



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN SISTEMAS DE LA CALIDAD

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA DIAGNOSTICAR FALLAS EN LOS  
COMPONENTES DE PRODUCTOS AERONÁUTICOS CON APOYO DEL  
MÉTODO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Presentado por:

**Zamora González, Juan de Dios**

Para optar al título de  
Magíster en Sistema de Calidad

Tutor

**Alvarado Mijares, Efraín Alfredo**

Caracas, Abril de 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN SISTEMAS DE LA CALIDAD

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA DIAGNOSTICAR FALLAS EN LOS  
COMPONENTES DE PRODUCTOS AERONÁUTICOS CON APOYO DEL  
MÉTODO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Presentado por:

**Zamora González, Juan de Dios**

Para optar al título de  
Magíster en Sistema de Calidad

Tutor

**Alvarado Mijares, Efraín Alfredo**

Caracas, Abril de 2018

## CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR

Estudios de Postgrado: Sistema de Calidad

Universidad Católica Andrés Bello

Presente.-

Por medio de la presente, hago constar que he leído el Proyecto de Trabajo de Grado de Maestría, presentado por el ciudadano **Zamora González, Juan de Dios**. CI: **10.868.734**, como requisito parcial para optar al grado de “**Magíster en Sistema de Calidad**”, cuyo título es “**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA DIAGNOSTICAR FALLAS EN LOS COMPONENTES DE PRODUCTOS AERONÁUTICOS CON APOYO DEL MÉTODO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**”; y manifiesto que cumple con los requisitos exigidos por la Dirección General de los Estudios de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello; y que, por lo tanto, lo considero apto para ser evaluado por el jurado que se decida designar a tal fin.

En la ciudad de Caracas, a los 17 días del Abril de 2018.

---

**ALVARADO MIJARES, EFRAÍN ALFREDO**

C.I.: 13.201.037

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

**AA:** Autoridad Aeronáutica

**ACR/RCA:** Análisis de Causa Raíz/ Root Cause Analysis

**AFC/CFA:** Análisis de Falla de Componente/ Component Failure Analysis

**AMEF:** Análisis de Modos y Efectos de Falla.

**AFP/PMA:** Aprobación de Fabricación de Partes/Parts Manufacture Approbation

**INAC:** Instituto Nacional de Aeronáutica Civil.

**CAA:** Circular de Asesoramiento

**D:** Detección

**EMDP/MSG:** Evaluación de Mantenimiento y Desarrollo de Programas/  
Maintenance Steering Group.

**ENT:** Equipo Natural de Trabajo

**ICR/RCI:** Investigación de Causa Raíz/ Root Cause Investigation

**INAC:** Instituto Nacional de Aeronáutica Civil

**ISO:** Organización de Estandarización Internacional

**JRT:** Junta de Revisión Técnica

**MCC/MCC:** Método Centrado en la Confiabilidad/ Reliability Centered  
Maintenance

**NPR:** Número Prioritario de Riesgo.

**O:** Ocurrencia

**OACI:** Organización de Aviación Civil Internacional

**OTE/TSO:** Orden Técnica Estándar/ Technical Standard Order

**RAV:** Regulación Aeronáutica Venezolana

**RDF:** Reporte de Dificulta de Servicio

**S:** Severidad

**SGC:** Sistema de Gestión de Calidad

**SP:** Sistemas Productivos



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN SISTEMAS DE LA CALIDAD

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA DIAGNOSTICAR FALLAS EN LOS COMPONENTES DE PRODUCTOS AERONÁUTICOS CON APOYO DEL MÉTODO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.**

Autor: Zamora González, Juan de Dios  
Tutor: Alvarado Mijares, Efraín Alfredo  
Año: 2018

**RESUMEN**

Esta investigación se realiza por la ausencia de un diagnóstico real y accesible de las condiciones físicas de los productos aeronáuticos utilizados en la conformación de una aeronave, constituye una problemática, motivado a que, los propietarios de estas no tienen una certeza clara de cuando estos componentes pueden tener una falla que pueda conllevar a un incidente o accidente de aviación, el objetivo será el diseño de una metodología para diagnosticar fallas en los componentes de productos aeronáuticos con apoyo del método centrado en confiabilidad (MCC). Por lo anterior, El tipo de investigación que se utilizará será descriptiva, ya que la misma, está sustentada en un proyecto real que actualmente se está aplicando y en datos que ya existen, los cuales van a ser analizados y procesados para luego proponer soluciones y recomendaciones concretas. Dada la naturaleza de esta investigación, y en función de los datos que se requerían, las técnicas que se utilizaran serán, la revisión documental y el registro de observación. Las herramientas de recolección de datos e información serán mediante la metodología del SGC conocido con el análisis de modos y efectos de falla y el Diagrama de Ishikawa. Esta investigación se realiza para diseñar una metodología que ayuden a los propietarios de aeronave a reducir sus gastos en compra innecesarias de repuestos, además de mantener un Stop mínimo de componentes en su almacén, por otro lado se estaría evitando el re-trabajo del mantenimiento de la aeronave planificado por la empresa.

**Palabras Clave:** Confiabilidad, Fallas, Componentes, Aeronaves, Causa-Efecto.  
**Línea de Investigación:** Sistema de Calidad

## ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS .....	iv
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....	5
1.1. Planteamiento del Problema .....	5
1.1.1. Formulación del Problema .....	8
1.1.2. Sistemización del Problema .....	9
1.2. Objetivos .....	10
1.2.1. Objetivo General.....	10
1.2.2. Objetivos Específicos .....	10
1.3. Justificación de la Investigación .....	10
1.4. Alcance y limitaciones de la Investigación .....	11
1.4.1. Alcance.....	11
1.4.2. Delimitaciones .....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.1.1. Tesis Doctorales.....	16
2.1.2. Trabajos de Grado de Maestría.....	17
2.1.3. Artículos Técnicos .....	21
2.2. Fundamentos Teóricos.....	22

2.2.1. El Nacimiento del Método Centrado en Confiabilidad (MCC), Moubray (2010)	24
2.2.2. Maintenance Steering Group (MSG). Parra (2008)	25
2.2.3. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	26
2.2.4. Las sietes (7) preguntas del MCC, (Moubray, 2010)	27
2.2.5. Mantenimiento	36
2.2.6. Mantenimiento Preventivo	37
2.2.7. Mantenimiento Correctivo	38
2.2.8. Mantenimiento Predictivo	38
2.2.9. Aeronavegabilidad	39
2.2.10. Producto Aeronáutico	39
2.2.11. Confiabilidad	40
2.2.12. Personal Implicado. (Moubray, 2010)	42
2.2.13. Falla (Moubray, 2010)	44
2.2.14. Tipos de fallas funcionales (Moubray, 2010)	44
2.2.15. Consecuencias de la Falla	46
2.2.16. Qué logra el MCC	47
2.2.17. Efectos de Falla	48
2.2.18. Tareas Proactivas (Moubray, 2010)	49
2.2.19. Patrones de fallas	49
2.2.20. Ventajas que ofrece el MCC (Moubray, 2010)	51
2.2.21. Proceso para la aplicación del MCC	51
2.2.22. Análisis de Criticidad - Metodología de Anthony Ciliberti	53
2.2.23. Equipo Natural de Trabajo (ENT)	55
2.2.24. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)	57
2.2.25. Análisis Causa Raíz.	58

2.2.26. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).....	60
2.3. Marco Referencial .....	64
2.4. Bases Legales.....	66
2.4.1. Internacionales .....	66
Estructuración de Jerarquías ISO 14224 .....	69
2.4.2. Nacionales.....	69
2.4.3. Ley de Aeronáutica Civil Venezolana (2005/2013).....	69
2.4.4. Circular de Asesoramiento (CAA-09-21) 2088 .....	71
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	72
3.1. Tipo de Investigación .....	72
3.2. Diseño de la Investigación .....	72
3.3. Población y Muestra.....	73
3.4. Técnicas de Recolección de Datos .....	75
3.5. Fases de la Investigación.....	76
3.6. Procedimiento por Objetivos .....	81
3.7. Variables, Definición Conceptual y Operacional e Indicadores.....	85
3.7.1. Variable .....	85
3.7.2. Indicadores .....	86
3.8. Aspectos Éticos.....	90
3.9. Cronograma .....	92
3.9.1. Datos del Cronograma.....	92
3.10. Recursos.....	95
3.10.1. Tipos de gastos .....	95
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE INSTRUMENTOS.....	98
4.1. Elaboración de Instrumentos de Levantamiento de Información.....	98

4.1.1. Categoría de las Fallas según su impacto en la disponibilidad del servicio.....	99
4.1.2. Diseño del Instrumento de recolección de datos o información.....	99
4.2. Búsqueda de Información o recolección de datos y análisis de datos (FASE I).....	103
4.2.1. Equipo de trabajo del Departamento de Confiabilidad.....	103
4.3. Clasificar los productos aeronáuticos que se le aplicaran el método centrado en confiabilidad. (FASE II) .....	105
4.4. Analizar las fallas presentadas en los productos ya clasificados por medio del método de causa raíz para aplicar el método centrado en confiabilidad. (FASE III).....	106
4.4.1. Análisis de Causa Raíz.....	106
4.4.2. Sistema de Numeración .....	107
4.4.3. Procedimiento para Analizar las Fallas.....	108
4.5. Recomendar una metodología que garantice el buen funcionamiento de los productos aeronáuticos antes de que fallen para estar dentro de los estándares nacionales como internacionales, en cuanto a seguridad aeronáutica. (FASE IV).....	109
4.5.1. Táctica de mantenimiento.....	109
4.5.2. Documentación.....	111
CAPÍTULO V: ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	116
5.1. Recolección de datos .....	116
5.2. Junta administradora de confiabilidad (JAC).....	117
5.3. Junta de revisión técnica (JRT).....	118
5.4. Parámetros de actuación .....	119
5.4.1. Sistemas.....	119
5.4.2. Componentes .....	119

