

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica



El análisis de criticidad para el estudio de
Confiabilidad Operacional de la cosechadora de
caña CASE IH – 7000.

Tesis presentada en opción al Título de
Ingeniero Mecánico.

Autor: Ismel Paneque Leyva.

Tutores: Dr.C. Carlos Batista Rodríguez.

M.Sc. Ing. Elio Rafael Hidalgo Batista

Holguín, 2009

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se aplica una metodología de análisis de criticidad a la combinada cañera CASE IH serie – 7000 para facilitar el posterior estudio de Confiabilidad Operacional al subsistema donde sea más necesario direccionar los esfuerzos y los recursos, basados en la realidad y estado técnico actual del activo. El objetivo que se persigue es establecer una jerarquía en los subsistemas que forman la cosechadora de caña, donde atendiendo a los resultados del análisis de criticidad serán ordenados de manera descendentes en una gráfica por grupos de mayor, mediana y baja criticidad. La metodología aplicada recoge la mayor cantidad de afectaciones provocadas en caso de fallos de la máquina, lo que se consideró como elemento determinante en su selección. El procedimiento de la metodología aparece explicado al igual que una serie de conceptos fundamentales para la mejor comprensión del tema en cuestión. Una vez realizado el análisis de criticidad y establecido su orden a partir del subsistema de mayor criticidad queda descartado cual será el camino correcto y necesario para comenzar un estudio de Confiabilidad Operacional. De este tipo de cosechadora se abordan cada una de las características de los diferentes subsistemas por los que está formada, dando una panorámica lo más detallada posible de la función de cada conjunto o subsistema secundario de existir según la clasificación elaborada, cuenta además con representaciones gráfica de los componentes mecánicos a tratar lo que permite una mayor comprensión e interpretación del principio de funcionamiento y descripción de cada elemento.

SUMMARY

Presently investigation work is applied a methodology of critical analysis to the sugar cane combined IH series CASE - 7000 to facilitate the later study of Operational Dependability to the subsystem where it is more necessary to address the efforts and the resources, based on the reality and current technical state of the asset. The objective that is pursued is to establish a hierarchy in the subsystems that form the cane cropper, where assisting to the results of the critical analysis will be ordered in a descending way in a graph for groups of bigger, medium and low critical. The applied methodology picks up the biggest quantity in provoked affectations in the event of shortcomings of the machine, what was considered as 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 order starting from the subsystem of more critical is discarded which will be the correct and necessary road to begin a study of Operational Dependability. Of cropper's type they are approached each one of the characteristics of the different subsystems by those that is formed, giving a panoramic the detailed thing possible of the function of each group or secondary subsystem of existing according to the elaborated classification, it also has representations graphic of the mechanical components what allows a bigger understanding and interpretation of the operation principle and description of each element to try.

ÍNDICE

<u>Contenido</u>	<u>Pág.</u>
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES.	
1.1 Confiabilidad Operacional. Evolución y conceptos fundamentales.....	5
1.1.1 Confiabilidad o fiabilidad.....	7
1.1.2 Características de fiabilidad.....	10
1.1.3 Características de mantenibilidad.....	14
1.1.4 Características de disponibilidad.....	15
1.1.5 Características de la logística de mantenimiento.....	17
1.1.6 Confiabilidad de un Sistema. Sistemas en serie y paralelo.....	18
1.1.7 Métodos de Calidad en la Confiabilidad Operacional.....	19
1.1.8 ¿Cómo mejorar la Confiabilidad Operacional?.....	24
1.2 Análisis de Criticidad.....	25
1.2.1 ¿Cuándo se debe aplicar un Análisis de Criticidad?.....	27
1.2.2 Sus áreas de Aplicación.....	28
1.2.3 Criticidad del fallo de un equipo. Método a utilizar.....	29
CAPÍTULO II. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS SUBSISTEMAS DE LA COMBINADA CAÑERA CASE IH SERIE - 7000.	
2.1 Cosechadora de caña CASE IH serie 7000.....	34
2.1.1 Subsistemas que componen la cosechadora.....	35
2.1.2 Descripción y principio de funcionamiento de los mecanismos que llevan a cabo la cosecha de la caña.....	36
2.2 Evaluación de los criterios de análisis de criticidad.....	43
2.3 Análisis de criticidad de los subsistemas.....	47
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	

INTRODUCCIÓN

En nuestro país 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 mayorales, 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 Cuba 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 surge 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.

En Cuba con el objetivo de obtener una mayor producción de azúcar, obtener mayores resultados con menores costos y hacer más eficaz la cosecha de la caña, se importaron combinadas CASE IH serie 7000 y 7700 que fueron distribuidas por todo el país y son las que hoy llevan la delantera en el cultivo de este preciado producto. Las cosechadoras CASE IH de la serie 7000/7700

son fabricadas totalmente por CASE IH AUSTOFT, fábrica situada en Piracicaba, Sau Paulo, Brasil que se dedica a la fabricación de cosechadoras e implementos agrícolas [Case IH Austoft. Manual del Operador].

Estas combinadas han auxiliado el corte de la caña en los diferentes centrales en que han sido ubicadas, donde no existían las condiciones medioambientales necesarias para las cuales fueron diseñadas ni los camiones de tiro de caña eran lo suficientemente rápidos y numerosos para satisfacer la demanda de estas máquinas, elevándose de esta manera el índice de consumo de combustible lo que unido a las anteriores problemáticas las convirtió en poco productivas. Al incidir de manera conjunta todos estos factores se han deteriorado en tres zafras estas máquinas creando la siguiente: **Situación problemática:** Las combinadas cañeras CASE IH serie 7000 de la UEB Cristino Naranjo en Holguín durante el período de explotación han presentado roturas imprevistas afectando negativamente su operación. Atendiendo a la complejidad de estas máquinas y el gran número de subsistemas que la forman se reconoce como **Problema:** Determinar cual es el subsistema más crítico de la combinada CASE IH - 7000 para su posterior estudio de Confiabilidad Operacional.

El **Objeto de investigación** está centrado en los subsistemas de la combinada cañera CASE IH serie 7000 y el **Campo de investigación** lo constituye el análisis de criticidad de los subsistemas de la combinada cañera marca CASE IH serie 7000.

Según lo planteado como problema, objeto y campo de investigación se puede formular la siguiente **Hipótesis:** Al realizar un análisis de criticidad a la Combinada cañera CASE IH – 7000 y determinar cuales son los subsistemas más críticos entonces se reducirán en cierta medida los fallos ocurridos en ella al focalizar los recursos a los subsistemas donde sea de mayor necesidad e importancia la toma de una solución acertada.

De acuerdo con la hipótesis planteada el **Objetivo de la investigación** es determinar cual es el subsistema de mayor criticidad de la combinada cañera CASE IH – 7000.

El presente trabajo de investigación es de gran **Actualidad**, pues al determinar cual es el subsistema de mayor criticidad de la combinada cañera se establecerá una prioridad para la correcta realización de las tareas de mantenimiento correspondientes, lo que permitirá que el próximo período de zafra 2009 – 2010 se pueda realizar satisfactoriamente, ocurran menos afectaciones en la cosecha de la caña y se reduzcan al máximo las paradas imprevistas de la máquina debido su mal estado técnico.

En este trabajo de investigación la **Aplicabilidad** es de suma importancia, ya que con los resultados obtenidos los encargados del mantenimiento de las combinadas tendrán una jerarquía de subsistemas que les permita centrar la mayor atención y los mayores recursos donde sea más necesario e imprescindible el mantenimiento, disminuyendo así el tiempo de revisión a subconjuntos cuya pérdida de funcionalidad en el momento que ocurra el fallo no ocasione grandes peligros para el operario, el estado técnico de la máquina ni pérdidas al corte de caña, además su política de mantenimiento puede pasar a correctiva atendiendo a estos indicadores y bajo el previo análisis del personal encargado. Su **Novedad** radica en que se aplica a la maquinaria agrícola una metodología utilizada en fabricas, plantas e instalaciones complejas con el fin de subdividir elementos y secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable, además por primera vez se establece una jerarquía en los subsistemas de la combinada cañera CASE IH – 7000 que facilite realizar un posterior estudio de Confiabilidad Operacional y de esta manera determinar si la causa del mal comportamiento de estas máquinas en el campo está asociado con un tiempo entre servicios (T.S.) muy extenso para condiciones medioambientales cubanas.

Como parte de la **Organización de la investigación** se realizaron varias visitas a la UEB Cristino Naranjo en Holguín, la cual cuenta con un parque de siete combinadas para llevar a cabo el corte de la caña, tres KTP – 2M y cuatro CASE IH – 7000 las que constituyen el objeto de estudio principal para el presente trabajo. De estas cuatro combinadas se recogieron en varias visitas indistintamente realizadas los datos de los fallos ocasionados en el presente período de zafra. Para la consulta de los datos técnicos de la máquina se

realizaron entrevistas con los representantes a nivel provincial y nacional de las CASE que colaboraron en gran medida con la información solicitada.

Las **Tareas de Investigación** son las siguientes:

- 1 - Realizar una revisión bibliográfica de los antecedentes y conceptos fundamentales de confiabilidad operacional y análisis de criticidad.
- 2 - Desarrollar una descripción técnico operativa de la combinada cañera CASE IH – serie 7000 y de los subsistemas que la forman.
- 3 - Realizar un análisis de criticidad a la combinada cañera CASE IH - 7000.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES.

