

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA APLICADA**

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**Determinación de los indicadores de fiabilidad del primer  
prototipo de la Combinada Cañera CCA-5000.**

**AUTOR: Ricardo Matos Osorio.**

**TUTOR: M. Sc. Ing. José A. Martínez G. de P.  
M. Sc. Ing. Héctor Pupo Leyva.**

**TIPO DE CURSO: CRD**

**Holguín  
2014-2015**

## RESUMEN

En el presente trabajo se aborda el análisis de la fiabilidad del primer prototipo de la combinada cañera CCA-5000, basados en la realidad y datos obtenidos durante pruebas de explotación realizadas a la máquina, bajo cronometraje en condiciones reales de trabajo, en áreas de la UAPA Antonio Guiteras de Las Tunas durante la zafra azucarera 2013-2014, con vistas a conocer el comportamiento de los indicadores de calidad. El objetivo fundamental es determinar los índices de fiabilidad de la máquina y así poder conocer el tiempo de servicios de la combinada. La metodología aplicada, "Metodología de cálculo de los indicadores de fiabilidad de combinadas cañeras" constituyó una de las herramientas utilizada para la realización de este trabajo. El procedimiento de la metodología aparece explicado al igual que una serie de conceptos fundamentales para la mejor comprensión del tema en cuestión. Una vez recopilado los datos a través de tablas se procede a procesar las ecuaciones auxiliándose en el EXCEL con el objetivo que permita ajustar los datos observados a una de las distribuciones de frecuencias teóricas que mejor caracterice el comportamiento de la combinada. Luego de conocer la distribución teórica que se corresponde con la muestra obtenida se realizan los cálculos de funcionabilidad, mantenibilidad así como los coeficientes complejos de los órganos de trabajo que son objeto de estudios de fiabilidad en la combinada cañera CCA-5000. Todos los índices y coeficientes calculados para esta máquina se compararon con los indicadores obtenidos en pruebas anteriores realizadas para las cosechadoras KTP-2M y KTP-3S.

## **ABSTRACT**

The present work goes aboard the analysis of the reliability of the first prototype of the CCA-5000 sugarcane harvester, based in reality and data obtained during proofs of exploitation accomplished to the machine, under timekeeping in real conditions of work, in areas of the Las Tunas UAPA Anthony Guiteras during the sugar cane harvest 2013-2014, looking out on knowing the behavior of the indicators of quality. The fundamental objective is to determine index of reliability of the machine, that way could have known the time of services of the harvester. The applied methodology, sugarcane harvester methodology of calculation of the indicators of reliability constitute an one belonging to the tools utilized for the realization of this work. The procedure of the methodology appears explained just like a series of fundamental concepts for the best understanding of the theme in point. Once compiled the data through in the EXCELL with the objective that you allow proceeds to processing equations itself fitting up the data observed to and one belonging to the theoretic frequency distributions that better you characterize the behavior of the combined. The calculations of functionality, mantenibilidad as well as the compound coefficients, come true to the organs of work right after knowing the theoretic distribution that is reciprocated with the obtained sign it object is of studies of reliability in the CCA- 5000 sugarcane harvester. All index and coefficients calculated for this machine compared with the indicators obtained in previous proofs accomplished for the harvesters KTP-2M and KTP-3S.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo I. Fundamentación teórica.....	5
1.1 Confiabilidad o fiabilidad. ....	5
1.2 Propiedades de la fiabilidad.....	8
1.3 Fundamentos del aparato matemático usado en la teoría de la fiabilidad. .....	14
1.4 Parámetros de las leyes teóricas de distribución. ....	15
1.5 Leyes de distribución. ....	18
1.6 Metodología para la evaluación de la fiabilidad de las Máquinas Cosechadoras Cañeras. ....	20
CAPÍTULO II. Determinación de los índices de fiabilidad del primer prototipo de la combinada cañera CCA 5000.....	36
2.1 Caracterización de la combinada cañera CCA-5000. ....	36
2.1.1 Proceso tecnológico. ....	38
2.1.2 Especificaciones técnicas. ....	39
2.2 Cálculos de los indicadores de Fiabilidad de los órganos de trabajo de la Combinada cañera CCA-5000.....	42
2.2.1 Cálculo de los índices de funcionabilidad.....	47
2.2.2 Cálculo de los índices de mantenibilidad. ....	50
2.2.3 Cálculo de los índices complejos de fiabilidad. ....	54
2.3 Análisis de la comparación entre los valores obtenidos y los realizados a otras máquinas en pruebas anteriores. ....	56
Tiempo general de cronometraje .....	57
2.4 Evaluación medio ambiental, económica y para la defensa. ....	60
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES .....	63
BIBLIOGRAFÍA .....	64
ANEXOS.....	66

## INTRODUCCIÓN

La economía cubana históricamente ha dependido del cultivo de la caña de azúcar, primer renglón de obtención de divisas en el país. Antes del triunfo de la Revolución, en 1959, no se le daba la importancia requerida a la mecanización de esta actividad, ya que todas las etapas de la cosecha las realizaba un ejército de desempleados que abarcaban la astronómica cifra de 400 000 a 700 000 personas.

Con el triunfo de la Revolución y la promulgación de las leyes revolucionarias, entre ellas la Primera Ley de Reforma Agraria, pasan a ser propiedad del pueblo las mayores plantaciones cañeras y en 1960 con la nacionalización de los centrales azucareros el estado asumió la responsabilidad de toda la producción azucarera. El desarrollo y la investigación de la mecanización cañera se inicia en los primeros años de la Revolución, a finales de las 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 propulsor de la mecanización en Cuba, crea en ese año una comisión para atender la cosecha cañera.

La agroindustria azucarera continua ocupando un lugar importante en el desarrollo económico del país, una vía para garantizar una producción cañera de gran magnitud, es elevar la eficiencia de la maquinaria.

A partir de la necesidad de sustituir el parque de máquinas existentes en el país por otras de mayor rendimiento productivo, fiabilidad y confort, con el propósito de que puedan laborar en campos de alto rendimiento agrícola con una elevada eficiencia, se desarrolló un nuevo modelo de máquina cosechadora de caña de azúcar, diseñada por especialistas del Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola, CEDEMA y construida en la Fábrica “LX Aniversario de la Revolución de Octubre”, que se llamó C-4000 y durante la zafra 1999-2000, se sometió a pruebas.

En la zafra 2001-2002 se continuó el estudio de este prototipo y esta vez tuvo como objetivo evaluar algunos indicadores tecnológicos explotativos, que permitieran conocer el comportamiento luego de haberle realizado algunas

modificaciones técnicas como resultado de observaciones realizadas en la prueba preliminar.

Lo anterior permitió darle continuidad al programa para el desarrollo y perfeccionamiento de las máquinas combinadas cosechadoras de caña de azúcar de fabricación nacional. Partiendo de los requisitos planteados por el cliente en la tarea técnica se confeccionó un programa para evaluar los índices de calidad que deben caracterizar dicha máquina y valorar su competitividad en el mercado internacional.

El proyecto de la nueva máquina fue elaborado y perfeccionado por especialistas del CEDEMA, que estuvieron presentes en la República de China cuando se fabricó el prototipo de la cosechadora CCA-5000 junto a especialistas de la fábrica “LX Aniversario de la Revolución de Octubre” y el grupo empresarial AZCUBA como cliente de la nueva cosechadora.

Al final de la zafra 2013-2014 se sometió a pruebas de funcionalidad, bajo cronometraje en condiciones reales de explotación, en áreas de la UAPA Antonio Guiteras de Las Tunas, con vista a conocer el comportamiento de los indicadores de calidad. El cronometraje fue ejecutado por estudiantes de cuarto año de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad de Holguín y especialistas del CEDEMA y el centro de altos estudios.

El período de pruebas abarcó desde el 10 de mayo hasta el 5 de junio de 2014, la captura de datos experimentales, su inmediato procesamiento y la observación diaria, permitieron modificar y perfeccionar rápidamente fallos técnicos y tecnológicos, inherentes a este objeto de investigación.

Durante este período también participaron en las pruebas especialistas del Instituto de Investigación de Ingeniería Agrícola, IAGRIC, que evalúan y validan todas las máquinas e implementos agrícolas que se fabriquen nuevos en el país o se importen. En este tiempo se presentaron algunos fallos que afectan directamente la productividad de la máquina, así como la confiabilidad operacional de la misma que encarecían el proceso de explotación y mantenimiento. Para redirigir correctamente los esfuerzos y recursos disponibles se hacía necesario el estudio específico de los indicadores fundamentales de la fiabilidad de la máquina, dando lugar a la siguiente **Situación problemática:** Surgimiento de las fallas, durante las pruebas realizadas al primer prototipo de la Cosechadora Cañera CCA-5000, ha

llevado a determinar los principales índices de fiabilidad de la máquina, definiéndose como **Problema de investigación**: Se desconocen los índices de fiabilidad del primer prototipo de Cosechadora Cañera CCA-5000.

El **Objeto de investigación** está centrado en el primer prototipo de la Cosechadora Cañera CCA-5000 y el **Campo de investigación** lo constituye el estudio de los índices de fiabilidad de la Cosechadora Cañera CCA-5000.

**Objetivo general:**

Determinar los principales índices de fiabilidad del primer prototipo de la Cosechadora Cañera CCA-5000.

**Objetivos específicos:**

1. Implementar el método del foto-cronometraje en aras de determinar los índices simples y complejos de la fiabilidad.
2. Analizar el comportamiento de los diferentes elementos que forman parte de los conjuntos de los órganos de trabajos, determinando los indicadores de fiabilidad del primer prototipo de la combinada cañera CCA-5000.
3. Lograr establecer una valoración de las cosechadoras cañeras modelos KTP-2M y KTP-3000S en lo que respecta a los índices de fiabilidad, con la CCA-5000.

**Hipótesis:** Los datos recolectados durante las pruebas realizadas al primer prototipo de la Cosechadora Cañera CCA-5000, permitirán determinar los principales índices de fiabilidad de esta máquina.

**Tareas de investigación**

- 1) Realizar una revisión bibliográfica de los antecedentes y conceptos fundamentales de confiabilidad operacional y los índices de fiabilidad.
- 2) Desarrollar una descripción técnico operativo de la combinada cañera CCA-5000 y las especificaciones que la forman.
- 3) Determinar los índices de fiabilidad a la combinada cañera CCA-5000.

**Métodos de investigación:**

Los **Métodos de Investigación** utilizados son:

Métodos teóricos:

- Análisis y Síntesis

Análisis: Se realiza una búsqueda y recopilación de las principales fallas ocurridas en los órganos de trabajo del primer prototipo de la combinada cañera CCA-5000 en la pasada zafra 2013 - 2014.

Síntesis: Con la información recopilada de las fallas ocurridas se procede a realizar un estudio de fiabilidad de la combinada.

- Análisis Histórico – lógico.

Se recogen todas las fallas del equipo en cada jornada de trabajo y durante toda la zafra con el objetivo que permita desarrollar el estudio de fiabilidad propuesto.

Métodos Estadísticos:

Se utilizan fórmulas estadísticas de fiabilidad y herramientas como son el cronometraje que permitan procesar los datos obtenidos.

Métodos Empíricos:

- Criterio de experto.

- Se realizan consultas a los diseñadores, trabajadores del Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola (CEDEMA) el cual facilita los datos y una amplia explicación del principio de funcionamiento de Combinada cañera CCA-5000.

Los **Resultados esperados** de este trabajo son:

- Recopilar información que se obtiene partiendo de realizar los cálculos de índices simples y complejos de fiabilidad.
- Comparar los resultados de los índices de fiabilidad de la CCA-5000 obtenidos en estas pruebas y los de la KTP-2M y 3000S realizados en años anteriores.



## **Capítulo I. Fundamentación teórica**

En el presente capítulo se reflejarán las propiedades de la fiabilidad y las leyes de distribución más usadas en la teoría de la fiabilidad, índices simples y complejos, algunas herramientas estadísticas necesarias y una explicación detallada acerca de la metodología utilizada para la evaluación de la combinada cañera CCA-5000.

### **1.1 Confiabilidad o fiabilidad.**

A menudo se crean términos técnicos con palabras que ya tienen significados coloquiales y que no se corresponden exactamente con su uso técnico. Esto sucede con la palabra fiabilidad. En el sentido coloquial, la palabra fiable se utiliza para calificar a las personas que cumplen con sus compromisos. También se utiliza para describir equipos u otros objetos animados que funcionen satisfactoriamente. El concepto es claro pero no particularmente preciso [Nachlas, 1995].

Muchos autores se refieren al término de confiabilidad abordando una serie de conceptos y aplicaciones, sin embargo otros simplemente le llaman fiabilidad atribuyéndoles el mismo concepto de manera diferente solo por no presentar con exactitud el mismo nombre. Es importante destacar las definiciones de cada uno de estos términos a los cuales se hacen referencias y se tratan con nombres diferentes y en realidad persiguen el mismo objetivo con semejantes herramientas. A continuación se presentan dos conceptos de los más representativos de cada término según un análisis del estado del arte de las fundamentaciones existentes en la bibliografía revisada.

Gotera (2000) define que, la confiabilidad está asociada a la probabilidad de trabajos sin fallos y puede ser definida de la siguiente forma: es la probabilidad de que un componente de un equipo o sistema cumpla con las funciones requeridas durante un intervalo de tiempo bajo condiciones dadas en el contexto operacional donde se ubica.

Parra (2004) plantea que la confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio operativo (TPO – tiempo promedio operativo). Mientras el número de fallas de un determinado equipo

vaya en aumento o mientras el TPO de un equipo disminuya, la Confiabilidad del mismo será menor y se define como la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período determinado.

Con la terminología de fiabilidad Batista (2007) define que, la Fiabilidad es la propiedad compleja de un sistema de realizar su función preestablecida y conservar sus parámetros técnicos dentro de los valores límites para un período, condiciones y régimen de explotación conocido.

Nachlas (1995) define que fiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado.

Por lo que pudimos apreciar de semejante manera se define la fiabilidad y la confiabilidad en numerosos contextos por diversos escritores y estudiosos que de una forma acertada han abundado acerca del tema con la intención de hacer más entendible sus ideas y más transitable el objetivo que se persigue.