5.4.3. Motor. ....	120
5.4.4. Aeronave. ....	120
5.4.5. Estructura. ....	120
5.5. Advertencia de alerta. ....	120
5.6. Alerta roja.....	120
5.7. Alerta permanente.....	120
5.8. Procedimiento para establecer el nivel de alerta (UCL). ....	121
5.9. Revisión de los valores de alerta. ....	123
5.10. Línea de tendencia. ....	123
5.11. Niveles de alerta (UCL) para nuevas aeronaves. ....	125
5.12. Análisis de los datos (PCL). ....	125
5.13. Análisis de alerta.....	126
5.14. Indicadores del nivel de alerta. ....	127
5.15. Intervalos de tiempo para el análisis de datos. ....	127
5.16. Intervalos de tiempo para la aplicación de las acciones correctivas. ...	128
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	130
CONCLUSIONES.....	130
RECOMENDACIONES .....	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1: Expectativas de mantenimiento creciente .....	25
2: Elementos integrantes de la confiabilidad .....	41
3: Estado general de falla.....	44
4: Falla funcional .....	46
5: La perspectiva tradicional de la falla .....	49
6: Patrones de Falla .....	50
7: Conformación básica del equipo natural de trabajo (ENT) .....	55
8: Equipo natural de trabajo .....	56
9: Representación del análisis causa-raíz (Diagrama de Ishikawa) .....	59
10: Cronograma de Actividades .....	94
11: Equipo de Trabajo "Departamento de Confiabilidad" .....	104
12: Sistema de Numeración de ATA 100 .....	105
13: Diagrama de decisión del MCC.....	115
14: Formato de Registro de Fallas .....	116
15: Diagrama de Flujo de Análisis de Datos .....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
1: Criterio de Severidad sugerido para un AMEF .....	61
2: Criterios de ocurrencia de fallas sugeridos en un AMEF .....	62
3: Criterios de detención de fallas en un AMEF .....	63
4: Cuadro de Variables.....	85
5: Herramienta de Criticidad.....	87
6: Indicadores de efectividad del mantenimiento.....	88
7: Indicadores de Costo por Aeronave en Tierra.....	89
8: Indicadores de Repuestos y Reparación.....	89
9: Recursos .....	96
10: Ejemplo del llenado de instrumento de recolección de datos.....	102
11: Táctica para realizar O/T .....	112

## INTRODUCCIÓN

Actualmente es aceptado que viajar en avión es la forma más segura para transportarse. Al final de los 50's, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estaría reportando sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo.

Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 50's eran causados por fallas en los equipos.

Esta alta tasa de accidentalidad, y el auge de los viajes aéreos, significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la confiabilidad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la confiabilidad de los mismos.

En esos días, "mantenimiento" significaba una cosa: intervenciones periódicas. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las labores periódicas mejorarían las piezas antes de que gastaran y así prevenir fallas.

Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las intervenciones: después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre intervenciones. Cuando hacían las intervenciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban.

El Método Centrado en la Confiabilidad. (MCC) es una metodología que permite el diseño y optimización de los planes de mantenimiento mediante el análisis de cada sistema, determinando cómo puede fallar funcionalmente y qué consecuencias pueden derivarse de esas fallas. Los efectos de cada modo de falla

se evalúan de acuerdo al impacto sobre la seguridad, el medio ambiente, la operación y el costo.

Para comprender estos términos, basta con saber qué, la confiabilidad; se refiere a la probabilidad de que un sistema o componente, pueda funcionar correctamente fuera de falla, por un tiempo específico. Más sencillamente, Confiabilidad es la probabilidad de que un sistema o producto funcione.

El análisis de falla apoyado en la MCC determina la duración y el fallo de los equipos de la aeronave, porque un sistema es considerado útil solamente cuando cumple la función requerida para la cual fue diseñado, además ayudaría a determinar la productividad operativa del sistema como también los gastos en los cuales incurre el operador en las tareas de reparación y mantenimiento.

Por estos motivos, el análisis de falla que se planea realizar es de gran importancia para el buen funcionamiento de los productos aeronáuticos, ya que le permitirá al propietario identificar los fallos que se presentan dentro de la operación de sus aeronaves para de esta manera tomar acciones de mantenimiento para prevenir la ocurrencia de estos fallos. También se podrá identificar la causa-raíz de los fallos que se presentan y los riesgos operacionales que existen dentro de la operación de las aeronaves. Mediante este análisis, el dueño también podrá tener información del comportamiento de sus aeronaves en cuanto a índices de disponibilidad y de operación y tener identificado las posibles falencias en la programación de vuelo y en las tareas de mantenimiento que se vienen ejecutando hasta el momento.

A través de la identificación de todos los parámetros anteriormente mencionados, el propietario podrá tomar todas las medidas necesarias para optimizar sus operaciones mediante el mejoramiento de las labores de mantenimiento, la identificación de fallos, la identificación de riesgos y la mejora en sus operaciones de vuelo.

La investigación se encuentra estructurada de la siguiente manera:

- **Capítulo I**, se expone los fundamentos de la investigación, es decir, el planteamiento del problema que está comprendido por la formulación y las sistemización del problema, seguido de los objetivos (General y Específicos), luego se realiza la justificación del problema y finalizar con el alcance y limitaciones que pueda presentar la elaboración de la investigación.
- **Capítulo II**, se resaltan en primera instancia los antecedentes de la investigación y sus fundamentos teóricos, seguido del marco referencial a nivel donde se origina la investigación, y posteriormente terminar con la base legal que fundamenta la investigación.
- **Capítulo III**, tiene como objetivo fundamental, definir el tipo de investigación, la metodología a emplear para poder ejecutarla y llevarla a cabo, el diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección de datos, las fases de la investigación, el procedimiento por objetivos, las variables y definiciones conceptuales y operacional e indicadores, los aspectos éticos, el cronograma que involucra la fases de la investigación y por último los recursos que se necesitarán para poder desarrollar el proyecto de la investigación.
- **Capítulo IV**, está conformado por el diseño de instrumentos, donde podremos encontrar la elaboración del instrumento que ayudara a la recolección de datos, búsqueda de información, clasificación de los productos aeronáuticos que se le aplicara el MCC, luego se presenta el análisis de fallas, con todo lo anteriormente señalado podemos recomendar la metodología del proyecto presentado a través de documentos que demuestre la de manera formal el comportamiento de la funcionalidad de los productos aeronáuticos.
- **Capítulo V**, este es el último capítulo del proyecto y es el análisis de los resultados, donde se presenta la manera de recolección de datos, la conformación de la junta administradora de confiabilidad y la junta de revisión técnica, estas estarán en la capacidad de realizar los parámetros

de actuación de los componentes para luego informar las advertencias de alertas por medio del análisis de los datos y análisis de las alertas que arrojaron por medio de la recolección de datos, donde se verán mejor reflejado en los indicadores ya sean en intervalos de tiempo para el análisis de datos y finalizará con el tiempo para la aplicación de las acciones correctivas.

- **Capítulo VI**, está conformado por la conclusión del proyecto, aporte lógico que da el investigador de los puntos más resaltantes que surgieron durante la investigación y las recomendaciones que detallan algunas sugerencias que el autor emite a las empresas o propietarios donde se manifiesta la importancia de la implementación del MCC.

Finalmente se presentan las referencias bibliográficas consultadas para elaborar este proyecto.

# CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

En el presente capítulo se expresará la problemática a estudiar, tomando todos los elementos del título y explicándolo, luego se procederá su redacción de lo general a lo específico, tomando en consideración la razón por la cual la investigación se está realizando, por lo tanto la presente investigación tiene por objetivo el **diseño de una metodología para diagnosticar fallas en los componentes de productos aeronáuticos con apoyo del método centrado en confiabilidad**, para pronosticar el mal funcionamiento en la aeronave y evitar incidentes o accidentes de pérdidas humanas y/o materiales que ocasionen el cierre de la empresa o quiebra del propietario del avión.

Esta información ayudará a pronosticar el comportamiento futuro, la planeación del mantenimiento y la operación de componentes, equipos y/o sistemas. Para manifestar la gran importancia del tema toda vez que se constituye en una herramienta eficaz de Ingeniería que facilita la toma de decisiones en la operación de los activos de una empresa de transporte aéreo (Pasajero o Carga).

Este capítulo estará estructurado por el planteamiento del problema, la formulación del problema, su sistematización, el objetivo general y específicos, luego la justificación de la investigación y finalizaremos con el alcance y limitaciones.

## 1.1. Planteamiento del Problema

La ausencia de un diagnóstico real y accesible de las condiciones físicas de los componentes o productos aeronáuticos utilizados en la conformación de una aeronave, constituye una problemática, motivado a que, los propietarios no tienen una certeza clara de cuando estos componentes pueden tener una falla que conllevarán a un incidente o accidente de aviación, entiéndase como un incidente de acuerdo con la RAV 1 (2008), la define como: *“todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave que no llegue a ser un accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones”* (p.6).

Por otro lado la misma RAV 1 (2008), define un:

**“Accidente de Aviación:** Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que ocurre dentro del período comprendido entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, durante el cual:

(a) Cualquier persona sufre lesiones mortales o graves:

(1) A consecuencia de hallarse en la aeronave, o

(2) Por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o

(3) Por exposición directa al chorro de un reactor, excepto cuando las lesiones obedezcan a causas naturales, se las haya causado una persona a sí misma o hayan sido causadas por otras personas o se trate de lesiones sufridas por pasajeros clandestinos escondidos fuera de las áreas destinadas normalmente a los pasajeros y a la tripulación;

(b) La aeronave sufre daños o roturas estructurales:

(1) Que afectan adversamente su resistencia estructural, su performance o sus características de vuelo; y

(2) Que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado, excepto por falla o daños del motor, cuando el daño se limita al motor, su capó o sus accesorios; o por daños limitados en las hélices, extremos de ala, antenas, neumáticos, frenos o carenas, pequeñas abolladuras o perforaciones en el revestimiento de la aeronave; o

(c) La aeronave desaparece o es totalmente inaccesible.