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 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

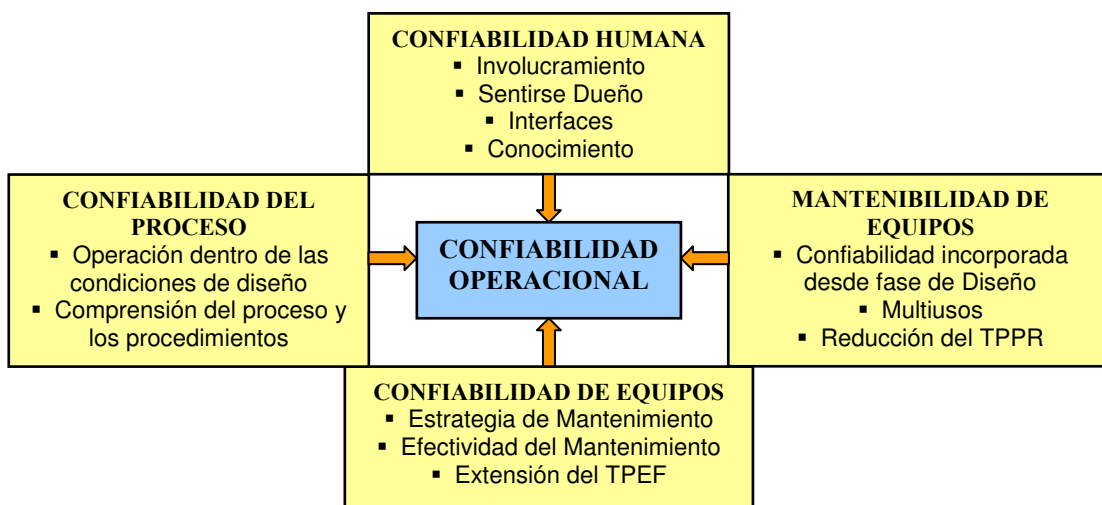


Figura 1.1 Parámetros que determinan la Confiabilidad Operacional.

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

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].

1.1.1 Confiabilidad o fiabilidad

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

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

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

Parra (2004) plantea que *la confiabilidad* se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio operativo (TPO – tiempo promedio operativo). Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el TPO de un equipo disminuya, la Confiabilidad del mismo será menor y *se define como la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período determinado.*

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

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

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

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

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

Lo primero que hay que destacar como novedoso del término es su carácter cualitativo, *la confiabilidad no se mide* directamente sino a través de las características que la configuran: la fiabilidad, la mantenibilidad y el soporte logístico, para las que sí que existen parámetros y técnicas de medida. Este enfoque que se da a la confiabilidad le abre un campo enorme de actividad, ya que permite integrar aspectos que hasta entonces no se habían contemplado de forma sistemática en el diseño, producción y explotación de los sistemas como son los relacionados con: costes, seguridad y factores humanos [Zaldivar, 2007].

Según lo referenciado anteriormente y producto a estos nuevos cambios ya sabemos a que nos referimos en la actualidad cuando hablamos de confiabilidad la que se define como un término colectivo, que se utiliza para describir *las características de disponibilidad de un sistema y los factores que le afectan como son las características de fiabilidad*, las características de mantenibilidad y las características de soporte logístico, por lo que solamente al

hablar de fiabilidad no estamos ablando de confiabilidad es necesario ver otros factores que se estaban dejando fuera de gran importancia en el mantenimiento del equipo.

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

1.1.2 Características de fiabilidad

La fiabilidad es el estudio de la longevidad y el fallo de los equipos donde para la investigación de las causas por las que los dispositivos envejecen y fallan, se aplican principios científicos y matemáticos [Nachlas, 1995]. Como vimos anteriormente la fiabilidad es una propiedad compleja de un sistema que permite realizar su función preestablecida y conservar sus parámetros técnicos dentro de los valores límites para un período, condiciones y régimen de explotación conocido. Esta propiedad compleja está compuesta por 4 propiedades:

1. Funcionabilidad
2. Durabilidad
3. Mantenibilidad (Reparabilidad)
4. Conservabilidad

Funcionabilidad: capacidad inherente de un sistema para realizar una función requerida, con requisitos especificados para determinadas condiciones operativas

Durabilidad: Propiedad del objeto de conservar su capacidad de trabajo hasta su estado límite, preestablecido un sistema de Servicios Técnicos.

Mantenibilidad: Capacidad del objeto de permitir, prevenir y descubrir las causas que provocan un fallo total o parcial, y además de mantener o restablecer la capacidad de trabajo al ejecutar un servicio técnico.

Conservabilidad: Propiedad del objeto de conservar los valores de sus parámetros técnicos de Funcionalidad, Durabilidad y Mantenibilidad en el transcurso y después de su almacenamiento y transportación.

Para poder obtener una valoración cuantitativa de las máquinas es necesaria la ayuda que nos ofrecen los índices de fiabilidad, pueden ser calculados en base al análisis de los datos de explotación o de los datos obtenidos en bancos de pruebas aceleradas, determinando las características límites de los materiales y piezas que componen las máquinas.

Estos índices se subdividen en simples y complejos; los primeros corresponden a una de las propiedades y los segundos se refieren a varias propiedades del objeto técnico, los cuales se establecen en las normas de calidad y fiabilidad de las máquinas agrícolas [Daquinta, 2004].

ÍNDICES SIMPLES DE FIABILIDAD

- Índice de *funcionabilidad*

- Probabilidad de trabajo sin fallos $P(t)$ $P(t)=N(t)/N(0)$ (1.1)

$N(0)$: Número de objetos a ensayar, todos en el instante $t = 0$ tienen la capacidad de trabajo

$N(t)$: Número de objetos que en el instante t tienen capacidad de trabajo

- Probabilidad de ocurrencia del fallo $F(t)$ $F(t)= 1-P(t)$ (1.2)

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

Para los sistemas *NO REPARABLES*

- Tiempo de trabajo medio hasta el fallo (t_0)
$$t_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N(0)} t_i}{N(0)} \quad (1.3)$$

- Intensidad de fallos ($\lambda(t)$)
$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{med}(\Delta t) * \Delta t} \quad (1.4)$$

Donde

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

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

Para los sistemas *REPARABLES*

- flujo de fallos ($w(t)$)
$$w(t) = \frac{n(\Delta t)}{N(0) * \Delta t} \quad (1.5)$$

Donde

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

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

- Índice de *durabilidad*

- Vida útil (Recurso) Media
$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (1.6)$$

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

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

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

$$T(\gamma) = \bar{t} - 0.01 P_\gamma S \quad (1.7)$$

Donde:

\bar{t} – vida útil media

P_γ – percentil de la distribución para una probabilidad γ establecida

S – Desviación estándar

- Índice de *reparabilidad*

- Tiempo Medio de Reparación
$$T_{MR} = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} t_i}{N_r} \quad (1.8)$$

- Índice de *conservabilidad*

- Tiempo Medio de Conservación
$$T_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} t_i}{N_c} \quad (1.9)$$

ÍNDICES COMPLEJOS DE FIABILIDAD

- Coeficiente de Disponibilidad
$$K_d = \frac{T_{tr}}{T_{tr} + T_f} \quad (1.10)$$

Donde:

T_{tr} – tiempo que trabajó el sistema en el período analizado

T_f – tiempo que estuvo en estado de fallo el sistema

- Coeficiente de Utilización Técnica
$$CDT = \frac{TD}{TD + TI} \quad (1.11)$$

Donde:

TD – tiempo que el sistema esta disponible para ser operado. El sistema se encuentra en completo estado de funcionabilidad

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

$$TI = T_p + T_f \quad (1.12)$$

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

1.1.3 Características de mantenibilidad

La mantenibilidad es una propiedad de la fiabilidad y está asociada a la facilidad para la ejecución de las tareas de mantenimiento, de esta manera es definida por diversos autores, Cabrera (2003) la define como la probabilidad de que el activo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir sus funciones en un tiempo dado, luego de la aparición de un fallo y cuando las tareas de mantenimiento se realizan en las condiciones, con los medios y procedimientos preestablecidos.

Aunque la mantenibilidad es un concepto asociado a la ejecución de las tareas de mantenimiento, es una función del diseño del activo, el que debe tener en cuenta factores tales como la accesibilidad, la modularidad, la estandarización y las facilidades para el diagnóstico. Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con las herramientas y el personal adecuadamente preparado, los materiales y los procedimientos preestablecidos, el tiempo de reparación dependerá de la naturaleza del fallo y de las características de diseño anteriormente mencionadas [Cabrera, 2003].

Una de las creencias comunes es que la mantenibilidad es simplemente la capacidad de llegar a un componente para reemplazarlo o realizarle un servicio técnico. Sin embargo, eso es solo un pequeño aspecto, en realidad la mantenibilidad es una dimensión de la fabricación del sistema y una apolítica de gestión del mantenimiento del sistema. Por ejemplo, podría requerirse al diseñador que solo se acepten tres tornillos en un determinado panel de separación para acceder rápidamente a su interior. Sin embargo se podrían tolerar muchos tornillos y conectores, y no disponer de un rápido acceso al componente, pero todo ello debe ser sobrepesado frente al coste y la eficacia operativa del sistema [Knezevic, 1996].

