

TRABAJO DE DIPLOMA

**ESTUDIO DE LA CRITICIDAD DE LOS SUBSISTEMAS DEL
PROTOTIPO DE PRUEBA DE LA COSECHADORA CAÑERA
AUTOPROPULSADA CCA-5000**

AUTOR: José Alejandro Rojas Arderi.

TUTOR: M.Sc. Elio Rafael Hidalgo Batista

Holguín
2015

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se aplica la metodología de análisis de criticidad de Batista (2011), con el objetivo de determinar el subsistema de mayor criticidad del prototipo de prueba de la combinada cañera CCA-5000, para facilitar el posterior estudio de confiabilidad operacional al subsistema donde sea más necesario direccionar los esfuerzos y recursos financieros, tecnológicos y humanos. Este estudio se apoyó en los datos obtenidos durante las pruebas de explotación realizada a la máquina. Los resultados del análisis de criticidad se ordenaron de manera descendente en una gráfica por grupos de mayor, mediana y baja criticidad. La metodología aplicada recoge la mayor cantidad de afectaciones provocadas por la ocurrencia de los fallos en la máquina. El procedimiento empleado aparece explicado al igual que una serie de conceptos fundamentales para la mejor comprensión del tema en cuestión. Una vez realizado el análisis de criticidad y establecido su orden, a partir de los puntos obtenidos se concluye que el subsistema de mayor criticidad es el circuito hidráulico, los de segunda y tercera mayor puntuación resultaron: la sección receptora y el corte base, y el circuito eléctrico obtuvo la más baja puntuación en el desarrollo este estudio.

ABSTRACT

Presently investigation work is applied a 2011 Batista's methodology of critical analysis to the combined CCA-5000 to facilitate the later study of Operational Dependability to the subsystem where it is more necessary to orientate the efforts and the resources, based on the reality and data obtained during tests of exploitation carried out to the machine. The objective that is pursued is to carry out a critical study of the Cropper's systems Self-propelled CCA-5000, where attending to the results of the critical analysis was ordered in descending way on a graph for groups (bigger, medium and low criteria). The applied methodology picks up the biggest quantity in provoked affectations in the event of shortcomings of the machine, what was considered as a decisive element in its selection. The procedure of the methodology appears explained the same as a series of fundamental concepts for the best understanding in the topic in question. Once carried out the critical analysis and established its in order starting from the subsystem of more criteria it concludes that hydraulic circuit have the best criteria and the electric system have the lower criteria.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
OSCAR LUCERO MOYA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
1.1 Confiabilidad Operacional	7
1.2 Confiabilidad operacional para la ingeniería del mantenimiento....	9
1.3 ¿Cómo mejorar la confiabilidad operacional?	11
1.4 Análisis de Criticidad (A.C.).....	13
1.4.1 ¿Cuándo se debe aplicar un Análisis de Criticidad?	15
1.5 Metodología para el análisis de criticidad (Método de Mendoza)....	17
1.6 Metodología para el análisis de criticidad (Método Batista)	20
1.7 Antecedentes	24
CAPÍTULO II: ESTUDIO DE LA CRITICIDAD DE LOS SUBSISTEMAS DEL PROTOTIPO DE PRUEBA DE LA COSECHADORA CAÑERA	
AUTOPROPULSADA CCA-5000	26
2.1 Cosechadora de caña CCA-5000.....	26
2.1.1 Subsistemas que componen la cosechadora	27
2.1.2 Descripción de los subsistemas que intervienen en el flujo productivo de la CCA-5000.....	28
2.2 Evaluación de los criterios de criticidad.	35
2.3 Análisis económico y medioambiental.	43
2.4 Contribución a la defensa de la patria.	44
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS

INTRODUCCIÓN

El hombre, desde el inicio de su historia, ha intentado facilitar su trabajo con la ayuda de máquinas o herramientas. Debido al crecimiento de las fronteras agrícolas y al incremento en el volumen de producción nace la necesidad de aumentar la velocidad de trabajo. Con la aparición de las máquinas agrícolas se abrió un campo infinito de desarrollo de máquinas para cada función: labrar el suelo, siembra, cosecha, recolección y carga de productos y transporte [Rivas, 2004].

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

La mecanización agrícola da la oportunidad, apoyándonos de los adelantos científicos y técnicos, de aumentar continuamente la producción, aliviar el trabajo del hombre y elevar su productividad. Quizás, ninguna de las disciplinas dentro de la ciencia agropecuaria, ha experimentado en estos últimos años una evolución tan impetuosa como la técnica agrícola, avanzando sin detenerse, basado de un adelanto al siguiente, abriéndose paso cada día a nuevas posibilidades [Igarza, 2012].

En 1828 se dio a Simule Lane una patente para lo que se denominó segadora – trilladora combinada. Pero el comienzo real de la maquinaria para recolectar, trillar y limpiar fue cuando A. Y. Moore y sus colaboradores de Kalamazoo, Michigan obtuvieron una patente en 1835 [Igarza, 2012].

En 1854 ya se cosechaban 243 ha de trigo en Alameda Country California, pero el método no se difundió realmente en California hasta 1880 aproximadamente [Igarza, 2012]. Las cosechadoras autopropulsadas se introdujeron comercialmente alrededor de 1938. Ya en el año 1941 el mercado americano ofrecía en venta 59 modelos de cosechadoras, de las cuales 20 eran con cilindro de dientes, 29 con listones de acero y 10 con listones de goma endurecidas. El 20% de estas máquinas son accionadas por la toma de potencia del tractor y el resto con motor propio, llegando a dividirse en cosechadoras remolcadas o de arrastre y las autopropulsadas [Igarza, 2012].

Los mecanismos más utilizados en las cosechadoras, destinados a transmitir la energía mecánica a distancia con cambios de velocidades, momentos y hasta con



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

cambios de dirección del movimiento, son las transmisiones flexibles por correa, las transmisiones flexibles por cadena y las transmisiones por engranaje.

En Cuba con el de cursar de los años se ha desarrollado el cultivo de la caña como una de las principales fuentes de riquezas. Inicialmente este cultivo se cortaba manualmente por los esclavos como un método muy barato impuesto por los colonizadores, luego de la abolición de la esclavitud este producto se cosechaba por obreros y campesino que se dedicaban a este cultivo como su trabajo cotidiano, pero todavía manualmente.

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

En diferentes países se desarrollaron esquemas tecnológicos de cosechadoras (disímiles en muchos casos y de gran semejanza en otros). Se construyeron modelos de máquinas en Australia (TOFT, AUSTOF), EE.UU. (CAMECO), Brasil (SANTAL) Alemania (CLAAS), todas al igual que la cosechadora cubana, cortan la caña a ras del suelo y a la altura del cogollo, realizan el trozado de los tallos y lanzan la caña a un medio de transporte, al lado de la cosechadora, sometiéndola antes a corrientes de aire que separan las materias extrañas que la acompañan. Por lo general estas máquinas al igual que la fabricada en la fábrica de Combinadas Cañeras de Holguín nombrada KTP estaban compuestas por sistemas tales como: motor de combustión interna, transportadores (sinfines y de esteras), ventiladores y las transmisiones de todos los sistemas eran por correas y poleas.

Estas cosechadoras influían negativamente al suelo producto a que lo compactaban debido a su gran peso, además según Daquinta (2004), la calidad



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

de las cosechadoras de caña del tipo KTP, especialmente su fiabilidad, por ahora continua baja. El tiempo dedicado al corte fluctúa entre el 28,5 % y el 34,2 % para un promedio general de 31,5 %, mientras el tiempo de rotura imprevista fluctúa entre el 26,4 % y el 40,7 % para un promedio general del 35,6 %.

Lo expuesto anteriormente más la situación de la industria mecánica en el país y con el objetivo de obtener una mayor producción de azúcar, y mayores resultados con menores costos y más eficaz la cosecha de la caña, se importaron combinadas CASE IH serie 7000, 7700 y 8000 que fueron distribuidas por todo el país y son las que hoy llevan la delantera en el cosecha de este preciado producto.

Estas máquinas, CASE IH serie 7000 y 7700, presentan la mayoría de los sistemas hidráulicos, de gran precisión y facilidad de manejo para el operario, los sistemas de controles son totalmente eléctricos con sensores conectados en todo el alrededor del equipo para poder supervisar el funcionamiento cada uno de los sistemas y agregados, posee además un sistema de climatización para mejorar las condiciones de trabajo del operario [Paneque, 2011].

Esta serie 7000 tiene un peso máximo de 15 Ton con todos sus accesorios, se mueve sobre neumáticos a diferencia de la serie 7700 que es sobre esteras. La máquina con neumáticos es para mayor maniobrabilidad y mayor velocidad de avance en traslado (20 km/h), los neumáticos delanteros son pequeños con el objetivo de aminorar el peso y su acción sobre el suelo [Paneque, 2011].

Con el objetivo de elevar la producción de azúcar en el país debido a un alza del precio de la misma en el mercado mundial, se elaboró una tarea técnica y encomendada al CEDEMA para desarrollar un nuevo modelo de cosechadora cañera de mayor fiabilidad, siendo esta una forma de sustituir la importación de las costosas máquinas CASE IH.

Como fruto del trabajo de los especialistas del CEDEMA fue fabricado en la República Popular de China el primer prototipo de la cosechadora CCA-5000 sometiénolo a un mes de pruebas en los campos del central “Antonio Guiteras Holmes” en la provincia de Las Tunas. La misma posee 21 subsistemas tales como: cortador base, sección receptora, chasis, cabina, cámara de limpieza, motor de combustión interna, cuchillas laterales y circuito hidráulico.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

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 jerarquizar los subsistemas de la máquina de acuerdo a su criticidad, priorizando aquellos de mayor impacto en la productividad de la cosechadora, siendo esta la **situación problemática** del trabajo.

Se reconoce como **Problema de la investigación**: ¿Cómo determinar el subsistema más crítico de la Cosechadora Cañera Autopropulsada CCA-5000 prototipo de pruebas durante las pruebas realizadas en los campos del central “Antonio Guiteras Holmes”?

El **Objeto de investigación** está centrado en los subsistemas de la combinada cañera CCA-5000 y el **Campo de investigación** lo constituye el análisis de criticidad de los subsistemas de la combinada cañera CCA-5000.

Objetivo general:

1. Determinar la criticidad de los subsistemas de la Cosechadora Cañera Autopropulsada CCA-5000 prototipo de pruebas durante las pruebas realizadas en los campos del central “Antonio Guiteras Holmes”.

Hipótesis: Si se realiza el estudio de criticidad a los subsistemas de la Cosechadora Cañera Autopropulsada CCA-5000 durante las pruebas realizadas en los campos del central “Antonio Guiteras Holmes”, el mismo permitirá determinar el subsistema más crítico.

Tareas de investigación

- 1) Realizar una revisión bibliográfica de los antecedentes y conceptos fundamentales de confiabilidad operacional y análisis de criticidad.
- 2) Desarrollar una descripción técnico operativo de la combinada cañera CCA-5000 y de los sistemas que la forman.
- 3) Realizar un análisis de criticidad a la combinada cañera CCA-5000.
- 4) Determinar el subsistema más crítico durante las pruebas realizadas en los campos del central “Antonio Guiteras Holmes”.
- 5) Elaborar el informe final.

Métodos de investigación:

1) Teóricos:

- a) Análisis y síntesis: para realizar un correcto estudio bibliográfico y resumir la información necesaria para dar solución al problema presentado.
- b) Histórico-lógico: para realizar un estudio del objeto en el tiempo y elaborar posteriormente un análisis lógico de los resultados.

2) Empíricos:

- a) Revisión de documentación técnica: para caracterizar el objeto de estudio.
- b) Consulta a expertos: para obtener información acerca de la máquina y poder evaluar los indicadores de criticidad.

Resultados esperados: Con el desarrollo de este proyecto se espera conocer el subsistema más crítico de la combinada cañera CCA-5000, así como una jerarquía de los subsistemas que la conforman.

Capítulo I: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El objetivo de este primer capítulo es realizar una búsqueda de la información relacionada con la confiabilidad operacional y el análisis de criticidad temas relacionados con el estudio a realizar en el segundo capítulo.

Según Mendoza (2001), La necesidad cada día más acentuada por mejorar los estándares en materia de seguridad, ambiente y productividad de las instalaciones y sus procesos, obliga a incorporar nuevas tecnologías que permitan alcanzar las metas propuestas. En el ámbito internacional las empresas exitosas han basado su estrategia en la búsqueda de la excelencia a través de la filosofía de Clase Mundial, la cual tiene asociada la aplicación de diez prácticas. Estas prácticas son:

1. Trabajo en equipo.
2. Contratistas orientadas a la productividad.
3. Integración con proveedores de materiales y servicios.
4. Apoyo y visión de la gerencia.
5. Planificación y programación proactiva.
6. Mejoramiento continuo.
7. Gestión disciplinada de procura de materiales.
8. Integración de sistemas.
9. Gerencia de paradas de planta.
10. Producción basada en confiabilidad.