Deben tener en cuenta que las RAV, definen a un producto aeronáutico, según la RAV 43 (2008), como: *“todo producto fabricado por la industria aeronáutica y certificado por la Autoridad Aeronáutica de un Estado de Diseño o un Estado de Fabricación”*. (p.4).

Ahora bien, un análisis exhaustivo del estado físico de los productos aeronáuticos empleados en la fabricación de las aeronaves, permitirá definir la disponibilidad de repuestos o componentes, de igual manera tener la capacidad de planificar efectivamente al adelanto de las fallas que puedan tener estos componentes durante su funcionamiento en el avión, garantizando un mínimo de stock de repuestos y así contrarrestar un retraso de la adquisiciones de ellos. La falla según CITATION Hur08 \l 8202 (Hurtado, 2008) Moubray (2010) “MCC II”, la define: *“como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga”* (p.12).

Además, esta investigación parte en consecuencia en lo establecido de la Circular de Asesoramiento del Instituto Nacional de Aeronáutica Civil (INAC). Según CAA-09-21 (2008), explica en su alcance:

“es aplicable, a la Autoridad Aeroportuaria, de acuerdo con lo establecido en la RAV 121, que deben preparar y presentar ante la autoridad Aeronáutica para la Identificación y Manejo de Partes No Aprobadas de Productos Aeronáuticos”

Por otro lado, el análisis de datos de falla que se planteará en esta investigación, permite encontrar los índices de confiabilidad de un producto aeronáutico como es el avión, sus motores y tren de aterrizaje, al igual que los subcomponentes que los conforman ya que es posible:

- Indicar cómo y cuándo es posible una falla.
- Conocer exactamente la severidad y las consecuencias de dichas fallas.
- Evaluar la calidad del servicio prestado por el componente.
- Programar de manera efectiva las inversiones de capital.
- Programar eficientemente las labores de mantenimiento.

- Conocer el comportamiento y la operación.

Conocer qué tan confiable o seguro será ese producto o componente que conforma el avión, durante su futura vida operativa, esta puede ser posible en parte mediante por una evaluación cuantitativa de la confiabilidad. Las fallas pueden causar desde un simple inconveniente (incidente) hasta un impacto severo (accidente) sobre la sociedad y su ambiente y por ende, llevar a la quiebra a una aerolínea o propietario de la aeronave, por las sanciones que aplican cuando ocurren fallas que conllevan a las pérdidas humanas, ya que los usuarios esperan que las aeronaves estén en óptimas condiciones al momento que utilizan su servicios y brinden seguridad en todo el trayecto del vuelo. Además, es importante mencionar que con la implementación de esta metodología se logrará reducir los costos a las empresas, debido a que parte fundamental se evidenciará en uno de sus siete principios que se verá más adelante.

Por las razones descritas anteriormente, la presente investigación pretende concientizar e ilustrar sobre la importancia de la recolección adecuada y el análisis estadístico de los datos de falla. En el campo aeronáutico, esta tarea se ve interrumpida y de alguna manera muy difícil de realizar porque no existen datos confiables para evaluar la confiabilidad y la calidad de los productos o componentes que tienen la aeronave. En muchas ocasiones ni siquiera existen o están incompletos (no hay datos suficientes), lo cual imposibilita la tarea de evaluación y solo en las empresas más importantes esta labor se realiza con seriedad.

### **1.1.1. Formulación del Problema**

La formulación del problema, según Hernández, Fernández, & Baptista, (2014)

*“Un problema de investigación bien planteado es la llave de la puerta de entrada al trabajo en general, pues de esta manera permite la precisión en los límites de la investigación, la organización adecuada del marco teórico y las relaciones entre las variables; en consecuencia, es posible*

*llegar a resolver el problema y generar datos relevantes para interpretar la realidad que se desea aclarar” (p.57).*

Como producto de esta reducción se hará la formulación de una interrogante que muestre con claridad los aspectos desconocidos que marcarán el inicio de la investigación.

Partiendo de lo anterior, el problema quedará de la siguiente forma: ¿Cuál sería la metodología más eficiente y adecuada para el análisis de fallas de productos aeronáuticos con apoyo del método centrado en confiabilidad para adelantarse a su mal funcionamiento en la aeronave?

Para resolver este problema es absolutamente necesario indicar un procedimiento que con certeza lleve a la solución. La metodología a emplear consiste básicamente en consulta bibliográfica en numerosas fuentes y lo más completa posible, además de aplicar técnicas de análisis de información adecuadas que permitan analizar, interpretar y diseñar la metodología más idónea que además contenga la definición de indicadores que ayuden a analizar la falla de un producto aeronáutico, como son los mencionados en el punto 2.2.9.

Por otro lado, debemos plantearnos las siguientes interrogantes para que la investigación tenga éxito en las organizaciones.

### **1.1.2. Sistemización del Problema**

1. ¿Cuáles serán los productos aeronáuticos y los sistemas que deben ser identificados y analizados por el personal responsable de la elaboración de informe establecido en el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC)?
2. ¿Cuál de todos los métodos conocidos en SGC se le aplicarán a los empleados asignados para prevenir la falla de los productos y sistemas de la aeronave?
3. ¿Cómo se podrá desarrollar una metodología para diagnosticar las fallas que provoquen que la seguridad del avión se vuelva crítica y a la vez permita precisar las fallas de los productos y sistemas que componen la aeronave utilizando el método centrado en confiabilidad?

4. ¿Cuáles serán las herramientas necesarias que se recomendarán para efectuar cambios precisos en las tareas de mantenimiento para mejorar índices de confiabilidad y de disponibilidad de las aeronaves, para seguir los lineamientos o sugerencias de la Organización de Aviación Civil Internacional, las Regulaciones Aeronáuticas Venezolanas?

## **1.2. Objetivos**

El objetivo de la Investigación, según Hernández, Fernández, & Baptista, (2014) lo define: *“señalan a lo que se aspira en la investigación y deben expresarse con claridad, pues son las guías del estudio”*. (p.37)

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar una metodología para diagnosticar fallas en los componentes de productos aeronáuticos con apoyo del método centrado en confiabilidad.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar cuáles son los componentes y sistemas que presentan alguna alteración en sus perfiles de funcionamiento.
2. Utilizar el método de análisis causa-raíz para adelantarnos a las fallas que pueda presentar un componente o sistema de la aeronave.
3. Desarrollar una metodología para el diagnóstico de fallas que provoquen que la seguridad del avión se vuelva crítica.
4. Recomendar los cambios necesarios en las tareas de mantenimiento para mejorar los índices de confiabilidad, con la finalidad de adelantarnos a las recomendaciones de mantenimientos programados por el fabricante de la aeronave.

## **1.3. Justificación de la Investigación**

Partiendo en lo establecido en la RAV 121, sección 121.150 (2013), que regula la actividad de los explotadores de transporte aéreos “Aerolíneas” que operan aeronaves en el territorio Nacional e Internacional y por estar Venezuela suscripta

en la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), organismo que estandariza la seguridad operacional de los productos aeronáuticos instalados en los aviones y a su vez, es garante que los Estados contratantes ante ella, regulen las aerolíneas y empresas que realicen actividades relacionadas con la aeronáutica, deben establecer normativas que garantice la aeronavegabilidad de los aviones. Por otro lado, siguiendo las instrucciones de la Circular de Asesoramiento “Control de Mantenimiento de Aeronaves por Métodos de Confiabilidad” (código: CAA-07-21) de fecha 08-11-2008, donde su propósito es:

*...provee información sobre la aplicación de métodos de confiabilidad como una parte integral de un programa de mantenimiento de aeronaves aprobado para los operadores que cumplen las disposiciones del RAV's 121 y 135 y Documento 9389-AN/919 de la OACI. Así como proveer una guía para el desarrollo de programas que utilizan el control de mantenimiento a través del método de confiabilidad. Expresa las recomendaciones del Instituto Nacional de Aeronáutica Civil (INAC) con respecto a los programas de control que utilizan estas técnicas... (p.12).*

Partiendo de lo antes señalado, esta investigación estará cumpliendo el marco jurídico tanto nacional como internacional, para que las aeronaves de los países que se encuentren inscritos en la OACI, puedan transitar por los espacios aéreos con seguridad operacional de sus componentes, ya que no presentaran ningún riesgo de fallar durante su vuelo, además, no contaminará el medio ambiente, no pondrán en peligro las vidas humanas que trasladan y ahorrarán costo operacional a las aerolíneas o propietarios de aviones.

#### **1.4. Alcance y limitaciones de la Investigación**

##### **1.4.1. Alcance**

La investigación conllevará al análisis de confiabilidad en el cual se pueda observar de una manera adecuada los índices de fallas de los componentes o sistemas que conforman las aeronaves para así, mediante una fácil interpretación, lograr predecir la desviación de los perfiles de funcionamiento de ellos, para ayudar a mejorar la mantenibilidad y la fiabilidad de la aeronave. De esta misma manera realizar un análisis causa-raíz mediante el cual se pueda establecer cuál

es el origen de las fallas que se presentan en los componentes o sistemas aeronáuticos analizados.

Se plantea realizar un análisis de los componentes principales conocidos como **Productos Clase 1 (Fuselaje de la aeronave, Motores y Hélices, Ten de Aterrizaje)** de la aeronaves y determinar qué sistemas son críticos debido a la continua falla de algunos de sus componentes que pongan en riesgo la seguridad de la aeronave y que debido a su continua ocurrencia dejen mucho tiempo en tierra la aeronave para labores de reparación y mantenimiento.