Según la norma (UNE 200001-3-4:1999) los requisitos de mantenibilidad pueden ser cualitativos o cuantitativos. Cuando se especifiquen los requisitos cuantitativos es importante especificar cuanto tiempo se espera que esté un elemento en un estado no operativo debido a mantenimiento o logística de mantenimiento. Este tiempo tiene que especificarse en términos de medidas apropiadas tales como la media o el fractil del tiempo de reparación y del tiempo de retraso. Cuando se especifiquen requisitos cualitativos, es necesario especificar el grado de conformidad de un elemento a las condiciones especificadas y las restricciones relacionadas con el mantenimiento.

La especificación de la mantenibilidad deberá detallar los requisitos y el método a seguir para lograrlos. También deberá incluir una definición precisa de los términos usados en la especificación con referencia a vocabularios normalizados cuando proceda.

La verificación de la mantenibilidad es el proceso de determinar que se han cumplido los requisitos de la especificación sus métodos y procedimientos deberán especificarse junto con los requisitos de mantenibilidad y pueden ir desde la entrega por el suministrador de datos o información apropiada hasta la exigencia de desarrollar una demostración especial de mantenibilidad.

La verificación de la mantenibilidad deberá considerarse como un proceso continuo, los datos relacionados con mantenibilidad deberán generarse, recogerse y evaluarse a medida que estén disponibles y los resultados deberán compararse constantemente con los requisitos especificados de mantenibilidad.

1.1.4 Características de disponibilidad

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un elemento. Es una medida extremadamente importante y útil en casos en lo que el usuario tiene que tomar decisiones con respecto a la adquisición de un elemento entre varias posibilidades alternativas por ello es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas que suministren una imagen más completa sobre el perfil de funcionabilidad [Knezevic, 1996].

La disponibilidad está asociada con la aptitud del activo para cumplir sus funciones, Cabrera (2003) la define como la probabilidad de que el activo se encuentre en condiciones de cumplir sus funciones en cualquier instante. Su interpretación puede darse como la relación entre el tiempo en que el activo está disponible para ser utilizado y el tiempo total, es decir:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Suma de todos los tiempos en los que el activo está disponible para ser utilizado.}}{\text{Suma de todos los tiempos en los que el activo está disponible para ser utilizado} + \text{Suma de todos los tiempos en los que el activo está fuera de servicio por mantenimiento}}$$

Según la norma (UNE 200001-3-4:1999) para algunos productos, tales como sistemas complejos, puede ser apropiado especificar a nivel de sistema, los requisitos de disponibilidad en vez de separar requisitos de fiabilidad y mantenibilidad. Los requisitos de disponibilidad en régimen permanente son los más usados comúnmente. Los requisitos de disponibilidad en régimen permanente pueden expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje, por ejemplo, tiempo medio de operación como porcentaje del tiempo de observación. Los requisitos de disponibilidad cubren tanto la ocurrencia del fallo como el tiempo de inactividad.

Una nota presente en la norma referenciada explica que es importante no sobre-especificar los requisitos. No es necesario ni deseable especificar todas las características de confiabilidad (disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad). Dos de las tres son suficientes. Por otra parte, a menudo, es insuficiente especificar solo disponibilidad, debiéndose especificar también una medida de fiabilidad tal como la intensidad de fallo en los sistemas no reparables y el flujo de fallos para los reparables.

Al igual que la mantenibilidad posee requisitos cualitativos y cuantitativos. Cuando se especifican los requisitos cuantitativos de disponibilidad, es normal acumular los tiempos de inactividad ocurridos durante un cierto período de tiempo (por ejemplo un mes o un año). Si parte del tiempo de inactividad de un

sistema se excluye de la responsabilidad del suministrador (demoras logísticas o administrativas) esto deberá indicarse en la especificación junto con una relación de los valores de tiempos implicados.

Los requisitos cualitativos de disponibilidad deberán solamente especificarse si los requisitos cuantitativos no especifican la disponibilidad del elemento con suficiente precisión. Por ejemplo, si el tiempo de inactividad, bajo ciertas condiciones de operación, es más crítico.

La disponibilidad puede ser expresada como la proporción de tiempo que un activo se encuentra apto para cumplir sus funciones en un contexto operacional dado, con respecto al tiempo en que debió haber cumplido tales funciones y no lo hizo, a este último lapso se le conoce como indisponibilidad [Cabrera, 2003].

1.1.5 Características de la logística de mantenimiento

Según la norma (UNE 20654-4:2002) para la determinación de la logística de mantenimiento deberán identificarse, definirse, especificarse, adquirirse y verificarse los recursos que permitan la consecución de los requisitos operativos de una manera segura y rentable. Las tareas específicas que se realizan de forma iterativa a lo largo del ciclo de adquisición y su selección, alcance e intensidad para una aplicación en particular variarán con las necesidades y restricciones del programa. Se identificarán los requisitos de los recursos de logística de mantenimiento asociados con las diversas soluciones propuestas y se irán refinando según vaya progresando el desarrollo del equipo o sistema. Estas actividades estarán coordinadas estrechamente para evitar la duplicación de esfuerzos y asegurar la disponibilidad oportuna de los datos de entrada requeridos.

Las especificaciones de la logística de mantenimiento pueden ser proporcionadas parcial o completamente por el fabricante del equipo y en muchos casos el cliente incluyendo el usuario. Los requisitos cuantitativos deberán especificarse de un modo cuando sea posible. Ejemplos de tales especificaciones cuantitativas son retraso medio administrativo: retraso medio logístico y probabilidad de falta de repuestos. Cuando los requisitos no pueden

especificarse cuantitativamente, deberá utilizarse requisitos cualitativos complementarios, como especificaciones del nivel de información y cualificación, perfil del personal de mantenimiento o requisitos de las instalaciones del taller y herramientas disponibles.

1.1.6 Confiabilidad de un Sistema. Sistemas en serie y paralelo

Un equipo pesado, es un sistema complejo formado por decenas de subsistemas, operando simultáneamente, tales como: motor diesel, transmisión, sistema hidráulico, sistema neumático, sistema eléctrico, sistema de control, entre otros, los cuales a su vez están formados por cientos de componentes o subsistema, donde cada uno de estos poseerá su propio patrón de fallas característico.

Es posible determinar la confiabilidad de sistemas complejos sobre la base de conocer la confiabilidad de los elementos componentes y las relaciones funcionales entre ellos según su modo de operación (serie o paralelo).

Confiabilidad de un sistema en serie

Tanto los equipos móviles, como las líneas de producción, en las Empresas de Proceso, tienen la peculiaridad, de poseer varios componentes o subsistemas operando en serie, de modo que la falla en cualquier ítem que compone el equipo o línea de producción, genera una detención del Sistema.

La confiabilidad de un Sistema en serie, compuesto por n equipos, es el producto de las confiabilidades de los distintos ítems que constituyen dicho sistema, por lo tanto, la Confiabilidad del sistema es menor o igual que la Confiabilidad de cualquier equipo que lo compone [Altmann, 2009].

Confiabilidad de un sistema en paralelo

Cuando se trata de dos elementos conectados en paralelo, para que el sistema falle ambos deben fallar. La conexión en paralelo, también es conocida como "Redundante", puede ser activa o pasiva. En la redundancia activa ambos elementos trabajan simultáneamente y uno asume el trabajo de manera parcial o total al fallar el otro. En la redundancia pasiva, un elemento está detenido a la

espera de que falle el otro, momento en el cual se pone en marcha en la forma que se haya previsto [Cabrera, 2003].

1.1.7 Métodos de Calidad en la Confiabilidad Operacional

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].

Análisis de causa Raíz (RCA)

El Análisis de Causa Raíz (RCA) (Figura 1.2) es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera tal que se pueda evitar sus consecuencias. 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.