Zaldívar (2007) plantea que a principio de los años 90 se revisa en el seno de CEI la normativa existente sobre fiabilidad -capacidad de un dispositivo o sistema para operar continuamente de forma adecuada- y mantenibilidad -capacidad para atender la demanda de funcionamiento- y se decide ampliar con la introducción de un nuevo concepto que se bautiza como dependability y que en España, se traduce como confiabilidad.

Según la norma (UNE 200001-3-4:1999) el término confiabilidad engloba la fiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad y la logística de mantenimiento. Las tres primeras son, por sí mismas, características fundamentales y requisitos clave del producto. La logística de mantenimiento es la capacidad para suministrar los recursos necesarios para mantener el producto.

Lo primero que hay que destacar como novedoso del término es su carácter cualitativo, la confiabilidad no se mide directamente sino a través de las características que la configuran: la fiabilidad, la mantenibilidad y el soporte

logístico, para las que sí que existen parámetros y técnicas de medida. Este enfoque que se da a la confiabilidad le abre un campo enorme de actividad, ya que permite integrar aspectos que hasta entonces no se habían contemplado de forma sistemática en el diseño, producción y explotación de los sistemas como son los relacionados con: costes, seguridad y factores humanos [Zaldívar, 2007].

Según lo referenciado anteriormente y producto a estos nuevos cambios ya sabemos a qué nos referimos en la actualidad cuando hablamos de confiabilidad la que se define como un término colectivo, que se utiliza para describir las características de disponibilidad de un sistema y los factores que le afectan como son las características de fiabilidad, las características de mantenibilidad y las características de soporte logístico, por lo que solamente al hablar de fiabilidad no estamos hablando de confiabilidad es necesario ver otros factores que se estaban dejando fuera de gran importancia en el mantenimiento del equipo.

Según John Moubray, que se ha convertido en un clásico del mantenimiento moderno, se explica la precedencia de esta nueva política del mantenimiento sobre esta base del reconocimiento de los valores del mantenimiento predictivo y de la necesidad de la elaboración de los esquemas y proyectos de relación con la fiabilidad, que permiten elaborar una adecuada estrategia de mantenimiento y a criterio de los autores facilita además, elaborar proyectos de aseguramiento de la Confiabilidad Operacional con un enfoque integral antes no tenido en cuenta [Zaldívar, 2008].

Según la NC 92-10-197, la Fiabilidad es una propiedad que tiene el artículo de cumplir las funciones asignadas, conservando en el tiempo los valores de los requisitos de utilización establecidos dentro de los límites fijados, en correspondencia con las condiciones establecidas.

Término permisible: confiabilidad

## **1.2 Propiedades de la fiabilidad.**

[Daquinta, 2004]. La fiabilidad es el estudio de la longevidad y el fallo de los equipos donde para la investigación de las causas por las que los dispositivos envejecen y fallan, se aplican principios científicos y matemáticos [Nachlas, 1995]. Como vimos anteriormente la fiabilidad es una propiedad compleja de un sistema que permite realizar su función preestablecida y conservar sus parámetros técnicos dentro de los valores límites para un período, condiciones y régimen de explotación conocido.

La fiabilidad es una propiedad compleja y se expresa a través de cuatro propiedades esenciales:

### **Funcionabilidad.**

Es la propiedad del objeto de conservar continuamente la capacidad de trabajo en el transcurso de determinado tiempo de explotación sin receso necesario, que es el llamado tiempo muerto, provocado por las fallas. En las normas de calidad es conocido este término como operatividad. Esta propiedad es sumamente importante para todos los elementos del sistema (conjuntos de la máquina) cuyas fallas pueden provocar serias averías con prolongadas paradas de tiempo de roturas, específicamente para los elementos del sistema de dirección, frenos y otros mecanismos cuyas fallas constituyen pérdidas irreparables de la cosecha y de vidas humanas.

### **Durabilidad.**

Es la propiedad de conservar la capacidad de trabajo hasta llegar al estado límite con un sistema establecido de mantenimiento técnico y reparación.

### **Mantenibilidad.**

Es la propiedad del objeto que consiste en descubrir a tiempo las causas del surgimiento de las fallas y eliminar sus secuelas mediante la realización de los mantenimientos técnicos y reparaciones. [Daquinta, 2004]. A la tarea de aseguramiento de la reparabilidad se le da una extraordinaria importancia. La utilización de la máquina no puede ser muy efectiva mientras sus mecanismos y agregados no estén ajustados al mantenimiento técnico y la reparación, así como la sustitución de los elementos de corta duración. Al número de factores

que determinan la utilidad de la reparación se refieren: el acceso al objeto de mantenimiento, agregados y mecanismos de fácil desmontaje; intercambiabilidad; acceso a los equipos de control; unificación de sistemas, mecanismos y agregados de máquinas.

Lamentablemente, en la práctica, con mucha frecuencia, hay que tropezar con máquinas agrícolas cuya construcción no responde a estos requerimientos. La complejidad del mantenimiento y los trabajos de desarme y arme en las mejores máquinas rusas es el doble que en las de otros países, siendo de la misma clase. Los constructores no están prestando atención a estas cuestiones. Por ejemplo, el cubo de las ruedas de las combinadas de remolachas CKEM-3, de fabricación ucraniana, está fundido junto con la rueda, que es de corta duración. Por eso, al desgastarse los dientes de la última hay que cambiar la rueda o realizar una reparación compleja. Hubiese sido mucho más sencillo fabricar estas ruedas desmontables.

Para sustituir el cojinete de corta duración del árbol acodado de la grada de discos BDT-2.2, de fabricación rusa, es necesario primero sacar la rueda, eliminar la soldadura del anillo limitador del eje, y después de haber puesto un nuevo cojinete, soldar de nuevo el anillo al mismo.

Como un ejemplo positivo hay que señalar la construcción de automóviles ligeros modernos, en los cuales disminuye constantemente la cantidad de puntos de lubricación, se utilizan los mecanismos y piezas que no requieren cambios frecuentes de lubricantes (crucetas del cardán, articulación de los tirantes de la dirección y de la suspensión delantera, etc.), gracias a ello, la complejidad del mantenimiento técnico disminuye considerablemente.

Para corroborar la importancia de este índice se puede mostrar este hecho. En los Estados Unidos, por el criterio de fiabilidad, los automóviles militares, al ser recepcionados como armamento, no se fabrican teniendo en cuenta la falla, ni la probabilidad de trabajo sin falla, sino el volumen de trabajo adicional en el mantenimiento técnico y la eliminación de dichas fallas, que surgen al recorrer 32 000 km, lo cual no debe superar las 500 horas.

### **Conservabilidad.**

Es la propiedad del objeto técnico de conservar los valores de los índices de trabajo sin fallas, durabilidad y reparabilidad durante y después de la

conservación y transportación. La propiedad del objeto y sus agregados es determinante para detener la corrosión, el efecto del medio ambiente, el envejecimiento y la deformación, además de la estabilidad y mantenimiento de las regulaciones.

La conservabilidad se puede analizar como el objeto sin fallas en el régimen de conservación y transportación. Según datos del Instituto de Investigaciones de Máquinas Agrícolas de Bielorrusia, las pérdidas por corrosión de los aceros, para las condiciones atmosféricas alcanza, en conservación cerrada, hasta 0,03 mm por año; y abierta, hasta 0,44 mm por año, es decir, 15 veces más. Los datos muestran que de la correcta organización de la conservación de las máquinas agrícolas depende su larga duración.

Al resolver los problemas indicados y además, en otros casos, es necesario dar una valoración cuantitativa de la fiabilidad de las máquinas, que se ofrece con la ayuda de los índices cuantitativos de la fiabilidad.

### Índices simples de fiabilidad

#### - Índice de funcionabilidad

- Probabilidad de trabajo sin fallos  $P(t)$   $P(t) = \frac{n - N(t)}{n}$  (1)

$N(t)$ : Número de sistemas o artículos que han fallado en el intervalo de tiempo considerado "t"

-n- número de sistemas (artículos) que se ensayan u observan

- Probabilidad de ocurrencia del fallo  $F(t)$   $F(t) = 1 - P(t)$  (2)

La probabilidad de ocurrencia del fallo  $F(t)$  en el instante  $t$  es complementaria a la probabilidad de trabajo sin fallo  $P(t)$ , por lo que:  $P(t) + F(t) = 1$

#### **Para los sistemas *no reparables*:**

- Tiempo de trabajo medio hasta el fallo
  - $TMF = \frac{\sum_{i=1}^{N(0)} t_i}{N(0)}$  (3)

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{med}(\Delta t) * \Delta t}$$

- Intensidad de fallos ( $\lambda(t)$ ) (4)

Donde

$n(\Delta t)$  - Sistemas que han fallado en el intervalo de tiempo analizado

$N_{med}(\Delta t)$  - Cantidad media de Sistemas que no han fallado en el intervalo de tiempo analizado

**Para los sistemas *reparables*:**

- Tiempo medio entre fallos

$$TMEF = \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_k} t_{ij}}{\sum_{j=1}^n n_j} \quad (5)$$

$n$  - número de sistemas (artículos) que se ensayan u observan

$n(j)$  - Sistema que han fallado en el intervalo de tiempo analizado

$t_{ij}$  – tiempo de trabajo entre dos fallos consecutivos del mismo artículo o sistema (h)

$n_k$ - número de fallos del artículo “k”

Para el caso particular de que es un solo tipo de artículo la ecuación se simplifica de la forma siguiente:

$$TMEF = \bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} t_{ij}}{n_k} \quad (6)$$

- Flujo de fallos ( $w(t)$ )

$$w(t) = \frac{N(\Delta t)}{n * \Delta t} \quad (7)$$

Donde

$n(\Delta t)$  - Sistema que han fallado en el intervalo de tiempo analizado

$N(0)$  - Cantidad de Sistemas que están siendo estudiados

### - Índice de durabilidad

- Vida útil (Recurso) Media

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (8)$$

- Vida útil (Recurso)  $\gamma$  % (T ( $\gamma$ %))

Son las horas trabajadas, en el transcurso de las cuales el sistema no alcanza su estado límite dada una probabilidad  $\gamma$ . Esta probabilidad, según las normas soviéticas, está normada para un 80%.

Ejemplo: T (80%) = 1200 horas significa que con una probabilidad del 80% el sistema no alcanzará su estado límite antes de las 1200 horas

Para cada una de las diferentes distribuciones teóricas con las que se corresponden los datos empíricos observados así será la ecuación a utilizar, por ejemplo para la distribución normal la ecuación será:

$$t_R(\gamma) = \bar{t}_R - z_{\gamma} s \quad (9)$$

Donde:

$\bar{t}_R$  – vida útil media

$z_{\gamma}$  – percentil de la distribución normal para una probabilidad  $\gamma$  escogida

$s$  – Desviación estándar

Donde

$$\Phi(z_{\gamma}) = \frac{1-\gamma}{2}$$

$\Phi(z_{\gamma})$  - función de densidad probabilística Normal

Si la distribución es exponencial los cálculos se realizarían por la expresión

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (10)$$

Para calcular Recurso Gamma % se procede la forma siguiente:



Se plantea la expresión:

$$\gamma = e^{-\lambda t}$$

y se despeja t quedando que el recurso gamma porciento se calcula por la expresión:

$$t_R(\gamma) = -\frac{1}{\lambda} * \ln(\gamma) \quad (11)$$

Donde generalmente:

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}_0}$$

$\bar{t}_0$  - tiempo de trabajo hasta el fallo.

#### - Índice de reparabilidad

- Tiempo Medio de Reparación 
$$T_{MR} = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} t_i}{N_r} \quad (12)$$

#### - Índice de Conservabilidad

- Tiempo Medio de Conservación 
$$T_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} t_i}{N_c} \quad (13)$$

#### Índices complejos de fiabilidad:

- Coeficiente de Disponibilidad 
$$K_d = \frac{T_{tr}}{T_{tr} + T_f} \quad (14)$$

Donde:

$T_{tr}$  – tiempo que trabajó el sistema en el período analizado (h)

$T_f$  – tiempo que estuvo en estado de fallo el sistema (h)

- Coeficiente de Utilización Técnica 
$$CDT = \frac{TD}{TD + TI} \quad (15)$$

Donde:

TD – tiempo que el sistema está disponible para ser operado (h). El sistema se encuentra en completo estado de funcionamiento.

TI – tiempo que el sistema NO está disponible para ser operado (h).

$$TI = T_p + T_f \quad (16)$$

El tiempo indisponible puede ser por dos causas: porque esté en estado de fallo (SoFa) o porque se le esté realizando algún tipo de servicio técnico planificado [Batista, 2007].

### **1.3 Fundamentos del aparato matemático usado en la teoría de la fiabilidad.**

La Estadística es la ciencia que proporciona los métodos para obtener, organizar, clasificar, resumir, presentar y analizar datos relativos a un conjunto de individuos u observaciones [Daquinta, 2004]. Esto permite extraer conclusiones válidas y tomar decisiones lógicas basadas en dicho análisis.

Población: Es el conjunto de todos los elementos cuyo conocimiento interesa.

Cada uno de los elementos del conjunto se llama individuo.

Muestra: Es un subconjunto de la población que se quiere estudiar.

La estadística puede ser:

La Estadística Descriptiva analiza, estudia y describe toda la población [Daquinta, 2004]. Su finalidad es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo necesario, de manera que pueda ser interpretada con comodidad y rapidez y, por tanto, utilizarse eficazmente para el fin que se desee.

Cuando se pretende describir, hacer estimaciones, tomar decisiones etc, acerca de una población, partiendo de la información de una muestra extraída de ella, se hace uso de la Estadística Inferencial. [Miller Irwin y Freund John, 1984].

Variable: son las magnitudes susceptibles en un mismo fenómeno de tomar valores diversos, por ejemplo, la temperatura o la velocidad de un cuerpo.

Tipos de variables:

- ◆ Cualitativas: Se refieren a características que no se pueden cuantificar.
- ◆ Cuantitativas: Cuando pueden ser medidas numéricamente.

Asistentes más conocidos para el procesamiento estadístico.

1. Statgraphics.
2. Tabulador electrónico Excel.

#### 1.4 Parámetros de las leyes teóricas de distribución.

Conjuntamente con las funciones diferenciales e integrales, las leyes teóricas de la distribución tienen un conjunto de características numéricas, las cuales la caracterizan y se denominan parámetros de las leyes de distribución. A ellas se relacionan las siguientes: valor medio  $M(t)$ , dispersión  $\sigma^2$ , desviación media cuadrática  $\sigma$ , coeficiente de variación CV, moda  $M_o$  y mediana  $M_e$ .