Todas estas prácticas están orientadas al mejoramiento de la confiabilidad operacional de las instalaciones y sus procesos, sistemas y equipos asociados, con la finalidad de hacer a las empresas más competitivas y rentables, disponer de una excelente imagen con el entorno, así como la satisfacción de sus trabajadores, clientes y suplidores.

El análisis de criticidad es una de las metodologías que integran la práctica 10, sin embargo puede ser utilizada de forma efectiva para acelerar la selección, desarrollo e implantación de las restantes nueve prácticas.



1.1 Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional (CO) es una de las más recientes estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han aplicado. Se basa en los análisis estadísticos y los análisis de condición, orientados a mantener la confiabilidad de los equipos, con la activa participación del personal de empresa. Un programa de Confiabilidad Operacional es una mezcla única de soluciones técnicas, pensamiento estructurado, motivación de trabajadores y desarrollo organizacional, todo avalado por experiencias probadas a través de datos e informaciones creíbles y demostrables en la práctica internacional.

Según la norma (UNE 200001-3-1:1998) las técnicas de análisis de confiabilidad se utilizan para la revisión y predicción de las características de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de un sistema. Los análisis de confiabilidad se llevan a cabo principalmente durante las fases de concepción y definición, de diseño y desarrollo y de operación y mantenimiento, a diferentes niveles del sistema y con diferente grado de detalle con el fin de evaluar y determinar las características de confiabilidad de un sistema o de una instalación. Estos análisis permiten, asimismo, comparar los resultados obtenidos con los requisitos especificados.

Evolución y conceptos fundamentales de la Confiabilidad

Los primeros estudios acerca de confiabilidad aparecieron durante la etapa conocida como Segunda Generación, como una respuesta lógica a los rápidos avances tecnológicos y al sustancial incremento de las expectativas sobre el desempeño de los activos. En la actualidad, los estudios de confiabilidad no sólo se aplican en la etapa de diseño, sino que también se emplean en el análisis de la operación de los activos con vistas a su mantenimiento. Hoy en día, el desarrollo de los estudios de confiabilidad es tal, que el tema se puede enfocar en términos de la ingeniería de la confiabilidad [Cabrera, 2003].

El autor de la presente investigación coincide plenamente con los conceptos expuestos a continuación y referenciados por sus respectivos autores. En el mantenimiento la confiabilidad se considera como la probabilidad que un equipo sobreviva sin fallas en un determinado período de tiempo bajo determinadas condiciones de operación [García, 2008].

La *Confiabilidad* es la probabilidad de que un determinado equipo opere bajo las condiciones preestablecidas sin sufrir fallas. La *Confiabilidad Operacional* es una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control del mantenimiento industrial [Aguinaga, 2007].

Atendiendo a estos criterios, la Confiabilidad Operacional se puede definir como la capacidad de una instalación o un sistema integrado por: procesos, tecnología y personas, para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional [Altmann, 2009]. Es importante, puntualizar que en un sistema de Confiabilidad Operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: Confiabilidad Humana, Confiabilidad de los Procesos, Mantenibilidad y Confiabilidad de los equipos.

Figura 1.1

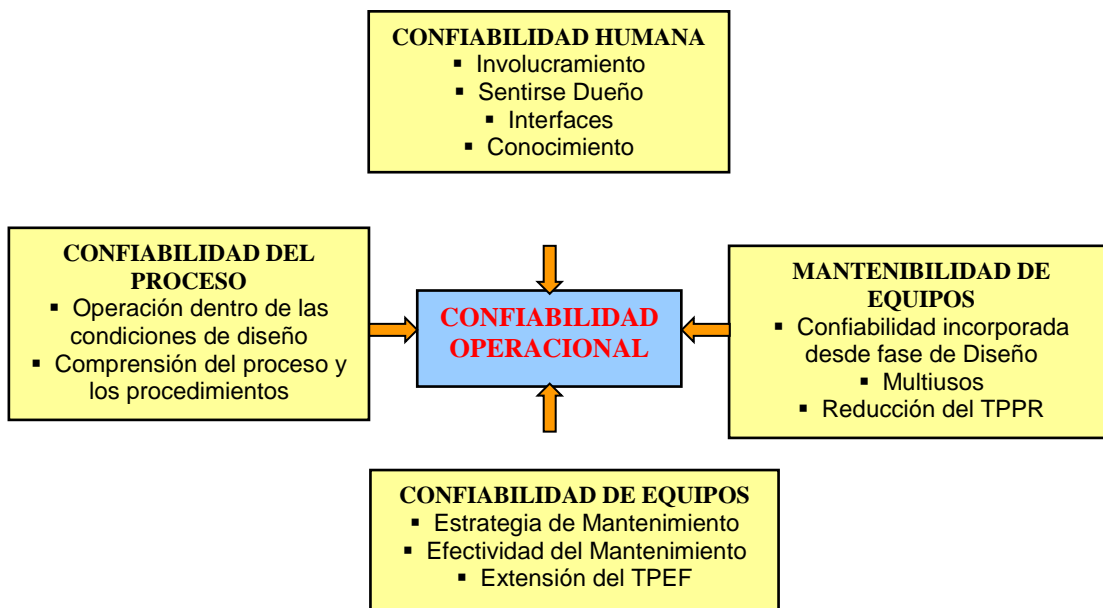


Figura 1.1 Parámetros que determinan la Confiabilidad Operacional. Fuente: Paneque 2011

Estos cuatro parámetros operativos indisolublemente relacionados se definen de la siguiente manera:



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

Confiabilidad de Equipos: Integra aspectos tales como las estrategias de mantenimiento empleadas, la efectividad de dicho mantenimiento y el incremento del tiempo medio entre fallos.

Confiabilidad de los procesos: Incluye la operación confiable dentro de los parámetros de diseño, así como la correcta interpretación de los procesos y los procedimientos aplicados.

Confiabilidad Humana: Comprende, tanto el grado de comprometimiento y el sentido de pertenencia del personal, como el nivel de conocimientos y habilidades imprescindibles para ejecutar su labor.

Mantenibilidad de equipos: Garantiza la continuidad de la confiabilidad incorporada desde la etapa de diseño, la disminución del tiempo medio para reparar y la facilidad para la ejecución de las tareas de mantenimiento.

Por tanto, un programa de mejora de la confiabilidad operacional no puede ignorar a ninguno de los elementos anteriormente mencionados. La acción aislada para lograr mejoras en algunos de estos componentes puede proporcionar beneficios, pero al no tener en cuenta a los restantes factores, es probable que tales beneficios sean limitados y se diluyan en la organización sin lograr su pretendido efecto transformador [Cabrera, 2003].

1.2 Confiabilidad operacional para la ingeniería del mantenimiento

La Ingeniería del Mantenimiento modernamente comprende una serie de funciones de: aplicación de procesos creativos científico técnicos, de planificación y gestión empresarial, que permiten alcanzar el mayor grado de confiabilidad en sus sistemas, máquinas, equipos, instalaciones, procesos e infraestructura. En términos industriales la Ingeniería del Mantenimiento conjuntamente con la de producción permiten obtener productos altamente competitivos por su calidad, cantidad y bajo costo [Aguinaga, 2007].

La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

La Confiabilidad Operacional incorpora métodos de calidad tales como: Análisis de Causa Raíz (RCA), Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Análisis de Árbol de Fallos (FTA), Análisis Modal de Falla y Efecto (AMFE) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) [Aguinaga, 2007].

El Análisis de Causa Raíz (RCA) es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es mejor para ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema. Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa –efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en la gerencia [Aguinaga, 2007].

El Diagrama de Pareto es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar y seleccionar los aspectos prioritarios que hay que tratar. También se conoce como Diagrama ABC o Ley de las Prioridades 20-80, que dice: “el 80% de los problemas que ocurren en cualquier actividad son ocasionados por el 20% de los elementos que intervienen en producirlos”. Sirve para conseguir el mayor nivel de mejora con el menor esfuerzo posible. Es pues una herramienta de selección que se aconseja aplicar en la fase A que corresponde al enfoque concretar el problema, así como para seleccionar una causa [Aguinaga, 2007].

El Diagrama de Ishikawa, también denominado Diagrama Causa-Efecto o de espina de pescado, es una representación gráfica de las relaciones lógicas existentes entre las causas que producen un efecto bien definido. Sirve para visualizar, en una sola figura, todas las causas asociadas a una avería y sus posibles relaciones. Ayuda a clasificar las causas dispersas y a organizar las relaciones mutuas. Es, por tanto, una herramienta de análisis aplicable para determinar las causas de una falla o descomponer un sistema en sus componentes [Aguinaga, 2007].



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

El método de análisis del "Árbol de Fallos" (FTA: Fault Tree Analysis) se trata de un método deductivo de análisis que parte de la previa selección de un "suceso no deseado o evento que se pretende evitar", sea éste un accidente de gran magnitud (explosión, fuga, derrame, etc.) o sea un suceso de menor importancia (fallo de un sistema de cierre, etc.) para averiguar en ambos casos los orígenes de los mismos [Aguinaga, 2007].

El análisis modal de falla y efecto (Analyse des modes de défauts et effets. AMDE, en francés o Failure Mode and Effect Analysis. FMEA, en inglés), es una herramienta de análisis para la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un producto, servicio o proceso. El AMFE recomienda la formación de equipos de trabajo en que participen los diferentes involucrados en la operación y mantenimiento de un sistema, proceso o máquina, recopila la información del sistema o similares [Aguinaga, 2007].

RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance), porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada, confiabilidad inherente. Es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional. Una definición más amplia de RCM podría ser "un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente" [Aguinaga, 2007].

1.3 ¿Cómo mejorar la Confiabilidad Operacional?

Cuando una organización decide enfrascarse en el empeño de implementar un programa de mejora de la confiabilidad operacional, suele encontrarse con el dilema de disponer de una gran cantidad de activos, subsistemas y sistemas por examinar y un volumen de recursos limitado para llevar a cabo la compleja tarea. Por tanto, resulta sumamente saludable implementar algún procedimiento que permita establecer un orden que indique cuáles serán los activos a incluir primero en el programa, los que se incorporarán después y cuáles sencillamente no se incorporarán, dado que no valga la pena hacerlo porque con las tareas de mantenimiento actuales sea más que suficiente.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

Una herramienta de probada utilidad para lograr el mencionado propósito es el denominado análisis de criticidad, el que debe ser precedido por un análisis sistémico. Este último tiene por objetivo la descomposición de un sistema complejo en subsistemas con diferentes niveles jerárquicos, de manera tal que el nivel más bajo esté formado por equipos o conjuntos de equipos que puedan ser considerados como unidades indivisibles desde el punto de vista de la determinación de los requerimientos de mantenimiento.

Es a estas unidades a las que se les aplicará el análisis de criticidad, para propiciar el ordenamiento de los activos atendiendo al impacto asociado a sus posibles fallos [Cabrera, 2005].

Por tanto el primer paso para llevar a cabo un plan de mejora de la Confiabilidad Operacional y poder aplicar uno de sus métodos de calidad es realizar un **Análisis de Criticidad**, en base al cual se seleccionaran los equipos que se incluirán dentro del Plan [Altmann, 2009].

Cabrera 2005, opina también que una herramienta de probada utilidad para lograr la confiabilidad es el denominado análisis de criticidad, el que debe ser precedido por un análisis sistémico. Este último tiene por objetivo la descomposición de un sistema complejo en subsistemas con diferentes niveles jerárquicos, de manera tal que el nivel más bajo esté formado por equipos o conjuntos de equipos que puedan ser considerados como unidades indivisibles desde el punto de vista de la determinación de los requerimientos de mantenimiento. Es a estas unidades a las que se les aplicará el análisis de criticidad, para propiciar el ordenamiento de los activos atendiendo al impacto asociado a sus posibles fallos.

La norma internacional CEI/IEC 60300 - 3-11:1999 define la criticidad como un valor numérico que indica la severidad de un efecto, combinado con la probabilidad o frecuencia de ocurrencia esperada. Por lo tanto tal indicador deberá ser calculado, cuantificando de alguna manera, la combinación adecuada de los niveles de fallo con el impacto global que estos tengan para la organización y su entorno. Esta cuantificación puede llevarse a cabo en forma acertada a partir de la ponderación de los siguientes factores:

- 1 -La frecuencia de fallos.

- 2 ·El impacto operacional, evaluado teniendo en cuenta el nivel productivo, el tiempo promedio para reparar, el impacto en la producción y el costo de la reparación.
- 3 ·El impacto en la seguridad de las personas.
- 4 ·El impacto en el medio ambiente.

Traduciendo estas ponderaciones a puntos, es que se consiguen los valores necesarios para combinarlos en una fórmula que relacione los factores antes mencionados [Cabrera, 2005].