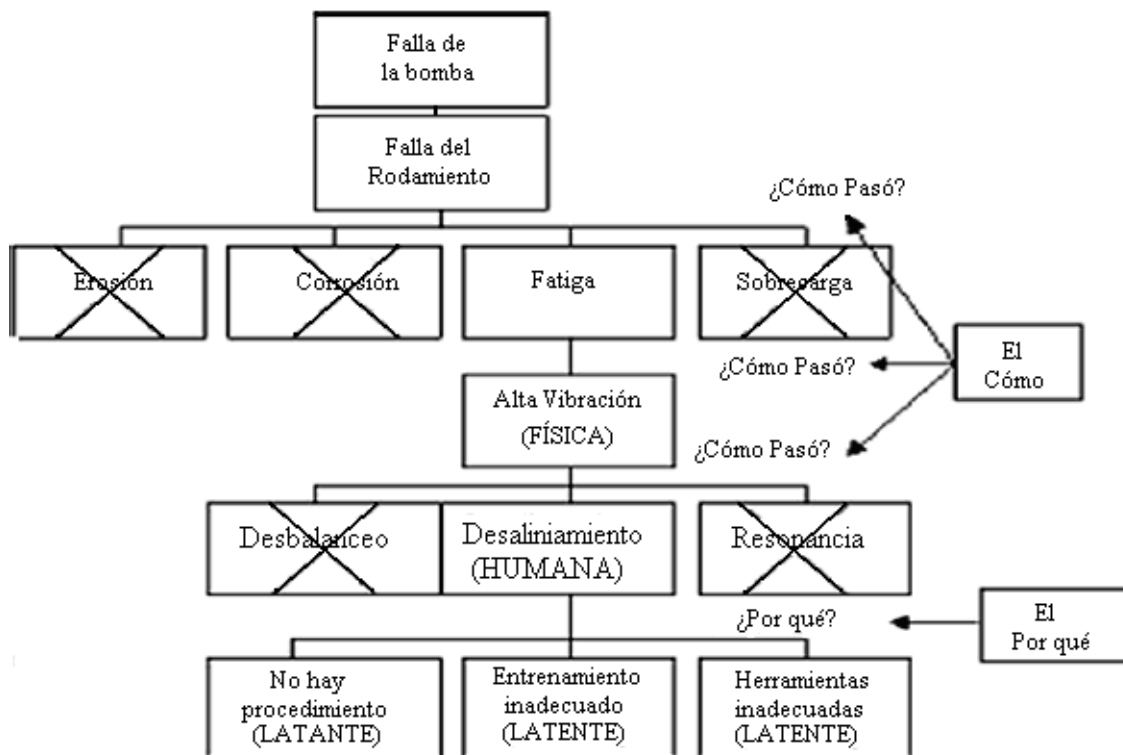


Figura 1.2 Análisis de Causa Raíz (RCA)

Diagrama de Pareto

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.

Diagrama de Ishikawa

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.

Análisis del Árbol de Fallos (FTA)

El método de Análisis del Árbol de Fallos (FTA: Fault Tree Analysis) (Figura 1.3) 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.

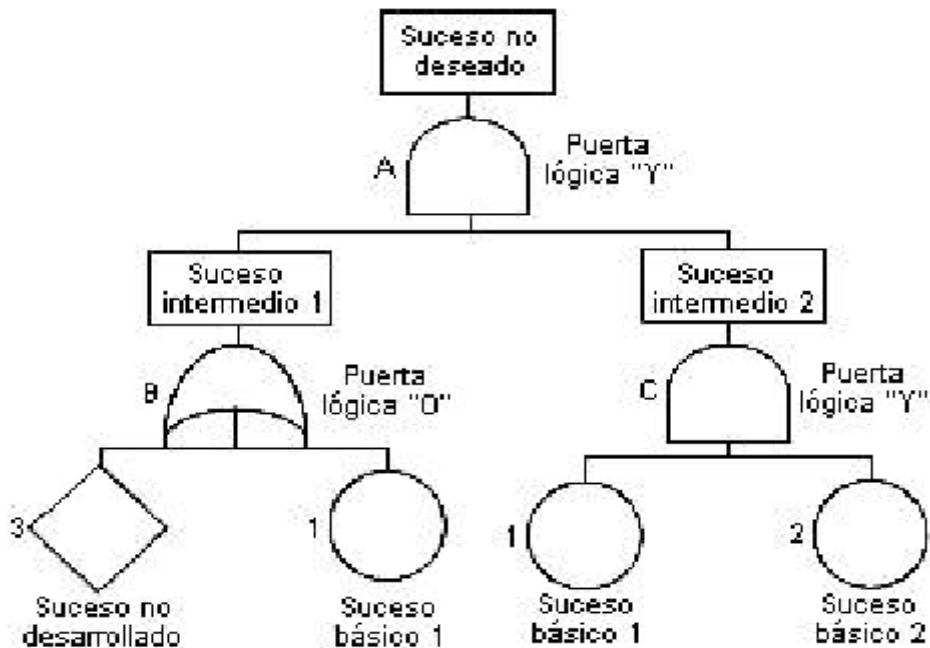


Figura 1.3 Análisis de Árbol de Fallos.

Análisis modal de falla y efecto (AMFE)

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 y utilizando los procedimientos de calidad enunciados anteriormente procede a la realización de un cuadro AMFE que tiene los siguientes campos:

- Sistema y sus funciones.
- Subsistemas y sus funciones.
- Modos de falla.
- Efectos de falla.
- Causa de falla.
- Índice de gravedad de modo de falla.
- Índice de frecuencia de fallo.
- Índice de detectabilidad de fallo.
- Índice o número de prioridad de riesgo.

Se recomienda que cuando el índice de prioridad de riesgo sea alto, ($IPR > 100$) se proceda a realizar acciones correctoras, nombrando responsables, dando plazos y verificando su cumplimiento. Las acciones correctoras son: cambio en el diseño del producto, servicio o proceso general, cambio en el proceso de fabricación e incremento del control o la inspección [Aguinaga, 2007].

Mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM)

El RCM Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance) en inglés y en español MCC, es una metodología que procura determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos en su contexto de operación. Consiste en analizar las funciones de los activos, ver cuales son sus posibles fallas, y detectar los modos de fallas o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias. A partir de la evaluación de las consecuencias es que se determinan las estrategias más adecuadas al contexto de operación, siendo exigido que no sólo sean técnicamente factibles, sino económicamente viables [Gotera, 1997].

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es un proceso desarrollado por la industria de aviación civil en la USA. Su fin primordial es ayudar al personal de mantenimiento, a determinar las mejores prácticas para garantizar la confiabilidad de las funciones de los activos físicos, y para manejar las consecuencias de sus fallas.

El RCM es un enfoque sistémico para diseñar programas que aumenten la Confiabilidad de los equipos con un mínimo de costo y riesgo; para ello combina aplicaciones técnicas de mantenimiento Autónomo, preventivo, predictivo y Proactivo, mediante estrategias justificadas técnica y económicamente. La información almacenada en las hojas de trabajo del RCM minimiza los efectos de rotación del personal y de falta de experiencia.

De acuerdo con la norma SAE – JA 1011 editada en agosto de 1999, un programa de RCM debe asegurar que las siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada:

1. ¿Cuáles son las funciones asociadas al activo en su actual contexto operacional (funciones)?
2. ¿De qué manera puede no satisfacer sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de fallo)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurren las diferentes fallas (efectos de las fallas)?
5. ¿De qué manera afecta cada tipo de fallas (consecuencia de las fallas)?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir / predecir cada falla (tareas probables e intervalo de las tareas)?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada (acciones preestablecidas)?

El resultado de cada análisis de RCM, de un equipo, es una lista de responsabilidades de mantenimiento que permiten aumentar la Confiabilidad y rendimiento operativo del equipo, con un alto nivel de eficiencia en costos [García, 2003].

El RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos: consecuencias de las fallas no evidentes, consecuencias en la seguridad y el medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias que no son operacionales. Con esta clasificación se procede a utilizar un árbol de decisión para establecer las estrategias y detallar las tareas de mantenimiento que servirán conjuntamente con la respectiva logística para determinar la planificación, programación y control del mantenimiento Industrial [Aguinaga, 2007].

El RCM es una herramienta de gestión del mantenimiento, que permite maximizar la confiabilidad operacional de un sistema, a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento en función de la importancia y criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema [Amendola, 2002].

El método RCM es útil para tomar decisiones sobre si se necesita o no un mantenimiento preventivo, o sobre si se basará en el tiempo o en la condición. Por consiguiente, este método es muy valioso en la determinación del tipo adecuado de mantenimiento preventivo, pero no puede usarse como herramienta para decidir intervalos óptimos. En sí, el proceso RCM no contiene ningún método básicamente nuevo, es más bien una manera más estructurada de usar lo mejor de varios métodos y disciplinas [Knezevic, 1996].

1.1.8 ¿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.

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].

1.2 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 1.4 muestra el estilo de agrupación típica de una instalación, donde se observa que la jerarquía de los activos la constituyen grupos consecutivos [Mendoza, 2001].

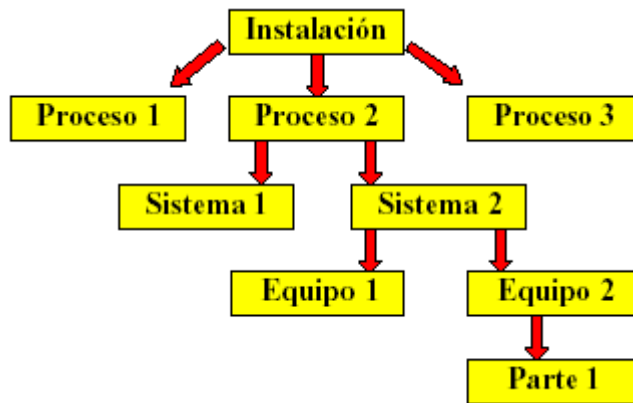


Figura 1.4 Agrupación típica de instalaciones.

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 descendamos por la jerarquía, crecerá el número de elementos a ser considerados.

- ¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro?
- ¿Que 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 están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, frecuencia de fallas y tiempo promedio para reparar principalmente. 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:

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Donde la frecuencia esta 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].

1.2.1 ¿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

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].

1.2.2 Sus áreas de Aplicación

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 optimo 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.

1.2.3 Criticidad del fallo de un equipo. Método a utilizar

Para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo deben considerarse dos aspectos: su probabilidad de aparición y su severidad. La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad del impacto que ese fallo puede provocar sobre la instalación.

