de 0.15 USD/Lb, cada hora perdida por fallo, suponiendo una productividad de 90 T/h, ocasionan pérdidas superiores de 2600 USD.

Como se puede apreciar los resultados económicos de la cosecha de la caña y la producción de azúcar, tiene un impacto significativo en la economía del país. Pero es necesario enfatizar que este renglón productivo tiene una trascendencia aún mayor. En las condiciones actuales de Cuba, elevar la producción de azúcar y sus derivados, constituye, como reflejó el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba una cuestión de Seguridad Nacional, porque incide de forma trascendente en las aspiraciones de nuestro país de construir un nuevo modelo económico socialista, que sea próspero y sostenible. Consolidar el sector azucarero cubano, que por su tradición y resultados, seguirá siendo definitorio, en lograr las aspiraciones de independencia económica y desarrollo de nuestro país.

La maquinaria agrícola, en general, impone riesgos de afectación al medio ambiente. Mecanizar las cosechas tiene como inconveniente la tala de árboles, la compactación de los suelos, apertura de caminos y senderos y otras afectaciones. Sin embargo el desarrollo de la humanidad, el crecimiento demográfico y sus lógicas consecuencias han obligado a las grandes producciones agrícolas y hoy es casi obligatorio usar estas tecnologías para obtener las producciones

necesarias. En el caso de la cosecha mecanizada de la caña hay factores que deben ser tenidos en cuenta para minimizar los daños al medio ambiente. Durante el diseño es indispensable lograr el menor peso posible de la cosechadora ello reduce la compactación del suelo y daños mínimos a cepas y plantones, lo que coadyuva a que las plantaciones cañeras tengan mayor durabilidad y puedan ser explotadas durante varias cosechas sin necesidad de preparar el terreno nuevamente. También debe seleccionarse motores de combustión interna con emisión controlable de  $CO_2$  a la Atmósfera. Durante la explotación y mantenimiento de la cosechadora de caña debe prestarse especial atención a los derrames de aceites, lubricantes y líquidos técnicos en general. Los aceites usados tienen una carga contaminante incompatible con la germinación y desarrollo de las plantaciones. En áreas donde se vertidos irresponsablemente residuos, por ejemplo: el aceite del motor Diesel, según estimación de los ecologistas no vuelve a germinar el pasto en los posteriores tres años ,además los metales pesados disueltos en el aceite con la presencia de las lluvias o el riego artificial pudieran infiltrar el manto freático haciendo mucho más graves las consecuencias, por ello normas internacionales, como la ISO, establecen con precisión como recuperar y reciclar aceites y lubricantes, para evitar estos daños.

Otro aspecto de la maquinaria agrícola que debe ser tenido en cuenta es la producción de ruidos y vibraciones que pueden afectar seriamente a técnicos y operarios.

Todos estos aspectos, que en su mayoría están establecidos y normados a nivel nacional e internacional, requieren de una visión responsable y comprometida de operadores, técnicos e ingenieros.



## CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

1. Se procesaron y analizaron las principales insuficiencias detectadas durante los períodos de pruebas en las zafras 2013/2014 y 2014/2015.
2. Se pudo comprobar que algunas de las insuficiencias detectadas están relacionadas con la necesidad de corregir la etapa de diseño. Se especifican pasos importantes del método de Análisis de Modo y Efecto del Fallo para las condiciones de uso de la Cosechadora de Caña CCA-5000.
3. La confección del diagrama de Causa Raíz relaciona la aparición de las insuficiencias detectadas en las etapas de pruebas con los factores que generan y se puede apreciar que es una dependencia de múltiples factores, donde inciden factores de diseño, explotación, organizativos, agro-técnicos y humanos.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Entre los métodos más integradores y de alta efectividad en la Ingeniería de Mantenimiento se encuentra el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, que establece una secuencia lógica y racional para predecir fallos, anticiparse a sus consecuencias y garantizar alta capacidad de trabajo de equipos y maquinarias.
2. El Sistema actual de Mantenimiento de la cosechadora de caña CCA-5000 es incompleto y no tiene en cuenta en su totalidad la tendencias actuales de la Ingeniería del Mantenimiento, que incluye la aplicación de métodos como el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Efectos de Fallo (A.M.E.F), Análisis de Causa Raíz, entre otros.
3. La dependencia de los fallos ocurridos durante las etapas de pruebas, con las causas que los generan y donde inciden factores de diseño, explotación, organizativos, agro-técnicos y humanos, requieren la aplicación de sistema de mantenimiento diferenciado, hasta que la CCA 5000 termine su etapa de prueba y asentamiento.
4. Un desempeño adecuado y buen funcionamiento futuro de la Cosechadora de caña CCA-5000, estará relacionado con un efectivo Sistema de Mantenimiento, que introduzca tecnologías proactivas de control vibratorio. Para ello es necesario conocer el comportamiento de las velocidades de trabajo de la máquina y el rango de frecuencias correspondiente.