Mediante la predicción de fallas y el análisis de confiabilidad de los sistemas se busca mejorar los tiempos de mantenimiento de las aeronaves evitando que estas entren en labores de mantenimiento o reparaciones en fechas no programadas y de esta manera lograr mejorar los índices de disponibilidad de las aeronaves para que estas siempre estén aeronavegables.

En la Circular de Asesoramiento “Control de Mantenimiento de Aeronaves por Métodos de Confiabilidad” (código: CAA-07-21), provee información sobre la aplicación de métodos de confiabilidad como una parte integral de un programa de mantenimiento de aeronaves aprobado para los operadores que cumplen las disposiciones del RAV’s 121, 135 y Documento 9389-AN/919 de la OACI. La investigación se basara en cuatro categorías generales de aeronaves:

- Sistemas/Componentes.
- Plantas de Poder/Componentes.
- Inspecciones de Aeronaves/Motores
- Inspecciones estructurales/reacondicionamiento

Las cuatro categorías pueden ser controladas por un programa o sistema informático, que ayuden a detectar las fallas del componente de manera individualmente. El programa puede abarcar un grupo selecto de ítems a partir de una categoría sin afectar otros; Por ejemplo, el motor podría ser mantenido por un programa que no incluye sus accesorios. Los accesorios podrían estar en otro programa o podrían estar bajo el control.

Por otro lado en la RAV 121, en su sección 121.150, refleja una exigencia de un programa de análisis y vigilancia continua y programa de confiabilidad. Este sistema de análisis y vigilancia continua es un sistema que garantiza la eficacia del programa de mantenimiento del explotador y conforma que el programas es seguido y controlado adecuadamente, este programa tiene dos funciones básicas, en primer lugar las auditorias que incluye el seguimiento de aquellos componentes removidos, en segundo lugar el análisis de la actuación (performance) que incluye monitoreo diario y a largo plazo y las repuestas de emergencia relacionada al performance de la aeronave, los sistemas del avión afectados, incluso los motores y componentes del avión. Los programas de confiabilidad establecen límites de tiempo o estándares para determinar intervalos entre procedimientos, inspecciones y chequeos de estructura, motores, hélices, dispositivos y equipos de emergencias. Es importante resaltar que todo titular de un Certificado de Explotador de Servicio Público de Transporte Aérea establecerá y mantendrá un sistema para el análisis y vigilancia continua durante la aplicación de su programa de inspección y programas que cubran el mantenimiento, mantenimiento preventivo y alteraciones de modo de medir su efectividad y para la corrección de cualquier deficiencia en estos programas, independientemente que estos programas sean llevados por el titular del certificado u otra organización, además, el programa de confiabilidad que debe adoptar el propietario debe tener presente lo establecido en la RAV.121.150, sección (e). (p. 99).

En la RAV 135, en su sección 135.163, establece que cada propietario de una aeronave debe establecer y mantener un sistema para el análisis y vigilancia continua de la realización y efectividad de su programa de inspección y programa que cubra otro mantenimiento, mantenimiento preventivo y alteraciones para la corrección de cualquier deficiencia en estos programas, a pesar que estos programas sean llevados por el propietario u otra organización, además debe contener un programa de confiabilidad que describan todos los puntos exigidos en la sección 135.163, sección (d) de esta regulación. (p.463)

Referente a norma internacionales, el Estado Venezolano está adscripto desde el año 1944, en el Convenio de Aviación Civil Internacional, firmado en la Ciudad de Chicago, por ende debe cumplir para operar en otros Estados las sugerencias que esta Organización dicte, por tal motivo en su OACI (2004), en el ANEXO 8, en el capítulo 3, sección 3.2.4, se establece que:

*“Cuando una aeronave que posea un certificado válido de aeronavegabilidad otorgado por un Estado contratante se inscriba en el registro de otro Estado contratante, el nuevo Estado de matrícula, al otorgar su certificado de aeronavegabilidad puede considerar el certificado previo, como prueba parcial o totalmente satisfactoria de las condiciones de aeronavegabilidad de la aeronave, el certificado de que cumple las normas aplicables de este Anexo mediante el cumplimiento de los requisitos adecuados de aeronavegabilidad”. (p.II-3-1)*

Por esta razón, la Autoridad Aeronáutica Venezolana emite sus Regulaciones (RAV), para cumplir con los estándares de la OACI, específicamente lo encontramos en las RAV 121, 135 y mejor detallada en la Circular de Asesoramiento (código: CAA-07-21).

Finalmente después de todo el análisis se realizará algunas sugerencias en las tareas de mantenimiento que puedan ayudar a solucionar y a prevenir los fallos de los componentes de las aeronaves, basándonos en la norma y reglamento detallado anteriormente.

#### **1.4.2. Delimitaciones**

En la fabricación de aeronaves (avión y helicóptero), los fabricantes elaboran manuales técnicos que le permiten al mecánico o ingeniero como efectuar el mantenimiento preventivo de ellas.

De acuerdo con (Cáceres, 2006) menciona que “en la delimitación de la investigación, se establecen los parámetros en los que se desarrolla la investigación y bajo qué condiciones. Esto permite enfocar la orientación del proyecto para llevarlo a cabo de forma satisfactoria” (p. 306).

Por tal motivo, algunas aerolíneas y propietarios no se ven obligados a implementar procesos que ayuden a detectar fallas en los productos aeronáuticos que conforman la aeronave, estos se basan más en los vuelos y costos de mantenimiento.

Además, en las bitácoras o reportes de mantenimientos no se asientan correctamente las fallas que presentan la aeronave durante el vuelo, lo que conlleva a sustituir componentes siguiendo las instrucciones del fabricante y generando gastos adicionales.

Esta investigación no pretende modificar o reemplazar las literaturas técnicas del fabricante, pero sí a minimizar costos de mantenimiento y fiabilidad de los productos aeronáuticos que conforman la aeronave y será potestad de la aerolínea o propietario aplicarlo o no.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta las definiciones y conceptos más importantes que serán ampliados en el desarrollo del trabajo y pretende ilustrar al lector con el glosario de términos usados la investigación. Además se introducen los conceptos generales de importancia que ayudaran a entender los temas planteados.

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Tesis Doctorales

1. (Rodríguez, 2015) Metodología para sistemas inteligentes de detección de mal funcionamiento en equipos. Aplicación a los aerogeneradores. El objetivo de la presente tesis, no era simplemente el desarrollo del modelo que mejor representaba la temperatura del rodamiento LOA, sino **definir las pautas y metodologías a seguir para desarrollar un sistema inteligente de detección de mal funcionamiento en aerogeneradores** (extrapolable a otras industrias). En base a esto se establecieron tres premisas de partida: Robustez, Credibilidad, Sencillez y Replicabilidad (expuestas en el Capítulo 7). Siguiendo estos criterios se desarrolló un conjunto de **modelos trabajando de forma conjunta bajo el control de un sistema experto**. Se comprobó que modelos sencillos, configurados de forma inteligente (seleccionando las variables de entrada adecuadas, y configurando de una forma eficiente la red neuronal), presentaban muy buenas estimaciones del valor de temperatura esperada en el rodamiento. Finalmente se definieron una **serie de indicadores de estado y otro conjunto de aplicaciones que favorecían la determinación de la operación o no del fallo**, y el tiempo remanente del equipo antes del fallo. Como principales aportaciones originales de los trabajos de investigación poder citar las siguientes:

1. Generación de variables “tiempo” adicionales mediante un sistema de lógica Fuzzy para considerar las diferentes condiciones ambientales (temperatura y tipo de viento) que se dan a lo largo de las estaciones del año y entre la noche y el día.

Estas variables adicionales mejoraban la respuesta de los modelos generados con las redes neuronales...

Palabras clave: Indicadores, Fallo, Mal Funcionamiento, Detección.

### **2.1.2. Trabajos de Grado de Maestría**

(Rojas, 2015) Modelo Multi-Estado para Estudios de Confiabilidad del Parque Eólico Minas de HUASCACHACA. En este trabajo se plantea un **procedimiento analítico para encontrar el modelo matemático multi-estado de una central eólica con fines de desarrollar estudios de confiabilidad**. Se utiliza para ello una serie temporal de registros de velocidad del viento en un sitio específico, el **método de FRECUENCIA Y DURACIÓN para construir el modelo y el concepto de cadenas** de Markov para representar los diferentes estados de salida de una central. El procedimiento propuesto es aplicado como caso ejemplo al Proyecto Eólico Minas de Huascachaca de propiedad de ELECAUSTRO S.A. y, por tanto, se obtiene el modelo matemático de esta futura central. Al final, con el modelo matemático encontrado se evalúa un conjunto de indicadores de riesgo del sistema bajo diferentes condiciones; esto último con el objetivo de encontrar indicativos de la posible influencia de una central eólica en la confiabilidad del sistema de generación integral. Los principales resultados muestran que una central eólica insertada en un sistema eléctrico de potencia mejora los indicadores de confiabilidad de la generación, sin embargo, la mejora obtenida resulta ser inferior a la que se hubiese obtenido si en lugar de una central eólica se hubiere insertado a la red una central de generación convencional.

Palabras clave: Modelo multi-estado, central eólica, confiabilidad de la generación, Minas de Huascachaca.

**Ramírez (2014)**. Análisis de Datos de Falla. Esta investigación se inicia con un glosario de términos y definiciones, posteriormente se clasifican las fallas, las filosofías de diseño y las fuentes de incertidumbre; además, se incluyen otros conceptos que ayudarán a comprender el proceso. Se continúa con la descripción de las pruebas de confiabilidad, de los datos de campo y de una metodología para

la recolección de los datos. Así mismo, se describe a continuación el **proceso matemático para deducir las funciones generales de confiabilidad para componentes no reparables; se analiza la curva de la bañera y los índices de confiabilidad**. Se hace un especial énfasis en los componentes y sistemas reparables y se describen los modelos más adecuados, usando procesos estocásticos como la cadena de Markov. La Ley de fallas de Weibull será la distribución que se empleará para realizar el análisis de los datos de fallas, enunciando los problemas de ingeniería que se resuelven mediante el análisis de Weibull, sus características principales y sus funciones, la evaluación de los parámetros mediante el análisis gráfico y la evaluación analítica por mínimos cuadrados. Se resuelven varios problemas prácticos considerando datos completos de 2 y 3 parámetros y datos suspendidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

El presente trabajo pretende **recopilar en un documento, todo el proceso que permita realizar el análisis de datos de fallas de componentes y sistemas, especialmente eléctricos, empleando métodos estadísticos que le permitan al Ingeniero, hacer una programación adecuada del mantenimiento de equipos y sistemas eléctricos**.