Si no se dispone de una base de datos fiable y eficiente para el cálculo de las probabilidades mencionadas, se puede considerar como criterio único para catalogar la criticidad de los fallos de los equipos su impacto sobre la función o funciones definidas para el sistema objeto de análisis, si bien conviene establecer las medidas adecuadas para, en un futuro, se pudiera disponer de la información relativa al término de probabilidad [ANANTA, 2009].

Según lo expuesto anteriormente, resulta conveniente subdividir el sistema objeto de evaluación en varios subsistemas claramente delimitados para facilitar su análisis. Estos subsistemas, que se analizarán como si se tratase de sistemas principales, se caracterizarán por desarrollar una función específica

en el sistema considerado y estarán constituidos por unos determinados componentes o equipos.


El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema consiste en la determinación, en primer lugar, de las funciones que debe realizar el sistema considerado dentro del conjunto de la instalación, así como de sus fallos funcionales asociados. Para cada uno de estos fallos funcionales, se identificarán aquellos componentes cuyo fallo da lugar al fallo funcional en estudio, provocando efectos negativos en la instalación. A estos componentes se les denomina “componentes críticos” [ANANTA, 2009].

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 cual 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 tabla 1.1 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).

Tabla 1.1 Encuesta para el análisis de criticidad

 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 Falle (Peso)	Impacto Producción (Peso)	TPPR (Peso)	Costo de Reparación (Peso)	Impacto Seguridad (Peso)	Impacto Ambiente (Peso)	Criticidad
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

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, donde basados en la fórmula 1.13 que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, estimará un valor para cada sistema.

$$\text{Fórmula de Criticidad} = \{(\text{Nivel Prod.} \cdot \text{TPPR} \cdot \text{Imp. Prod.}) + \text{Costo Rep.} + \text{Imp. Seg.} + \text{Imp. Amb.}\} \cdot \text{Frec. Falla} \quad (1.13)$$

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 como se muestra a continuación en la figura 1.5

En la tabla 1.2 se muestra un estándar PDVSA, para dar la puntuación a cada uno de los criterios empleados en el análisis de criticidad.

Tabla 1.2 Criterio de evaluación de criticidades

		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 (TPPR)				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	

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 tabla 1.1 para indicar las tres zonas que caracterizan un análisis de criticidad.

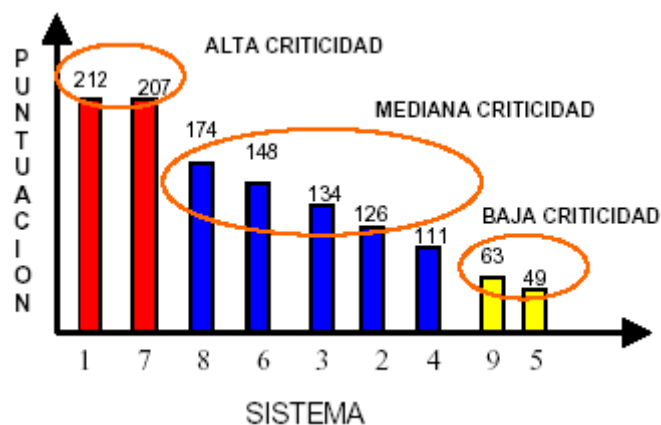


Figura 1.5 Gráficos de resultados de un análisis de criticidad

El uso del análisis de criticidad permite la toma de decisiones acertadas y adicionalmente se encuentran otros beneficios por redireccionar 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].

CAPÍTULO II. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS SUBSISTEMAS DE LA COMBINADA CAÑERA CASE IH SERIE - 7000.

2.1 Cosechadora de caña CASE IH serie 7000

La cosechadora de caña CASE – 7000 es fabricada por CASE IH AUSTOFT en Brasil, presenta 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.

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 (20km/hr), los neumáticos delanteros son pequeños con el objetivo de aminorar el peso y no obstaculizar los mecanismos de corte en el caso giros de la cosechadora, y los de mayor dimensión en la parte trasera para sostener el peso del equipo y permitir el movimiento del mismo, 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, lo que se tuvo en cuenta a la hora de su fabricación.

El sistema de transmisión es completamente hidráulico, posee en este circuito dos bombas de 4800 psi de presión cada una 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.

El sistema de frenos es individual en cada neumático trasero para ayudar con giros en condiciones difíciles y pulsando los dos a la vez para paradas comunes y firmes. Esta serie 7000 de cosechadoras presenta un sistema corta cohollo 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, esta cosechadora presenta un sistema de controlador Auto Tracker que ajusta la altura de corte según las irregularidades del terreno, este controlador comanda la suspensión de acuerdo con el límite de presión y altura de trabajo escogido por el operador en función de la densidad de la caña, su funcionamiento consiste en variar el flujo y la presión de aceite al amortiguador para levantar y bajar la máquina según las condiciones del suelo registradas por los sensores. La cabina de esta cosechadora se puede inclinar a la izquierda permitiendo el acceso a la caja del motor y también para realizar varias funciones de mantenimiento en el campo, para dicha operación los mandos se encuentran debajo de la cabina y su inclinación es por medio de sistemas hidráulicos. 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.

El motor de la cosechadora CASE IH serie 7000 es un SCANIA DS11 del tipo DS11 95A de 6 cilindros de 127 mm de diámetro con una potencia de 332 HP y un número de revoluciones mínimas entre 500/700 y máximas de 1200 rpm [Case IH Austoft. Entrenamiento de servicio].

2.1.1 Subsistemas que componen la cosechadora

La cosechadora de caña CASE IH serie 7000 está constituida generalmente por circuitos hidráulicos comandados por circuitos eléctricos que conjuntamente con los sensores mantienen el mando y control estricto de cada acción llevada a cabo por la máquina. Estas acciones son ejecutadas por componentes mecánicos o subsistemas que muestra a continuación en la figura 2.1

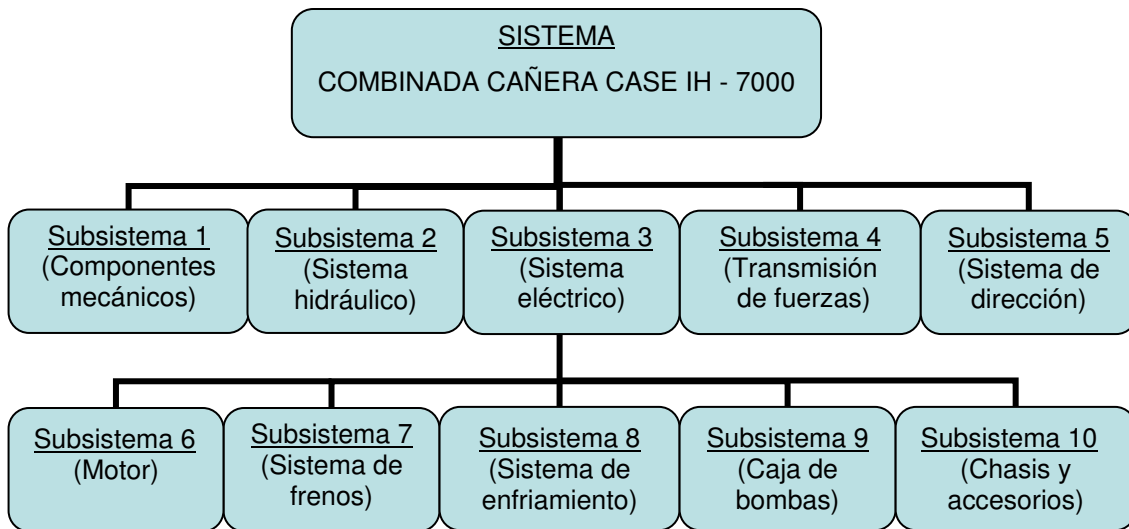


Figura 2.1 Representación gráfica de los subsistemas de la combinada cañera CASE IH – 7000.

Partiendo de la combinada como sistema, reconocemos que está formada por varios subsistemas en los que encontramos 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.

De este modo comienza toda una independización de componentes quedando formada toda una estructura desde el más complejo hasta el más simple de los conjuntos, lo que es de gran importancia para realizar un análisis de criticidad a la máquina donde se obtiene como resultado una jerarquía de activos que facilita en gran medida un posterior estudio de Confiabilidad Operacional por subsistemas priorizando aquellos de mayor criticidad.