## RECOMENDACIONES

1. Implementar en próximas pruebas de cosechadora CCA 5000, tecnologías proactivas para el control efectivo de sus principales variables de funcionamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Améndola, L. [2003]. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. Revisado el 16 de noviembre de 2007. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/notas/propulsores.asp>.
- 2- Aladon. [2000] ReliabilityCenteredMaintenance. AnIntroduction. / Revisado el 15 de noviembre de 2007. Disponible en: <http://www.aladon.co.uk/10intro.html>.
- 3- Carolina Altmann – El Análisis de Causa Raíz como herramienta en la mejora de la Confiabilidad.
- 4- CEDEMA. Informe Ensayo Tecnológico Explotativo. Zafra 2013/2014.
- 5- CEDEMA. Informe Ensayo Tecnológico Explotativo. Zafra 2014/2015.
- 6- Conferencia No. 11. Análisis de Fallo. Gestión e Ingeniería del Mantenimiento.
- 7- De Abreu, J. [2001]. Aplicación de una Metodología de Mantenimiento en el Centro Refinador Paraguaná, que permita evaluar y elaborar Planes de Mantenimiento bajo la herramienta de confiabilidad Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Reversa (MCC – R). Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería. Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela.
- 8- De la Paz Martínez, Estrella M. [2003] Actualidad y perspectivas del mantenimiento en los servicios públicos. / Curso de IV Congreso Cubano de Mantenimiento.
- 9- Ellmann, H. [1996] Costo beneficio de la implantación de RCM2, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. / Revisado el 10 de abril de 2014. / Disponible en <http://www.mantencion.com/articulos/rev26art1.php3>.
- 10- IGARZA DOMÍNGUEZ, Rafael. Metodología integral para la evaluación de los índices tecnológicos-explotativos, de fiabilidad y las pérdidas de granos

en el proceso de cosecha de la máquina cosechadora de arroz modelo New Holland TC 57. Tesis de maestría. Universidad de Holguín, Cuba. 2012.

11-Informe combinada cañera CCA-5000, CEDEMA 2014.

12-Informe comparativo; Cosechadora 4000 vs KTP-2M, CEDEMA 2000

13-Labañino Fernández, Jorge Enrique. “Análisis del sistema de mantenimiento del decorador 6cpx800 de la empresa de envases de aluminio (ENVAL)”. Tutor Dr. C. Fernando Robles Proenza. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Mantenimiento y Reacondicionamiento de Máquinas. Universidad Oscar Lucero Moya de Holguín, Departamento de Ingeniería Mecánica. 2013

14-Moubray, J. [1997] Reliability Centered Maintenance. / Industrial Press Inc. Navarrete et al., [s/f] Gestión y calidad del mantenimiento. / Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento. ISPJAE. Ciudad de la Habana.

15-Poveda Guevara, Alejandro J. 2006. *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el desarrollo de Planes de Mantenimiento*. Disponible en:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf> [Consultado 28 de marzo de 2016].