Palabras clave: Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Falla, Distribución Weibull, Componente, Sistema.

**González (2014)**. Validez y Confiabilidad del Instrumento “Percepción de Comportamientos de Cuidado Humanizado de Enfermería Pche Clinicountry 3ª Versión”. El objetivo del presente estudio metodológico fue determinar la validez y confiabilidad del instrumento “Percepción de Comportamientos de Cuidado Humanizado de Enfermería PCHE Clinicountry 3ª versión”, instrumento con una trayectoria de más de 10 años, que permite evaluar las características de la atención humanizada de enfermería en escenarios hospitalarios. Este se desarrolló en Centro Policlínico del Olaya, IPS de tercer nivel con la participación de 320 pacientes hospitalizados. Se aplicaron mediciones de validez de contenido por grupo de expertos, validez constructo por primera vez para el instrumento a

través de un análisis factorial exploratorio y confiabilidad mediante la valoración de la consistencia interna con el Alfa de Cronbach. Dentro de los principales resultados se obtuvo un índice de acuerdo de 0,92 y un índice de validez de contenido de 0,98 por el grupo de expertos. En el análisis factorial con base en la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin para medición de adecuación de la muestra (KMO, por sus siglas en inglés), se obtuvo un valor de 0,956 y en la prueba de esfericidad de Bartlett uno de 0.0, **indicadores que permitieron calcular las cargas factoriales y así determinar estadísticamente el constructo del instrumento** que llevó a definir teóricamente tres dimensiones a saber: cualidades del hacer de enfermería, apertura a la comunicación enfermera(o) – paciente y disposición para la atención. De los participantes en la aplicación del instrumento dentro de la Clínica Centro Policlínico del Olaya S.A., el 87% consideraron que siempre han percibido una relación de cuidado humanizado por parte del personal de enfermería.

A través de este estudio, se aporta una 3ª versión del instrumento PCHE creado por Rivera y Triana en el año 2003 y adaptado por Rivera, Triana y Espitia en 2010, y sus pruebas psicométricas permiten afirmar que esta versión es válida y confiable para su aplicación en ámbitos hospitalarios.

Palabras clave: validez de las pruebas, confiabilidad, percepción, comportamiento, humanización de la atención, cuidado de enfermería.

**Montes (2013).** Diseño de un Plan de Mantenimiento para la Flota Articulada de Integra S.A. Usando Algunas Herramientas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC). En él se diseña un plan de mantenimiento (PM) con aportes del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC (por su nombre en inglés Reliability Centered Maintenance) para la flota articulada de INTEGRA S.A. que es el operador de transporte masivo MEGABÚS S.A. en la ciudad de Dosquebradas (Risaralda). El empadronamiento o inventario que se utilizó corresponde a la flota articulada, valiéndose de la nomenclatura que utiliza la empresa. Posteriormente se diseñó un formato para las tarjetas maestras de la flota en cuestión, con sus respectivas indicaciones como datos generales (código, placa, flota), de chasis, de

carrocería, y datos de los líquidos y lubricantes que utiliza. Se **desarrolló una matriz de requerimientos realizando un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) a cada componente**, en la misma se respondió por cada elemento, una serie de preguntas que dan como resultado una lista de condiciones y requerimientos de actividades de mantenimiento. Posteriormente, valiéndose de dicha matriz, se procedió a hacer un **análisis de criticidad de los componentes dando valores cuantitativos a datos como la gravedad, frecuencia y detectabilidad de cada una de las posibles fallas identificadas**.

Este proyecto se desarrolla con el fin de establecer un soporte teórico con el cual la empresa pueda disminuir la probabilidad de falla de los vehículos durante su operación, tratando de maximizar tanto como sea posible el tiempo de operación de los activos, y disminuyendo al máximo las paradas o salidas.

Palabras clave: Método, efecto de falla, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Componentes, Detectabilidad.

**Ramírez (2012)**. Análisis de Confiabilidad de la Flota de Aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico. El presente trabajo describe el análisis de confiabilidad realizado a la flota de aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico ubicada en la ciudad de Cali. El trabajo se realiza sobre una flota de 6 aeronaves, dos de ellas tipo Piper PA-28 y 4 aeronaves tipo Cessna 152.

**En el análisis se realiza un proceso para la identificación de las fallas, análisis de riesgos en la operación, análisis causa-raíz y análisis de la disponibilidad y operación de las aeronaves.** El Objetivo General es elaborar una propuesta de un programa de análisis de confiabilidad para la flota de aeronaves pertenecientes a la Escuela de Aviación del Pacífico. Se logró evaluar y mejorar las fallas de los sistemas y componentes de las aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico a través del análisis de confiabilidad ajustado a las directrices de la Aeronáutica Civil de Colombia. **El análisis de confiabilidad permite identificar aquellos fallos que provocan que la seguridad de las operaciones aéreas realizadas por estas aeronaves sea crítica.** Se determinó

que los sistemas y componentes que presentan más alteraciones en sus perfiles de funcionamientos son el sistema de tren de aterrizaje, instrumentos de vuelo, sistemas indicadores de nivel de combustible, indicadores de posición del compensador.

Palabras clave: Confiabilidad, disponibilidad, operación, análisis causa-raíz, matriz de riesgo, mantenimiento centrado en confiabilidad.

### 2.1.3. Artículos Técnicos

**Sneiderman (2011).** UCES, procesos cogn. vol.15 no.2. **Consideraciones acerca de la confiabilidad y validez en las técnicas proyectivas.** Al realizar un estudio aproximativo del status científico actual de los instrumentos proyectivos, se aprecia que los principales cuestionamientos son especialmente en torno a su validez y por sobre todo a su confiabilidad .Se espera de ellos el cumplimiento de ciertos requisitos que son propios de un modelo más cuantitativo. Revisaremos **cual es el Paradigma en que se encuentran insertadas dichas técnicas para así analizar qué se entiende por validez y confiabilidad dentro de este modelo.** Haremos referencia al método hipotético deductivo y a la abducción como así también a la posición del investigador y la importancia de la confiabilidad inter-jueces en las investigaciones cualitativas con instrumentos diagnósticos. Finalmente ejemplificaremos con un ejercicio de validez inter-jueces.

Palabras clave: Instrumentos proyectivos; Validez; Confiabilidad.

**RENOVETEC (2013).** Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento (IRIM). MCC o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) **es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas.** Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico. El objetivo fundamental de la implantación de un

Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o MCC en una planta industrial es **aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción.** Los objetivos secundarios pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados: **Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos. Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.** Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Palabras clave: Centrado en Fiabilidad, Mejora, Reliability Centred Maintenance

## **2.2. Fundamentos Teóricos**

Una vez realizado el planteamiento de la investigación, se debe tener presente que la misma no se realiza a base de conocimientos implícitos, por tal motivo el investigador buscará documentos confiables para justificar su proyecto.

Por otro lado, el investigador deberá buscar siempre referencias teóricas y conceptuales actualizadas que le ayuden al desarrollo de su investigación, enriqueciéndolas por medio de Autores reconocidos en la materia.

De acuerdo con Sabino (1992), menciona que el propósito es: *“dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema”* (p.59).

Un concepto más actualizado lo tiene Hernández, Fernández y Baptista (2014), *“desarrollo de la perspectiva teórica paso de investigación que consiste en sustentar teóricamente el estudio, una vez que ya se ha planteado el problema de investigación”* (p.60).

La perspectiva teórica cumple diversas funciones en una investigación. Entre las principales, se destacan las siguientes:

1. Ayuda a prevenir errores que se han cometido en otras investigaciones.
2. Orienta sobre cómo habrá de realizarse el estudio. En efecto, al acudir a los antecedentes podemos darnos cuenta de cómo se ha tratado un problema específico de investigación:
  - Qué clases de estudios se han efectuado.
  - Con qué tipo de participantes, casos o muestras
  - Cómo se han recolectado los datos
  - En qué lugares o contextos se han llevado a cabo
  - Qué diseños se han utilizado
3. Amplía el horizonte del estudio o guía al investigador para que se centre en su problema y evite desviaciones del planteamiento original.
4. Documenta la necesidad de realizar el estudio.
5. Conduce al establecimiento de hipótesis o afirmaciones que más tarde habrán de someterse a prueba en la realidad, o nos ayuda a no establecerlas por razones bien fundamentadas.
6. Inspira nuevas líneas y áreas de investigación.
7. Provee de un marco de referencia para interpretar los resultados del estudio. Aunque podemos no estar de acuerdo con dicho marco o no utilizarlo para explicar nuestros resultados, es un punto de referencia.

La revisión de la literatura puede iniciarse directamente con el acopio de las referencias o fuentes primarias, situación que ocurre cuando el investigador conoce su localización, se encuentra muy familiarizado con el campo de estudio y tiene acceso a ellas (puede utilizar material de bibliotecas, filmotecas, hemerotecas y bancos de información). Sin embargo, frecuentemente no sucede así (no se es experto en el tema o se dispone de recursos limitados).

Por ello, es recomendable iniciar la revisión de la literatura consultando a uno o varios especialistas en el tema (algún profesor, por ejemplo) y buscando en

internet fuentes primarias en centros o sistemas de información y bases de referencias y datos.