2.1.2 Descripción y principio de funcionamiento de los mecanismos que llevan a cabo la cosecha de la caña

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 combinada CASE IH - 7000. Figura 2.2

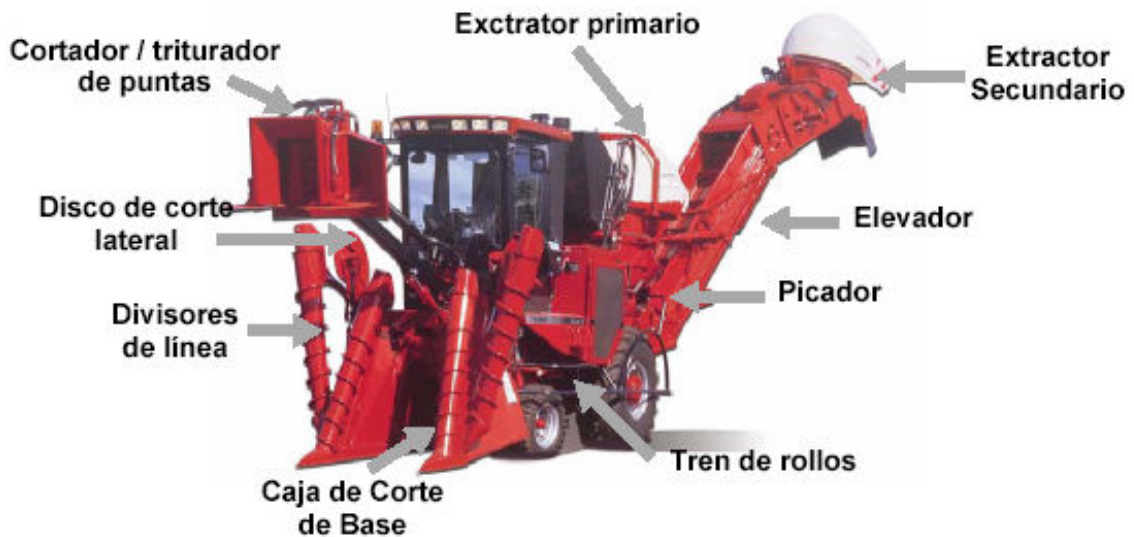


Figura. 2.2 Ubicación de los mecanismos para la cosecha de la caña [Case IH Austoft. Componentes mecánicos].

Estos mecanismos de corte, limpieza y trasiego son con los que cuenta la máquina para llevar a cabo el proceso de cosecha de la caña, cada uno de estos sistemas presenta un principio de funcionamiento y una serie de componentes que lo forman, donde encontramos el cortador / triturador de puntas, disco de corte lateral, divisores de línea, caja de corte de base, tren de rollos, picador, elevador, extractor primario y secundario.

Cortador de puntas

Se encarga de cortar las puntas en un único pedazo tirándolo para los lados y su altura de corte es controlada por el operario. Está compuesto por un chasis robusto en el cual están armados dos tambores reunidores, accionados individualmente por motores Orbitales como se muestra en la figura 2.3



Figura 2.3 Cortador de puntas estándar de corte simple.

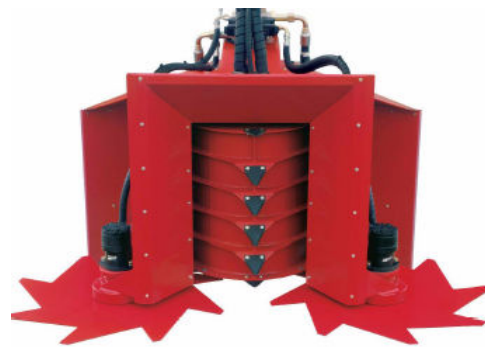


Figura 2.4 Cortador y triturador de puntas.

Triturador de puntas

Corta las puntas de la caña en pedazos menores de 100 mm y los tira para los lados y la altura de corte es controlada por el operador. Presenta el sistema del cortador de puntas además de un tambor de 24 láminas está armado entre los discos reunidores y 10 láminas son atornilladas en la carcaza (5 de cada lado) donde actúan las láminas del tambor del cortador de puntas. Figura 2.4

Discos de corte lateral

Estos discos auxilian en la cosecha de caña verde, enredada y alojada separando los tallos de las hileras vecinas y la línea de corte del camino lateral. Su funcionamiento consiste en un disco circular con 8 láminas atornilladas y accionadas por un motor orbital. Los discos de corte lateral se podrán levantar y bajar manualmente o hidráulicamente por mandos en la cabina (Opcional). Además se utilizan para plantaciones muy densas, y se arman del lado externo de cada divisor de línea. Figura 2.5



Figura 2.5 Disco de corte lateral.



Figura 2.6 Divisores de línea.

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 2.6

Caja de corte de base

La caja de corte de base está formada por un conjunto de rollos y dispositivos (Ver anexo 1), los cuales presentan las siguientes funciones: el rollo volador es regulado 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 2.7



Figura 2.7 Cortador de base

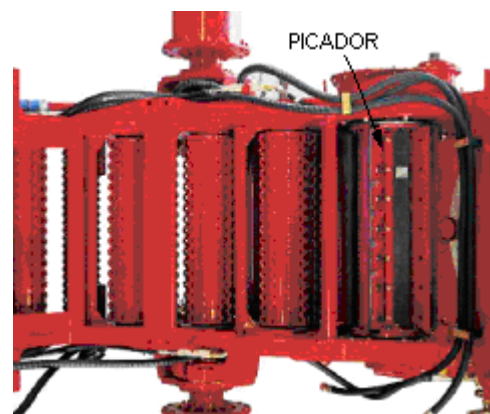


Figura 2.8 Rollos alimentadores.

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 2.8

Picador

El picador está formado por rollos giratorios equipados con láminas que cortan la caña en pedazos. Ver figura 2.9 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 2.9 a) Picador.

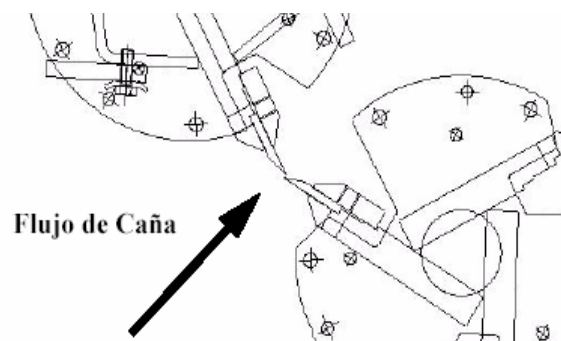


Figura 2.9 b) Picador.

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 2.10 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 por mandos controlados por el operario y se encarga de expulsar la suciedad para afuera del transportador y otras áreas. Figura 2.10 b)



Figura 2.10 a) Extractor primario.



Figura 2.10 b) Gorro del extractor primario.

Elevador

Es el que se encarga de conducir los pedazos de caña para la tolva, siendo este movimiento controlado por el operador. Figura 2.11 El elevador posee un vano libre elevado para minimizar daños que podrán ser causados por los contenedores de caña que entren en contacto con la parte inferior del elevador. 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.

El mecanismo de giro del elevador consiste en dos cilindros opuestos fijados en el chasis principal y en la cuna del elevador por medio de brazos de conexión directos. Los dos cilindros operan en el sentido tirar/empujar y girar la

cuna en un ángulo de 160° para permitir que la máquina pueda operar con corte en una cara, este accionamiento es realizado por motores orbitales Charlynn armados en cada lado, reversibles para permitir el desbloqueo. El conjunto oscilante está sujeto al chasis principal a través de 2 guías de la articulación sujetas por anillos de bloqueo.



Figura 2.11 Elevador.



Figura 2.12 Flap.

Este elevador presenta un accesorio llamado flap que es usado para distribuir los pedazos de caña por igual en la tolva y su posición es controlada por el operador. Figura 2.12

Extractor secundario

El extractor secundario se encarga de producir fuertes corrientes de aire, retirando impurezas de los pedazos de caña, en cuanto estos caen en la tolva. El conjunto del ventilador extractor consiste en un rodamiento cilíndrico en el cual se arman tres láminas curvas. El soporte del ventilador secundario tiene un diámetro de 915mm (36"). El rodamiento se atornilla en la brida del eje, que se ensambla en dos rodamientos y es accionado por un motor Comercial M50 - 1 1/2".

El extractor es proyectado para tener un área de mantenimiento sobre la lámina del ventilador. Figura 2.13 a). El gorro de este extractor secundario es controlado a través de mandos por el operario y se encarga de direccionar las impurezas afuera de la tolva y otras áreas. Figura 2.13 b).



Figura 2.13 a) Extractor secundario.



Figura 2.13 b) Gorro del extractor secundario.

Todos estos son los componentes mecánicos anteriormente visto forman parte del flujo de la caña en la cosechadora CASE IH serie 7000, como se muestra a continuación en la figura 2.14

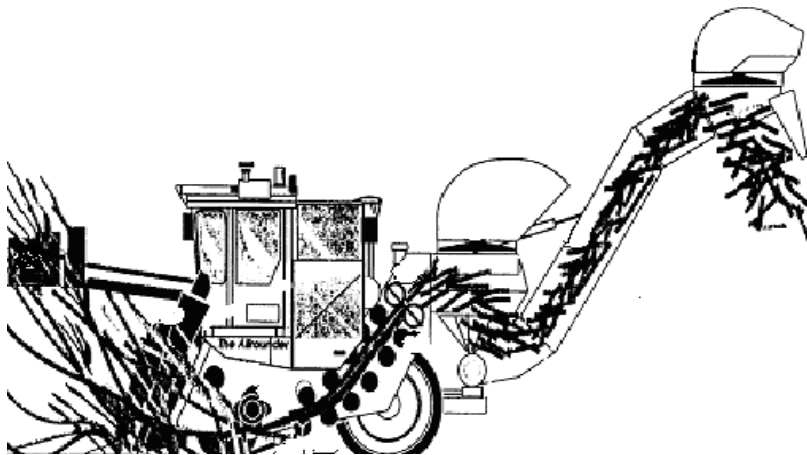


Figura 2.14 Flujo de caña en la cosechadora CASE IH - 7000 [Case IH Austoft. Componentes mecánicos].