16-Pérez Pupo, J.R. Consulta de experto. Dr.C del grupo de cosechadoras CEDEMA

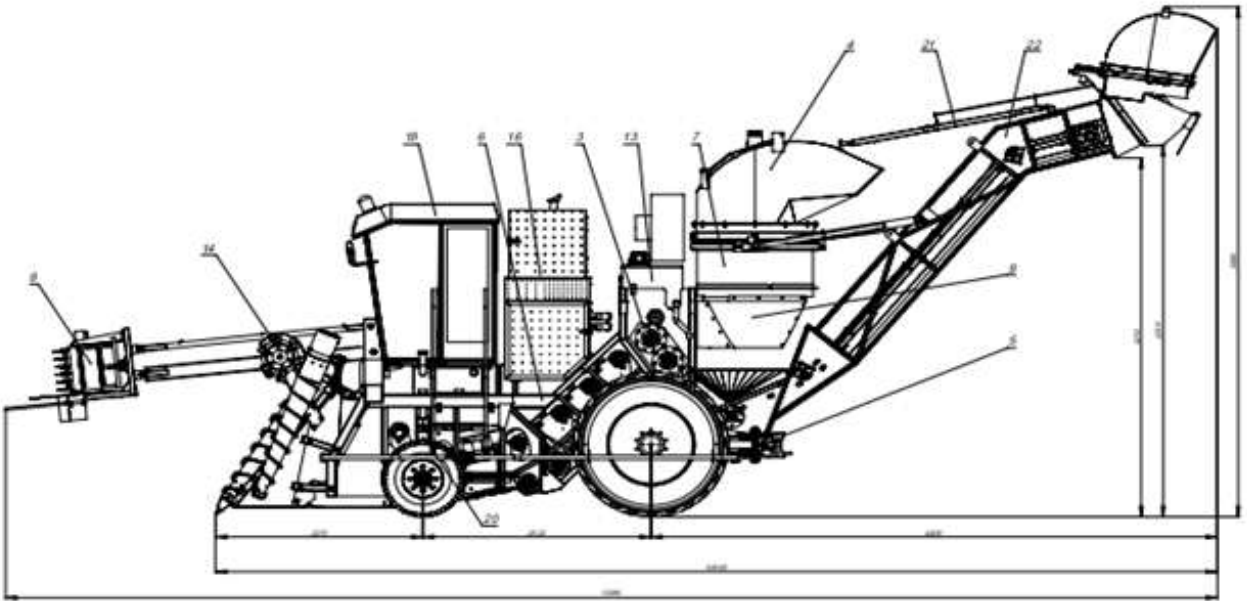
17-Ricardo Aballes, C.M. Perfeccionamiento del mecanismo paralelogramo del cortacohollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA-5000. Tesis de maestría Universidad de Holguín. Documento inédito. 2011.

18-Sanz Sacristán, J. [2001] Importancia del mantenimiento para mejorar la eficiencia de una instalación. Aplicación del método RCM. / Revisado el 19 de noviembre de 2007/Disponible en: <http://www.puntex.es/mantenimiento/141sanz.htm>.

- 19-Senfort Betancourt Julio M, Organización del trabajo, mantenimiento y obtención de índices de calidad de la cosechadora de caña CCA-5000 en el CAI Antonio Guiteras, Trabajo de diploma, Universidad de Holguín: Oscar Lucero Moya, 2014.
- 20-Silveira, R. J. Máquinas Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1980.
- 21-Tavares, L. A. [2000]. Tercerización de Mantenimiento. Revista Electrónica de Mantenimiento, Diciembre N°3.
- 22-Álvarez M. et alter [2004] Matemática Numérica. \Álvarez Blanco M.\ Guerra Hernández A.\ Lau Fernández R.\ Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba. 296 pp.
- 23.Anilovich B. R. [1974]. Fiabilidad de la explotación de las máquinas agrícolas. Editora Cosecha. Minsk. 255 pp.
- 24.Creus Solé Antonio [1991]. Seguridad y Fiabilidad de procesos industriales. MARCOMBO S.A. Barcelona, España. 123 pp.
- 25.Colectivo de autores [1994] Manual de Mantenimiento Predictivo en grupos hidroeléctricos. Barcelona. España. 151 pp.
- 26.EASA [1994]. Manual de Mantenimiento Predictivo en grupos hidroeléctricos. Programa de investigación electrotécnica. Proyecto PIE No. 121.046. 151 pp.
- 27.ISO 2372-1974 (E). Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s – Basis for specifying evaluation standards INTERNATIONAL STANDARD.
- 28.Kelly Antonio [1997]. Gestión del Mantenimiento Industrial./Antonio Kelly, M.J. Harris. Publicaciones Fundación Repsol. Madrid, España. 213 pp.
- 29.Higgins, R. L. [1995]. Maintenance Engineering Handbook./ McGraw-Hill,EE.UU., 5<sup>ta</sup> ed. 1 232pp.
- 30.MES [1989] Modelos Econométricos. La Habana. 694 pp.