Siguiendo el procedimiento comentado, se organizan los activos procesados con criticidad descendente, de manera que se puedan hacer consideraciones acerca de los que presentan alta, media o baja criticidad.

Restaría tratar brevemente el tema de la información requerida para el análisis de la criticidad. Como sucede en tantas ocasiones, suelen faltar datos confiables que permitan hacer un estudio “con todas las de la ley”. Pero no hay que amilanarse, porque la ausencia o insuficiencia de información se puede superar echando mano a un elemento insustituible en cualquier programa de mejora: un equipo de trabajo multidisciplinario en el que participen expertos de las áreas involucradas, bajo la certera conducción de un facilitador bien entrenado para esta tarea [Cabrera, 2005].

1.4 Análisis de Criticidad (A.C.)

Uno de los principales problemas de un proyecto de mejoramiento en la confiabilidad es saber identificar las áreas sobre las cuales se tendría un mayor impacto. Esto ha hecho que muchos proyectos de RCM hayan fracasado en industrias de procesos complejos. Se puede superar esta barrera mediante el uso de técnicas de análisis de criticidad [Durán, 1999].

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual [Mendoza, 2001].

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y

equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

La jerarquía de activos define el número de elementos o componentes de una instalación y/o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos. La figura 1.2 muestra el estilo de agrupación típica de una instalación, donde se observa que la jerarquía de los activos la constituyen grupos consecutivos [Mendoza, 2001].

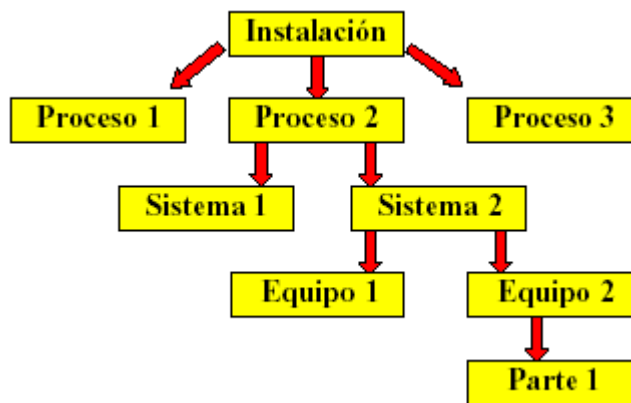


Figura 1.2 Agrupación típica de instalaciones: Fuente: Paneque 2011.

Una planta compleja tiene asociada muchas unidades de proceso, y cada unidad de proceso podría contar con muchos sistemas, al tiempo que cada sistema tendría varios paquetes de equipos, y así sucesivamente. A medida que se desciende según el nivel jerárquico, crecerá el número de elementos a ser considerados.

- ¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro?
- ¿Qué criterio se debe utilizar?
- ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio?

El análisis de criticidades da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la

confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad son:

- Gravedad del posible fallo funcional (respecto a la capacidad productiva inherente del sistema o subsistema analizado)
- Grado de Conectividad del sistema al flujo productivo necesario para un período de tiempo analizado.
- Gravedad e impacto de las consecuencias de los fallos.
- Valor actual del sistema afectado por el fallo

Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (1.1)$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad [Mendoza, 2001].

1.4.1 ¿Cuándo se debe aplicar un Análisis de Criticidad?

Gotera (1997) plantea que emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

El análisis de criticidad se aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte [Mendoza, 2001].

Mendoza (2001), plantea que al desarrollar un análisis de criticidad sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

En el ámbito de mantenimiento:

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de inspección:

El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales:

La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el *stock* de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de disponibilidad de planta:

Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del personal:

Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

1.5 Metodología para el análisis de criticidad (Método de Mendoza)

El método utilizado por Rosendo Huerta Mendoza para el desarrollo de un análisis de criticidad es muy sencillo y está basado exclusivamente en el conocimiento de los participantes, el cual será plasmado en una encuesta preferiblemente personal.

La condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permitiría cálculos “*exactos y absolutos*”. Sin embargo desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias [Mendoza, 2001].

La figura 1.3 muestra el modelo estándar de encuesta, utilizado en PDVSA E & P Occidente para establecer la criticidad de sus sistemas. Los valores que aparecen registrados son un ejemplo de los pesos asignados a cada sistema, establecidos según rangos predeterminados (criterios de evaluación).



	Gerencia de Mantenimiento Confiabilidad Operacional Encuesta de Evaluación de Criticidad
--	---

AREA		Propósito de este trabajo: La Información recolectada, servirá para estandarizar la priorización de trabajos asociados a confiabilidad y Priorizar ordenes de trabajo de mantenimiento y operaciones, proyectos y respuestas
PERSONA ENTREVISTADA		
FECHA		

Nivel de Prod. de la Instalación 4

Sistem	Frecuencia de Falla (Peso)	Impacto Producción (Peso)	TPPR (Peso)	Costo de Reparación (Peso)	Impacto Seguridad (Peso)	Impacto Ambiente (Peso)	Criticida
Sistema 1	4	6	2	5	0	0	212
Sistema 2	3	4	2	10	0	0	126
Sistema 3	1	8	2	5	35	30	134
Sistema 4	3	8	1	5	0	0	111
Sistema 5	1	6	1	25	0	0	49
Sistema 6	4	4	2	5	0	0	148
Sistema 7	3	8	2	5	0	0	207
Sistema 8	3	6	2	10	0	0	174
Sistema 9	3	4	1	5	0	0	63

Figura 1.3: Encuesta para el análisis de criticidad. Fuente: Paneque 2009.

La definición de cada criterio es:

Frecuencia de falla: son las veces que falla cualquier componente del sistema.

Impacto operacional: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

Nivel de producción manejado: es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.

Tiempo promedio para reparar: es el tiempo para reparar la falla.

Costo de reparación: costo de la falla

Impacto en seguridad: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

Impacto ambiental: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

La última columna corresponde con la criticidad (C), donde basados en la siguiente fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, estimará un valor para cada sistema.

$$C = [(Niv_{prod} \cdot tppr \cdot imp_{prod}) + Costo_{rep} + imp_{seg} + imp_{amb}] \cdot Frec_{falla} \quad (1.2)$$

Esta fórmula permite sobre la base de los valores utilizados y plasmados en la encuesta definir una puntuación para cada sistema y realizar un ordenamiento descendente.

En la figura 1.4 se muestra un estándar PDVSA, para dar la puntuación a cada uno de los criterios empleados en el análisis de criticidad.


 GERENCIA DE MANTENIMIENTO CONFIABILIDAD OPERACIONAL TABLA DE VALORES DE CRITICIDAD			
GUIA DE CRITICIDAD			
1.- FRECUENCIA DE FALLA (todo tipo de falla)	Puntaje		
- No más 1 por	1		
- Entre 2 y 12 por	3		
- Entre 13 y 52 por	4		
- Mas de 52 por año (Mas de 1 interrupción semanal)	6		
2.- IMPACTO OPERACIONAL			
2.1.- NIVEL DE PRODUCCIÓN (de la Instalación)	Puntaje		
CRUDO	GAS	GABARRAS/OTR	
0 - 100 bbl / día	0 - 0.2 MMPCN / día	Menos de 10	1
101 - 1000 bbl / día	0.2 - 20 MMPCN / día	11 - 23	2
1001 - 5000 bbl / día	20 - 100 MMPCN / día	23 - 40	4
5001 - 10000 bbl / día	100 - 200 MMPCN / día	40 - 60	6
10001 - 20000 bbl / día	200 - 400 MMPCN / día	60 - 80	9
Mas de 20000 bbl / día	Mas de 400 MMPCN / día	80 - 100	12
2.2.- TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPR)		Puntaje	
Menos de 4		1	
Entre 4 y 8		2	
Entre 9 y 24		4	
Mas de 24 horas		6	
2.3.- IMPACTO EN PRODUCCIÓN (por falla)		Puntaje	
No Afecta		0.05	
25% de		0.30	
50% de		0.50	
75% de		0.80	
La Impacta Totalmente		1	
2.4.- COSTO DE REPARACION		Puntaje	
Menos de 25 MMBs		3	
Entre 25 - 50 MMBs		5	
Entre 51 - 100 MMBs		10	
Mas de 100 MMBs		25	
2.5.- IMPACTO EN LA SEGURIDAD PERSONAL (Cualquier tipo de daños, heridas, fatalidad)		Puntaje	
SI		35	
NO		0	
2.6.- IMPACTO AMBIENTAL (Daños a terceros, fuera de la instalación)		Puntaje	
SI		30	
NO		0	

Figura 1.4: estándar PDVSA, para dar la puntuación a cada uno de los criterios empleados en el análisis de criticidad. Fuente: Paneque 2009.

Los valores de criticidad obtenidos serán ordenados de mayor a menor, y serán graficados utilizando diagramas de barra, lo cual permitirá de forma fácil visualizar la distribución descendente de los sistemas evaluados.

La distribución de barras, en la mayoría de los casos, permitirá establecer de forma fácil tres zonas específicas: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad, donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la rentabilidad del negocio.

A continuación la figura 1.5 muestra el diagrama de barra correspondiente a los resultados mostrados en la figura 1.3 para indicar las tres zonas que caracterizan un análisis de criticidad.

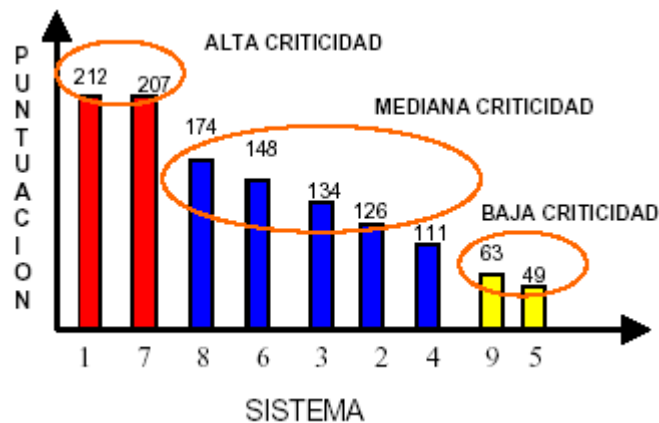


Figura 1.5 Gráficos de resultados de un análisis de criticidad. Fuente: Paneque, 2009.

El uso del análisis de criticidad permite la toma de decisiones acertadas y adicionalmente se encuentran otros beneficios por re direccionar el presupuesto en áreas de mayor rentabilidad para la empresa [Mendoza, 2001].

El objetivo fundamental de esta tarea es la identificación de los componentes que se consideran críticos para el adecuado funcionamiento del sistema en cuestión. La catalogación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita atajar sus posibles causas de fallo [ANANTA, 2009].

1.6 Metodología para el análisis de criticidad (Batista, 2011)

La metodología que a continuación se propone, fue concebida para aplicarla en la empresa Rene Ramos Latour. Siendo la causa fundamental la no existencia de

datos tales como: la frecuencia de los fallos, elemento primordial en la metodología de Mendoza.

Para el análisis de criticidad (jerarquización) de los sistemas y subsistemas (plantas, líneas, equipos, instalaciones, máquinas, etc.) que intervienen en el flujo productivo de la empresa Rene Ramos Latour, se propone utilizar la combinación de dos conocidas herramientas del Mantenimiento Proactivo, es decir el FMEA y CA, los cuales se combinan en las siglas FMECA (Modos de fallos, sus efectos y la criticidad de los sistemas o subsistemas que fallan), las cuales son partes de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Metodología a utilizar para establecer la criticidad de los sistemas y subsistemas (máquinas, instalaciones, etc.) que intervienen en el flujo productivo.