2.2 Evaluación de los criterios de análisis de criticidad

Para emprender un análisis de criticidad se debe inicialmente identificar la instalación, planta o equipo al que se le realizará el estudio. Se deberá contar con la información requerida por manuales, especialistas y operadores del sistema en cuestión para desarrollar la descripción técnica – operativa que constituye el eslabón inicial y fundamental. Luego la división del sistema en subsistemas propiamente ajustados y según los intereses perseguidos constituye el próximo paso a seguir.

Como vimos en el capítulo anterior desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como el producto de frecuencia por consecuencia donde: la frecuencia esta asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está referida con: frecuencia de falla, nivel de producción, tiempo promedio para reparar, costo de reparación e impacto en la producción, seguridad personal y medio ambiente.

Todos estos criterios responden a los intereses de la metodología que se aplica, la cual cuenta con modelos estándar de encuestas que se elaboraron para establecer la criticidad de cualquier sistema como lo indica su autor en el capítulo anterior. Al ajustar este modelo para la maquinaria agrícola específicamente para la combinada cañera CASE IH – 7000 fue necesario recoger los datos de fallos y de la frecuencia en que estos ocurrían como se muestra en la tabla 2.1. Estos fallos se agruparon por subsistemas y se le dio la puntuación que se asigna en el modelo según el intervalo de frecuencia dado.

Tabla 2.1 Principales fallos en la presente zafra 2008 -2009.

No	Subsistemas	Principales Fallas	Frecuencia total de fallo
1	Componentes Mecánicos	Piñón, Buje y coupling estriado de la caja de engranes del picador	29
2	Sistema Hidráulico	Correas y mangueras	41
3	Sistema Eléctrico	Circuito y Alternador	12
4	Sistema de Transmisión de Fuerzas	Llanta trasera y neumáticos delanteros	23
5	Sistema de Dirección	-	-
6	Sistema Motor	Aspa de ventilador, rodamiento y sello de la bomba de agua	21
7	Sistema de Frenos	-	-
8	Sistema de Enfriamiento de aceite, agua y aire	-	-
9	Sistema de Bombas Hidráulicas	Bloque de bombas y sellos	12
10	Chasis y Accesorios	Censores y Amplificadores de señal	2

Siguiendo la metodología indicada se recogió el nivel de producción afectado, debido a la rotura de cada subsistema, atendiendo al tiempo que estuvo la máquina sin trabajar y las toneladas que no se cortaron producto a la falla, se obtuvo el impacto en la producción que provoca el fallo, al que se le asignó el puntaje correspondiente. El tiempo promedio para reparar se obtuvo a partir del tiempo consumido en reparar la falla o sea el tiempo que el equipo estuvo fuera de servicio, el cual se agrupó en cada subsistema y se obtuvo el valor correspondiente según el intervalo de horas especificado.

Para el impacto en la producción se tuvo en cuenta el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla, el que puede ser total, que varíe en un porcentaje determinado o que no afecte, para ello se tuvo en cuenta que la jornada de trabajo de estas combinadas es de 20 horas diarias y su producción es de 725 Ton/día, por lo que al conocer que cada tonelada de caña cortada importa \$ 6.85 (MN) se obtiene que cada hora de trabajo perdida en estas cosechadoras reporta una pérdida de \$ 247.97 (MN) la que al evaluarla con el tiempo que estuvo cada subconjunto fuera de servicio refleja el impacto a la producción que genera.

Para los costos de reparación fue necesario obtener los precios totales de la labor, materiales y el listado de precios de cada pieza utilizada como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Precios de las principales piezas utilizadas

Pieza	Precio (CUC)	Pieza	Precio (CUC)
Piñón de la caja de engranes	317	Rodamiento de la bomba de agua	12.5
Buje de la caja de engranes	2.6	Sello de la bomba de agua	4.5
Couplin estriado	384	Árbol de la caja de Bombas hidráulica	396
Correas	186	Sello de la bomba hidráulica	9.34
Juego de Mangueras	2714	Censores	196
Mangueras especiales simples	60	Amplificadores de señal	186
Llanta trasera	447.02	Cuchilla del corta collo	3.64
Neumático Delantero	315	Alternador	745
Aspa Ventilador	150	Cuchilla del cortador base	26.8

Para establecer la puntuación del impacto en seguridad personal de la combinada bastó con leer el manual, remitirse a ella y constatar con los operadores si estas protecciones funcionan correctamente ya que estas máquinas son muy seguras y en su fabricación fue concebida como eslabón principal la seguridad al operador, por lo que el resultado para la puntuación correspondiente refleja que no presenta daños alguno a personas. Para la evaluación del impacto ambiental de estas máquinas se tuvo en cuenta que al poseer circuitos hidráulicos con grandes caudales y volúmenes de aceite en depósitos, hasta de 480 Lts, es de gran impacto al medio ambiente la rotura de una manguera en el campo de caña, por lo que en este criterio de evaluación tiene el máximo de puntos que asigna la metodología.

De este modo se evaluaron los criterios de análisis de criticidad para los subsistemas de la combinada cañera CASE IH – 7000 siguiendo los pasos y asignándole el peso correspondiente a cada indicador según plantea la metodología y se muestra en la tabla 2.3

Tabla 2.3 Tabla de valores para el análisis de criticidad de los subsistemas

CRITERIOS DE EVALUACIÓN			SUBSISTEMAS									
1	FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)	Puntaje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	No más de una por año	1										
	Entre 2 y 12 por año	3			X						X	X
	Entre 13 y 52 por año	4	X	X		X		X				
	Más de 52 por año (más de 1 interrupción semanal)	6										
2	NIVEL DE PRODUCCIÓN AFECTADO	Puntaje										
	De 0 a 360 Ton/día	1			X	X		X			X	X
	De 360 a 725 Ton/día	2	X	X								
3	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	Puntaje										
	Menos de 4 horas	1									X	
	Entre 4 y 8 horas	2			X	X		X				X
	Entre 9 y 24 horas	4	X	X								
	Más de 24 horas	6										
4	IMPACTO EN PRODUCCIÓN (por falla)	Puntaje										
	No afecta la producción	0,05										
	25% de impacto	0,3			X	X		X			X	
	50% de impacto	0,5	X	X								X
	75% de impacto	0,8										
	La impacta totalmente	1										

5	<i>COSTO DE REPARACIÓN (CUC)</i>	<i>Puntaje</i>										
	Menos de \$ 100	3				X						
	Entre \$ (100 Y 500)	5	X	X			X			X	X	
	Entre \$ (500 Y 1000)	10										
	Más de \$ 1000	25		X								
6	<i>IMPACTO EN SEGURIDAD PERSONAL</i>	<i>Puntaje</i>										
	SI	35										
	NO	0	X	X	X	X		X			X	X
7	<i>IMPACTO AMBIENTAL (daños a terceros)</i>	<i>Puntaje</i>										
	SI	30	X	X			X				X	
	NO	0			X	X						X
	Componentes Mecánicos											
	Sistema Hidráulico											
	Sistema Eléctrico											
	Sistema de Transmisión de Fuerzas											
	Sistema de Dirección											
	Sistema Motor											
	Sistema de Frenos											
	Sistema de Enfriamiento											
	Sistema de Bombas Hidráulicas											
	Chasis y Accesorios											

2.3 Análisis de criticidad de los subsistemas

El objetivo que se persigue en los subsistemas de la combinada cañera CASE IH serie 7000 coincide con el 80% de las necesidades donde el análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad, como es: fijar prioridades a sistemas complejos, administrar recursos escasos, crear valor y aplicar metodologías de confiabilidad operacional por lo que se decide aplicar la metodología.

Para su desarrollo se habilitó la tabla 2.4 donde se listaron los subsistemas anteriormente definidos, el orden en que aparecen no tiene ninguna relación con su nivel de criticidad dado que el objetivo que se persigue es solo obtener el resultado de cada uno de ellos. Los valores que aparecen registrados son los obtenidos a partir de los pesos asignados a cada subsistema según lo establecido en los criterios de evaluación.

La última columna corresponde con el valor de criticidad obtenido para cada subsistema basado en la fórmula de Huerta Mendoza: Criticidad = {(Nivel Prod.*TPPR*Imp. Prod.) + Costo Rep. + Imp. Seg. + Imp. Amb. } * Frec.Falla.

Tabla 2.4 Análisis de criticidad de los subsistemas

No	Subsistemas	Frecuencia de Falla	Nivel de producción	TPPR	Impacto en Producción	Costo de Reparación	Seguridad personal	Impacto Ambiental	Criticidad
1	C. Mecánicos	4	2	4	0,5	5	0	30	156
2	S. Hidráulico	4	2	4	0,5	25	0	30	236
3	S. Eléctrico	3	1	2	0,3	5	0	0	16,8
4	S. de Trans. de Fuerzas	4	1	2	0,3	3	0	0	14,4
5	S. Dirección	0	0	0	0	0	0	0	0
6	S. Motor	4	1	2	0,3	5	0	30	142,4
7	S. Frenos	0	0	0	0	0	0	0	0
8	S. de Enfriamiento	0	0	0	0	0	0	0	0
9	S. Bombas Hidráulicas.	3	1	1	0,3	5	0	30	105,9
10	Chasis y Accesorios.	3	1	2	0,5	5	0	0	18

Estos resultados se muestran en la figura 2.15 donde mediante un diagrama de barras se representa la diversidad en la puntuación de los subsistemas dando como resultado del análisis una panorámica de su criticidad.