## ANEXOS

### Anexo 1: Plano de la cosechadora de caña CCA-5000.



## Anexo 2: Carta tecnológica organizativa del mantenimiento diario de la combinada cañera KTP-1. (Fragmento)

CARTA TECNOLÓGICA ORGANIZATIVA		TIPO DE EQUIPO: COMBINADA CAÑERA		OPERACION MANTENIMIENTO DIARIO	
NOMBRE: KTP-1				PAG. 1	
1	OPERACIONES	CANTIDAD DE OBREROS	CALIFICACION DE LOS OBREROS	herramientas, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE CERRAJOS.	SEGURIDAD DE TRABAJO
1	Limpia la combinada.	2	Ser calif. de mecánico.	2 ganchos 1 compresor 1 pistola de presión. 2 pares de guantes.	Se elimina la tierra, la paja de los resacas de cada cortada de las siguientes partes: receptoras, el pisador, los transportadores, las cadenas, la malla protectora del radiador, y el motor.
2	Comprobar el estado de los embragues de seguridad del eje intermedio.	2	Obrero con calif. de mecánico y obrero auxiliar.	1 llave de tubo 12 mm 1 llave española 30mm 1 pinza.	Se pasa en marcha el motor y se hacen girar los discos del aparato de corte, posteriormente se desconecta el sistema agrícola por medio de su palanca y el frenaje de los discos debe ser de 10 a 15 segundos. En caso de que los frenaje de los discos se efectúe a los 10 o 15 segundos será necesario regular, para esto se suava la guarda del embrague y se aprieta la tuerca de regulación hasta que el frenaje se efectúa en el tiempo establecido.
3	Comprobar apriete de los discos rotar.	2	Mecánico y auxiliar.	1 llave de ojo 24 mm Calzo de madera de 15x20x30 mm.	Con el motor en marcha se levanta el tren delantero hasta su posición máxima y se coloca el calzo de madera debajo de la lengüeta de contraparte. En esta posición se aprietan los 12 tornillos (6 en cada disco).

1	2	3	4	5	6
4	Comprobar el apriete y filo de las cuchillas del pisador.	2	Mecánico y auxiliar.	1 llave de ojo de 24 mm 1 llave española de 23 a 24 mm.	El obrero auxiliar se coloca frente al volante y lo hace girar hasta colocar las cuchillas en posición horizontal, en esta posición el mecánico revisa el filo y aprieta los tornillos (6) de las cuchillas. Esta operación se repite para la otra cuchilla del tambor superior. Para las cuchillas del tambor inferior el auxiliar hace girar el volante hasta colocar las cuchillas en posición vertical, en esta posición se revisa el filo y se aprietan los tornillos de la otra cuchilla. En caso necesario se afilan o cambian las cuchillas.
5	Comprobar el estado, fijación y tensión del transportador I y su rastrillo.	2	Mecánico y auxiliar.	1 llave española 19 mm 1 " " 24 " 1 " " 12 " 1 " de ojo de 13 " 1 llave española 36 " 1 pinza 1 regla graduada.	El mecánico se introduce debajo de la combinada donde se encuentra el mecanismo tensor del transportador chequea la tensión de las cadenas moviéndolas hacia arriba una tablilla. En caso necesario tensar la cadena, para esto se afloja el tornillo que une el bastidor con el tensor, por medio del tensor se regula la tensión de la cadena. Esta operación se repite en la otra cadena del transportador. Cuando no se tenga que tensar se aprietan los dos tornillos del bastidor. Para chequear el apriete de los tornillos de las tablillas trabajan dos obreros el mecánico y el auxiliar, primero se quita la cadena de transmisión del 1er. transportador después el auxiliar se coloca sobre el conductor I y con la llave 36 gira el transportador en dirección de trabajo.



**Anexo 3: Mantenimiento Técnico Diario de la Cosechadora de Caña CCA-5000.**

No.	Definición	Limpiar	Revisar	Engrasar
1	Caja de filtro de aire	X	X	
2	Indicador de polvo	X	X	
3	Entrada de filtro de aire (gomos y presillas)	X	X	
4	Nivel de aceite del motor		X	
5	Nivel de líquido refrigerante del radiador		X	
6	Nivel de aceite hidráulico en depósito		X	
7	Nivel de aceite de la caja de bombas		X	
8	Nivel de aceite del cortadora base		X	
9	Nivel de aceite del cortador		X	
10	Comprobación del juego en las piernas del corte base		X	
11	Deformación en los discos de corte		X	
12	Salidero por los sellos de las piernas del corte base		X	
13	Jaula alimentadora de las piernas del corte base		X	
14	Respiradero del cortador de la base		X	
15	Respiradero de la caja de la bomba		X	
16	Respiradero de la caja del respirador		X	
17	Respiradero del tanque de combustible		X	
18	Respiradero del tanque hidráulico		X	
19	Cubo de los rodamientos del extractor primario	X	X	
20	Rodamiento de los ejes del transportador de descarga		X	X
21	Tablillas del transportador de descarga		X	
22	Apriete de las contratueras del cilindro de dirección		X	X
23	Bisagras del divisor línea (sinfines)		X	X