- 1) Reunir la documentación gráfica necesaria que permita al grupo de trabajo tener una absoluta seguridad del flujo productivo, en caso de ser necesario se visitaran las plantas y se levantarán los croquis necesario.
- 2) Conocido el flujo productivo se identificarán los sistemas o subsistemas que definen por su capacidad productiva los volúmenes de producción (cuellos de botella).
- 3) A partir de la información anterior se definirán los sistemas que participan en el flujo productivo.
- 4) Se entenderá por sistema aquel conjunto de máquinas, instalaciones, equipos, y o elementos de máquinas que en su operación contribuyen a que el sistema realice la función para la cual fue concebido, ya sean primarias, secundarias, de seguridad o superfluas. En otras palabras se establecerá con claridad cuáles son los subsistemas que pertenecen al sistema definido.
- 5) Para cada uno de los sistemas definido se conocerá con claridad cuál es su función primaria, a partir de lo cual se podrá tener claridad de los diferentes modos de fallos.
- 6) Los sistemas identificados se clasificarán en tres grandes grupos:
 - S. Los que su función primaria es de seguridad.
 - A. Los que su función primaria es de apoyo o aseguramiento de otros sistemas.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

- P. Los que su función primaria está relacionado con la producción de la empresa, planta o línea de producción.
- 7) Para cada sistema identificado del grupo P se establecerán un conjunto de criterios para evaluar su criticidad dentro del macro sistema al que pertenecen.
- 8) Los criterios generales a utilizar para el grupo P serán:
- Gravedad del posible fallo funcional (respecto a la capacidad productiva inherente del sistema o subsistema analizado)
 - Grado de Conectividad del sistema al flujo productivo necesario para un período de tiempo analizado.
 - Gravedad e impacto de las consecuencias de los fallos.
 - Valor actual del sistema afectado por el fallo
8. Cada uno de los criterios a utilizar serán ponderados de forma única para poder realizar los cálculos como se propone a continuación.
9. La gravedad del posible fallo funcional estará dado por
- A. Severidad del fallo.
 - 1-10. desde una poca afectación (Calidad y/o volumen) hasta la paralización del flujo productivo
 - B. Tiempo para restablecer la capacidad operacional antes de ocurrir el fallo en una escala de 0 hasta 10, siendo la escala de 10 el que identifica el mayor tiempo posible de restablecimiento.
 - C. Gastos para restablecer la capacidad operacional antes de ocurrir el fallo en una escala de 0 hasta 10, siendo la escala de 10 el que identifica el mayor gasto posible de restablecimiento.
10. El cálculo de la gravedad del fallo funcional se realizará con ayuda de la expresión siguiente
- $$G_F = A(B + C) \quad (1.3)$$
11. El Grado de Conectividad del sistema analizado respecto al flujo productivo para un período de tiempo dado se ponderará de la manera siguiente.
- 10. Sistema único sin respaldo de intercambiabilidad disponible en la empresa.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

2-9. Sistema único con respaldo de intercambiabilidad disponible en la empresa.

1. Sistema duplicado

0.1 sistema triplicado o más.

12. La Gravedad e impacto de la consecuencia los fallos serán ponderados de la manera siguiente:

A. Afectación humana

1-1000. Lesiones de leves, graves y fatal

B. Afectación al medio ambiente

1-1000. de baja a Alta

C. Capacidad destructiva de los sistemas adyacentes

1- 10. De baja a Alta

D. Capacidad autodestructiva del propio sistema

1-10. de baja a alta

13. Valor actual del sistema afectado por el fallo en una escala de 1 hasta 100, siendo la escala de 100 el que identifica el mayor valor posible.

14. La gravedad e impacto de la consecuencia de los fallos se calculará por la expresión

$$G_C = A + B + C(V_a) + D(V_a) \quad (1.4)$$

15. La criticidad del sistema analizado se calculará por la expresión siguiente

$$C = \text{GradoConectividad} (G_F + G_C) \quad (1.5)$$

16. Los sistemas con mayor criticidad serán aquellos que obtengan la mayor puntuación.

17. a partir del conjunto de valores de puntos obtenidos por los diferentes sistemas y subsistemas se establecerán tantos grupos de criticidad como se entienda, siendo los de mayor criticidad los que acumulen mayor cantidad de puntos.

18. Los sistemas del grupo A que son subsistemas de apoyo o aseguramiento de los sistemas del grupo P su criticidad se establecerá de la forma siguiente:



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

- ❖ Si el subsistema de apoyo o aseguramiento del grupo A es único para el sistema del tipo P tendrá la misma criticidad que tiene el sistema del grupo P
- ❖ En caso que el subsistema de apoyo o aseguramiento del grupo A sea común para varios sistemas del grupo P tendrá la misma criticidad que la más alta que tiene cualquiera de los sistemas del grupo P que le presta apoyo o aseguramiento.

19. Los sistemas del grupo S que son aquellos que su función primaria es de seguridad se establece su criticidad de la manera siguiente:

- ❖ Si su función de seguridad es garantizar la integridad de personas su criticidad será igual a la de mayor jerarquía en toda la empresa.
- ❖ Si función de seguridad es evitar la afectación medio ambiental o de protección física (destrucción) del sistema al cual le brinda el servicio, tendrá la misma criticidad que el sistema del grupo P al cual protege.

1.7 Antecedentes cosechadoras de caña cubana

En el trabajo de investigación denominado "El diagnóstico técnico y su pertenencia en la teoría de la fiabilidad en las máquinas cosechadoras de caña KTP", Zaldívar (2000), demuestra la relación entre la teoría y práctica de los fundamentos del mantenimiento predictivo con la teoría de la Fiabilidad a partir de la aplicación de un sistema de pruebas diferenciadas, en una muestra de máquinas KTP-2 y KTP-2M en varias campañas.

Navarro (2001), determina los máximos costos permisibles de fabricación evaluando diferentes variantes de fiabilidad de las piezas en la nueva máquina o subconjunto objeto de estudio o desarrollo. Tiene como base el modelo Ihle-Rößner para la evaluación del comportamiento del desgaste en las piezas y cálculo de los índices de consumo de los repuestos, atendiendo a determinados parámetros de fiabilidad. En este estudio se toma, a manera de ejemplo, la máquina combinada KTP-1.

Zaldívar y Sanfort (1995), presentan los resultados del cálculo de los índices técnico-explotativos y productividad para una muestra de 55 máquinas



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

cosechadoras de caña KTP-2 y 13 KTP-2M en nueve complejos de las provincias orientales de Cuba cuando a esta muestra de máquinas se les aplica o no el diagnóstico técnico. En el trabajo se aplica el método de foto-cronometraje durante las zafas 1993-1994, 1994-1995, 1995-1996. Se analiza el comportamiento de las máquinas con y sin la aplicación del diagnóstico.

Suárez *et al.* (2006), en su trabajo "Determinación y análisis de los principales índices de explotación de las cosechadoras de caña CAMECO", establecieron y analizaron veintiún índices de explotación y veinticinco características entre el área sembrada y calidad de corte, utilizando una metodología comprendida en dos partes fundamentales:

- Evaluación de la máquina para un volumen de trabajo determinado (llenar una o varias vasijas con un control estricto de todos los indicadores), y
- Evaluación de la máquina en la explotación, mediante turnos de control con un desglose de los problemas inherentes a la propia cosechadora y los problemas ajenos (organizativos, condiciones climáticas, etcétera).

Según las investigaciones de (Díaz y Rodríguez, 2006) realizadas acerca del comportamiento de la fiabilidad de las combinadas KTP-2M en la cosecha de *Saccharum officinarum* (Caña de azúcar) y las pérdidas que ocasionan, toman en cuenta los principales índices de explotación de las cosechadoras KTP-2M, donde consideran como variables importantes: rendimiento, coeficiente de disponibilidad técnica, costos totales por máquina, índices de rotura y productividad horaria, a través del método foto-cronometraje en jornadas de trabajo de 12 h.

Paneque (2011), analiza la criticidad de los subsistemas para el estudio de Confiabilidad Operacional de la cosechadora de caña CASE IH – 7000. El objetivo que se persigue es realizar un estudio Confiabilidad Operacional al subsistema de mayor criticidad de la combinada cañera CASE IH – 7000.

CAPÍTULO II: ESTUDIO DE LA CRITICIDAD DE LOS SUBSISTEMAS DEL PROTOTIPO DE PRUEBA DE LA COSECHADORA CAÑERA AUTOPROPULSADA CCA-5000

En el capítulo se aborda el estudio de la criticidad a los subsistemas de la cosechadora cañera CCA 5000 el cual permitirá establecer la jerarquía de los subsistemas de esta máquina con el objetivo de crear prioridades que faciliten la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional.

2.1 Cosechadora de caña CCA-5000

El prototipo de prueba de la cosechadora de caña CCA-5000 fue fabricada por la empresa china HANSEN, la misma presenta como característica principal el accionamiento de la mayoría de los sistemas a través de circuitos hidráulicos, particularidad que permite gran precisión y facilidad de manejo para el operario, los sistemas de controles son eléctricos e hidráulicos, con sensores conectados en todo el alrededor del equipo para poder supervisar el funcionamiento cada uno de los sistemas y agregados, posee además un sistema de climatización para mejorar las condiciones de trabajo del operario.

Este equipo posee un peso máximo de 15 Ton con todos sus accesorios, se mueve sobre neumáticos (delanteros 335/16R18 y traseros 23,1/18x26). Estos neumáticos permiten mayor maniobrabilidad y velocidad de avance durante el traslado (20 km/h), los neumáticos delanteros son pequeños con el objetivo de aminorar el peso y no obstaculizar los mecanismos de corte en el momento de los giros de la cosechadora, y los de mayor dimensión en la parte trasera para sostener el peso del equipo, la máquina puede mantener tracción individual o constante en ambas ruedas traseras llamada tracción positiva por medio de válvulas que aseguran el mismo flujo de aceite a cada rueda motriz, estos neumáticos están separados a una distancia prudencial para no ocasionar daños a los plantones que se encuentran sembrados aproximadamente a 1,70 m.

El sistema de transmisión es completamente hidráulico, posee en este circuito dos bombas y un hidromotor en cada neumático que por medio de un flujo de aceite

permite el movimiento del equipo, todos sus accionamientos del sistema de corte y traslado de caña son también dirigidos por circuitos hidráulicos.

Esta máquina presenta un sistema corta cogollo o descoronador, el cual facilita la limpieza de la caña antes de ser cortada, un extractor primario y uno secundario para eliminar la mayor cantidad de impurezas y pajas que se encuentran antes y después del elevador respectivamente, presenta un sistema de climatización conformado por un compresor SCANIA, un condensador, un filtro secador, una válvula de expansión, termostato y el evaporador, este sistema es alimentado por transmisiones mecánicas de poleas y correas desde el motor de combustión interna (MCI).

El MCI de la cosechadora es un Caterpillar C-9 Acert que posee las características siguientes: 350 hp de potencia, 11dm³ de cilindrada y 6 cilindros en línea.

2.1.1 Subsistemas que componen la cosechadora

La cosechadora cañera CCA-5000 está constituida generalmente por circuitos hidráulicos, estos son comandados por circuitos eléctricos que conjuntamente con los sensores mantienen el mando y control estricto de cada acción, indicada por el operador, y llevada a cabo por la máquina. Estas acciones son ejecutadas por componentes mecánicos o subsistemas que se muestra a continuación en la figura 2.1

Partiendo de la combinada como sistema, entonces la misma está formada por varios subsistemas en los que se encuentran una serie de mecanismos que podrían llamarse subsistemas secundarios formados por elementos y pares cinemáticos que a su vez forman subsistemas de tercer nivel donde se encuentran en este caso las piezas y accesorios.

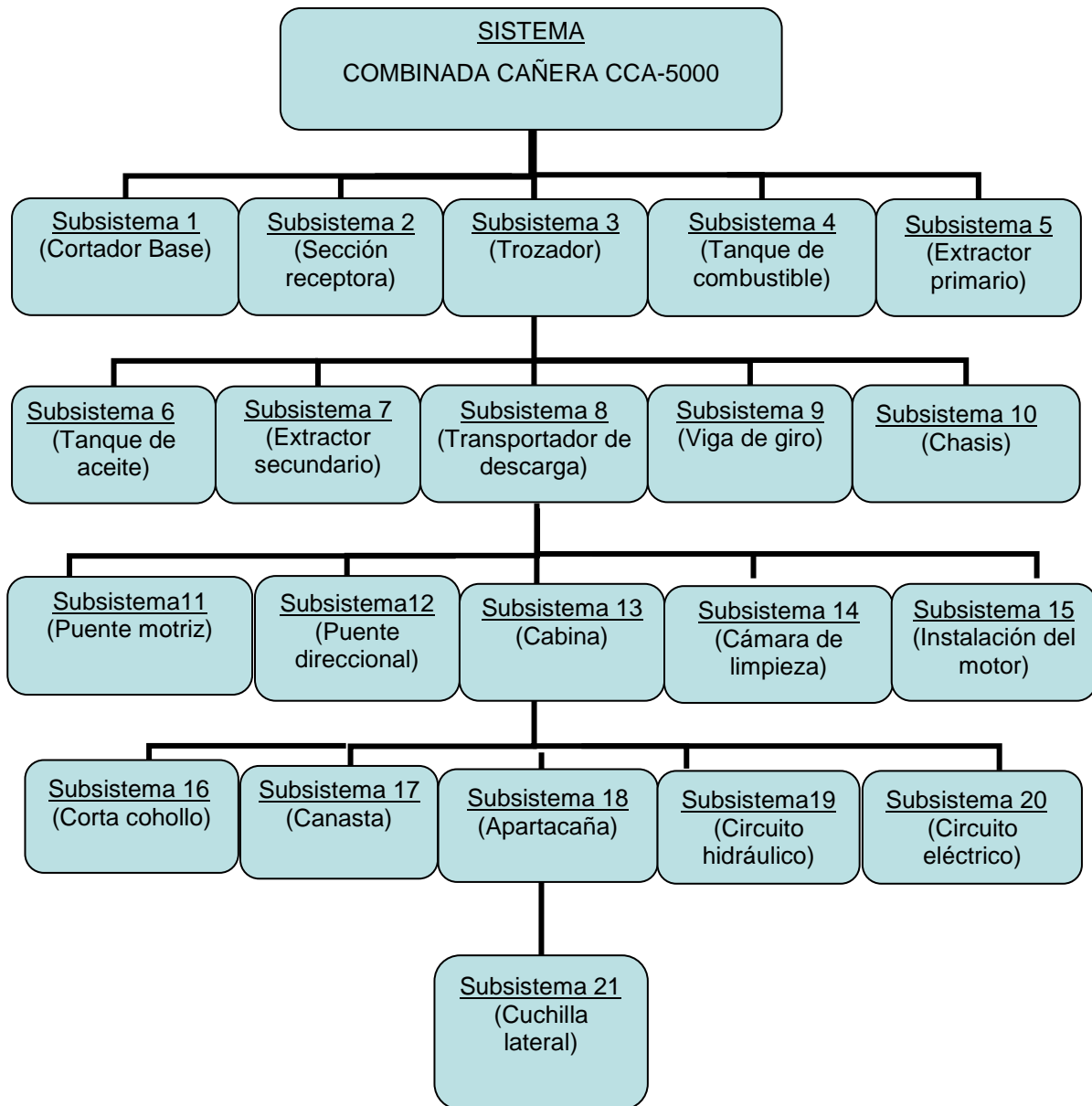


Figura 2.1 Representación gráfica de los subsistemas de la combinada cañera CCA-5000. Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Descripción de los subsistemas que intervienen en el flujo productivo de la CCA-5000

A continuación se muestra la ubicación de los mecanismos que se encargan de llevar a cabo el proceso de cosecha de la caña en la cosechadora CCA-5000.