La esperanza matemática de una variable aleatoria se denomina a un número constante, alrededor del cual, con el crecimiento del número de ensayos, varía establemente el valor medio aritmético encontrado por los datos experimentales. [Miller Irwin y Freund John, 1984].

Para la variable aleatoria discreta, la esperanza matemática se determina como la suma de los productos de todos los posibles valores de ésta magnitud, por la probabilidad de estos valores.

$$M(t) = \sum_{i=1}^n t_i \cdot P_i \quad (17)$$

Donde:

$t_i$  - valor de la variable aleatoria.

$P_i$  - probabilidad correspondiente del surgimiento de la variable aleatoria.

Para las variables aleatorias continuas, con la función de la densidad de distribución  $f(t)$ , la esperanza matemática se determina como:

$$M(t) = \int_0^{\infty} t_i f(t) \cdot dt \quad (18)$$

El significado probabilístico de la esperanza matemática consiste en el límite hacia el cual tiende el valor de la media aritmética con un número grande de ensayos.

El valor de la media aritmética en presencia de una serie de informaciones estadísticas se determina por la siguiente expresión:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \bar{t}_i \cdot P_i \quad (19)$$

Donde:

$t_i$  - valor medio del intervalo  $i$ .

$P_i$  - probabilidad experimental del intervalo  $i$ .

$n$  - número de intervalos de la serie estadística.

Se denomina dispersión de la variable aleatoria, a la esperanza matemática del cuadrado de la desviación de la derivada aleatoria de su esperanza matemática. [Daquinta, 2004].

Si la esperanza matemática es el centro de la dispersión de la variable aleatoria, entonces la dispersión caracteriza el grado de desviación de la variable aleatoria a los lados de su valor central. Para la variable aleatoria se determina la dispersión por la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n P_i \cdot [t_i - M(t)]^2 \quad (20)$$

Donde:

$P_i$  - probabilidad de que la variable aleatoria asuma el valor  $e$ .

$t_i$  - valor de la variable aleatoria.

Para calcular la dispersión de la variable aleatoria continua se utiliza:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} [t_i - M(t)]^2 \cdot f(t) \cdot dt \quad (21)$$

Estas fórmulas están destinadas para determinar la dispersión general, la cual se utiliza en los cálculos teóricos; en la práctica se tiene relación con la dispersión experimental  $S^2$ , la cual se determina para un número pequeño de observaciones  $n < 30$ , por la expresión:

$$\sigma^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} S^2 \quad S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} \quad (22)$$

No siempre es cómodo utilizar el valor de la dispersión como índice de una variable aleatoria, ya que su valor absoluto es considerable y su dimensión es

igual al cuadrado de la dimensión del índice de fiabilidad. Por eso, para mayor comodidad, en lugar de la dispersión se utiliza solamente la raíz cuadrada positiva. [Daquinta, 2004]. Esta magnitud se denomina desviación medio cuadrática o standard. Para un número pequeño de observaciones, es decir, si  $n < 30$ , se calcula por la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} \quad (23)$$

Mientras mayor sea el valor de la desviación medio cuadrática o estándar, mayor será el grado de dispersión de algunas magnitudes relativa al valor medio. La desviación medio cuadrática caracteriza la media de la dispersión de los valores en las magnitudes absolutas, lo que no es siempre cómodo para la evaluación y comparación de diferentes índices de fiabilidad.

Cuando se procesan los resultados de los experimentos sobre fiabilidad puede surgir la necesidad de comparar la dispersión de las magnitudes heterogéneas, siendo imposible la utilización de la varianza y la desviación medio cuadrática, utilizándose el coeficiente de variación como medida abstracta de la dispersión, que no depende de las unidades de medición de las magnitudes comparadas.

Para realizar la distribución empírica, este coeficiente se expresa mediante la relación de la desviación medio cuadrática empírica y la media aritmética.

$$CV = \frac{S}{\bar{t}} \quad (24)$$

Este coeficiente muestra cuán grande es la dispersión en comparación con el valor medio de la magnitud aleatoria. El coeficiente de variación para la distribución teórica es la relación de la desviación media cuadrática y la esperanza matemática.

$$CV = \frac{\sigma_t}{M_t} \quad (25)$$

### 1.5 Leyes de distribución.

Leyes teóricas de distribución, tales como: la normal (Gauss) normal logarítmica, exponencial, binomial, Weibull.

Son varias las leyes que pueden representar el comportamiento de fenómenos en el campo de la mecánica y en particular, en el del mantenimiento de equipos e instalaciones. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que durante la explotación de las máquinas existen tres etapas bien definidas y diferenciadas, las cuales se observan en la siguiente figura: [Esteban, 2012].

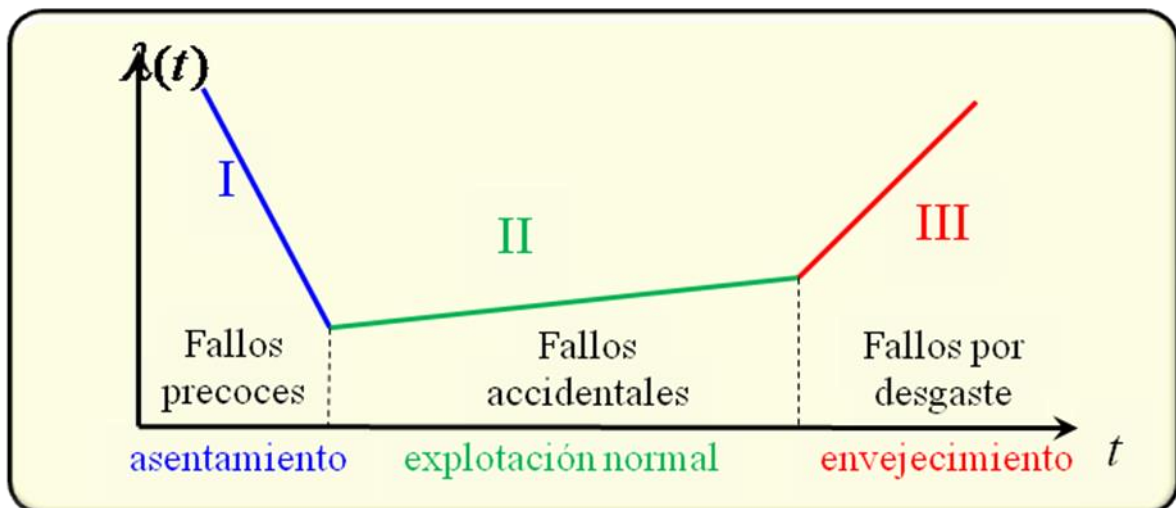


Figura 1.1. Comportamiento de la intensidad de los fallos.

La región I corresponde a un período en que la  $\lambda(t)$  es alto y se va produciendo una disminución brusca de la  $\lambda(t)$ , a esta región se conoce como de fallos prematuros, y corresponde al período desde el inicio de la explotación hasta que se estabiliza su explotación, en la misma se manifiestan los defectos de fabricación.

La II región corresponde al período de explotación normal donde la intensidad de fallo permanece aproximadamente constante y el tiempo de trabajo sin fallos sigue la ley de distribución exponencial.

La III región corresponde al período final de la explotación donde se produce un incremento de la intensidad de fallos hasta que se produce el fallo de todos los artículos en la explotación.

Uso de las Leyes.

La **Ley Exponencial** es la ley que más frecuentemente se usa ya que es muy fácil de operar. Tiene su campo de aplicación en:

- El análisis de las máquinas complejas después del período de asentamiento, donde aparece una regularidad de fallos.
- Para el análisis de equipos y componentes eléctricos.
- Todos aquellos fallos que aparecen de forma imprevista.

**El coeficiente de variación para la ley exponencial oscila en los límites de 0,6 a 1,3**

La **Ley de Weibull** se emplea en la determinar la fiabilidad de sistemas mecánicos donde está presente el envejecimiento de los materiales. En la mayoría de los casos se puede usar:

- Para el análisis de recurso hasta el fallo de las estructuras metálicas sometidas a fatiga.
- Determinar el recurso hasta la primera reparación general de reductores y caja de velocidad sometidas a cargas alternativas.
- Cuando no se tiene la certeza de que la tasa de fallo es constante y se quiere determinar su tipología.

**El coeficiente de variación para esta ley oscila en los límites de 0,33 a 0,60.**

La **Ley Normal** (Ley de Gauss), es muy utilizada en la teoría de la fiabilidad de elementos mecánicos, ya que se ajusta fácilmente a las variables aleatorias sobre las cuales influyen muchos factores, particularmente los fallos producto del desgaste natural y el envejecimiento progresivo, donde es menor la probabilidad de fallos eventuales (súbitos). **Coeficiente de variación, el cual para la ley normal oscila en los límites de 0,08 a 0,32.**

La Ley Binomial se utiliza para variables discretas. Es buena para modelar los defectos de las piezas, para esperar la cantidad de defectos de máquinas que trabajan en condiciones y tiempos semejantes. [Daquinta, 2004].

La Ley Poisson, es otra Ley de distribución para variables discretas.

El coeficiente de variación puede expresarse en por ciento.

$$CV = \frac{S}{\bar{t}} \cdot 100 \% \qquad CV = \frac{\sigma_t}{M_t} \cdot 100 \% \qquad (26)$$

El elemento de la serie de distribución que tenga mayor coeficiente de variación tendrá mayor dispersión.

## **1.6 Metodología para la evaluación de la fiabilidad de las Máquinas Cosechadoras Cañeras.**

Esta norma establece la metodología para evaluar la fiabilidad de las Máquinas Cosechadoras Cañeras, durante la realización de los Ensayos Tecnológicos Explotativos.

### 1. Generalidades.

- 1.1. La presente norma incluye la metodología para evaluar los índices de fiabilidad de las máquinas seriadas, modelos experimentales o modernizados, tanto de factura nacional o foráneos, destinados a la cosecha de la caña de azúcar. En el proceso de explotación se debe contar con el personal especializado de Asistencia Técnica.
- 1.2. Los términos y definiciones relativos a la Evaluación de Fiabilidad se establecen en las **NC 92-10: 81** "Control de la Calidad. Fiabilidad. Términos y definiciones" y la **NC 92-31: 81** "Control de la Calidad. Fiabilidad. Cálculo de los Índices de Fiabilidad de los artículos industriales".
- 1.3. En esta metodología se establecen los pasos para calcular los índices complejos de fiabilidad, operatividad, conservabilidad y mantenibilidad.



- 1.4. Las máquinas cosechadoras experimentales se someten a ensayos Tecnológicos Explotativos con el objetivo siguiente:
  - Llevar su construcción hasta el nivel de fiabilidad dada en la Tarea Técnica de Diseño.
  - Determinar la preparación de la máquina para otras evaluaciones.
  - Evaluación previa de la fiabilidad y determinación de la preparación de la misma para la producción seriada.
- 1.4.1. La preparación para los ensayos de aceptación y la organización de la producción seriada, se evalúan por: la correspondencia de los Índices de Fiabilidad con la NC 92-10: 81 “Control de la Calidad. Fiabilidad. Metodología para la selección de la nomenclatura de los Índices de Fiabilidad de los artículos industriales”, el cumplimiento de lo reglamentado en la Tarea Técnica para el diseño y el grado de acabado de los mecanismos de la máquina según su nivel de fiabilidad.
- 1.5. Las máquinas seriadas se someten a ensayos de control en condiciones de explotación con el objetivo de comprobar la calidad de su fabricación y ejecutar la evaluación de fiabilidad
- 1.5.1. La calidad de fabricación se caracteriza por:
  - La fiabilidad de la máquina y sus agregados.
  - La correspondencia de la máquina y sus agregados con las condiciones técnicas de la fabricación y los suministros.
  - El nivel técnico del modelo recomendado a la producción.
  - La efectividad de medidas tecnológicas y constructivas para la modernización de las máquinas seriadas.
- 1.6. Etapas del programa de ensayos:
  - Recibo y preparación de la máquina para los ensayos.
  - Verificación de la correspondencia con las exigencias de seguridad e higiene del trabajo.
  - Ensayo a los agregados del Sistema Hidráulico.
  - Ensayo al motor de combustión interna.
  - Ensayo de explotación a la máquina para evaluar su fiabilidad.
  - Evaluación del Peritaje Técnico.

- Evaluación de la adaptación del mantenimiento técnico, de acuerdo a las posibilidades de ejecución.
  - Evaluación de la adaptación a la reparación planificada.
- 1.7. Preparación de la máquina a investigar.
- 1.7.1. La máquina objeto de investigación debe tener los siguientes documentos:
- Tarea técnica del diseño.
  - Manual de explotación de la máquina y los principales agregados.
  - Listado de componentes agregados
- 1.7.2. A los investigadores se le deben entregar los siguientes documentos.
- Exigencias aerotécnicas o la tarea técnica.
  - Condiciones técnicas de la fabricación y suministros.
  - Relación de las soluciones dadas a los fallos detectados en evaluaciones anteriores, los cambios o modificaciones tecnológicas constructivas realizadas, los planos de conjuntos o piezas sustituidos.
  - Documentos de micrometraje con las indicaciones de tolerancia de fabricación.
  - Catálogo de piezas de la máquina.
- 1.7.3. La máquina de la producción seriada que se someta a ensayo debe tener un aval de aprobación del Control de la Calidad.
- 1.7.4. Planos de las piezas con mayores probabilidades de fallar.
- 1.8. Recepción y preparación de la máquina a investigar.
- 1.8.1. La recepción a investigar incluye:
- Revisión de la documentación técnica.
  - Evaluación previa de la máquina según lo establecen las normas de Seguridad e Higiene del Trabajo.
  - Revisión de los principales parámetros geométricos y cinemáticas, así como otras características técnicas.
  - Revisión de los cambios o modificaciones introducidas.
- 1.8.2. La preparación de la máquina a ensayar incluye:
- Rodaje en vacío.
  - Comprobación de las características de la misma mediante el Peritaje Técnico Primario.