24	Brazos del corta cogollo		X	X
25	Extremos del cilindro de giro del transportador		X	X
26	Brazos (espejuelos) del cilindro de giro del transportador			
27	Radiadores de aceite y agua	X	X	
28	Aletas del extractor primario/secundario	X	X	X
29	Tambor alimentador gallego	X	X	X
30	Tambores flotantes	X	X	
31	Piso del transportador	X	X	
32	Tolva del transportador	X	X	
33	Rozamiento en las mangueras hidráulicas		X	
34	Zapata (patín) y pirulitos de los sinfines	X	X	
35	Segmentos del cortador de base		X	
36	Segmentos del corta cogollo		X	
37	Cuchillas del picador		X	
38	Lectura de vacío en las filtros de la traslación hidrostática		X	
39	Ajustes de las tuercas en las ruedas traseras y delanteras		X	
40	Agua en el filtro decantador de combustible	X	X	
41	Presión de aire de los neumáticos		X	

#### Anexo 4: Mantenimiento Técnico de la Cosechadora de Caña CCA-5000.

No.	Motor	Revisar	Limpiar	Engrasar	Cambiar	Periodicidad
1	Electrólito de la batería	X				50 horas
2	Filtros de los gases del cárter	X	X			250 horas
3	Elemento filtrante del purificador de aire	X	X		X	250 horas
4	Tensión de la correa	X				50 horas
5	Calibración de las válvulas y la unidad inyectora	X				1200 horas
6	Filtro decantador de agua y limpieza fina					250 horas
7	Aceite de motor					250 horas
8	Filtro centrifugo de aceite del motor				Lavar	250 horas
9	Filtro de aceite del motor				X	250 horas
	<b>Parte hidráulica</b>					
1	Filtros hidráulicos de succión de la transmisión	X	X			250 horas
2	Filtros hidráulicos de retorno al tanque	X	X			750 horas
3	Filtros hidráulicos de succión en el tanque		X			Entre zafras
4	Aceite hidráulico de la caja de bombas				X	250 horas
5	Rodamiento del árbol del ventilador del			X		50 horas

	enfriador de aceite					
6	Eje de accionamiento de las bombas de traslación	X		X		50 horas
	<b>Parte delantera</b>					
	<b>Corta cogollo</b>					
1	Engrase de los rodamientos del disco de corte			X		50 horas
	<b>Divisores de línea</b>					
1	Engrase de los rodamientos de los sinfines	X		X		Diario
2	Engrase de los cooplign entre el motor hidráulico y los sinfines	X		X		750 horas
	<b>Mecanismo de corte lateral</b>					
1	Comprobación y ajuste del disco de corte	X				50 horas
	<b>Cortador de base</b>					
	Cambio de aceite			X		250 horas
	Juego entre los piñones	X				250 horas
	<b>Tren de tambores alimentadores</b>					
1	Tambor tumbador					
2	Engrase de los cooplign del motor H con el tambor	X		X		750 horas
3	Ajuste y sujeciones	X				50 horas

4	Comprobación del desgaste de las aletas	X				500 horas
	Tambor alimentador					
1	Engrase de los coopling del motor H con el tambor	X		X		750 horas
2	Ejes de sujeción	X		X		50 horas
3	Ajuste y sujeciones	X				50 horas
4	Estado de las aletas	X				500 horas
	Tambores flotantes o superiores					
1	Ejes de sujeción	X		X		50 horas
2	Coopling del motor H con el tambor	X		X		750 horas
3	Ajuste y sujeciones	X				50 horas
4	Dispositivo de tope	X				250 horas
	Primer tambor inferior					
1	Coopling del motor H con el tambor	X		X		750 horas
2	Ajuste y sujeciones	X				50 horas
3	Estado de las aletas	X				500 horas
	Segundo tambor inferior					
1	Coopling del motor H con el tambor	X		X		750 horas
2	Rodamientos	X		X		50 horas
3	Ajuste y sujeciones	X				50 horas
4	Estado de las aletas	X				500 horas
	Tercer tambor inferior					
1	Coopling del motor H con el tambor	X		X		750 horas