Figura 2.2

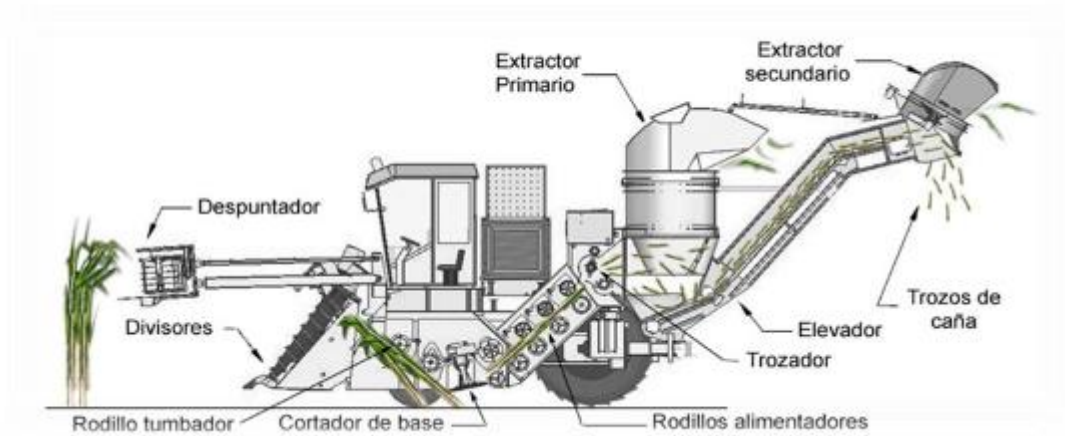


Figura. 2.2 Ubicación de los mecanismos en la cosechadora CCA-5000.

Fuente: Colectivo de autores grupo cosechadora CEDEMA 1999.

Estos mecanismos de la figura 2.2 se dividen en corte, limpieza y trasiego según la tarea que desempeñan y cada uno de ellos presenta un principio de funcionamiento y una serie de componentes tales como: el cortador base; triturador de puntas; disco de corte lateral; picador (pertenecientes al mecanismo de corte); extractor primario y secundario del mecanismo de limpieza; tren de rollos y el transportador de descarga del mecanismo de trasiego. Además en la figura 2.2 se observa los divisores de línea encargados de dirigir la caña hacia el cortador base. Estos componentes pertenecen a diferentes subsistemas de la máquina.

Descripción de los componentes

Triturador de puntas

La función de estos elementos es cortar las puntas de la caña en pedazos menores de 100 mm y los arroja hacia el lado, la altura de corte es controlada por el operador. Este componente presenta un tambor de 24 láminas que está armado entre los discos reunidores y 10 láminas que son atornilladas en la carcasa (5 de cada lado) Figura 2.3.



Figura 2.3: Triturador de puntas. Fuente: Tomada por el autor.

Discos de corte lateral

Estos discos presentan como función separar los tallos de las hileras vecinas y de la línea de corte del camino lateral durante la cosecha de caña verde, enredada y alojada. Su estructura consiste en un disco circular con 8 láminas atornilladas y accionadas por un motor orbital. Los discos de corte lateral se levantan y bajan manualmente o hidráulicamente por mandos en la cabina (Opcional). Además se utilizan para plantaciones muy densas, y están dispuestos entre los divisores de línea.



Figura 2.4 Disco de corte lateral. Fuente: Tomada por el autor.

Divisores de línea

Se encargan de levantar la caña caída y separarla de la línea cortada, su altura es controlada por el operador. Los divisores de línea están compuestos por una estructura conectada al chasis principal de la cosechadora a través de dos brazos. Estos brazos actúan en paralelo para levantar y bajar los divisores y para mantener la luz deseada entre las zapatas del divisor y el suelo, permanentemente. La altura es regulada por un cilindro hidráulico operado desde la cabina. Armado en la estructura del divisor, existe un tubo cónico con una tira en espiral soldada. El mismo es girado por un motor orbital, que también sostiene la parte superior de la espiral por medio de guías. La parte inferior de la espiral es sostenida por un rodamiento armado en la estructura del divisor. Existe también una pared lateral flotante que se fija en la parte trasera de la estructura del divisor de línea y flota para acomodarse a las condiciones del terreno. La doble espiral es estándar y se arman en la parte exterior de la espiral normal.

Para pequeños mantenimientos, el conjunto del divisor de línea se podrá reparar sin ser removido del chasis de la cosechadora, pero en el caso de ser necesario una reparación de mayor envergadura, el conjunto del divisor de línea podrá ser retirado del chasis de la cosechadora. Figura 2.5



Figura 2.5: Divisores de líneas. Fuente: Tomada por el autor.

Caja de corte de base

La caja de corte de base está formada por un conjunto de rollos y dispositivos , los cuales presentan las siguientes funciones: el rollo volvedor es reglado para auxiliar en la alimentación de la caña caída, las zapatas flotantes son las que direccionan los pedazos caídos para el cortador de base, reduciendo así una posible pérdida, el rollo alimentador que auxilia en la tracción de la caña para el cortador de base, el cual corta la caña a nivel de la tierra y la alimenta al primer conjunto de rollo, su altura es controlada por el operador. Ver figura 2.6



Figura 2.6 Cortador de base. Fuente: Tomada por el autor.

Tren de rollos

Este sistema consiste es un conjunto de rollos que alimentan la caña cortada al picador y permite la quede libre de impurezas. Este rollo alimentador ayuda en la alimentación de gran cantidad de caña caída hacia el interior de la máquina. El conjunto de rollos de alimentación está localizado en la entrada de la máquina y se articula hidráulicamente en una guía localizada por debajo del soporte del cilindro de elevación del cortador de puntas. Figura 2.7



Figura 2.7: Tren de tambores. Fuente: Paneque (2009).

Trozador

El picador está formado por rollos giratorios equipados con láminas que cortan la caña en pedazos. Ver figura 2.8 a) y b). Este sistema de corte consiste en dos rollos con rotación invertida y cuchillas adecuadas de corte armadas en ambos rollos. Cada cuchilla es ajustada en el rollo picador por 7 tornillos y una barra protectora (Castaña). Los rollos son accionados hidráulicamente por dos motores orbitales individuales que son sincronizados por los engranajes.

Este picador presenta un volante que gira en un eje independiente y es accionado por un engranaje superior del picador, dando inercia adicional para equilibrar al sistema. El volante se ajusta con un embrague, para proteger los engranajes en el caso de bloqueo de los rollos picadores. La velocidad de los rollos se puede variar infinitamente variando el flujo de aceite a estos motores mediante una válvula controlada por el operario, esta variación de velocidad define la longitud de los pedazos de caña.



Figura 2.8 a) Trozador.
Fuente: Paneque (2009).

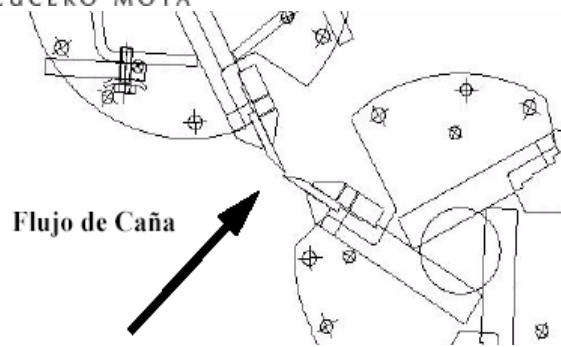


Figura 2.8 b) Trozador.
Fuente: Paneque (2009).

Extractor primario

Es el que se encarga de producir fuertes corrientes ascendentes de aire, separando las impurezas de los pedazos de caña en cuanto estos caen en el cesto antes de subir por el elevador. Figura 2.9 a) Este extractor con brazo vertical (anti - remolino) consiste en un ventilador accionado por un motor hidráulico armado en la parte superior de la tolva, la carcasa del extractor soporta el apoyo del ventilador y la cámara de limpieza. El gorro de este extractor se direcciona según el movimiento del transportador de descarga. Figura 2.9 b)



Figura 2.9 a) Extractor primario.



Figura 2.9 b) Gorro del extractor primario.

Fuente: Tomada por el autor.

Fuente: Tomada por el autor.

Transportador de descarga

Es el que se encarga de conducir los pedazos de caña desde la canasta hasta el depósito del transporte correspondiente. El elevador en sí es adaptable en la altura, controlado a través de la cabina por dos cilindros hidráulicos que sostienen

al elevador. Esto permite que el elevador sea bajado al pasar por áreas con obstrucciones aéreas y para minimizar la altura de las plataformas requeridas para el mantenimiento del extractor y del eje.



Figura 2.10 Transportador de descarga. Fuente: Tomada por el autor.

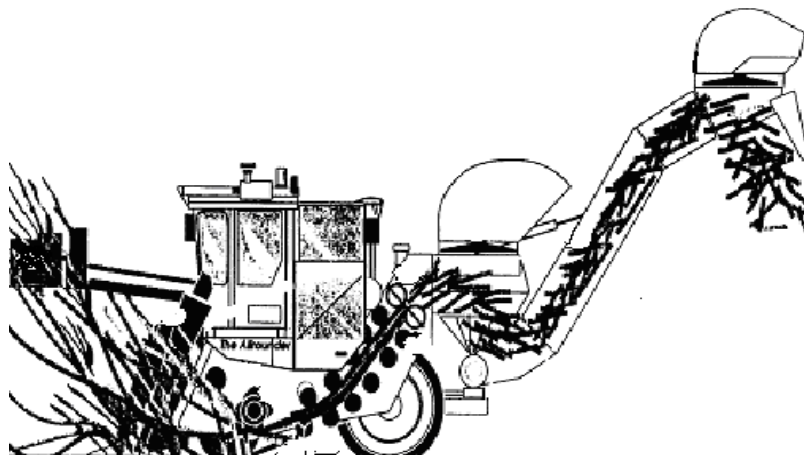


Figura 2.11 Flujo de caña en la cosechadora CCA-5000. Fuente: Paneque (2009).

2.2 Evaluación de los criterios de criticidad.

Este método para ser aplicado en la cosechadora cañera CCA-5000 fue necesario recoger los datos de los fallos ocurridos durante las pruebas realizadas al prototipo desde el 10 de mayo al 5 de junio del 2014.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

Cumplimiento de la metodología a utilizar para establecer la criticidad de los sistemas que intervienen en el flujo productivo de la cosechadora cañera CCA-5000.

1. Reunir la documentación gráfica necesaria que permita tener una absoluta seguridad del flujo productivo de la cosechadora.
 - Para dar cumplimiento a este paso, fue necesario revisar toda la documentación técnico existente de la máquina, además fue posible comprender mejor el flujo productivo de la máquina gracias a las pruebas realizadas.
 2. Conocido el flujo productivo se identificaran los sistemas o subsistemas que definen por su capacidad productiva los volúmenes de producción (cuellos de botella).
 - Se definen como subsistemas de mayor impacto en la capacidad productiva de la máquina los siguientes:
 - a) Circuito hidráulico.
 - b) Trozador.
 - c) Cortador base.
 - d) Sección receptora.
 3. A partir de la información anterior se definirán los subsistemas que participan en el flujo productivo.
 - Es necesario aclarar que las cosechadoras cañeras son máquinas de extrema complejidad, las cuales funcionan como un todo. Esta característica dificulta discretisar los subsistemas que intervienen en su flujo productivo. Si uno de ellos no está operando dentro de los límites establecidos, la calidad del proceso y el producto final se verá afectado.
 4. Se entenderá por sistema aquella instalación, o elementos de máquinas que en su operación contribuyen a que el sistema realice la función para la cual fue concebido, ya sean primarias, secundarias, de seguridad o superfluas.
- Siguiendo la metodología expuesta, se prosiguió a determinar cuál de los subsistemas en cuestión intervenían en el proceso productivo de la cosechadora, se tuvo en cuenta la función primaria de cada subconjunto y luego se procedió a

evaluar el impacto de sus fallos en el proceso productivo de la máquina. Ver tabla 2.1.