Uno de los propósitos de la revisión de la literatura es analizar y discernir si la teoría y la investigación anterior sugieren una respuesta (aunque sea parcial) a la pregunta o las preguntas de investigación, o bien si provee una dirección a seguir dentro del planteamiento de nuestro estudio.

### **2.2.1. El Nacimiento del Método Centrado en Confiabilidad (MCC), Moubray (2010)**

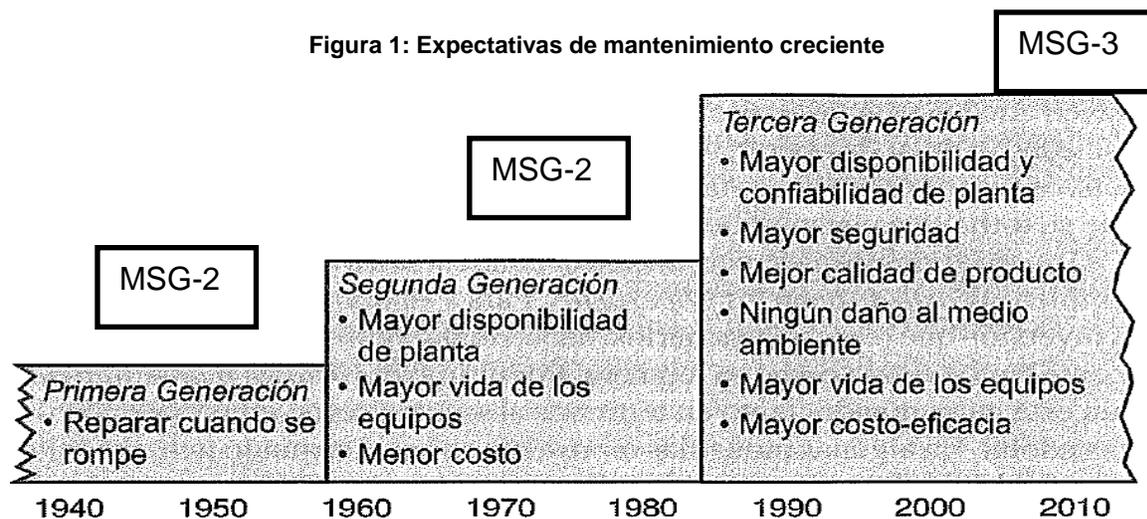
El MCC es un proceso desarrollado durante los 60's y 70's, con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallas. El mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) es usado para determinar lo que debe ser hecho para asegurar que cualquier recurso físico o sistema continúe prestando el servicio que sus usuarios quieren de él. Éste proceso encuentra sus raíces en la industria de la aviación comercial internacional. Impulsada por la necesidad de optimizar la confiabilidad, esta industria desarrolló un amplio proceso para decidir que trabajo de mantenimiento es necesario para mantener una aeronave volando. Este proceso evolucionó permanentemente desde sus inicios en 1960.

Muy pronto se hizo evidente que no existe otra técnica comparable para identificar lo que debe ser hecho para preservar las funciones de los recursos físicos. Como resultado, el MCC ha sido usado por miles de organizaciones que se extienden a casi todo campo importante del desempeño humano organizado. El MCC se está convirtiendo en algo fundamental para la práctica del manejo del recurso físico.

La creciente popularidad del MCC ha conducido al desarrollo de numerosos derivados. Algunos de éstos son refinamientos y optimizaciones hechas al proceso MCC original. Sin embargo, también han surgido derivados menos rigurosos, la mayoría de los cuales son propuestas para “abreviar” el proceso básico de formulación de una estrategia de mantenimiento.

El MCC fue originalmente definido por los empleados de United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered Maintenance”. Este libro fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los Estados Unidos, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG 1: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970 para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes/Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America).

En 1980, la ATA produjo el MSG 3, Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG 3 ha sido revisado dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial.



Fuente: Moubray. (2010)

### 2.2.2. Maintenance Steering Group (MSG). Parra (2008)

Se desarrolló en los EE.UU. el Maintenance Steering Group (MSG, 1947) de la Air Transport Association (ATA) basándose en la literatura publicada por F.S. Nowlan y H.F. Heap en el año de 1978. La lógica de decisión del MSG es usada para establecer los programas de mantenimiento que aseguren los niveles de

confiabilidad del diseño original del avión. Durante su implementación ha evolucionado de la siguiente manera.

- **MSG-1:** El manual "Evaluación de Mantenimiento y Desarrollo de Programas", también conocido como "MSG-1", fue desarrollado en 1968 por el Grupo de Dirección de Mantenimiento de la Asociación de Transporte Aéreo (ATA), un grupo de fabricantes de aerodelismo, Representantes de la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos (FAA) y proveedores. MSG-1 utilizó la lógica de decisión para desarrollar el mantenimiento programado.
- **MSG-2:** Para los aviones en la década de 1970, se desarrolló el documento "Airline / Manufacturer Maintenance Program Planning" o "MSG-2". Se orientó al proceso y analizó los modos de fallo desde el nivel de la pieza hacia arriba. La filosofía del MSG-2 se basaba en la teoría de que todos los aviones y sus componentes alcanzan un período en el que deben ser "cero cronometrados" o "revisados" y restaurados a una nueva condición. Por otro lado, el MSG-2 reconoce tres procesos de mantenimiento: Hard Time (HT), On Condition (OC), Condition Monitoring (CM). Bajo el MSG-2 una propuesta inicial es tomada cuando cada unidad del avión es analizada y asignada a uno de los tres procesos de Mantenimiento.
- **MSG-3:** En 1978, United Airlines, encargada por el Departamento de Defensa, desarrolló una metodología para diseñar programas de mantenimiento basados en prácticas de compañías aéreas probadas y probadas. El MSG-3 elabora propuestas según un escalafón de importancia cuando el análisis de una falla está dirigido al nivel más manejable de los sistemas del avión. El MSG-3 identifica las labores de Mantenimiento adecuadas para prevenir fallas y mantener la integridad en el diseño original.

### **2.2.3. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial; útil para el desarrollo u optimización de un plan

eficiente de Mantenimiento, de acuerdo con Moubray (2010), define el RMC como: *“un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional actual”*. Analiza cada Sistema y como estos pueden fallar funcionalmente. Los efectos de cada Falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la Seguridad, la Operación y el Costo.

El objetivo principal es que los esfuerzos de Mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la Función que realizan los Equipos más que los Equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los Equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones que la interrumpen o dificultan.

MCC es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones. Su éxito depende en gran parte de la experiencia de los participantes como también en la posibilidad de contar con datos de tasa de fallas y periodos de ocurrencia registrados, información dificultosa de encontrar o elaborar en el común de las plantas. La división en sistemas y sub sistemas de cada equipo es tan amplia como criterios puedan definir los integrantes del grupo. Lo mismo ocurre con la profundidad de análisis para cada Modo de Falla / Causa de Falla; solo limitada por el grado de detalle al que el grupo oriente el análisis. En este sentido la metodología MCC es abierta y no es difícil caer en la trampa de hacer análisis tan detallados que los tiempos para la implementación del método se extienden en demasía, mientras que la planta debe continuar incrementando su grado de confiabilidad.

#### **2.2.4. Las siete (7) preguntas del MCC, (Moubray, 2010)**

El MCC se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir

cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de revisión del MCC. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe de realizar un registro de equipos completo si no existe ya uno. MCC hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como son esta siete (7) preguntas que debemos considerar para la implementación de un MCC.

### **1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?**

Cada elemento de los equipos debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de MCC, comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el MCC pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

### **2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?**

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar como puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

### **3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?**

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir.

Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

### **4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?**

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

### **5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?**

Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del MCC es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla. La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar las fallas. MCC clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- Consecuencias de las fallas no evidentes: Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del MCC es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.
- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. MCC considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.
- Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.
- Consecuencias que no son operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del MCC, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario

fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de la falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

## **6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?**

La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de forma rutinaria. El conocimiento de la Segunda Generación sugiere que esta acción preventiva debe de consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos.

Supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un período y luego se deterioran rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de las fallas anteriores permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes. En particular, las características de desgaste se encuentran a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto.

El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto puede ser lo mejor que hacer para fallas que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe de hacer algo para prevenir las fallas, o por lo menos reducir las consecuencias.

El MCC reconoce cada una de las tres categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

- **Tareas “A Condición”:** La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de fallas. La mayoría de estas técnicas nuevas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallas potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que se pueda hacer algo antes de que se conviertan en verdaderas fallas funcionales. Estas técnicas se conocen como tareas a condición, porque los elementos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

Muchas fallas serán detectables antes de que ellas alcancen un punto donde la falla funcional donde se puede considerar que ocurre la falla funcional.

- **Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica:** Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.

Si la falla no es detectable con tiempo suficiente para evitar la falla funcional entonces la lógica pregunta si es posible reparar el modo de falla del ítem para reducir la frecuencia (índice) de la falla. Algunas fallas son muy predecibles aún si no pueden ser detectadas con suficiente tiempo. Estas fallas pueden ser difíciles de detectar a través del monitoreo por condición a tiempo para evitar la falla funcional, o ellas pueden ser tan predecibles que el monitoreo para lo evidente no es una garantizado. Si no es práctico reemplazar componentes o restaurar de manera que queden en condición "como nuevos" a través de algún tipo de uso o acción basada en el tiempo entonces puede ser posible reemplazar el equipo en su totalidad.

Con frecuencia es difícil de determinar la frecuencia de las labores, es suficiente con reconocer que la historia de la falla es un determinante

principal. Usted debe reconocer que las fallas no sucederán exactamente cuándo fueron programadas, de manera que usted debe permitir algún margen de tiempo. Reconozca también que la información que usted está usando para basar su decisión puede ser errónea o incompleta. Para simplificar el próximo paso, el cual supone el agrupado de tareas similares, ello tiene sentido para predeterminar un número de frecuencias aceptables tales como diarias, semanales, unidades producidas, distancias recorridas o número de ciclos operativos, etc. Seleccionar aquellos que están más cerca de las frecuencias que su mantenimiento y sus historia operativa le ordena tiene sentido en realidad.