- 1.9. Ensayo a los agregados del sistema hidráulico.
  - 1.9.1 Los sistemas hidráulicos se ensayan con el objetivo de garantizar los regímenes nominales de explotación establecidos en el proyecto.
  - 1.9.2 Al sistema hidráulico se le realiza la evaluación de fiabilidad para cada uno de los elementos de forma independiente.
  - 1.9.3 Parámetros principales a controlar:
    - Tiempo de ascenso, suspensión y descenso de los conjuntos.
    - Sensibilidad de los reguladores hidráulicos.
    - Régimen de trabajo de los reguladores hidráulicos.
    - Esfuerzo sobre los mandos del sistema hidráulico.
  - 1.9.4 Frecuencia en la ejecución de los ensayos a los agregados del sistema hidráulico.
    - La evaluación de los índices del sistema hidráulico se realizan después del trabajo en vacío y posteriormente al concluir los ensayos de explotación o en caso que exista algún fallo técnico.
- 1.10. Ensayos a motores de combustión interna, se ejecutan según lo establecido en las exigencias técnicas.
- 1.11. La máquina que no satisfaga lo establecido en las exigencias técnicas o en la norma de protección e higiene del trabajo se rechazan y se hace un acta.
2. Metodología para la evaluación de la fiabilidad.
  - 2.1. La evaluación de los índices de fiabilidad se efectúa durante los ensayos tecnológicos explotativos.
  - 2.2. Los modelos experimentales de cosechadoras deben realizar un volumen de trabajo equivalente a una norma media anual en horas de trabajo principal.
  - 2.3. La cantidad de máquinas a investigar en diferentes zonas no debe ser menor de tres modelos experimentales.
  - 2.4. La cantidad de máquinas seriadas o modernizadas que se sometan a ensayos de fiabilidad no deben ser menor de cinco.
  - 2.5. Las máquinas se evalúan según los procedimientos establecidos en la metodología para ensayos.
  - 2.6. El régimen de ensayo debe garantizar el cumplimiento de las exigencias aerotécnicas establecidas.

- 2.7. Los combustibles y lubricantes recomendados por el fabricante deben estar avalados por el suministrador y su calidad debe controlarse en los laboratorios.
- 2.8. El mantenimiento técnico de la máquina durante el período de investigación se debe realizar acorde con las instrucciones establecidas.
- 2.9. Los datos experimentales primarios sobre la fiabilidad deben garantizar la posibilidad de determinar los índices y además debe contener la siguiente información:
  - Volumen de producción realizada.
  - Horas laboradas.
  - Descripción de los fallos, posible causa, características, método de eliminación y el número de incidencias.
  - Estado técnico de los elementos que han fallado.
  - Estado técnico de los elementos que han sido reparados o sustituidos.
  - Resultados del Peritaje técnico.
  - Consumos de materiales, piezas de repuesto, combustible y lubricantes.
- 2.10. La denominación y códigos de los conjuntos, subconjuntos y piezas que han fallado deben corresponderse con la documentación técnica vigente (Anexo No. 1).
- 2.11. En la valoración de la fiabilidad se deben tener en cuenta los fallos técnicos siguientes:
  - Fallo de Distribución: fallo que imposibilite la utilización de la máquina para realizar su labor y haya ocurrido durante la transportación de la misma. De haberse violado las normas de transportación se elabora un acta de reclamación. Para evaluar la máquina no se debe considerar este tipo de fallo.
  - Fallo de Proyecto: incluye los cambios constructivos realizados durante el ensayo con el objetivo de aumentar la fiabilidad de la máquina.

- Fallo de Proyecto: la no correspondencia de las dimensiones de la máquina con las normas para la circulación vial que prohíban su empleo.
- Fallo de Proyecto: ejecución de las operaciones de mantenimiento técnico antes del tiempo establecido en el manual de explotación.
- Fallo de Proyecto: fallos que surjan en diferentes piezas, conjuntos o subconjuntos y coincidan con la ejecución del mantenimiento técnico y no estén previsto en el manual de explotación.
- Fallos en la máquina como consecuencia de roturas y desgastes límites en piezas establecidas en el manual de explotación y el trabajo útil es menor que el establecido hasta la reparación general.
- La superación de los valores límites de los índices fundamentales de trabajo que varíen el proceso de explotación establecidos en los documentos técnicos.
- El goteo de fluidos (combustible, aceite o agua).
- Fundido de faros, indicadores de control, etc.
- El accionamiento de los dispositivos de seguridad sin causas externas.

## 2.12. Clasificación de los fallos según los grupos de complejidad.

### 2.12.1. Primer grupo.

- Fallos que se eliminan mediante la reparación o cambio de la pieza, que se localizan en la parte exterior de los conjuntos y no haya necesidad de ejecutar el desarme del conjunto o subconjunto.
- Fallos que se eliminan realizando operaciones de mantenimiento No. 1 o No. 2 establecidos.

### 2.12.2. Segundo grupo.

- Fallos que se eliminan mediante la reparación o cambio de la pieza, con acceso fácil en el conjunto o subconjunto donde se localizan.
- Fallos que se eliminan sin llegar al desarme total del conjunto o subconjunto.
- Fallos que se eliminan realizando operaciones de mantenimiento No. 3 establecido.

### 2.12.3. Tercer grupo.

- Fallos que para su eliminación es necesario desarmar completamente el conjunto o subconjunto.
- 2.13. En la recopilación de los datos experimentales primarios se recogen pero no se tienen en cuenta para la evaluación los siguientes fallos
- Defectos del revestimiento decorativo.
  - Fallos debido a un mal procedimiento durante la ejecución de los mantenimientos técnicos.
  - Perforación de los neumáticos por contacto con un objeto puntiagudo.
  - Accionamiento de los fusibles eléctricos.
  - Reducción de la capacidad de trabajo de las diferentes piezas o conjuntos, por violación del procedimiento establecido en el mantenimiento.
  - Fallos en la capacidad de trabajo de las piezas o conjuntos de la máquina y el trabajo útil de misma es igual o superior al establecido.
  - Fallos surgidos por violación de las normas técnicas y haya que sustituir el elemento.
  - Fallo no eliminado totalmente mediante la reparación.
- 2.14. Los cambios simultáneos de piezas acopladas se registran como un solo fallo.
- 2.15. Los fallos dependientes se registran como la suma de fallos parciales y se incluyen en el grupo de mayor complejidad (Tercer Grupo).
- 2.16. En los fallos independientes de debe diferenciar lo siguiente:
- Considerar cada un como un fallo.
  - Cuando las causas del fallo sean diferentes, tomar el número de los mismos por la cantidad de causales.
- 2.17. Considerar como un solo fallo, cuando se produzcan fallos simultáneos en piezas iguales pero en diferentes conjuntos.
- 2.18. Cuando se produzca un fallos sistemáticos debe considerarse lo siguiente:
- Cuando son desconocidas las causas que provocan el fallo y para su eliminación es necesario la introducción de cambios constructivos, cada repetición se considera como un fallo.

- Cuando se establece la causa del fallo y el mismo puede eliminarse, sin embargo no se ejecuta, solamente se considera el primer fallo. Esto se realiza con el objetivo de conocer la durabilidad límite del elemento.
  - Cuando la causa del fallo no se establece de inmediato y su eliminación se realiza durante la ejecución del ensayo, sin la introducción de cambios constructivos se considera como un solo fallo y los gastos de tiempo de trabajo y recursos invertidos en la búsqueda y eliminación de este se suman durante el proceso de ensayo.
- 2.19. Si durante el desarme de un conjunto debido a un fallo se realiza el cambio de piezas que no alcanzan el estado límite, se considera como un solo fallo. Los gastos de tiempo y recursos se tienen en cuenta para la evaluación compleja de la fiabilidad y la mantenibilidad.
- 2.20. Si antes de concluir los ensayos se cambian o reparan piezas que hayan alcanzado el estado límite, la fiabilidad de las mismas se medirá a partir de ese momento. Para determinar el índice del trabajo sin fallos se sumaran con los de la anterior. La reducción de la vida útil de un elemento se considera como un fallo del Tercer Grupo de Complejidad.
- 2.21. La fiabilidad de los elementos cambiados se evalúan a partir del momento de la sustitución o la reparación. Para la valoración del trabajo sin fallos de la máquina en su conjunto se considera la suma de los fallos ocurridos hasta y después de efectuado el cambio.
- 2.22. La caracterización del fallo debe incluir lo siguiente:
- Denominación del elemento que falló y conjunto donde se ubica (código).
  - Descripción del carácter del fallo.
  - Causas del fallo
  - Medidas utilizadas para eliminar el fallo
  - Datos del elemento sustituido (denominación, cantidad y causa del cambio).
  - Duración de la búsqueda y eliminación del fallo.

- Gastos de trabajo invertidos en la búsqueda y eliminación del fallo.
  - Costo del elemento nuevo o reparado.
  - Trabajo útil hasta el surgimiento del fallo.
- 2.23. Como operaciones de búsqueda y eliminación de los fallos se consideran las siguientes:
- Limpieza y lavado de la máquina.
  - Búsqueda del fallo.
  - Traslado de la máquina al lugar de reparación y retorno al área donde realiza su trabajo.
  - Desarme del conjunto u agregado.
  - Extracción del elemento que falló.
  - Traslado del elemento a un taller y retorno de la misma reparada o nueva.
  - Reposición de la capacidad de trabajo.
  - Traslado de los medios móviles de reparación.
  - Espera por el elemento nuevo o reparado.
  - Montaje de la pieza.
  - Ensamblaje del conjunto.
  - Instalación y regulación de los mecanismos.
- 2.24. Determinación de los gastos de tiempo de trabajo y recursos invertidos en la búsqueda y eliminación de los fallos.
- Los gastos de tiempo de trabajo y recursos invertidos en la eliminación de los fallos no se consideran si estos se ejecutan durante la realización del mantenimiento técnico establecido.
  - En los fallos dependientes los gastos de tiempo de trabajo y recursos invertidos deben corresponder al conjunto cuya pieza causó el fallo.
  - La eliminación simultánea de varios fallos en conjuntos diferentes conlleva a que los gastos de tiempo de trabajo y recursos se correspondan con cada uno de ellos de forma independiente.
  - Cuando se produzcan varios fallos en un mismo conjunto los gastos de tiempo de trabajo y recursos se deben referir a cada fallo y considerarlos como gastos generales.
  - Los gastos de tiempo de trabajo y recursos se determinan durante el cronometraje.



- Los gastos de tiempo de transportación y recursos utilizados en la búsqueda y eliminación de los fallos deben adaptarse a lo establecido en el Anexo No. 8. Estos gastos deben considerarse para las piezas que no forman parte del módulo de repuesto o para piezas reparadas.
  - Los gastos de tiempo de trabajo y recursos invertidos en la eliminación simultánea de varios fallos, se consideran como un solo gasto que corresponda a todos los fallos, adaptándolo al grupo de mayor complejidad.
- 2.25. Los gastos de tiempo de trabajo y recursos empleados en la búsqueda y eliminación de los fallos, ocurridos durante el período de explotación se suman y se consideran para el cálculo de los siguientes índices:
- Tiempo medio de reparación.
  - Intensidad media del fallo.
  - Coeficiente de disponibilidad.
  - Coeficiente de Utilización Técnica.
  - Volumen de trabajo específico de la búsqueda y eliminación de los fallos.
  - Costo específico de la búsqueda y eliminación de las consecuencias de los fallos.
- 2.26. El trabajo útil de la máquina es necesario medirlo en tiempo de trabajo principal y en unidades del volumen de producción, para cada variante de ensayo.
- 2.27. La información del Peritaje Técnico se recoge según lo establecido por la norma correspondiente.
- 2.28. La información sobre los mantenimientos técnicos y las reparaciones se recopilan según lo establecido.
- 2.29. La información sobre los desmontajes y los montajes se recopilan según lo establecido.
- 2.30. La utilización de piezas iguales o diferentes según su destino y condiciones técnicas para la evaluación de la fiabilidad se requiere que se tome cada una por separado.

2.31. Recopilación y procesamiento de los datos experimentales primarios de la máquina objeto de investigación.

2.31.1. Especificar la siguiente información sobre cada máquina:

- Denominación, marca y año de fabricación.
- Número de fabricación y principales agregados.
- Fábrica productora.
- Fecha de entrega a los investigadores, así como las de inicio y final de los ensayos.
- Trabajo ejecutado.
- Composición de la máquina y los medios de transporte auxiliares.
- Lugar de trabajo.
- Trabajo útil de la máquina por turno de trabajo.
- Condiciones y régimen de ensayo.
- Características de los fallos e incorrecciones.

2.31.2. Registro del trabajo útil.

2.31.2.1. El trabajo útil se obtiene mediante la realización de un riguroso cronometraje realizado durante cada turno de trabajo.

2.31.2.2. Los errores en la utilización de los instrumentos de medición del tiempo no deben ser mayor del 2.5%.

2.32. Durante el cronometraje de la búsqueda y eliminación de los fallos se deben señalar las características del fallo.

2.33. Realizar el peritaje técnico de las piezas sustituidas durante el ensayo.

2.34. Los datos experimentales primarios se deben registrar y conservarlos en un orden lógico.

2.35. La determinación de los índices de fiabilidad se ejecutarán según la metodología establecida.

2.36. La información periódica sobre la marcha del ensayo se dará por los investigadores en los plazos y forma establecidos.

2.37. El informe sobre la Evaluación de la Fiabilidad debe contener los siguientes aspectos:

- Condiciones y régimen de trabajo.
- Valor de los índices de fiabilidad obtenidos.