2	Ajuste y sujeciones	X				50 horas
3	Estado de las aletas	X				50 horas
	Tambores fijos o inferiores					
1	Rodamientos			X		50 horas
2	Coopling del motor H con el tambor	X		X		250 horas
3	Ajuste y sujeciones	X				50 horas
	<b>Mecanismo trozador</b>					
	Picador					
1	Cambio de aceite				X	250 horas
2	Cavidad entre sellos de la caja de engranajes del picador	X		X		50 horas
3	Rodamientos	X		X		50 horas
4	Juegos de los piñones	X				500 horas
5	Regulación del volante	X				50 horas
6	Regulación de las cuchillas	X				250 horas
7	Ajuste del rodamiento del volante	X				250 horas
8	Respiradero		X			50 horas
	<b>Extractor primario</b>					
1	Desgaste en el anillo	X				1200 horas
2	Estructura soporte en la cámara de limpieza	X				50 horas
3	Giro del extractor primario	X				50 horas
4	Estado de la cadena de giro	X				250 horas

5	Estado de los rodillos de giro	X				250 horas
6	Rodamientos	X		X		50 horas
7	Peso de las aspas	X				500 horas
8	Juego de los rodamientos	X				250 horas
9	Ajuste de la sujeción de la columna (trípode)	X				250 horas
10	Estrías del árbol motriz			X		500 horas
	<b>Transporte de descarga</b>					
	Mecanismo de giro					
1	Desgaste del tope del elevador	X				750 horas
2	Rodamientos del apoyo central de giro	X		X		50 horas
3	Rodamientos de apoyo del elevador	X		X		50 horas
	Accionamiento del elevador					
1	Coopling del motor hidráulico con el eje	X		X		250 horas
2	Rodamientos de las estrellas locales	X		X		250 horas
3	Mover las tablillas del transportador un eslabón en la cadena				X	500 horas
4	Tensión de la cadena	X				250 horas
	<b>Extractor secundario</b>					
1	Giro del extractor	X				50 horas

	secundario					
2	Engrase de los rodamientos	X		X		50 horas
3	Tensión de la cadena de giro	X				250 horas



### Anexo 5: Insuficiencias detectadas en la Cosechadora.

No	Insuficiencia	Causa	Estado actual
1.	Desgaste en los bujes del brazo del cilindro direccional.	Baja calidad del material	Mejoras en calidad del material
2.	Rotura del pasador de unión de la viga de giro con el cilindro	Pieza sin tratamiento térmico	Se agregó tratamiento térmico
3.	Rotura del hidromotor del mecanismo desfibrador ha impedido su funcionamiento afectando la eliminación de materias extrañas (cogollos).	Accidental	
4.	Rotura del rodamiento inferior del rotor del extractor primario	Falta de lubricación(mantenimiento)	
5.	El extractor primario lanza las materias extrañas eliminada sobre el segundo medio de transporte	La máquina esta concebida para un solo medio de transporte y se utilizan dos.	Se modificó el proyecto
6.	Rotura del rodamiento del árbol de entrada de la caja de bombas por lubricación deficiente.	Problemas de fabricación de la caja de bombas	Resuelto en la serie cero
7.	Rotura del eje de giro por fatigas.	Problemas de fabricación	Resuelto en la serie cero

8.	Rotura de acoplamiento de la caja de bombas con el motor.	Calentamiento del rodamiento por falta de lubricación	Resuelto en la serie cero
9.	Rotura en los rodamientos del árbol superior del transportador de descarga.	Falta de calidad de los componentes	Resuelto en la serie cero
10.	Rotura del eje estriado de la última sección de la bomba triple.	Calidad del componente	Resuelto en la serie cero
11.	Rotura del hidromotor del 3 <sup>er</sup> tambor flotante.	Calidad del componente	Resuelto en la serie cero
12.	Baja presión en el circuito hidráulico de accionamiento de la estera del transportador de descarga y el extractor secundario.	Bombas defectuosas	Resuelto en la serie cero
13.	Baja potencia en el cortador base provocando embotamientos reiterados.	Bombas defectuosas	Resuelto en la serie cero
14.	Salidero de aceite en el hidromotor del mecanismo de la cuchilla lateral.	Calidad del componente	Resuelto en la serie cero
15.	Acumulación de paja en la base del sinfín exterior	Falta de guía para organizar desahogo	Resuelto en proyecto
16.	Rotura y desgastes de las aspas del extractor primario.		Cambio
17.	Poca visibilidad desde la	Mala operación de la	Continúa igual, el