Una gran ventaja del MCC es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quien debe de hacerlo. Estos criterios forman la mayor parte de los programas de entrenamiento del MCC. El MCC también ordena las tareas en un orden descendiente de prioridad. Si las tareas no son técnicamente factibles, entonces se debe tomar una acción apropiada, como se describe a continuación.

## **7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?**

Además de preguntar si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles, el MCC se pregunta si vale la pena hacerlas. La respuesta depende de cómo reaccione a las consecuencias de las fallas que pretende prevenir.

Al hacer esta pregunta, el MCC combina la evaluación de la consecuencia con la selección de la tarea en un proceso único de decisión, basado en los principios siguientes:

- Una acción que signifique prevenir la falla de una función no evidente sólo valdrá la pena hacerla si reduce el riesgo de una falla múltiple asociado con

esa función a un nivel bajo aceptable. Si no se puede encontrar una acción sistemática apropiada, se debe llevar a cabo la tarea de búsqueda de fallas. En el caso de modos de falla ocultos que son comunes en materia de seguridad o sistemas protectores no puede ser posible monitorear en busca de deterioro porque el sistema está normalmente inactivo. Si el modo de falla es fortuito puede no tener sentido el reemplazo de componentes con base en el tiempo porque usted podría estar reemplazando con otro componente similar que falla inmediatamente después de ser instalado.

En estos casos la lógica MCC pide explorar con pruebas para hallar la falla funcional. Estas son pruebas que pueden causar que el dispositivo se active, demostrando la presencia o ausencia de una funcionalidad correcta. Si tal prueba no es posible se debe re-diseñar el componente o sistema para eliminar la falla oculta.

Las tareas de búsqueda de fallas consisten en comprobar las funciones no evidentes de forma periódica para determinar si ya han fallado. Si no se puede encontrar una tarea de búsqueda de fallas que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, entonces la acción “a falta de” secundaria sería que la pieza debe rediseñarse.

- Una acción que signifique el prevenir una falla que tiene consecuencias en la seguridad o el medio ambiente merecerá la pena hacerla si reduce el riesgo de esa falla en sí mismo a un nivel realmente bajo, o si lo suprime por completo. Si no se puede encontrar una tarea que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, el componente debe rediseñarse.

Si la falla tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar una tarea sistemática si el costo total de hacerla durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación durante el mismo período de tiempo. Si no es justificable, la decisión “a falta de” será el no mantenimiento sistemático. (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales no son aceptables todavía, entonces la decisión “a falta de” secundaria sería rediseñar de nuevo). En otras palabras en el caso de fallas que no están ocultas y en las que no se puede

predecir con suficiente tiempo para evitar la falla funcional y no se puede prevenir la falla a través del uso o realizar reemplazos con base en el tiempo es posible re-diseñar o aceptar la falla y sus consecuencias. Si no hay consecuencias que afecten la operación pero hay costos de mantenimiento, se puede optar por una elección similar. En estos casos la decisión está basada en las economías, es decir, el costo de re-diseñar contra el costo de aceptar las consecuencias de la falla (tal como la producción perdida, costos de reparación, horas extras, etc.).

- De forma similar, si una falla no tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar la tarea sistemática si el costo de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período. Si no son justificables, la decisión inicial “a falta de” sería de nuevo el no mantenimiento sistemático, y si el costo de reparación es demasiado alto, la decisión “a falta de” secundaria sería volver a diseñar de nuevo.

Este enfoque gradual de “arriba-abajo” significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del MCC normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios. También quiere decir que las tareas restantes son más probables que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo.

Si esto compara el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones se aplican consecuencias diferentes. Esto resulta en un gran número de planes que no sirven para nada, no porque sean “equivocados”, sino porque no consiguen nada.

El proceso del MCC considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como está funcionando hoy, y no como debería de estar o puede que esté en el futuro.

Después analizar los modos de falla a través de la lógica mencionada anteriormente, los expertos deben luego consolidar las labores en un plan de mantenimiento para el sistema. Este es el "producto final" del MCC. Cuando esto ha sido producido, el encargado del mantenimiento y el operador deben continuamente esforzarse por optimizar el producto.

### **2.2.5. Mantenimiento**

Según la Norma COVENIN 3049 (1993), defiende el mantenimiento como: *“el conjunto de acciones que permiten conservar o establecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir con un servicio determinado”* (p.01).

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA (1995), define al mantenimiento como: *"el conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorable y de acuerdo a las normas de protección integral."* (p.02).

A partir de los criterios formulados por los autores citados, en relación con el concepto de mantenimiento, se puede definir como el conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado.

Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operatividad, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos, procurando una inversión óptima de recursos.

La idea del mantenimiento tiene su origen en el mismo momento en que el hombre sintió la necesidad de producir bienes que le permitieran subsistir y mejorar las condiciones de esa subsistencia. En este momento, nace también la necesidad y la voluntad de conservar tanto los medios de producción de esos bienes como los mismos bienes, en buen estado. Con la revolución industrial y el desarrollo tecnológico de las sociedades del siglo XX la concepción intuitiva inicial del mantenimiento adquiere un carácter formal llegando a interpretarse como un

verdadero arte, aplicable a la gran cantidad de equipos, maquinarias y bienes en general puestos en servicio. El mantenimiento en la industria actual se entiende entonces como el conjunto de actividades que conlleva a la conservación de las maquinarias, equipos, etc., en buen funcionamiento. Su objetivo reside en obtener una mejor “disponibilidad” de dichos equipos, dando lugar a la ingeniería de mantenimiento. La base estratégica para organizar el trabajo de la unidad de mantenimiento es la misma en todas las industrias y para todos los niveles de complejidad de una planta.

#### **2.2.6. Mantenimiento Preventivo**

De acuerdo con la Norma COVENIN 3049 (1993) el mantenimiento *preventivo* “es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, probabilidades de aparición de averías, vida útil, u otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas.” (p.02).

Así mismo, se puede definir como el conjunto de acciones destinadas a la preservación del equipo en buen estado, independientemente de la aparición de falla en el mismo y de su condición actual. En el mantenimiento preventivo el equipo es reparado, aun cuando no haya fallado. Es un mantenimiento programado, realizado en forma periódica después de cierto tiempo de funcionamiento del equipo. Los objetivos del mantenimiento preventivo son aumentar la “confiabilidad del equipo”, disminuir el número de fallas primarias, disminuir el número de fallas secundarias, disminuir el tiempo no productivo o fuera de operación de un equipo, disminuir su tiempo de parada y por consecuencia aumentar su tiempo de funcionamiento, disminuir los requerimientos de repuestos y las horas hombre de mantenimiento. El objetivo final es el aumento de la “disponibilidad de las unidades”, incrementar la producción total y por consecuencia disminuir el costo unitario de producción, disminuir las horas hombre totales por hora de operación y disminuir el costo total de mantenimiento.

### **2.2.7. Mantenimiento Correctivo**

De acuerdo a la Norma COVENIN 3049(1993) el mantenimiento correctivo “comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo las fallas de una manera integral a medio plazo. Las acciones más comunes de mantenimiento que se realizan son: *“modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas del proceso, cambio de especificaciones, ampliaciones, revisión de los elementos básicos de mantenimiento y conservación.”* (p.02).

Si se decide que no se hará ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar una falla, sino que se reparara la misma una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el costo de la falla (directos indirectos) es menor que el costo de la prevención, cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Esta opción solo es válida en caso que la falla no tenga consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente. Caso contrario, es obligatorio hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias de la falla.

### **2.2.8. Mantenimiento Predictivo**

Mantenimiento predictivo de acuerdo con Zambrano (2014) el mantenimiento predictivo *“es el mantenimiento planificado y programado basándose en análisis técnicos y en la condición del equipo, antes de ocurrir una falla sin detener el funcionamiento del equipo, para determinar expectativas de vida de los componentes y reemplazarlos en tiempo optimo, minimizando costos”* (p. 60).

Este tipo de mantenimiento engloba todas las actividades que permiten conocer o detectar fallas mecánicas u operacionales de los equipos en su fase inicial, mediante análisis realizados con equipos especiales. Las fallas son detectadas sin necesidad de detener el funcionamiento de los equipos. Este tipo de mantenimiento representa el concepto de mantenimiento más “reciente”, es también llamado mantenimiento en condición. Se basa en la certeza de que las

máquinas antes de fallar en forma catastrófica quedando la máquina inutilizable, generalmente presentan síntomas previos de falla. Con el mantenimiento predictivo, se predice la falla a través de un diagnóstico basándose en síntomas característicos, realizándose la reparación únicamente cuando la condición de la máquina se ha alterado hasta un cierto punto determinado previamente. La validez de este sistema está sustentada en la calidad de la información disponible para la determinación de la condición real de la máquina mientras está funcionando

### **2.2.9. Aeronavegabilidad**

De acuerdo con la (RAV 1. , 2008) define la aeronavegabilidad como la “cualidad que indica que la aeronave y sus componentes coinciden con lo especificado en su certificado tipo, y que se encuentra en condiciones seguras de operación” (p.108).

### **2.2.10. Producto Aeronáutico**

De acuerdo a la Regulación Aeronáutica Venezolana N° 21 (2012) define que un producto aeronáutico:

“Es todo producto fabricado por la industria aeronáutica y certificado por un Estado de diseño signatario OACI. Es una aeronave, motor de aeronave o hélice, así como componentes o partes de los mismos. Incluye instrumentos, mecanismos, accesorios y equipos de comunicación, que sean empleados o se pretendan emplear en la operación o control de la aeronave en vuelo, y que se ajusten o fijen a una aeronave, aunque no sean parte de ella, de su(s) motor(es) o hélice(s). Incluyen también materiales y procesos empleados en la fabricación de todos los ítems anteriormente citados. Estos productos se clasifican en:

- (1) Un producto Clase I: es una aeronave completa, motor de aeronave ó hélice, el cual posee un certificado de tipo otorgado por el Estado de diseño.