- Resultados de los peritajes técnicos, fotografías de las piezas que fallaron, investigaciones metalográfica, químicas u otros que se realicen.
  - Relación de los fallos por grupo de complejidad y la relación de fallo con características semejantes.
  - Evaluación de la fiabilidad y propuestas derivadas del análisis.
- 2.38. Incluir en el informe los siguientes aspectos complementarios:
- Acta de recepción y preparación de la máquina para el ensayo.
  - Objetivo y fundamentación de la investigación.
  - Relación de documentos utilizados.
  - Denominación, marca, año de fabricación, número de serie y la descripción constructiva de la máquina.
  - Características técnicas.
  - Evaluación del grado de acabado constructivo.
  - Adaptabilidad al mantenimiento técnico planificado.
  - Resultado del peritaje técnico.
  - Resultado del desarme y montaje de piezas o conjuntos.
  - Plazos calendario de trabajo para la máquina.
  - Trabajo útil y volumen de producción realizado.
  - Lugar de ejecución y régimen de ensayo.
  - Caracterización de las condiciones de ensayo.
  - Resultados de los ensayos en banco del motor de combustión interna.
  - Resultados de los ensayos a los agregados del sistema hidráulico.
- 2.39. Cuando un conjunto fundamental para el funcionamiento de la máquina llegue a su estado límite, la decisión de suspender el ensayo la toman los investigadores, previa consulta con el organismo superior. En el informe se den los índices del trabajo sin fallos de la máquina y sus conjuntos, incluyendo la que fallaron.
- 2.40. Cálculo de los índices de fiabilidad.
- 2.40.1. Índices de Operatividad.
- Cantidad de fallos técnicos por grupos de complejidad (NT42)

$$NT42 = NG1 + NG2 + NG3$$

(27)

Donde:

NG1: cantidad del primer grupo

NG2: cantidad del segundo grupo

NG3: cantidad del tercer grupo

- Cantidad de fallos (N4).

$$N4 = N41 + N42 \quad (28)$$

Donde:

N41: cantidad de fallos tecnológicos

N42: cantidad de fallos técnicos

- Flujo de fallos (FF).

$$FF = N4/TG \quad (29)$$

Donde:

TG: duración de la jornada (h)

- Tiempo medio de trabajo entre fallos (TMF) (h)

$$T02 = T1 + T2 \quad (30)$$

Donde:

T02: tiempo de trabajo operativo (h)

T1: tiempo de trabajo principal (h)

T2: tiempo de trabajo auxiliar (h)

$$TMF = T02/N4 \quad (31)$$

#### 2.40.2. Índices de Durabilidad.

- Recurso medio o vida útil media (RM).

$$RM = TRM/M \quad (32)$$

Donde:

TRM: recurso técnico observado de la máquina

M: cantidad de máquinas

- Plazo de servicio medio (PSM).

$$PSM = T31/N31 \quad (33)$$

Donde:

T31: tiempo de mantenimiento técnico diario (h)

N31: cantidad de mantenimiento

#### 2.40.3. Índices de conservabilidad.

- Tiempo medio de conservación (TMC)

$$TMC = TC/M \quad (34)$$

Donde:

TC - tiempo de conservación (h)

#### 2.40.4. Índices de mantenibilidad.

- Tiempo medio de reparación (TMR). (h)

$$TMR = T42/N42 \quad (35)$$

Donde:

T42 - tiempo de eliminación de fallos técnicos (h)

- Tiempo medio de restauración (TMRE). (h)

$$TMRE = T41/N41 \quad (36)$$

Donde:

T42 - tiempo de eliminación de fallos tecnológicos (h)

- Tiempo medio de espera para reparar (TMER) (h)

$$TMER = (T43 + T61)/N43 \quad (37)$$

Donde:

T43 - tiempo de operaciones para eliminación de fallos técnicos (h)

T61- tiempo de traslado debido a los fallos (h)

- Tiempo medio improductivo debido a los fallos (TMI).

$$T4 = T41 + T42 + T43 \quad (38)$$

$$TMI = (T4 + T61)/N4 \quad (39)$$

Donde:

T4- tiempo de eliminación de fallos (h)

- Tiempo medio de búsqueda de los fallos (TMB) (h).

$$TMB = T431/N431 \quad (40)$$

Donde:

T431- tiempo de búsqueda de los fallos

N431- cantidad de búsqueda

2.40.5. Índices complejos de fiabilidad.

- Coeficiente de disponibilidad (KD).

$$KD = T02/(T02 + T4 + T6) \quad (41)$$

Donde:

T6- tiempo de traslados (h)

- Coeficiente de utilización técnica (KUT)

$$KUT = T02/(T02 + T31 + T4 + T6) \quad (42)$$

- Coeficiente de disponibilidad operativa KDO

$$KDO = T02/(T02 + T4 + T61) \quad (43)$$

2.40.6. Trabajo específico invertido en la búsqueda y eliminación de los fallos e incorrecciones (SE).

$$SE = S4/TG \quad (44)$$

Donde:

S4 - salario invertido

TG - tiempo general de trabajo (h)

2.40.7. Costo específico del mantenimiento técnico, así como de la búsqueda y eliminación de los fallos e incorrecciones (CE).

$$CE = (CM + CR)/TG \quad (45)$$

Donde:

CM - costo del mantenimiento

CR - costo de la búsqueda y eliminación de los fallos e incorrecciones

2.41. Evaluación del grado de acabado constructivo de las máquinas.

2.41.1. La fiabilidad de la máquina se caracteriza por un conjunto de índices generales. El grado de acabado constructivo, constituye un factor determinante para valorar la fiabilidad de la máquina.

2.41.2. Factores que determinan el acabado constructivo de la máquina:

- Presencia y complejidad de defectos provocados por insuficiencias constructivas, según el grupo de fallos.

- Presencia de defectos cuyos procesos de eliminación no son tecnológicos.
- Presencia de operaciones no tecnológicas del mantenimiento técnico planificado.
- Adaptación de la construcción de la máquina al diagnóstico del estado técnico.
- Carácter satisfactorio de las medidas de preservación dadas en el mantenimiento técnico para prevenir los fallos.
- Adaptación de la construcción de la máquina a la tecnología, tipos y recursos para el mantenimiento y la reparación planificada.
- Cumplimiento estricto de las instrucciones recogidas en el Manual de Explotación.

## **CAPÍTULO II. Determinación de los índices de fiabilidad del primer prototipo de la combinada cañera CCA 5000.**

Para realizar el estudio de los índices de fiabilidad de la combinada cañera CCA 5000, se da una breve explicación de su principio de funcionamiento, así como el fundamento de sus órganos de trabajo. En el presente capítulo se utilizan las herramientas estadísticas mencionadas en el capítulo I de este trabajo para la simulación de las muestras y realizar los cálculos de los índices de fiabilidad propuestos en la tarea de investigación. Además se realiza un análisis de los resultados alcanzados.



Figura 2.1. Combinada cañera CCA-5000. (Propia del autor.)

### **2.1 Caracterización de la combinada cañera CCA-5000.**

La CCA-5000, fruto de más de 50 años de experiencia, es una cosechadora compacta, creada como una verdadera opción al cliente. La cosechadora de caña CCA-5000 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 a 1,6 m, lo cual significa mejor calidad de corte y aumento de productividad con un mínimo de pérdidas de materia prima. La cosechadora CCA-5000 tiene un tamaño comparable a los modelos actuales. Con un adecuado balance de carga que le permite mejor desplazamiento y maniobrabilidad con excelentes condiciones operacionales.

La CCA-5000 ha sido diseñada con un nuevo concepto más revolucionario respecto a las anteriores cosechadoras KTP. Esta característica aumenta significativamente el costo-beneficio de la máquina. La CCA-5000 fue concebida con el objetivo de simplificar los mantenimientos. El acceso a los componentes del motor, sistema hidráulico y mecánico son fáciles, proporcionando rapidez en los servicios con mayor seguridad. En el diseño no se olvidó al operador, la CCA-5000 reservó el confort para el operador, buena visibilidad y facilidad operacional. Los mandos ubicados ergonómicamente aseguran comodidad y funcionalidad al operador durante las jornadas de trabajo. El conocimiento y la experiencia para cuidar su máquina, lo tiene el personal de asistencia técnica de la Empresa “60 Aniversario de la Rev. 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 de su tranquilidad para el buen rendimiento de su máquina y su mayor productividad. Ordene y será complacido. Para atender a la urgencia, dinamismo y al ritmo intenso de la zafra, la Fca. KTP, creó la asistencia técnica desde sus inicios.

Con un sistema de distribución por todo el país, las piezas salen de los centros de logística y distribución en cada provincia y se entregan a los grupos de asistencia técnica. Una garantía que viene de fábrica. Las piezas legítimas son proyectadas especialmente para que las máquinas CCA-5000 tengan el mejor rendimiento. Ellas fueron desarrolladas por el CEDEMA (Centro de Desarrollo de la Maquinaria), probadas y aprobadas por la fábrica KTP. Ellas se han elaborado bajo estrictas medidas de calidad para garantizar más eficiencia a su máquina, más vida útil de los componentes y la tranquilidad y seguridad del cliente a la hora de producir más.

### 2.1.1 Proceso tecnológico.

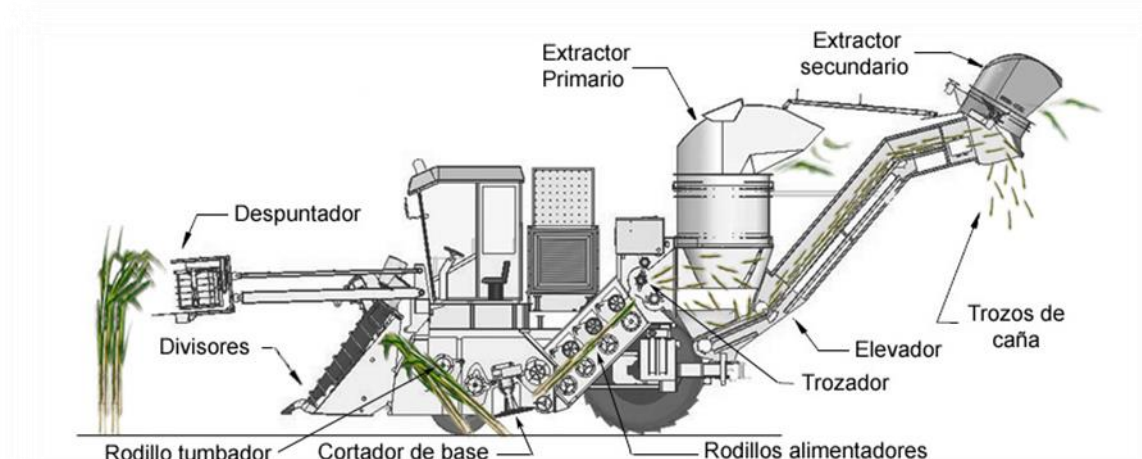


Figura 2.2. Ubicación de los mecanismos para la cosecha de la caña. (Propia Autor).

Los mecanismos que intervienen en el proceso tecnológico del modelo que se investiga, está formado por el Mecanismo Cortacogollos Desfibrador, Transportadores Helicoidales doble y Mecanismo de Cuchillas Laterales, Mecanismo de Corte Inferior o Cortador Base, Tren de Rodillos Alimentadores, Mecanismo Trozador 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 atoros). 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 Trozador, 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 maza 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.

### **2.1.2 Especificaciones técnicas.**

#### **Divisores:**

- Divisores de línea formados por:
- Doble divisores helicoidales con Cuchillas divisoras de línea.



Figura 2.3. Sinfines. (Propia del autor.)

#### **Despuntador-desfibrilador**

- Corta y tritura esparciendo la masa en el suelo.
- Altura de corte Max: 3,90 m

- Min: 1,2 m



Figura 2.4. Corta cogollos. (Propia del autor.)

### Cortador de base

- De pierna con cuchillas removibles.
- Caja reductora y mando hidráulico.
- Altura de corte: 0 a 2 cm.

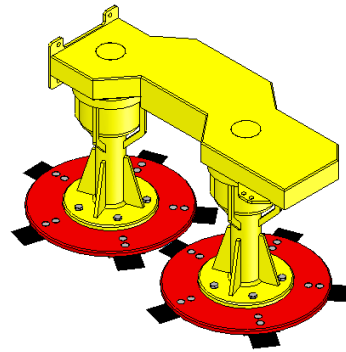


Figura 2.5. Cortadores bases. (Propia del autor.)

### Rodillos alimentadores

- 11 Rodillos con láminas dentadas despajadoras.
- 1 rodillo tumbador.
- 1 rodillo con paletas alineadoras.



Figura 2.6. Tambor. (Propia del autor.)

## Trozador

Tipo de dos Rodillos con paletas soporte de cuchillas de cambio rápido  
Intercambiable de 2 y 4 paletas.

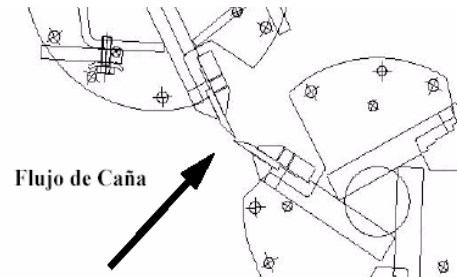
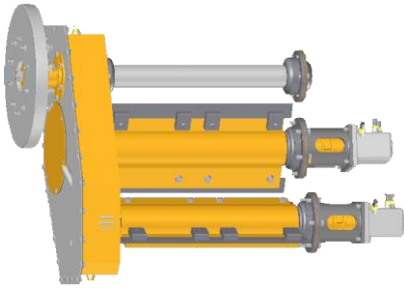


Figura 2.7.a. Trozador. (Propia del autor.)

Figura 2.7.b. Trozador

## Extractor primario

- Rango de velocidad 900 – 1100 rpm. Con control desde la cabina.
- Paletas intercambiables.
- Cámara orientable.



Figura 2.8. Extractor primario  
(Propia del autor.)

Figura 2.8.b. Extractor primario.

## Cabina

- Climatizada y ergonómica.
- Con dos puertas de acceso.
- Asiento con suspensión.



Figura 2.9. Cabina. (Propia del autor.)

## Transportador

Transportador de tablillas de alta flexibilidad.

Giro 180 grados.

Abatible.

Piso ranurado.



Figura 2.10: Transportador e descarga. (Propia del autor.)

## 2.2 Cálculos de los indicadores de Fiabilidad de los órganos de trabajo de la Combinada cañera CCA-5000.

La máquina permaneció bajo cronometraje durante 28 días, de ellos 22 fueron representativos pues el resto de los días permaneció inactiva producto de fallos técnicos que se solucionaron fuera del área, de aceite hidráulico, interrupciones en la Industria y Centros de Beneficio, falta de medios de transporte además por causas meteorológicas.

A continuación se dan a conocer los resultados alcanzados en la etapa de pruebas en conjunto con el cronometraje y así con estas determinar experimentalmente los indicadores de fiabilidad de la máquina.

Tabla 2.1. Códigos y tiempos reales de los resultados obtenidos en el cronometraje. (Propia del autor.)