	cabina para efectuar la operación de la descarga.	máquina	operador tiene que utilizar los espejos
18.	Deformación en el área de fijación del cortador base.	Pared de poco espesor	Se modifico el proyecto
19.	La señal sonora del claxon es pobre y el operador del tractor no la escucha	Al fabricar la máquina no se seleccionó el mas adecuado	Resuelto en la serie cero
20.	Las cuchillas laterales son fijas y el operador no las puede regular desde la cabina	El sistema hidráulico seleccionado no esta completo	Resuelto en la serie cero
21.	Las cuchillas laterales giran simultáneamente	El sistema hidráulico seleccionado no esta completo	Resuelto en la serie cero
22.	Pérdidas de caña al caer la masa desde el picador a la tolva del transportador.	Problema de fabricación	Resuelto en la serie cero
23.	Deterioro del recubrimiento de interior de la cámara de limpieza principal.	Recubrimiento no adecuado	En la serie cero se mejoró la sujeción con láminas de metal.
24.	Reubicación de la gualdera protectora del transportador de descarga	Por aumento de la altura del medio de transporte	Resuelto en la serie cero.
25.	Dificultad para evacuar la paja que se acumula dentro de la cabina	Problemas fabricación	Resuelto en la serie cero
26.	Falta de hermeticidad en la cabina.	Problemas fabricación	Resuelto en la serie cero

27.	Dificultad para sacar los filtros para el mantenimiento	Mala distribución por el fabricante del motor	Se mejoró en la serie cero
28.	Algunos tornillos quesoportan la caja de bombasno se pueden colocar	Problemas del fabricante del motor componente (caja)	Se mantiene
29.	Tornillos partidos y dañados quesoportan la caja de bombas, analizar tipo de rosca y calidad		Se le informó a los Chinos para ser solucionado
30.	Las mangueras de goma con alambre seponen muy duras y se contraen cuando tienen un tiempo de trabajo haciendo muy difícil el montaje	Mala selección de la manguera	Resuelto en la serie cero
31.	Tarda más de una hora para poder ver el nivel real de la caja de bombas en el visor.	Incorrecta selección de manguera	Resuelto en la serie cero
32.	El transportador de descarga es muy lento para subir y bajar	Problema Hidráulico	Resuelto en la serie cero
33.	Perdida de la chumacera del transportador de descarga por rotura de los tornillos de fijación	Desajuste de tornillos	Resuelto en la serie cero
34.	El interruptor térmico del		Resuelto en la serie cero

	enfriador no funciona		
35.	Salidero de aceite por el sello del motor hidráulico del enfriador de aceite	Insuficiente diámetro de manguera de drenaje	Resuelto en la serie cero
36.	Falta de aislamiento de los cables y conectores del transportador de descarga	Problemas de fabricación, mala selección del circuito eléctrico	Resuelto en la serie cero
37.	Por el diámetro pequeño del drenaje del aceite del motor se hace muy lento evacuarlo.	Problema de fabricación del motor	Resuelto en la serie cero
38.	La línea para rellenar de la caja de bombas tiene poca capacidad		Resuelto en la serie cero
39.	Rotura de las gualderas flotantes	Mala regulación de la altura de las gualderas	Resuelto en la serie cero
40.	Incorrecta regulación del valvistor provoca baja velocidad en los tambores alimentadores	Mala regulación	Resuelto en la serie cero
41.	La capacidad del tanque de combustible no le permite trabajar una jornada completa.	Por la geometría del tanque y la insuficiente longitud del conducto de succión en el depósito del sistema de alimentación de combustible.	Resuelto en la serie cero
42.	Las cañas largas son	Falta de espiral inverso en	Resuelto en la serie cero

	conducidas por los espirales de los sinfines hasta el final de estos provocando acumulación de masa vegetal contra la cabina	la parte superior del sinfín	
--	--	------------------------------	--