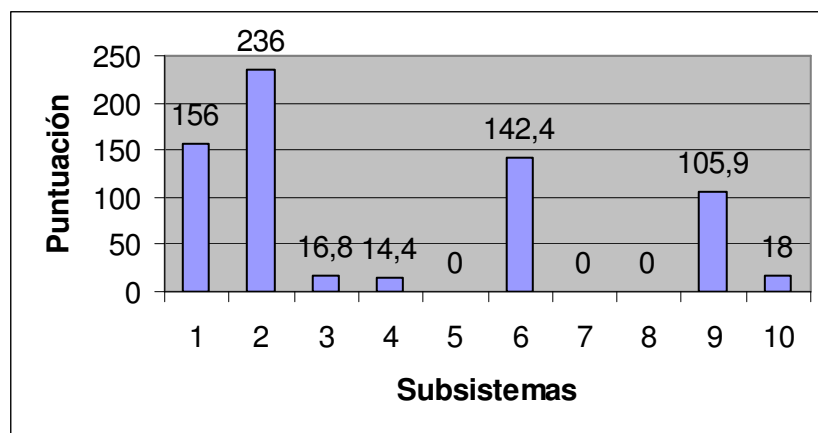


Figura 2.15 Gráfico de los valores de criticidad

En un modelo básico de análisis de criticidad como el que se ha desarrollado con establecimiento de criterios, selección de métodos de evaluación con criterios de ingeniería de ponderación, cuantificación y con el cumplimiento un

procedimiento definido como es la guía de aplicación diseñada, se obtiene una lista jerarquizada como resultado del análisis.

Para ello los valores de criticidad obtenidos en el diagrama de barras serán ordenados de mayor a menor lo cual permite de forma fácil visualizar la distribución descendente de los subsistemas evaluados y establecer tres zonas específicas: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad como se muestra en la figura 2.16

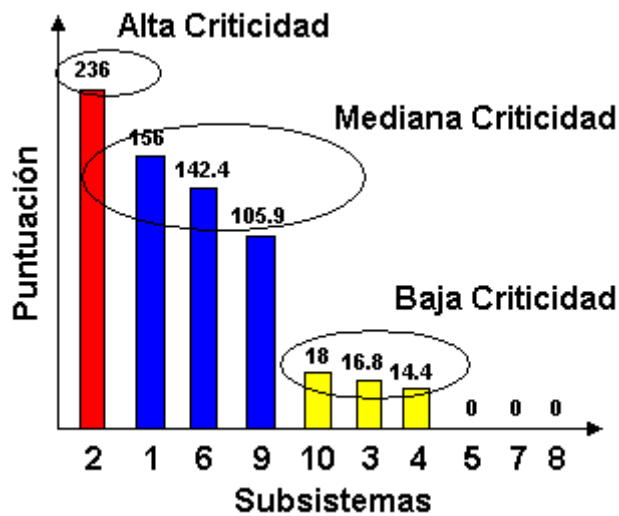


Figura 2.16 Resultado del análisis de criticidad de los subsistemas

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, rentabilidad y aumentar la fiabilidad del equipo. Figura 2.17

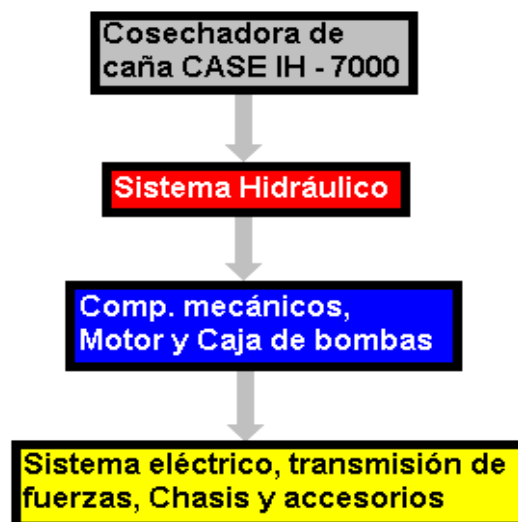


Figura 2.17 Jerarquía de subsistemas de la combinada CASE IH - 7000

CONCLUSIONES

Atendiendo al desarrollo trabajo y lo propuesto durante el proceso de investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

- 1- Se realizó el correspondiente análisis de criticidad a la combinada cañera CASE IH – 7000 donde se obtuvo como resultado el subsistema de mayor criticidad.
- 2- Se elaboró una jerarquía de activos para los subsistemas de la combinada cañera a partir del resultado del análisis de criticidad.

RECOMENDACIONES

Partiendo del resultado obtenido en el trabajo, las conclusiones arribadas y para obtener el propósito que se persigue con el análisis de criticidad se recomienda:

- 1- Realizar un estudio de Confiabilidad Operacional al subsistema de mayor criticidad de la combinada cañera CASE IH – 7000.
- 2- Completar el estudio en una tesis de maestría que responda a los intereses de la maquinaria agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

- ANANTA. Soluciones Industriales. Auditoria de mantenimiento mediante un análisis de criticidad. Disponible en www.elprisma.com [Consultada el 4 de febrero del 2009]
- Aguinaga Barragán, Álvaro. Confiabilidad Operacional para la ingeniería del Mantenimiento. 8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007. Disponible en www.pucp.edu.pe [Consultada el 10 de febrero del 2009]
- Altmann, Carolina, ¿Cómo mejorar la Confiabilidad de un Sistema Complejo? Disponible en www.confiabilidad.net [Consultada el 9 de febrero del 2009]
- Amendola, L., Modelos Mixtos de Confiabilidad, Editorial. Datastream, España, 2002.
- Batista Rodríguez, C. Introducción a la fiabilidad. Conceptos fundamentales. Propiedades. Índices simples y complejos. Conferencia #1. Cuarto año de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. UHO Oscar Lucero Moya. Holguín, Cuba 2007
- Cabrera Gómez, Jesús. Plataforma Básica para un enfoque del mantenimiento centrado en confiabilidad. CEIM – CUJAE. Primera edición. Ciudad de la Habana. Cuba, junio del 2003.
- Cabrera Gómez, Jesús. Queremos mejorar la confiabilidad operacional, pero... ¿por donde empezar? Nota técnica No. 059. Centro de Estudio de Innovación y Mantenimiento. Coordinación editorial CEIM-CUJAE. Ciudad de La Habana, Cuba 2005.
- Case IH Austoft. Manual Del Operador CASE IH – 7000/7700.
- Case IH Austoft. Componentes Mecánicos CASE IH – 7000/7700.
- Daquinta Gradaille, L. A. Mantenimiento y Reparación de la Maquinaria Agrícola. Editorial. Félix Varela. La Habana. 2004.

- Durán, José. Gestión de la Confiabilidad Operacional. Seminario Internacional. Providencia - Santiago, 24 y 25 de noviembre del 2008. Disponible en www.cides.cl [Consultada el 10 de febrero del 2009]
- Durán, José. Haciendo que el RCM trabaje para su empresa. Firma de consultoría The Woodhouse Partnership Limited. Inglaterra, 1999
- 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. 27 de octubre del 2008.
- García Palencia, Oliverio. La Cultura de la Confiabilidad Operacional. Colombia. 2008
- García, O. Modelo mixto de confiabilidad basado en estadística para la optimización del mantenimiento industrial. Primer congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento. León GTO. México, 2003
- Gotera, E. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Plus. Curso dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA, Paraguaná. Venezuela, 2000
- Gotera, Edwin. (1997) ¿Qué es lo último que hemos aplicado en [mantenimiento](#)? Disponible en www.monografias.com [Consultada el 10 de febrero del 2009]
- Huerta Mendoza, R. El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. En: Mantenimiento Mundial. Revista N° 6 Septiembre 2001. Disponible en: www.mantenimientomundial.com [Consultada el 11 de febrero del 2009]
- Knezevic, J. Mantenibilidad. Edición, 4 28006 Madrid. España, 1996
- Modelo integral para optimizar la confiabilidad en instalaciones petroleras de subsuelo / Parra, C. [et al.] IV congreso Panamericano de Ingeniería de mantenimiento. México, 23 - 24 de septiembre del 2004
- Nachlas, J. Fiabilidad. Edición, 4 28006 Madrid. España, 1995
- 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.
- Silveira, R. J. Máquinas Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1980.

- The Reliability Handbook / John D. Campbell [et al.]. A Clifford/Elliot Publication. Volume 23, issue 6.
- Zaldivar, M. Conferencia de Confiabilidad Operacional. CUJAE. La Habana, Cuba, 2007,45 p.
- Zaldivar, M. y García, R. La Confiabilidad, un reto para las organizaciones Empresariales. Nota técnica No. 148. Centro de Estudio de Ingeniería en Mantenimiento. Coordinación editorial CEIM-CUJAE. Ciudad de La Habana, Cuba 2008.