Código	Tiempo	horas
<b>TG</b>	Duración de la jornada	408,371
<b>T1</b>	Principal o limpio	109,003
<b>T1+T21</b>	Efectivo	130,282
<b>T2</b>	Auxiliar	26,325
<b>T1+T2</b>	Operativo	135,328
<b>T3</b>	De operaciones técnicas	52,507
<b>T31</b>	De mantenimiento técnico	40,273
<b>T04</b>	Productivo	249,577
<b>T4</b>	De fallos	61,742
<b>T41</b>	Fallos tecnológicos	4,032
<b>T42</b>	Fallos técnicos	26,129
<b>T43</b>	De búsqueda y solución de los fallos	31,582
<b>T5</b>	De necesidades personales	6,161

<b>T6</b>	De traslados	39,094
<b>T61</b>	Traslado debido a los fallos	2,254
<b>T62</b>	Traslados (entre campos, novia, etc)	36,840
<b>T07</b>	Explotativos	294,994
<b>TT</b>	De turno sin fallos	233,252
<b>T7</b>	Mant. técnico de los medios de transporte	0,162
<b>T8</b>	De paradas por causas ajenas a la máquina	113,377
<b>T81</b>	De paradas organizativas	79,518
<b>T811</b>	Paradas por falta de combustible o lubricante.	18,581
<b>T812</b>	Paradas por falta de piezas del módulo	1,997
<b>T813</b>	Paradas por falta de transporte	52,142
<b>T814</b>	Paradas por falta del tractor tirador	-
<b>T815</b>	Paradas por falta del tractor movedor	3,383
<b>T816</b>	Paradas por falta de mecánicos o técnicos	0,415
<b>T817</b>	Paradas por falta de medios de trabajo	3.000
<b>T82</b>	Paradas por causas meteorológicas	10,531
<b>T83</b>	Paradas por otras interrupciones	0,476
<b>T831</b>	Paradas del centro de limpieza	-
<b>T832</b>	Paradas de la industria	0,476
<b>T84</b>	Paradas malas condiciones agrotécnicas	1,387
<b>T841</b>	Paradas atoros debido a objetivo. extraños	1,230
<b>T842</b>	Paradas roturas por objetos extraños	-
<b>T843</b>	Traslados debido a las causa anteriores	0,157
<b>T85</b>	Paradas debido a otras causa	21,465
<b>TI</b>	Tiempo Perdido Imputable a la máquina	63,997
<b>TNI</b>	Tiempo Perdido No Imputable a la máquina	209,047

Tabla 2.2. Cronograma de los fallos tecnológicos obtenidos en el cronometraje.  
(Propia del autor.)

<b>Día/ mes Fallos tecnológicos</b>	<b>Tiempos (horas)</b>	<b>Ocurrencias</b>
<b>10-5</b> En la sección receptora	0,169	1
<b>12-5</b> En la sección receptora	0,018	2
<b>13-5</b> En la sección receptora	0,018	7
<b>13-5</b> En el transportador de descarga	0,129	2
<b>15-5</b> En la sección receptora	0,103	6



<b>16-5</b> En la sección receptora	0,049	4
<b>17-5</b> En la sección receptora	0,375	21
<b>18-5</b> En la sección receptora	1,018	26
<b>19-5</b> En la sección receptora	0,132	1
<b>20-5</b> En la sección receptora	0,025	2
<b>22-5</b> En la sección receptora	0,077	4
<b>23-5</b> En la sección receptora	0,177	8
<b>24-5</b> En la sección receptora	0,169	2
<b>24-5</b> En la tolva del transportador de descarga	0,014	1
<b>27-5</b> En la sección receptora	0,024	1
<b>28-5</b> En la sección receptora	0,012	1
<b>29-5</b> En la sección receptora	0,033	2
<b>30-5</b> En la sección receptora	0,148	5
<b>31-5</b> En la sección receptora	0,066	4
<b>1-6</b> En la sección receptora	0,295	21
<b>1-6</b> En la tolva del transportador de descarga	0,086	1
<b>2-6</b> En la sección receptora	0,387	27
<b>3-6</b> En la sección receptora	0,296	32
<b>4-6</b> En la sección receptora	0,09	2
<b>5-6</b> En la sección receptora	0,005	1
<b>M</b>	<b>0,157</b>	
<b>S</b>	<b>0,212</b>	
<b>CV</b>	<b>1,351</b>	

Estos son los fallos productos del proceso de corte, pueden ocurrir por negligencia del operador por no dar la altura de corte correcta, negligencias en la velocidad en el proceso de corte o mal planteamiento de los surcos tanto en el sembrado como la preparación del mismo.

Tabla 2.3. Cronograma de los fallos técnicos obtenidos en el cronometraje.  
(Propia del autor.)

<b>Día/ mes Fallos técnicos</b>	<b>Tiempos (horas)</b>	<b>Ocurrencias</b>
<b>10-5</b> En la cuchilla lateral	1,069	1
<b>10-5</b> En los tambores alimentadores	1,781	1
<b>13-5</b> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	0,346	1
<b>15-5</b> En el mecanismo corta cogollos	0,398	2
<b>15-5</b> En la sección receptora	0,132	1



<u>15-5</u> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	0,264	3
<u>15-5</u> En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,305	2
<u>16-5</u> En el mecanismo trozador	0,73	1
<u>16-5</u> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	2,726	1
<u>16-5</u> En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,022	1
<u>16-5</u> Cambio de cuchillas en el mec. Trozador	2,026	4
<u>17-5</u> En la cuchilla lateral	0,118	1
<u>17-5</u> En el mecanismo trozador	0,613	2
<u>17-5</u> En el motor de combustión interna	0,615	1
<u>17-5</u> Cambio de cuchillas en el mec. Trozador	0,498	1
<u>18-5</u> En la sección receptora	0,399	1
<u>18-5</u> En el transportador de descarga	0,117	1
<u>19-5</u> En la sección receptora	2,139	2
<u>21-5</u> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	0,037	1
<u>22-5</u> En los tambores alimentadores	0,136	1
<u>22-5</u> En la uniones	0,024	1
<u>23-5</u> En la sección receptora	0,164	1
<u>23-5</u> Cambio de segmento en el mec. corte	2,074	2
<u>24-5</u> En el mecanismo corta cogollos	1,029	1
<u>24-5</u> En la sección receptora	1,839	2
<u>24-5</u> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	0,035	1
<u>24-5</u> En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,028	1
<u>25-5</u> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	2,22	2
<u>25-5</u> En el sist. hidroestático de la traslación	0,276	1
<u>26-5</u> En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,098	1
<u>26-5</u> En la uniones	0,08	1
<u>27-5</u> En la sección receptora	0,735	1
<u>27-5</u> En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,354	1
<u>28-5</u> En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	0,05	1
<u>28-5</u> En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,068	1
<u>29-5</u> Cambio de segmento en la cuchilla lateral.	0,682	1
<u>2-6</u> En el transportador de descarga	0,104	1
<u>3-6</u> En la sección receptora	1,672	1
<u>5-6</u> En el motor de combustión interna	0,126	1
<u>5-6</u> En el sistema eléctrico	0,001	1
<b>M</b>	<b>0,653</b>	
<b>S</b>	<b>0,773</b>	
<b>CV</b>	<b>1,183</b>	

Tabla 2.4. Tiempo medio de restauración de los fallos tecnológicos. (Propia del autor.)

<b>Fallos tecnológicos</b>	<b>Tiempos (h)</b>	<b>Ocurrencias</b>	<b>Media (h)</b>
En el mecanismo corta cogollos	-	-	
En la cuchilla lateral	-	-	
En la sección receptora	3,803	187,000	0,020
En el mecanismo trozador	-	-	
En los tambores alimentadores	-	-	
En el primera cámara de limpieza	-	-	
En la tolva del transportador de descarga	0,099	2,000	0,050
En el segunda cámara de limpieza	-	-	
En el transportador de descarga	0,129	2,000	0,065
Otros (no asimilación de la masa vegetal)	-	-	
<b>Cantidad total de fallos</b>		<b>191,000</b>	

Tabla 2.5. Tiempo medio de restauración de los fallos técnicos. (Propia del autor.)

<b>Fallos técnicos</b>	<b>Tiempos (h)</b>	<b>Ocurrencias</b>	<b>Media (h)</b>
En el mecanismo corta cogollos	1,427	3,000	0,476
En la cuchilla lateral	1,187	2,000	0,593
En la sección receptora	7,080	9,000	0,787
En el mecanismo trozador	1,343	3,000	0,448
En los tambores alimentadores	1,917	2,000	0,959
En el primer sistema de limpieza	-	-	
En la tolva del transportador de descarga	-	-	
En el segundo sistema de limpieza	-	-	
En el transportador de descarga	0,221	2,000	0,110
En el tercer sistema de limpieza	-	-	
En el motor de combustión interna	0,741	4,000	0,247
En el sistema de alimentación de	-	-	
En el sistema de enfriamiento del motor	-	-	
En el sistema hidráulico de la dirección	-	-	
En el sist. hidr. acción. de los cilindros	-	-	
En el sist. hidr. acción. de los órg. de trabajo	5,678	10,000	0,568
En el sist. hidroestático de la traslación	0,276	1,000	0,276
En el sist. de enfriam. de aceite hidráulico	0,874	7,000	0,125
En el tren de rodaje	-	-	
En el sistema eléctrico	0,001	1,000	0,001
En las transmisiones mecánicas	-	-	
En la uniones	0,104	2,000	0,052
En la estructura portante.	-	-	

En el sistem. de ventilación de la cabina	-	-	
Cambio de segmento en el mec. corta cogollos	-	-	
Cambio de segmento en el mec. corte	2,074	2,000	1,037
Cambio de segmento en la cuchilla lateral	0,682	1,000	0,682
Cambio de cuchillas en el mec. Trozador	2,524	5,000	0,505
Otros fallos	-	-	
Tiempo de búsqueda del fallo	1,959	10,000	0,196
Tiempo en llegar hasta el fallo	17,451	15,000	1,163
Solucionar problemas relacionado con el	12,172	7,000	1,739
<b>Cantidad total de fallos</b>		<b>54,000</b>	

Datos Generales obtenidos del cronometraje del prototipo de Combinada cañera CCA 5000. (Propia del autor.)

Volumen de trabajo realizado	328114,234 @	3720,791	t
Cantidad de fallos		245,000	
Cantidad de fallos tecnológicos		19,000	
Cantidad de fallos técnicos		54,000	
Tiempo de mantenimiento técnico		40,273	h
Tiempo de restauración (elim. fallos tecnol.)		4,032	h
Tiempo de reparación (elim. fallos técnicos)		26,129	h

### 2.2.1 Cálculo de los índices de funcionabilidad.

El cálculo de los índices de funcionabilidad se le realizó al sistema en general, en este índice se calcula la probabilidad de trabajo sin fallo  $P(t)$  y a través de la metodología expuesta en el capítulo anterior basado en la NC 92-31: 81 “Control de la Calidad. Fiabilidad. Cálculo de los Índices de Fiabilidad de los artículos industriales” para el sistemas reparables en su conjunto, se realizó el cálculo de tiempo medio entre fallos TMEF y flujo de fallos  $w(t)$ .

#### ➤ Probabilidad de trabajo sin fallos.

Se lleva a cabo el cálculo de la probabilidad de trabajo sin fallo por la ley de distribución exponencial, ya que a través del cálculo del coeficiente de variancia por la ecuación (26), los valores obtenidos están en los rangos permisibles de la distribución exponencial.

Cálculo de probabilidad de trabajo sin fallo utilizando la fórmula (10).

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7) \quad , \text{ donde } \lambda = \frac{1}{\bar{t}_0}$$

t – valor de tiempo para el cual se quiere calcular la probabilidad (una zafra, un mes, etc.)

$\bar{t}_0$  – tiempo de trabajo hasta el fallo.

A continuación se muestran algunos resultados obtenidos de probabilidad de trabajo sin fallo a partir de los datos obtenidos en el cronometraje:

Tiempo a evaluar: una mes aproximadamente, (408.371 h)

Probabilidad de trabajo sin fallo para el Mecanismo corta cogollos,  $\bar{t}_0 = 102,001$  horas.

$$P(408,371) = 0.20969533$$

Probabilidad de trabajo sin fallo para Mecanismo de corte inferior,  $\bar{t}_0 = 306,00$  horas.

$$P(408,371) = 0,5932751$$

Tabla 2.6. Resultados de los cálculos de la probabilidad de trabajo hasta el fallo, índice de funcionalidad de los órganos de trabajo de la combinada cañera CCa-5000 en la zafra 2013 – 2014 (408,371 horas). (Propia del autor.)

Órganos de Trabajos	Horas de Trabajo.(h)	Horas de Trabajo hasta el fallo.(h)	Probabilidad de trabajo hasta el fallo
Mecanismo corta cogollos	408,371	102,001	21%
Mecanismo de cuchillas laterales	408,371	6,012	0 %
Sección receptora	408,371	100,000	20%
Mecanismo de corte inferior	408,371	306,000	59,3%
Tambores alimentadores	408,371	5,000	0 %
Mecanismo trozador	408,371	104,000	21,5 %
Primer extractor	408,371	408,371	100 %
Transportador de descarga	408,371	160,000	36,8 %
Segundo extractor	408,371	408,371	100 %
Motor de combustión interna	408,371	402,000	67,2 %

Sistema de alimentación de combustible	408,371	408,371	100 %
Sistema de enfriamiento del motor combustión interna	408,371	408,371	100 %
Sistema hidráulico de la dirección	408,371	408,371	100 %
Sistema hidráulico de accionamiento de los cilindros	408,371	408,371	100 %
Sistema hidráulico de accionamiento de órg. de trabajo	408,371	72,000	10,9 %
Sistema hidrostático de la traslación	408,371	408,371	100 %
Sistema de enfriamiento del aceite hidráulico	408,371	120,000	26,4 %
Sistema de ventilación de la cabina	408,371	408,371	100 %
Sistema de rodaje	408,371	408,371	100 %
Sistema eléctrico	408,371	405,000	99,4 %
Transmisiones mecánicas	408,371	408,371	100 %
Uniones	408,371	361,000	64,2 %
Estructura portante (bastidor)	408,371	408,371	100 %
Elementos de corte (segmentos o cuchillas)	408,371	306,000	69,3 %
Cámara de limpieza	408,371	256,000	53,6 %
Cabina	408,371	408,371	100 %
Plataforma	408,371	408,371	100 %
Panel de mando	408,371	408,371	100 %
Panel de indicadores	408,371	408,371	100 %

De los resultados obtenidos en la tabla 2.6 se puede observar que la probabilidad de trabajo sin fallo para una zafra de 408,371 horas, para los diferentes órganos de trabajo oscila entre 52,5 % aproximadamente. Los peores índices de funcionabilidad los tienen: el Mecanismo de cuchillas laterales y los tambores alimentadores, los cuales sus porcentos de probabilidad a fallar para una zafra de 408,371 horas es de relativamente 0, por lo excesivamente rápido que fallaron en las pruebas de explotación realizadas a la combinada durante las pruebas de explotación.