5. Para cada uno de los sistemas definido se conocerá con claridad cuál es su función primaria, información necesaria para conocer los modos de fallos.
6. Los subsistemas identificados se clasificaran en tres grandes grupos:
 - S. Los que su función primaria es de seguridad.
 - A. Los que su función primaria es de apoyo o aseguramiento de otros sistemas.
 - P. Los que su función primaria está relacionado con la producción de la empresa, planta o línea de producción.

Para el estudio se llega a la conclusión que todos los subsistemas de la máquina, 21 en total, serán tratados como los del grupo “P”, producto a que todos intervienen en la función principal de la cosechadora.

7. Para cada subsistema identificado del grupo P se establecerán un conjunto de criterios para evaluar su criticidad dentro del macro sistema al que pertenecen.
8. Los criterios generales a utilizar para calcular la criticidad en el grupo P serán:
 - Gravedad del posible fallo funcional (respecto a la capacidad productiva inherente del sistema o subsistema analizado)
 - Grado de Conectividad del subsistema al flujo productivo necesario para un período de tiempo analizado.
 - Gravedad e impacto de las consecuencias de los fallos.
 - Valor actual del sistema afectado por el fallo.
9. Cada uno de los criterios a utilizar serán ponderados de forma única para poder realizar los cálculos como se propone a continuación.
10. La gravedad del posible fallo funcional estará dado por
 - A. Severidad del fallo.
 - 1-10. desde una poca afectación (Calidad y/o volumen) hasta la paralización del flujo productivo.

Para la determinación de la severidad del fallo se calculó el volumen de caña dejado de cosechar debido al tiempo de afección por cada fallo surgido. Para este período de pruebas la máquina reportó una producción media de 34,135 t/h. Para este estudio se tomaron solamente los 10 subsistemas que fallaron (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1: Volumen de producción afectado por cada fallo. Fuente: Guethón 2014.

Sistema	Cantidad de fallos	Tiempo (h)	Improductividad (t)
Cortador Base	2	2,074	70,8
Sección Receptora	9	8,917	304,4
Trozador	3	1,343	45,8
Transportador de descarga	2	0,221	7,5
Puente motriz	1	0,276	9,4
Instalación del motor	4	0,741	25,3
Corta cogollo	3	1,427	48,7
Circuito hidráulico	17	6,552	223,7
Circuito eléctrico	1	0,001	0,03
Cuchilla lateral	2	1,427	48,7

Para determinar el volumen de producción afectado, se multiplica la producción media de la cosechadora por el tiempo que la misma está fuera de servicio.

- B. Tiempo para restablecer la capacidad operacional antes de ocurrir el fallo en una escala de 0 hasta 10, siendo la escala de 10 el que identifica el mayor tiempo posible de restablecimiento.

Para determinar este parámetro se toma como referencia, el tiempo de reparación cronometrado en las pruebas realizadas al prototipo como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Tiempo para reparar los fallos. Fuente: Guethón 2014.

Sistema	Tiempo (h)
Cortador Base	2,074
Sección Receptora	8,917
Trozador	1,343
Transportador de descarga	0,221
Puente motriz	0,276
Instalación del motor	0,741
Circuito hidráulico	6,552
Circuito eléctrico	0,001

- C. Gastos para restablecer la capacidad operacional antes de ocurrir el fallo en una escala de 0 hasta 10, siendo la escala de 10 el que identifica el mayor gasto posible de restablecimiento.

Para determinar los gastos de las reparaciones, es necesario conocer el costo de las piezas de repuesto, (ver anexo 1), así como el monto invertido en mano de obra y sustancias de trabajo tales como combustibles y lubricantes (Ver anexo 2).

10. El cálculo de la gravedad del fallo funcional se realizará con ayuda de la expresión siguiente 2.1.

Este será el primer indicador a evaluar, para ello se tendrá en cuenta la severidad del fallo, el tiempo para erradicarlo y el costo del proceso de reparación. Los resultados se muestran en la tabla 2.4.

$$G_F = A(B + C) \quad (2.1)$$

11. El Grado de Conectividad del sistema analizado respecto al flujo productivo para un período de tiempo dado se ponderará de la manera siguiente.

- 10. Sistema único sin respaldo de intercambiabilidad disponible en la empresa.
- 2-9. Sistema único con respaldo de intercambiabilidad disponible en la empresa.
- 1. Sistema duplicado.
- 0.2 sistema triplicado o más.

El grado de conectividad de los subsistemas se establece al relacionar el mismo con la producción de la cosechadora, aspecto de gran importancia ya que condiciona directamente a la productividad de la máquina.

La ponderación se muestra en la tabla 2.4. Columna **Conect. (0.1 -10)**.

12. La Gravedad e impacto de la consecuencia los fallos serán ponderados de la manera siguiente:

- A. Afectación humana
 - 1-1000. Lesiones de leves, graves y fatal.
- B. Afectación al medio ambiente
 - 1-1000. de baja a Alta.
- C. Capacidad destructiva de los sistemas adyacentes.
 - 1- 10. De baja a Alta.
- D. Capacidad autodestructiva del propio sistema.
 - 1-10. de baja a alta.

La ponderación se muestra en la tabla 2.4. Columnas **Ah (1-1000)** y **Ama (1-1000)**.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

13. Valor actual del sistema afectado por el fallo en una escala de 1 hasta 100, siendo la escala de 100 el que identifica el mayor valor posible.

La ponderación se muestra en la tabla 2.4. Columna Va (1-100).

Tabla 2.3: Valor de los subsistemas de la cosechadora. Fuente: Morales (2015).

Subsistema	Costo (USD)
Sistema hidráulico	126,425.03
Conjunto de motor diésel y caja de bombas	56,013.18
Conjunto de Sección Receptora.	14,827.02
Chasis Principal.	6,589.78
Transportador de Descargar	5,766.06
Cabina del operador	5,271.83
Conjunto de Cortador Base.	4,612.85
Conjunto de ruedas motrices.	4,612.85
Conjunto de Aparato Trazador	4,118.62
Extractor Primario	3,624.38
Extractor secundario.	2,965.40
Depósitos de Aceite	2471.17
Corta cogollo desfibrador	2,141.68
Sistema ruedas Direccionales	1,812.19
Cámara de Limpieza	1,153.21
Conjunto de depósito de combustible	988.47
Conjunto de Sistema de Giro	823.72
Canasta	691.93
Aparta cañas	576.61

14. La gravedad e impacto de la consecuencia de los fallos se calculará por la expresión.

En este aspecto se tendrá en cuenta la posibilidad de afectaciones al hombre así como al medio ambiente, se evaluará la capacidad del subsistema de autodestruirse y destruir a subsistemas cercanos a él.

$$G_c = A + B + C(V_a) + D(V_a) \quad (2.2)$$

En este punto es necesario esclarecer que el operador durante la jornada de trabajo se encuentra aislado de la mayoría de los subsistemas en estudio y protegido por una cabina, siendo baja la posibilidad de afectación al mismo. Por otra parte la cosechadora consume grandes volúmenes de distintos combustibles,



550L de aceite hidráulico y 480L de DIESEL, los cuales se derramaron a lo largo de las pruebas realizadas, afectando directamente la ecología de la localidad.

El resultado se muestra en la tabla 2.4. Columna GC.

15. La criticidad del sistema analizado se calculará por la expresión siguiente.

$$C = \text{GradoConectividad} (G_F + G_C) \quad (2.3)$$

Los resultados se muestran en la tabla 2.4. Columna c.

16. Los sistemas con mayor criticidad serán aquellos que obtengan la mayor puntuación.

Para determinar la criticidad se toma como acuerdo entre los diseñadores, tutor y autor del trabajo que los subsistemas que obtengan más de 3500 puntos serán los de mayor criticidad, los de mediana criticidad entre 2000 y 3500 puntos y los de baja criticidad los que obtengan menos de 2000 puntos.

Luego de evaluar estos aspectos y aplicar la metodología para el cálculo de la criticidad de los subsistemas de la cosechadora cañera CCA-5000, se obtuvieron los resultados siguientes en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Análisis de criticidad de los subsistemas. Fuente: Elaborada por el autor.

CCA-5000		Func primaria			S-F (1-10)	Trest (1-10)	Crest (1-10)	GF	Conect. (0.1 -10)	Ah (1-1000)	A ma (1-1000)	Cdest (1-10)	C.Auto (1-10)	Va (1-100)	GC	C
Cod	Denominación del sistema	S	A	P												
0,1	Cortador Base			X	6	6	3	54	10	1	150	6	8	11	305	3590
0,2	Sección Receptora			X	10	10	4	140	10	1	150	8	6	30	571	7110
0,3	Trosador			X	4	4	3	28	10	1	40	9	9	10	221	2490
11	Puente motriz			X	2	2	5	14	10	1	200	1	1	40	281	2950
0,8	Transportador de descarga			X	2	2	4	12	10	1	150	2	4	12	223	2350
20	Circuito eléctrico			X	1	1	6	7	10	1	1	1	1	9	20	270
15	MCI			X	3	3	5	24	10	1	250	1	1	40	331	3550
16	Corta cogollo			X	5	5	2	35	8	1	300	3	3	4	325	2880
19	Circuito hidráulico			X	9	9	10	171	10	1	700	3	3	100	1301	14720
21	Cuchilla lateral			X	5	5	3	40	8	1	100	2	3	3	116	1248

En la figura 2.12 se observa en orden descendente el gráfico criticidad contra subsistemas, según resultados del estudio de criticidad.

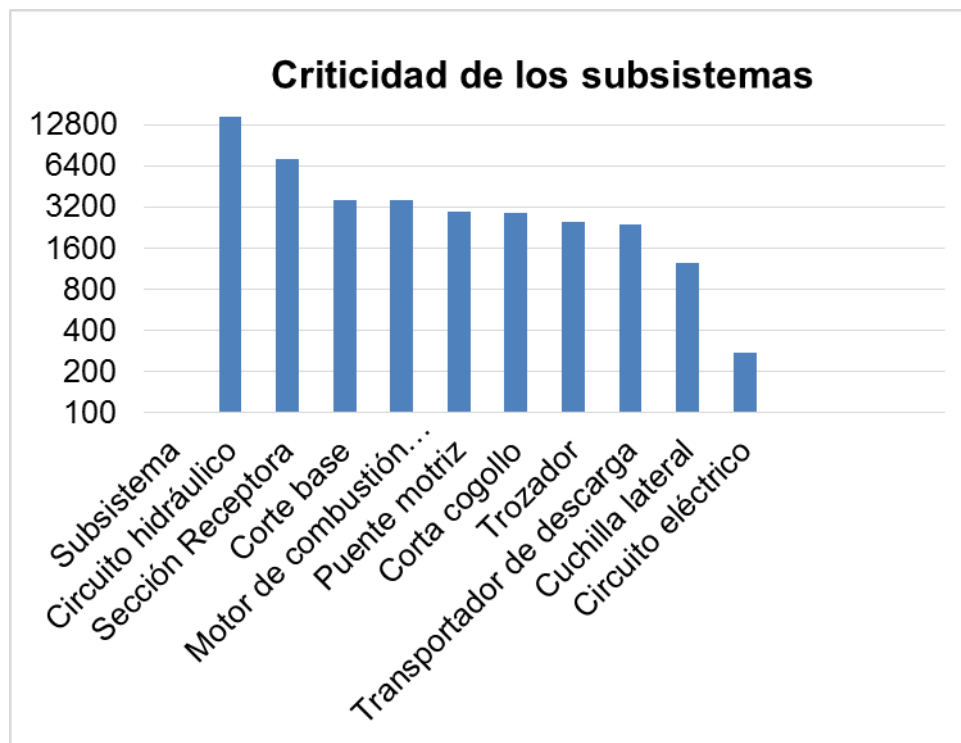


Figura 2.12 Resultado del análisis de criticidad de los subsistemas.

Fuente: Propia del autor.

Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, centrando los recursos materiales y humanos en la zona de alta criticidad, en este caso los subsistemas circuito hidráulico (ver anexo 3), sección receptora, corte base y motor de combustión interna, donde se encuentra la mejor oportunidad de agregar valor, rentabilidad y aumentar la confiabilidad del equipo. Figura 2.13

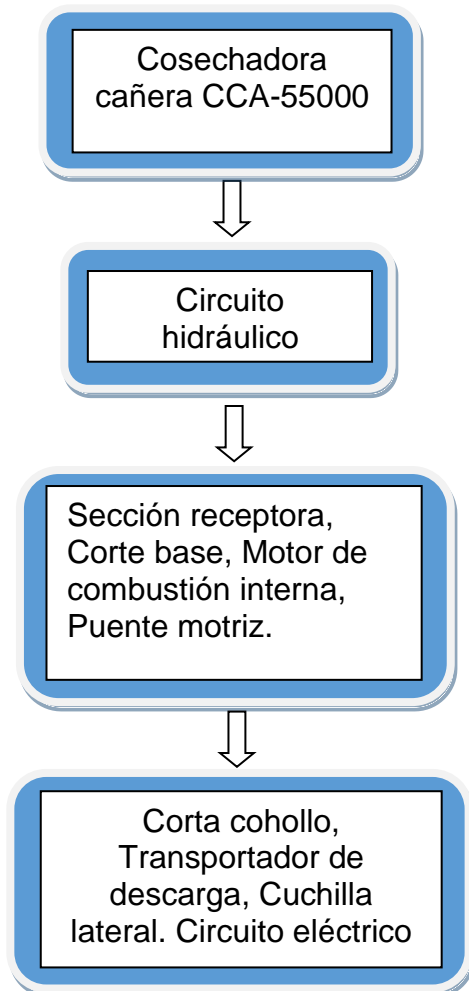


Figura 2.13 Jerarquía de subsistemas de la combinada CCA-5000.

Fuente: Propia del autor.

2.3 Tareas a realizar en el subsistema más crítico de la combinada CCA-5000

1. Revisar diariamente las conexiones hidráulicas.
2. Medir en los órganos de trabajo (hídromotores) las presiones del aceite hidráulico.
3. Medir los niveles de aceite diariamente.
4. Realizar análisis de las propiedades físico químicas del lubricante al terminar la cosecha.

2.4 Análisis económico y medioambiental.

Con la jerarquización de los subsistemas de la cosechadora cañera CCA-5000 realizada por el autor de este trabajo, se logrará una mejor distribución de recursos materiales y humanos, en acciones por mantener la confiabilidad operacional de la máquina. A su vez, esta permitirá que la cosechadora cumpla con su jornada diaria de trabajo (aproximadamente 20 h) lo que sumaría una producción de 682,7 t diarias. Vale destacar que por cada hora que la máquina este fuera de servicio se perderán 34,135 t de caña. El tiempo y volumen de caña que se perdió durante el período de pruebas se muestra en la tabla 2.1, ascienden a 3714,3 t.

Otra de las ventajas del estudio de criticidad realizado es que el mismo permite modificar el plan de mantenimiento a los subsistemas más críticos, con el objetivo de disminuir su frecuencia de fallos, lo que representa un ahorro considerable por concepto de piezas de repuesto, los precios de los repuestos se muestran en el anexo 1. Para los sistemas más críticos se podría emplear herramientas de diagnóstico técnico y un sistema de mantenimiento según su estado de condición. Durante el período de cronometraje del prototipo de pruebas de la cosechadora cañera CCA-5000, y como consecuencia de varios fallos del subsistema más crítico (circuito hidráulico) existieron varios derrames de sustancias de trabajo en los campos (ver anexo 4), acciones que tuvieron un impacto considerable al medio ambiente, además, se debe destacar que la máquina, debido a que estaba siendo probada por primera vez, la misma estuvo sujeta a modificaciones y reparaciones, que muchas veces se realizaban en los campos de cosecha, lo que indica que muchas partes inservibles como recortes de metal, rodamientos, sellos, fusibles y otros, serían abandonados en los campos, afectando la flora y fauna del entorno.

2.5 Contribución a la defensa de la patria.

Una de las aristas más importantes en la defensa de la integridad de nuestro país, es la seguridad económica, sector en el que diariamente trabajan miles de cubanos con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad económica de nuestro territorio. La mejor forma de hacerlo, es aumentando los niveles de producción en



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

todas las esferas del sector económico así como la disponibilidad de la técnica utilizada para la producción. La cosecha de caña de azúcar es un importante renglón de nuestra economía, sector que está en vías de recuperarse y modernizarse. El trabajo presentado por el autor anteriormente, contribuye a elevar la mantenibilidad de una de las nuevas tecnologías insertadas en el sector de la producción de azúcar de caña, además de ayudar a re direccionar esfuerzos y gastos para la explotación de la máquina. Este trabajo aumenta su importancia, al aplicarse a un equipo totalmente novedoso para nuestro país, el cual sustituye importaciones y contribuye directamente a la seguridad político-ideológica de nuestra nación.

CONCLUSIONES

- 1- Se realizó el correspondiente análisis de criticidad a 10 subsistemas de los 21 existentes en la combinada cañera CCA-5000 donde se obtuvo como resultado que el subsistema de mayor criticidad es el circuito hidráulico.
- 2- La sección receptora y el subsistema de corte base obtuvieron la segunda y tercera puntuación más alta.
- 3- El circuito eléctrico obtuvo la más baja puntuación en el análisis de criticidad.
- 4- Se estableció un orden de jerarquía de activos para los subsistemas de la combinada cañera a partir del resultado del análisis de criticidad.

RECOMENDACIONES

- 1- Realizar un estudio de Confiabilidad Operacional al subsistema de mayor criticidad de la combinada cañera CCA-5000.
- 2- Que el estudio sirva como material de consulta a los especialistas del CEDEMA, Universidad y la Fábrica de Combinadas y estudiantes.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUINAGA BARRAGÁN, Álvaro. “Confiabilidad operacional para la ingeniería del mantenimiento”. En: 8^{vo} Congreso iberoamericano de ingeniería Mecánica. Quito, Ecuador. 2007.
2. CABRERA GÓMEZ, Jesús. *Plataforma Básica para un enfoque del mantenimiento centrado en confiabilidad*. Primera edición. Ciudad de la Habana. Cuba: editorial CEIM – CUJAE, 2003. 297 p.
3. CABRERA GÓMEZ, Jesús. “Queremos mejorar la confiabilidad operacional, pero... ¿por dónde empezar?”. *Nota técnica*. La Habana 2005, No. 059, p. 8-15.
4. COLECTIVO DE AUTORES. *Manual de instrucción cosechadora cañera CCA-5000*. Holguín: Grupo de cosechadoras CEDEMA, 2014.
5. DAQUINTA GRADAILLE, Lázaro A. *Mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola*. La Habana: Editorial Félix Varela. 2004. 381 pp. ISBN 959-258-811-2
6. DÍAZ P, Andrés L; RODRÍGUEZ E, Frank L. "Análisis del comportamiento de la fiabilidad de las combinadas KTP-2M en la cosecha de Caña de azúcar y las pérdidas que ocasionan". Universidad de Pinar del Río. Cuba. 2006.
7. DURÁN, José. Haciendo que el RCM trabaje para su empresa. Firma de consultoría The Woodhouse Partnership Limited. Inglaterra, 1999.
8. EXPÓSITO GALLARDO, Fernando. Consulta de experto. M.Sc del grupo de cosechadoras CEDEMA. 2015.
9. GARCÍA AGÜIÑO, Reinaldo M; ZALDIVAR SALAZAR, Mario C. “Propuesta de proyecto de confiabilidad operacional de las Cosechadoras de caña en la etapa de explotación”. Venezuela: PDVSA. 2008, núm. 5, P. 14-29.
10. IGARZA DOMÍNGUEZ, Rafael. Metodología integral para la evaluación de los índices tecnológicos-explotativos, de fiabilidad y las pérdidas de granos en el proceso de cosecha de la máquina cosechadora de arroz modelo New Holland TC 57. Tesis de maestría. Universidad de Holguín, Cuba. 2012.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

11. LEBEQUE SIMÓN, Fernando. Consulta de experto. M.Sc del grupo de cosechadoras CEDEMA. 2015.
12. MORALES MORA, Reinier: Consulta de experto. M.Sc subdirector técnico Fabrica de Combinada 60 Aniversario de la Revolución de Octubre. 2015.
13. NAVARRO OJEDA, M. "Aspectos más importantes sobre la metódica para el cálculo y fundamentación económica de las variantes de fabricación de máquinas cosechadoras". *Revista Ingeniería Mecánica*. Holguín. 2001, No 4, p. 27-32.
14. Norma UNE 200001-3-1= 1998. Gestión de la confiabilidad. Parte 3: Guía de aplicación. Sección 1: Técnicas de análisis de la confiabilidad: Guía metodológica.
15. PANEQUE LEYVA, Ismel. "El análisis de criticidad para el estudio de Confiabilidad Operacional de la cosechadora de caña CASE IH – 7000". Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico. Universidad de Holguín, Holguín, 2009.
16. PANEQUE LEYVA, Ismel. "Estudio de fiabilidad del sistema hidráulico de la cosechadora de caña case IH serie – A 7000". Tesis para obtener el Título de máster en Maquinaria agrícola. Universidad de Holguín. Holguín, 2011.
17. PÉREZ PUPO, J.R. Consulta de experto. Dr.C del grupo de cosechadoras CEDEMA. 2015.
18. POLANCO ABALLES, I. Consulta de experto. M.Sc del grupo de cosechadoras CEDEMA. 2015.
19. RICARDO ABALLES, C.M. Consulta de experto. M.Sc del grupo de cosechadoras CEDEMA. 2015.
20. RICARDO ABALLES, C.M. Perfeccionamiento del mecanismo paralelogramo del cortacohollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA-5000. Tesis de maestría Universidad de Holguín. Documento inédito. 2011.
21. RIVAS, JR. Capítulo 1 Introducción. 2004. [en línea]. [consultado 6/01/14]. Documento en línea www.tdx.cat/bitstream/10803/6733/6/06Jrr06de27.
22. SUÁREZ, Pavel; RODRÍGUEZ, Yoan; MÁRQUEZ, Kenia. "Determinación y análisis de los principales índices de explotación de las cosechadoras de



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

- caña CAMECO". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 15. 2006, núm.4, p. 17-32.
23. VALERA LLANES, Rafael. Consulta de experto. M.Sc del grupo de cosechadoras CEDEMA. 2015.
24. GARCÍA CUBA, Yolexis. "Valoración técnico explotativa de las máquinas cosechadoras de caña de azúcar utilizadas en Cuba". Trabajo de diploma, Holguín 2011.
25. PÉREZ TORRES, Yúnior. "Proyecto para establecer una estación de ensayos experimentales para máquinas agrícolas". Trabajo de diploma. Universidad de Holguín, Holguín, 2013.
26. ZALDÍVAR SALAZAR, Mario; SANFORT NAVARRO, J. El mantenimiento predictivo, vía para la dirección de la fiabilidad de las máquinas agrícolas". *Tecnología en Marcha*. Vol. 16, 1997, N°3.
27. ZALDIVAR, M; 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.
28. ZALDÍVAR, Mario. "El diagnóstico técnico y su pertenencia en la teoría de la fiabilidad en las máquinas cosechadoras de caña KTP". *Ingeniería mecánica*. Vol. 15, 2000, N°6.
29. GUETHÓN RICO, R. G. Informe de índices técnico-explotativo cosechadora CCA-5000. CEDEMA 2014.

Anexos

Anexo 1. Precio de algunos repuestos de la máquina.

Tabla 1. Precio de repuestos del circuito hidráulico.

Precio de repuestos del circuito hidráulico.					
No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe sin impuesto	Importe con impuesto
1	Juego de empaquetadura del cilindro de giro del transportador descarga	1	388,8889	388,8889	455,0000
2	Juego de empaquetadura del cilindro cortacohollo	1	277,7778	277,7778	325,0000
3	Juego de empaquetadura del cilindro sinfines	1	277,7778	277,7778	325,0000
4	Juego de empaquetadura cilindro de elevación del transportador descarga(izquierda)	1	277,7778	277,7778	325,0000
5	Juego de empaquetadura del cilindro direccional	1	555,5556	555,5556	650,0000
6	Juego de empaquetadura de la rueda delantera (izquierda)	1	555,5556	555,5556	650,0000
7	Juego de empaquetadura de la rueda delantera (derecha)	1	555,5556	555,5556	650,0000
8	Spin-en Filtro 2 SFF	3	244,5333	733,6000	858,3120
9	motor orbital de 2K Eaton	1	1755,0000	1755,0000	2053,3500
10	motor orbital de 2K Eaton	1	1755,0000	1755,0000	2053,3500
11	motor orbital de 2K Eaton	1	1755,0000	1755,0000	2053,3500
12	Elemento Filtro de Succión en línea	4	297,1080	1188,4320	1390,4654
13	Elemento Filtro de Retorno	4	555,5556	2222,2222	2600,0000
14	Bombas triples				
	juego de sellos -MHP365X2+P330-1	2	1366,7889	2733,5778	3198,2860
15	motor de cortacohollo				
	juego de sellos-MHM330	1	461,5333	461,5333	539,9940



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe sin impuesto	Importe con impuesto
16	Motor coaxial				
	juego de sellos-MHM51X3	2	1025,6444	2051,2889	2400,0080
17	Motor del enfriador de aceite				
	juego de sellos-MHM36	1	598,2889	598,2889	699,9980
18	Motor del 1er Extractor				
	juego de sellos-MHM350	1	512,8222	512,8222	600,0020
	pieza-350-M-arbol estriado	2	444,4444	888,8889	1040,0000

Tabla 2. Repuestos mecánicos.