➤ **Flujo de fallos (FF).**

$$FF = \frac{N4}{TG}$$

Donde:

TG duración de la jornada..... 408,371 h

$$FF = 0,5999$$

➤ **Tiempo medio de trabajo entre fallos (TMF)**

Donde:

$$T02 = T1 + T2$$

T02 tiempo de trabajo operativo..... 135,328 h

T1 tiempo de trabajo principal..... 109,003 h

T2 tiempo de trabajo auxiliar..... 26,325 h

N4 Cantidad de operaciones para la eliminación de fallos (N4 = N41 + N42 ).

$$N4 = 191 + 54 = 245$$

$$TMF = \frac{T02}{N4}$$

$$TMF = \frac{135,328 \text{ h}}{245}$$

$$TMF = 0,522 \text{ h}$$

**2.2.2 Cálculo de los índices de mantenibilidad.**

➤ **Tiempo medio de eliminación de fallos técnicos (TMR).**

$$TMR = \frac{T42}{N42}$$

Donde:

T42 tiempo de eliminación de fallos técnicos..... 26,129 h

N42 cantidad de fallos técnicos..... 191

$$TMR = \frac{26,129 \text{ h}}{191}$$

$$TMR = 0,137 \text{ h}$$

➤ **Tiempo medio de eliminación de fallos tecnológicos (TMRE).**

$$TMRE = \frac{T41}{N41}$$

Donde:

T41: tiempo de eliminación de fallos tecnológicos.....4,032 h

N41: cantidad de fallos tecnológicos..... 54

$$TMRE = \frac{4,032 \text{ h}}{54}$$

TMRE = 0,0746 h
-----------------

➤ **Tiempo medio de eliminación de fallos (TMEF).**

$$TMEF = \frac{T42 + T41}{245}$$

Donde:

T42 tiempo de eliminación de fallos técnicos.....26,129 h

T41 tiempo de eliminación de fallos tecnológicos.....4,032 h

N4 cantidad de fallos .....245

TMEF = 0,123 h
----------------

**Tiempo medio de espera para reparar (TMER).**

$$TMER = \frac{(T43 + T61)}{N43}$$

Donde:

T43: tiempo de operaciones para eliminación de fallos técnicos.....31,582 h

T61: tiempo de traslado debido a los fallos..... 2,254 h

N<sub>31</sub>: Cantidad de ejecución del mantenimiento técnico diario.....10

N<sub>32</sub>: Cantidad de operaciones para la preparación de la máquina para el trabajo..... 15

N<sub>33</sub>: Cantidad de operaciones para realizar las regulaciones.....7

$$N_{43} = N_{31} + N_{32} + N_{33} = 32$$

$$TMER = \frac{(31,582 \text{ h} + 2,254 \text{ h})}{32}$$

$$TMER = 1,057 \text{ h}$$

➤ **Tiempo medio improductivo debido a los fallos (TMI).**

$$TMI = \frac{(T_4 + T_{61})}{N_4}$$

Donde:

T<sub>4</sub>: tiempo de eliminación de fallos (T<sub>4</sub> = T<sub>41</sub> + T<sub>42</sub> + T<sub>43</sub>) = 61,742 h

T<sub>61</sub>: Traslado debido a los fallos .....2,254 h

N<sub>4</sub>: Cantidad de operaciones para la eliminación de fallos (N<sub>4</sub> = N<sub>41</sub> + N<sub>42</sub>).

$$N_4 = 191 + 54 = 245$$

$$TMI = 0,261 \text{ h}$$

➤ **Tiempo medio de búsqueda de los fallos (TMB).**

$$TMB = \frac{T_{431}}{N_{431}}$$

Donde:

T<sub>431</sub>: tiempo de búsqueda de los fallos.....1,958 h

N<sub>431</sub> cantidad de búsqueda..... 10

$$TMB = \frac{1,958 \text{ h}}{10}$$

$$TMB = 0,1958 \text{ h}$$

➤ **Tiempo medio para llegar hasta el fallo (TMLL)**

$$TMLL = \frac{T_{432}}{N_{432}}$$

Donde:



T432: Tiempo empleado en llagar al fallo (desmontajes y montajes).....17,451 h

N432: Cantidad de (desmontajes y montajes).....15

$$TMLL = \frac{17,451 \text{ h}}{15}$$

TMLL = 1,1634 h
-----------------

➤ **Tiempo medio de espera de piezas para reparar (TMFP)**

$$TMFP = \frac{T433}{N433}$$

Donde:

T433: Tiempo empleado en reparar partes y piezas causadas por el fallo.....12,172 h

T433: Cantidad de reparos de partes y piezas a causa de fallos...7

$$TMFP = \frac{12,172 \text{ h}}{7}$$

TMFP = 1,739 h
----------------

➤ **Tiempo medio de mantenimiento. (TMM)**

$$TMM = \frac{T31}{N31}$$

Dónde:

T31: tiempo de mantenimiento técnico.....40,273 h

N31: cantidad de mantenimiento técnico..... 100

$$TMM = \frac{40,273 \text{ h}}{100}$$

TMM =0,403 h
--------------

### 2.2.3 Cálculo de los índices complejos de fiabilidad.

➤ **Coefficiente de disponibilidad (KD).**

$$KD = \frac{T02}{(T02 + T4 + T6)}$$

Donde:

T6: tiempo de traslados ( $T_6 = T_{61} + T_{62}$ ).....	39,094 h
T4: tiempo de eliminación de fallos.....	61,742 h
T02.....	135,327 h

$$KD = \frac{135,327 \text{ h}}{(135,327 \text{ h} + 61,742 \text{ h} + 39,094 \text{ h})}$$

KD = 0,573
------------

➤ **Coefficiente de utilización técnica (KUT)**

$$KUT = \frac{T02}{(T02 + T31 + T4 + T6)}$$

Donde:

T02: Tiempo de trabajo operativo.....	135,328 h
T31: Tiempo de mantenimiento técnico.....	40,273 h
T4: Tiempo de eliminación de fallos.....	61,742 h
T6: Tiempo de traslados.....	39,094 h

KUT = 0,490
-------------

➤ **Coefficiente de disponibilidad operativa KDO**

$$KDO = \frac{T02}{(T02 + T4 + T61)}$$

Donde:

T02: Tiempo de trabajo operativo.....	135,328 h
T4: Tiempo de eliminación de fallos... ..	61,742 h
T61: Tiempo de traslado debido a los fallos.....	2,254 h

KDO = 0,679
-------------

Tabla 2.7. Resultados generales de los cálculos de los índices de fiabilidad del primer prototipo de la Combinada cañera CCA-5000. (Propia del autor.)

<b>Índices de Funcionabilidad.</b>	
Cantidad de fallos (N4).	245
Flujo de fallos (FF).	0,5999
Tiempo medio de trabajo entre fallos (TMF)	0,522 h
<b>Índices de Mantenibilidad</b>	
Tiempo medio de eliminación de fallos técnicos (TMR)	0,137 h
Tiempo medio de eliminación de fallos tecnológicos (TMRE)	0,075 h
Tiempo medio de eliminación de fallos (TMEF)	0,123 h
Tiempo medio de espera para reparar (TMER).	1,057 h
Tiempo medio improductivo debido a los fallos (TMI)	0,261 h
Tiempo medio de búsqueda de los fallos (TMB).	0,196 h
Tiempo medio de mantenimiento técnico (TMM).	0,403 h
Tiempo medio para llegar hasta el fallo (TMLL)	1,163 h
Tiempo medio de espera de piezas para reparar (TMFP)	1,739 h

Del análisis de la tabla anterior, se puede observar que la probabilidad de que ocurra una falla es de un 0,599 para un (60%) de los objetos reparables de la combinada cañera obtenido a través del flujo de fallos.

El tiempo medio de trabajo entre fallos representado a través del trabajo operativo de la máquina y la cantidad de fallos generales observados en las pruebas es de 0,522 h, que serían (32 min).

Se aprecia que para la eliminación de los fallos tecnológicos (atoros), en la que menos tiempo se invierte resultó ser de una media de 0,075 h (5 min), con mayor frecuencia en la sección receptora, pocas veces observado en la tolva del transportador de descarga y en transportador de descarga.

En la eliminación de los fallos técnicos se garantiza un mayor porcentaje de pérdidas de producción ya que es mayor el tiempo medio invertido en reparaciones, calculados para 0,137 h (9 min) que el tiempo invertido en recuperar la máquina de atoros en el sistema receptor.

El tiempo medio de espera para reparar es de 1,057 h (1h y 4 min), concebido este por las operaciones realizadas para el traslado y las acciones efectuados para eliminar fallos técnicos.

El tiempo medio improductivo debido a los fallos es de 0,261 h (16 min), representados por el número de operaciones que se realiza para eliminar fallos así como el tiempo que se invierte en traslados para talleres y lugares de reparación.

El tiempo medio de búsqueda de los fallos es de 0,196 h (12 min) aproximadamente, el tiempo medio para llegar hasta el fallos 1,163 h (1 h y 10 min).

Tiempo medio de mantenimiento técnico empleados en la máquina es de 0,403 h (24 min), Se observó 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, tiempo este de suma importancia ya que este me evita un gran número de fallos y a su vez grandes pérdidas de producción.

Tabla 2.8. Índices complejos de fiabilidad de la Combinada cañera CCA-5000. (Propia del autor.)

<u>Índices complejos de fiabilidad.</u>	
Coeficiente de disponibilidad (KD).	0,573
Coeficiente de utilización técnica (KUT)	0,490
Coeficiente de disponibilidad operativa (KDO)	0,679

### **2.3 Análisis de la comparación entre los valores obtenidos y los realizados a otras máquinas en pruebas anteriores.**

Desde la fabricación de las primeras combinadas en Cuba en 1977, con frecuencia casi anual, se han estado realizando pruebas de versiones modernizadas y nuevos modelos de máquinas cosechadoras para consolidar los resultados de nuestra experiencia de más de 20 años en el desarrollo y fabricación de cosechadoras de caña de azúcar.

En las pruebas donde se evaluaron dos máquinas combinadas cañeras de modelos: la KTP-3000S fabricada por la Empresa "LX Aniversario de la Revolución de Octubre" de la provincia de Holguín y el modelo KTP-2M fabricada también en Holguín, con el objetivo de determinar los indicadores

productivos y de calidad de trabajo de las cosechadoras mediante la realización del peritaje técnico, las investigaciones agrotécnicas, las evaluaciones técnico-explotativas, el cálculo de los índices de fiabilidad y la evaluación económica durante el trabajo de las cosechadoras.

Ahora en este trabajo para el cumplimiento de los objetivos específicos realizaremos una comparación con los valores de los indicadores de fiabilidad de la KTP-3000S y la KTP-2M, representados en las pruebas anteriormente expuestas con los obtenidos del primer prototipo de la combinada cañera CCA-5000.

Tabla 2.9. Valores de los índices de fiabilidad simples y complejos de las combinadas KTP-2M, KTP-3000S y la CCA-500. (Propio del autor).

ÍNDICES	KTP-2M horas	KTP-3000S horas	CCA-5000 horas
Tiempo general de cronometraje	904,772	868,884	408,371
Cantidad de fallos tecnológicos	127	114	191
Cantidad de fallos técnicos	268	121	54
Flujo de fallos	0,437	0,270	0,5999
Tiempo medio (TM) entre fallos	0,887	1,961	0,522
TM de eliminación de fallos tecnológicos	0,142	0,138	0,075
TM eliminación de fallos técnicos	0,511	0,681	0,137
TM de eliminación de fallos	0,508	0,503	0,123
TM de búsqueda de los fallos	0,414	0,105	0,196
TM empleado en llegar a los fallos	0,451	2,131	1,163
TM de espera de piezas para reparar	1,715	1,619	1,739
TM de espera para reparar	0,174	0,136	1,057
TM improductivo debido a los fallos	0,566	0,333	0,261
TM de mantenimiento técnico	0,594	0,711	0,403
Coeficiente de disponibilidad	0,589	0,746	0,573
Coeficiente de utilización técnica	0,546	0,688	0,490
Coeficiente de disponibilidad operativa	0,615	0,777	0,679

Del análisis de la Tabla 2.9, se observa que existen diferencias entre los tiempos que fueron cronometradas las máquinas, esto se debe a la diferencia de hora en el cierre de las cronocartas y la fecha de incorporación a las pruebas de la cosechadora CCA-5000.

La mayor incidencia de fallos ocurrió en la KTP-2M con 395, seguida de la CCA-5000 con 245 para y la KTP-3000S con la menor ocurrencia (235) del total de fallos que se produjeron durante la prueba.

El flujo de fallos, es decir la cantidad de fallos por horas de observación (jornada), es mayor en la CCA-5000, a pesar de tener menor tiempo que los otros modelos posee gran número de fallos, le sigue la cosechadora KTP-2M y con menor cantidad el modelo KTP-3000S.

El mayor tiempo medio entre fallos le corresponde a la KTP-3000S con 1 hora y 57 minutos de tiempo operativo entre paradas, para restituirle la capacidad de trabajo a la máquina. Los modelos restantes están muy parejos y por debajo de la máquina antes mencionada, estos tienen aproximadamente 52 minutos de diferencia entre fallos.

Se aprecia que para la eliminación de los fallos tecnológicos (atoros) en la que menos tiempo se invierte resultó ser la CCA-5000, los dos modelos KTP están bastante parejos, a pesar de que el nuevo modelo posee reversible, pero este solo es eficiente hasta el mecanismo trozador, cuando se producen en los transportadores intermedios se invierte mucho tiempo en eliminarlo, como realmente se comprobó durante el período evaluativo.

En la eliminación de los fallos técnicos se observa la tendencia, que a medida que se modernizan las máquinas aumenta el tiempo medio de la reparación, es decir que se empeora la mantenibilidad de estos equipos, pero esto es solo en los modelos KTP ya que comprobando este en los de la CCA-5000 es bastante confortable conocer el incremento de la mejoras de la mantenibilidad debido al

menor tiempo invertido en resolver problemas técnicos aproximadamente en 40 minutos.