Cosechadora CCA-5000. (Repuestos Mecánicos)					
No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe	Importe con impuesto
1	Vaso estriado	4	256,4102	1025,6410	1199,9999
2	Piñón	4	174,3589	697,4357	815,9997
3	Cuchilla	20	350,0000	7000,0000	8190,0000
4	Acoplamiento	2	153,8461	307,6922	359,9999
5	Aspa	3	490,0000	1470,0000	1719,9000
6	Aspa	3	689,0000	2067,0000	2418,3900
7	Árbol	1	980,0000	980,0000	1146,6000
8	Estrella	1	173,3333	173,3333	202,7999
9	Acoplamiento	2	143,5896	287,1792	335,9997
10	Guía	2	98,4616	196,9231	230,4001
11	Tablilla	6	98,0000	588,0000	687,9600
12	Retenedor	2	27,6000	55,2000	64,5840
13	Anillo de seguridad	2	4,3076	8,6153	10,0799
14	Anillo de seguridad	2	3,5898	7,1796	8,4001
15	Tornillo hexagonal	10	1,3333	13,3332	15,5998
16	Tornillo hexagonal	40	0,9230	36,9216	43,1983
17	Tornillo cabeza de carruaje	20	1,2307	24,6144	28,7988
18	Tornillo cabeza avellanada	20	1,2307	24,6144	28,7988



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe	Importe con impuesto
19	Tuerca hexagonal auto frenable	40	0,5129	20,5152	24,0028
20	Pasador elástico	2	1,5385	3,0770	3,6001
21	Tornillo arlen	2	0,9230	1,8461	2,1599
22	Tornillo arlen	5	0,3589	1,7946	2,0997
23	Cojinete	1	367,1795	367,1795	429,6000
24	Cojinete	1	494,3590	494,3590	578,4000
25	Cojinete	1	130,2564	130,2564	152,4000
26	Rodamiento	2	182,5642	365,1283	427,2001
27	Rodamiento	2	49,2307	98,4614	115,1999
28	Rodamiento	1	167,1794	167,1794	195,5999
29	Chumacera	1	283,0769	283,0769	331,1999
30	Rotula	2	129,4769	258,9538	302,9759
31	Neumático direccional	1	1730,7693	1730,7693	2025,0000

Tabla 3. Repuestos eléctricos.

CCA-5000 Repuestos eléctricos.					
No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe sin impuesto	Importe con impuesto
<u>1</u>	un bloque central de relés 24V	1			
1	relés	2	38,8889	77,7778	91,0000
2	relés	1	38,8889	38,8889	45,5000
3	relés	1	38,8889	38,8889	45,5000
4	relés	1	38,8889	38,8889	45,5000
5	fusible	1	22,2222	22,2222	26,0000
6	fusible	1	22,2222	22,2222	26,0000
7	fusible	1	22,2222	22,2222	26,0000
8	fusible	1	22,2222	22,2222	26,0000
<u>2</u>	Interruptores				
1	Interruptor del extractor	1	17,25	17,2500	20,1825



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

No .	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe sin impuesto	Importe con impuesto
2	Interruptor de lámpara trasera	1	17,25	17,2500	20,1825
3	Interruptor de limpia parabrisas	1	17,25	17,2500	20,1825
4	Interruptor de aspensor	1	17,25	17,2500	20,1825
5	Interruptor de luz alarma	1	17,25	17,2500	20,1825
6	Interruptor del sistema (pulsador)	1	17,25	17,2500	20,1825
7	Interruptor PTO	1	17,25	17,2500	20,1825
8	Interruptor de velocidad del 1er Paso	1	17,25	17,2500	20,1825
9	Interruptor de velocidad fija	1	17,25	17,2500	20,1825
10	Interruptor de marcha atrás	1	12,0000	12,0000	14,0400
<u>3</u>	Interruptor del panel de aire acondicionado (resistencia de control de velocidad)	1	153,8462	153,8462	180,0000
<u>4</u>	Conjunto de juegos de terminales, conectores, accesorios para una máquina.	1			
1	terminal AMP	20	0,4000	8,0000	9,3600
2	terminal AMP	20	0,4667	9,3333	10,9200
3	pieza de conector AMP/ core 2	4	4,0000	16,0000	18,7200
4	pieza de conectorAMP / core 2	4	3,6667	14,6667	17,1600



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe sin impuesto	Importe con impuesto
5	pieza de conectorAMP / core 3	4	4,2889	17,1556	20,0720
6	pieza de conectorAMP / core 3	4	4,2889	17,1556	20,0720
7	pieza de conectorAMP / core 4	4	5,0667	20,2667	23,7120
8	pieza de conectorAMP / core 4	1	169,7000	169,7000	198,5490
9	ITT enchufe(core 19)	1	169,7000	169,7000	198,5490
10	ITT enchufe(core 19)	1	185,3333	185,3333	216,8400
11	ITT terminal (macho)	10	3,2333	32,3333	37,8300
12	ITT terminal (hembra)	10	3,0333	30,3333	35,4900
13	KET terminal	20	0,2889	5,7778	6,7600
14	KET terminal	20	0,2667	5,3333	6,2400
15	pieza de conectorKET / core 12	4	5,3556	21,4222	25,0640
16	pieza de conectorKET / core 12	4	8,1444	32,5778	38,1160
17	pieza de conectorKET / core 6	4	4,4556	17,8222	20,8520
18	pieza de conectorKET / core 6	4	2,5222	10,0889	11,8040
19	pieza de conectorKET / core 8	4	5,0111	20,0444	23,4520
20	pieza de conectorKET / core 8	4	3,1333	12,5333	14,6640



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

No.	Descripción español	cantidad	Precio unitario sin impuesto	Importe sin impuesto	Importe con impuesto
21	enchufe a prueba de agua	20	0,1222	2,4444	2,8600
22	enchufe a prueba de agua	50	0,1778	8,8889	10,4000
23	juego de terminal	20	0,2444	4,8889	5,7200
24	juego de terminal	20	0,3000	6,0000	7,0200
25	juego de terminal	10	0,1889	1,8889	2,2100
26	juego de terminal	2	0,8889	1,7778	2,0800
27	juego de terminal	10	0,2889	2,8889	3,3800
28	juego de terminal	10	0,2889	2,8889	3,3800
29	juego de terminal	10	0,2889	2,8889	3,3800
30	juego de terminal	5	0,1889	0,9444	1,1050
31	pieza de conector	4	0,1556	0,6222	0,7280
32	pieza de conector	2	0,3556	0,7111	0,8320
33	pieza de conector	2	0,5000	1,0000	1,1700
34	pieza de conector	4	0,7667	3,0667	3,5880
35	pieza de conector	6	0,8000	4,8000	5,6160
36	pieza de conector	1	4,5222	4,5222	5,2910
37	pieza de conector	1	16,9333	16,9333	19,8120

Anexo 2. Ficha para precios y componentes Prototipo de prueba CCA-5000.

Ministerio de Finanzas y Precios

Ministerio de Economía y Planificación

Ficha para precios y su componente en pesos convertibles

EMPRESA: 60 Aniv Rev Octb

Organismo: SIME

Plan de producción:

Capacidad Instalada:

Código de la Empresa: 103.0.1112

Resolución: 1/2005 y 117/2000

Producto o Servicio: Cosechadora cañera CCA-5000 (preliminar).

Código de Producto o Servicio: 5461020011

U/M: U Producción.

CONCEPTOS DE GASTOS	TOTAL UNITARIO	De ello CUC
Materia prima y materiales	222883,2	228007,01
Materia prima y materiales fundamentales	225319,9	220197,09
Combustibles y lubricantes	37,43	37,43
Energía eléctrica	2619,73	2619,63
Agua	29,95	29,95
Sub total (Gastos de elaboración)	91738,36	25260,81
Otros gastos directos	15975,08	4842,04
Depreciación	9675,08	0
Arrendamiento de equipos	6300	4725
Ropa y calzado (trabajadores directos)	117,04	0
Gastos de fuerza de trabajo	17628,81	557,33
Salarios	12713,24	0
Vacaciones	1115,63	0
Impuesto utilización fuerza de trabajo	2080,33	0
Contribución a la seguridad social	1733,61	0
Estimulación en pesos convertibles	577,33	577,33
Gastos indirectos de producción	29876,11	6856,87
Mantenimiento y reparación	6856,87	6856,87
Gastos generales y de administración	20849,71	5777,05
Gastos totales o costo de producción	319745,37	248145,01

Anexo 3: Circuito hidráulico.



Imagen 1. Caja de bombas y sus conexiones instalada al motor de combustión interna. Fuente: Tomada por el autor.



Imagen 2. Caja de bombas desmontada de la instalación del motor. Fuente: Tomada por el autor.



Imagen 3. Distribución de los conductos hidráulicos hasta los órganos de trabajo. Fuente: Tomada por el autor.

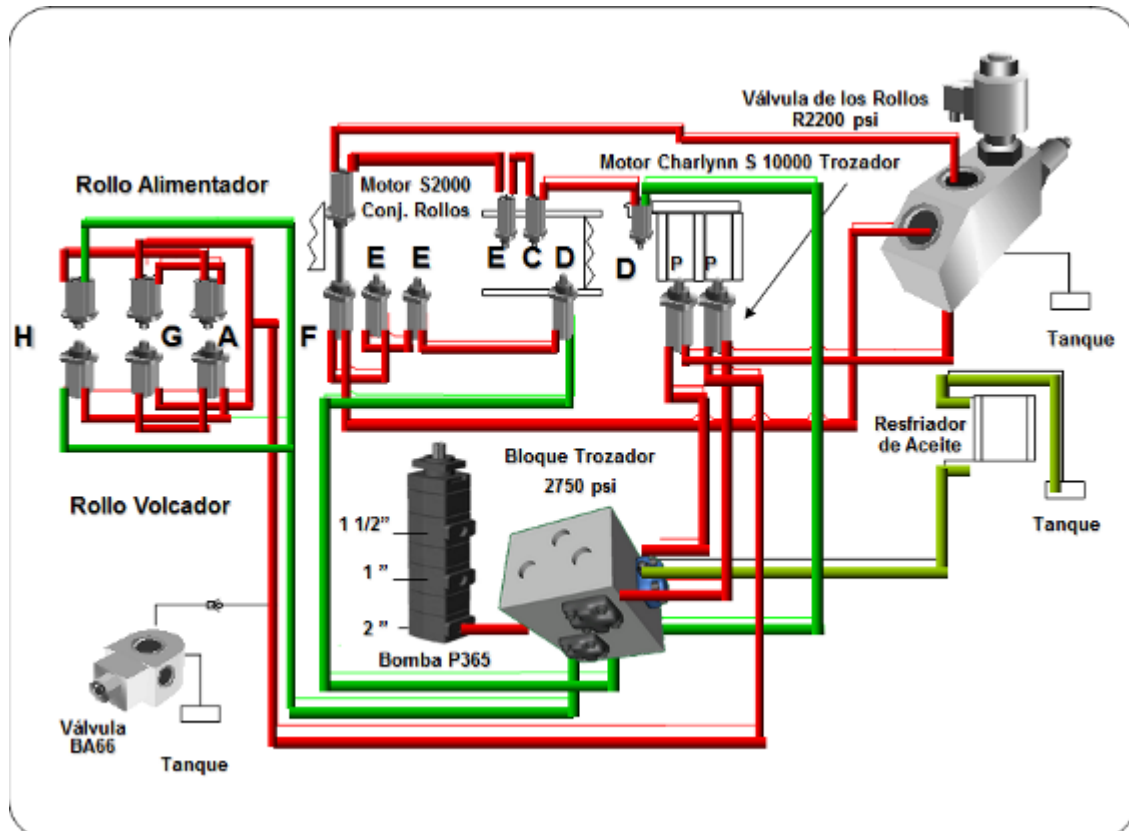


Imagen 4. Sistema hidráulico de los picadores y el tren de rollos. Fuente: Paneque 2011.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

Anexo 4. Derrame de aceite provocado por fallos en el circuito hidráulico.



Imagen 4. Derrame de aceite hidráulico. Fuente: Tomada por el autor.