Los tiempos empleados en la búsqueda de los fallos es generalmente pareja entre la KTP-3000S y la CCA-5000, pero corroborando lo dicho con anterioridad se aumenta el tiempo empleado en llegar a los fallos (desmontaje de partes y piezas para poder llegar al elemento que falló y su posterior montaje).

El tiempo medio de espera de piezas para efectuar la reparación en el los modelos el resultado de los tiempos se evidencia una paridad, pero en tiempo empleado por la cantidad de ocurrencias es aún muy alta esto es a causa de que todavía existen fallos complejo que necesitan de equipos especializados y todo esto conlleva de un buen tiempo de producción perdido.

En general el tiempo de espera para ejecutar las operaciones de eliminación de los fallos resulta más elevada en la máquina patrón que en los modelos experimentales, debido a las operaciones para la eliminación de fallos técnicos y el tiempo perdido en el traslado debido a los fallos.

El tiempo medio improductivo debido a los fallos tiene un comportamiento en descenso, se reducen en la medida que se modernizan las máquinas, aquí la CCA- 5000 da un buen paso de avance en tiempo perdido innecesariamente.

En un indicador tan importante, como es el mantenimiento técnico diario, cuya correcta ejecución garantiza el buen estado técnico de los equipos, se observa que en los modelos KTP este se encuentra por debajo del valor establecido (1 hora) un punto muy negativo en la CCA-5000 no llegando ni siquiera a la media hora , estas violaciones evidentes del tiempo de realización de dichas operaciones, implica un aumento del surgimiento de fallos técnicos y la reducción de la vida útil de las máquinas, se sugiere realizar un análisis de la calidad de ejecución de las operaciones del mantenimiento.

En los coeficientes complejos son relativamente semejantes los valores en las KTP con respecto a la CCA-5000 excepto en el coeficiente de utilización técnica, donde la CCA-5000 se queda muy por debajo debido a la diferencia que existe entre la relación del tiempo en que la máquina mantiene su estado de capacidad de trabajo y la suma de este tiempo y el de todas las paradas, debido al mantenimiento y las reparaciones durante el tiempo de pruebas

#### **2.4 Evaluación medio ambiental, económica y para la defensa.**

A través de las pruebas realizadas bajo cronometraje permanente se detectaron varios fallos que son de gran perjuicio para el medio ambiente, para la economía de nuestro país y la defensa de esta, para citar un ejemplo real de uno de estos documentado en las cronocartas y cómo los índices de fiabilidad inciden en estos:

Día: 8/05/15 al 13/05/15.

Rotura del eje estriado de la última sección de la bomba triple, al desarmar las bombas se detectó limallas en el aceite que salía de la bomba, se desarmó la caja de bomba y se detectó rotura en el rodamiento central, por segunda vez hay rotura en este rodamiento, al limpiar la estructura de la caja de bomba se detecta que al rodamiento central no se le realizó canaletas de lubricación como los que tiene los rodamientos secundarios, todo esto provocó un derrame de aceite hidráulico de aproximadamente unos veinte litros sobre las plantaciones de caña, lo cual trae consigo que la tierra se contamine y pierda su riqueza productiva.

Con esta tesis se puede prevenir a través de una correcta gestión del mantenimiento que accidentes como este puedan volver a ocurrir, ya que los índices de fiabilidad son propiedades fundamentales de la confiabilidad operacional y a su vez esta garantiza en tiempo exactos la vida útil de cada elemento de la máquina, para entonces así prever cambiar las piezas o reparar los órganos de trabajos que pudieran fallar y causar graves daños al medio ambiente.

Seleccionando este mismo fallo se puede observar que la máquina dejó de trabajar unos 5 días (120 horas) que en términos de ganancia de azúcar el rendimiento productivo principal era de unos 50 t/h, teniendo en cuenta este dato el resultado obtenido es de una pérdida de 6000 t. Aquí se demuestra una



vez más que por muy pequeña que sea la falla siempre es mejor prevenir, y con simples cálculos de indicadores de fiabilidad logaremos grandes ganancias y evitaremos pérdidas circunstanciales a nuestro país.

El principal aporte de la investigación a la defensa de nuestro país corresponde con el aporte monetario de la propuesta de rediseño, contribuyendo al conjunto de Medidas Técnico-Ingenieras de la Defensa Civil, estas medidas tienen como objetivo, establecer las medidas técnico ingenieras de defensa civil que deberán cumplirse durante la elaboración de nuevos proyectos de inversión, ampliaciones, remodelaciones o sustitución de tecnologías en la industria complementándose con el resto de la base normativa del país para garantizar la protección de la población y la economía desde la concepción de cada proyecto hasta la puesta en marcha de la instalación, conjunto de ellas o planes de desarrollo territorial. Constituye una herramienta para la búsqueda de soluciones de protección que le permitan a los planificadores, inversionistas tomar decisiones y recomendar soluciones económicas para reducir los riesgos de los probables desastres en el área de ubicación de las inversiones.

## CONCLUSIONES

1. Los Índices simples y complejos de la fiabilidad de la cosechadora CC5000 determinados a través del método del foto-cronometraje, abordaron los siguientes resultados:  
Cantidad de fallos (245), Flujo de fallos (0,5999), Tiempo medio de trabajo entre fallos (0,522 h), Tiempo medio de eliminación de fallos (0,123 h), Tiempo medio improductivo debido a los fallos (0,261 h), Tiempo medio de mantenimiento técnico (0,403 h), Tiempo medio de espera de piezas para reparar (1,739 h).  
Coeficiente de disponibilidad (0,573), Coeficiente de utilización técnica (0,490), Coeficiente de disponibilidad operativa (0,679)
2. Se comprobó a través de la distribución teórica exponencial el comportamiento de los fallos y se calculó el indicador de probabilidad de trabajos hasta el fallo en los órganos de trabajo de la máquina, determinándose como órganos más críticos el tambor alimentador y el mecanismo de cuchillas laterales.
3. Los valores obtenidos en estas pruebas, enmarcan los coeficientes técnicos explotativos, así como los índices de fiabilidad de la cosechadora CCA-5000 cercanos a los concernientes a las cosechadoras cañeras KTP2M y KTP3S.

## RECOMENDACIONES

Partiendo de los resultados obtenidos en el trabajo y las conclusiones arribadas se recomienda:

1. Continuar las realizaciones de estas pruebas con un período de tiempo mayor, lo que permita realizar una valoración más exacta de los índices a calcular.
2. Realizar un estudio de Confiabilidad Operacional a los órganos de trabajo más críticos de la Combinada Cañera CCA-5000.
3. Comparar los valores obtenidos con valores estándares a nivel mundial, con máquinas como la Class, Case y otras.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Batista Rodríguez, C. Introducción a la fiabilidad. Conceptos fundamentales. Propiedades. Índices simples y complejos. Conferencia #1. Cuarto año de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. UHO Oscar Lucero Moya. Holguín, Cuba 2007.
2. Cabrera Gómez, Jesús. Plataforma Básica para un enfoque del mantenimiento centrado en confiabilidad. CEIM – CUJAE. Primera edición. Ciudad de la Habana. Cuba, junio del 2003.
3. Collins Jack, A. Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica. Tomo I y II. Capítulo 19. Consideraciones sobre la falla. Págs (241-342). John Wiley & Sons inc. New York. EEUU, 1995.
4. Daquinta Gradaille, L. A. Mantenimiento y Reparación de la Maquinaria Agrícola. Editorial. Félix Varela. La Habana. 2004.
5. Desarrollo actual de las cosechadoras KTP. Informe del CEDEMA, Holguín.
6. García Palencia, Oliverio. La Cultura de la Confiabilidad Operacional. Colombia. 2008
7. Informe sobre resultados de explotación de las combinadas KTP-2M de la zafra de 1994-1995. Complejo Agroindustrial “Antonio Maceo” Holguín, SIME. Julio de 1997.
8. López Milán Esteban. Introducción a la Fiabilidad. Conceptos fundamentales. Propiedades. Índices simples y complejos. Conferencia #4. Cuarto año de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. UHO Oscar Lucero Moya. Holguín, Cuba, 2012.
9. Miller Irwin y Freund John E. Probabilidad y estadística para ingenieros. 406 págs. Editorial Reverté Mexicana, S.A, México. 1984
10. Mode B. Elmer. Elementos de probabilidad y estadística. 367 págs. Editorial Reverté Mexicana S.A. México, 1984.
11. Nachlas, J. Fiabilidad. Edición, 4 28006 Madrid. España, 1995.
12. Ramírez Nelson. El mantenimiento técnico y su incidencia en la fiabilidad, para la etapa de explotación. Trabajo de Diploma. UHo, Julio 2005.

13. Resultados de las pruebas comparativas realizadas a las cosechadoras de caña modelos KTP-3S y KTP-2M. CEDEMA. Holguín. 30 de junio de 1998.
14. Robles, F. Introducción a la confiabilidad operacional, conferencia # 4. Cuarto año de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. UHO Oscar Lucero Moya. Holguín, Cuba 2014.
15. Zaldívar S, Mario. Apuntes básicos para un libro de texto sobre el mantenimiento técnico y Fiabilidad. UHOLM, Enero 2004.
16. Zaldívar S, Mario. El mantenimiento predictivo, vía para la dirección de la fiabilidad de las máquinas agrícolas. Revista Tecnología en marcha. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Vol 16-3. 2003.
17. Zaldívar, M. Conferencia de Confiabilidad Operacional. CUJAE. La Habana, Cuba, 2007,45 p.
18. Zaldívar, M. y García, R. La Confiabilidad, un reto para las organizaciones Empresariales. Nota técnica No. 148. Centro de Estudio de Ingeniería en Mantenimiento. Coordinación editorial CEIM-CUJAE. Ciudad de La Habana, Cuba 2008.

## ANEXOS

Tabla anexo 1. Código de tiempos para el cronometraje. (CEDEMA)

T1	Tiempo Principal o de Trabajo
T2	Tiempo auxiliar
T21	Tiempo de viraje
T22	Tiempo de traslado en vacío
T23	Tiempo de regulaciones tecnológicas
T3	Tiempo de operaciones técnicas
T31	Tiempo de mantenimiento técnico
T32	Tiempo de regulación de los órganos de trabajo
T33	Tiempo para preparar la máquina
T4	Tiempo para eliminar fallos
T41	Tiempo para eliminar fallos tecnológicos
T411	Embotamiento del Mecanismo Cortacogollos
T412	Embotamiento de la Cuchilla Lateral
T413	Embotamiento de la Sección Receptora
T414	Embotamiento de Mecanismo Trozador
T415	Embotamiento en los Tambores Alimentadores
T416	Embotamiento del en el Primer Extractor
T417	Embotamiento en la tolva del Transportador de Descarga
T418	Embotamiento del en el Segundo Extractor
T419	Embotamiento en el Transportador de Descarga
T42	Tiempo para eliminar fallos técnicos
T421	Fallos técnicos en el Mecanismo Cortacogollos
T422	Embotamiento de la Cuchilla Lateral
T423	Fallos técnicos en la Sección Receptora
T424	Fallos técnicos en el Mecanismo Trozador
T425	Fallos técnicos en los Tambores Alimentadores
T426	Fallos técnicos en el Primer Extractor
T427	Fallos técnicos en la tolva del Transportador de Descarga
T428	Embotamiento del en el Segundo Extractor
T429	Fallos técnicos en el Transportador de Descarga
T4210	Fallos técnicos en Otro sistema de limpieza
T4211	Fallos técnicos en el Motor de Combustión Interna
T4212	Fallos técnicos en Sistema de Alimentación de Combustible
T4213	Fallos técnicos en el Sistema de Enfriamiento del Motor
T4214	Fallos técnicos en el Sistema Hidráulico de la Dirección
T4215	Fallos técnicos en el Sistema Hidráulico de Accionamiento de los Cilindros
T4216	Fallos técnicos en el Sistema Hidráulico de Accionamiento de los Órganos de Trabajo
T4217	Fallos técnicos en el Sistema Hidráulico Hidrostático de la Traslación
T4218	Fallos técnicos en el Sistema de Enfriamiento de Aceite Hidráulico
T4219	Fallos técnicos en el Sistema de Rodaje
T4220	Fallos técnicos en el Sistema Eléctrico
T4221	Fallos técnicos en las Transmisiones Mecánicas

T4222	Fallos técnicos en las uniones
T4223	Fallos técnicos en la Estructura Portante (Bastidor)
T4224	Fallos técnicos en el Sistema de Ventilación de la Cabina
T4225	Cambio de Segmentos en el Mecanismo Cortacogollos
T4226	Cambio de Segmentos en el Mecanismo de Corte Inferior
T4227	Cambio de Segmentos en el Mecanismo de la Cuchilla Lateral
T4228	Cambio de Cuchillas en el Mecanismo Trozador
T4229	Otros fallos técnicos
T43	Tiempo de operaciones para eliminar los fallos
T431	Tiempo empleado en detectar el fallo
T432	Tiempo empleado en llagar al fallo (desmontaje y montaje)
T433	Tiempo empleado en reparar partes y piezas causadas por el fallo
T5	Tiempo de descanso y necesidades del personal de servicio (operador)
T6	Tiempo de traslados no operativos
T61	Tiempo de traslado para eliminar fallos
T62	Tiempo de traslado entre campos o al parqueo
T7	Tiempo de Mtto o reparación de los medios de transporte
T8	Tiempo de Interrupciones
T81	Paradas por problemas organizativos
T811	Paradas por falta de combustible
T812	Paradas por falta de piezas del módulo de repuesto
T813	Paradas por falta de medios de transporte
T814	Paradas por falta de tractor tirador
T815	Paradas por falta del tractor movedor
T816	Paradas por falta del mecánico o técnico
T817	Paradas por falta de herramientas de trabajo
T82	Paradas por causas meteorológicas
T83	Tiempo de interrupciones del proceso industrial
T831	Paradas por interrupciones del Centro de Beneficio
T832	Paradas por interrupciones en la industria
T84	Paradas por fallos provocados por obstáculos o vegetación
T841	Paradas por eliminación de fallos tecnológicos
T842	Paradas por fallos técnicos
T843	Tiempo de traslados para eliminar fallos
T85	Otras paradas