(2) Un producto Clase II: es un componente mayor de un producto Clase I, ejemplo: alas, fuselaje, conjuntos de empenaje, tren de aterrizaje, transmisiones de potencia, superficies de control, etc., cuya falla comprometería la seguridad de un producto Clase I; o cualquier parte, material o dispositivo aprobado y fabricado bajo el sistema de orden técnica estándar (TSO) o una aprobación de fabricación de partes (PMA).

(3) Un producto Clase III: es cualquier parte o componente que no clasifica como un producto Clase I o Clase II, incluyendo partes estándar” (p. 4).

### **2.2.11. Confiabilidad**

La Norma COVENIN 3049 (1993), la confiabilidad “*es la probabilidad de que un SP no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas*” (p.05).

Según Benítez (2012), el término confiabilidad operacional apareció en la industria electrónica de los Estados Unidos en la década de 1950, debido a la preocupación con las ocurrencias constantes de imperfecciones y la reducción de la disponibilidad de los sistemas, principalmente militares. Actualmente, el concepto de Confiabilidad Operacional es aplicado fundamentalmente en la industria y en el área de sistemas. Su objetivo es alcanzar el mejor uso de los recursos de la compañía durante todo su ciclo de vida, asegurando que el foco principal de la compañía no sea afectado por la carencia de la disponibilidad del mismo. (p.15)

La Confiabilidad tiene muchas definiciones, las cuales dependen del enfoque y contexto en el cual sea utilizado. Algunas de estas definiciones se describen a continuación:

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

- Es la probabilidad de que un elemento operará sin falla por un determinado período de tiempo bajo unas condiciones de operación establecidas.

Se entiende por Confiabilidad Operacional, a la capacidad de una instalación o un sistema en cumplir su función dentro de los límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

La Confiabilidad Operacional lleva implícito un enfoque sistémico basado en la eliminación de las causas de fallas, tanto humanas, como de equipos y de procedimientos, para poder eliminar los factores de baja confiabilidad que afectan a los procesos críticos y la rentabilidad total de una empresa. Está formada por cuatro factores a controlar, los cuales se pueden visualizar en la figura 2.

- Confiabilidad humana.
- Confiabilidad de los procesos.
- Mantenibilidad de los equipos.
- Confiabilidad de los equipos.



Figura 2: Elementos integrantes de la confiabilidad

Fuente: Benítez (2012)

- **Confiabilidad humana:** Se requiere de un alto compromiso de la gerencia para liderar los procesos de capacitación, motivación e incentivación de los equipos de trabajo, generación de nuevas actitudes, seguridad, desarrollo y

reconocimiento, para lograr un alto involucramiento de los talentos humanos.

- **Confiabilidad de procesos:** Implica la operación de equipos entre parámetros o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin generar sobrecarga a los equipos y el correcto entendimiento de los procesos y procedimientos.
- **Mantenibilidad de los equipos:** Es la probabilidad de que después del fallo sea reparado en un tiempo dado. Es la rapidez con la cual las fallas o el funcionamiento defectuoso en los equipos son diagnosticados y corregidos, o el mantenimiento programado es ejecutado con éxito. Es la capacidad de dicho objeto o elemento bajo determinadas condiciones de uso y aplicaciones para conservar o ser reconstruido un estado en el que pueda realizar la función necesaria por dicha operación cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos correctamente.
- **Confiabilidad de equipos:** Es la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un período de tiempo determinado.

Depende de la fase de diseño de los equipos (confiabilidad característica del diseño) y de la confiabilidad de los equipos de trabajo. Se puede medir a través del indicador **TMPR: Tiempo Medio Para Reparar.**

Existen múltiples técnicas o herramientas que pueden ser usadas para mejorar la confiabilidad operacional. La selección de estas depende de algunos factores tales como tipo de proceso al que obedecen, objetivo a los cuales responden, tipo de análisis que se realizan, entre otros.

#### **2.2.12. Personal Implicado. (Moubray, 2010)**

El proceso del MCC incorpora siete preguntas básicas. En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a todas estas preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Esto se aplica

especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben de tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en MCC.

El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

- **Los Facilitadores (Moubray, 2010):** especialista bien entrenado en el MCC, que se conoce como un facilitador. Los facilitadores son el personal más importante en el proceso de revisión del MCC. Su papel es asegurar que:
  - Se aplique el MCC correctamente (que se hagan las preguntas correctamente y en el orden previsto, y que todos los miembros del grupo las comprendan.)
  - Que el personal del grupo (especialmente el de producción y mantenimiento) consiga un grado razonable de consenso general acerca de cuáles son las respuestas a las preguntas formuladas.
    - Que no se ignore cualquier componente o equipo
    - Que las reuniones progresen de forma razonable
    - Que todos los documentos del MCC se llenen debidamente.
- **Los Auditores (Moubray, 2010):** Inmediatamente de que se haya completado la revisión de cada elemento de los equipos importantes, el personal gerente que tenga la responsabilidad total de la planta necesitará comprobar que ha sido hecha correctamente y que está de acuerdo con la

evaluación de las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas. Este personal no tiene que efectuar la intervención personalmente, sino que pueden delegarla en otros que en su opinión estén capacitados para realizarla.

### 2.2.13. Falla (Moubray, 2010)

Una falla, desde el punto de vista de confiabilidad, es cuando el elemento no desarrolla completamente las funciones para las cuales fue diseñado, es decir, un motor que no desarrolla el torque especificado o una estructura que excede una deflexión determinada pueden trabajar de una manera aparentemente normal, pero se encuentran fuera de sus patrones de diseño, según Moubray (2010), defina la falla “como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga”. (p. 49).

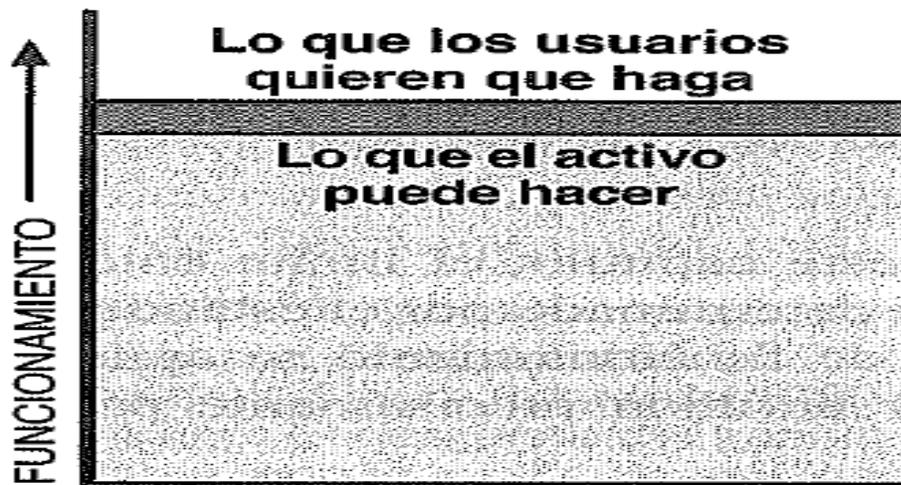


Figura 3: Estado general de falla

Fuente: Moubray. (2010)

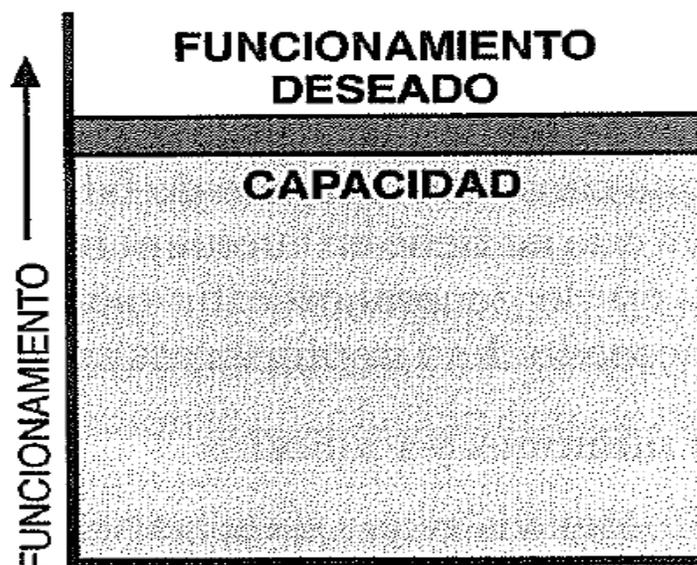
### 2.2.14. Tipos de fallas funcionales (Moubray, 2010)

Es la capacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario, entre ellas tenemos las siguientes:

- **Falla total y parcial:** una pérdida parcial de función casi siempre proviene de modos de falla diferentes de los que provocan una pérdida total, y las

consecuencias casi siempre son diferentes. Por esta razón deben registrarse todas las fallas funcionales asociadas a cada función.

- **Limites superiores e inferiores:** los limites superiores e inferiores significan que el activo físico ha fallado si produce por arriba del límite superior o por debajo del límite inferior, en estos casos la brecha del límite superior por lo general necesita identificarse por separado de la brecha del límite inferior, esto se debe a que los modos de falla y/o las consecuencias asociadas por exceder el límite superior suelen ser diferentes de las asociadas por no alcanzar el límite inferior.
- **Medidores e indicadores:** enfoca la calidad del producto, que está basado en los límites superiores e inferior que se le aplican los estándares de funcionamiento de medidores, indicadores, sistemas de control y de protección, dependiendo del modo de falla y sus consecuencias, también podría ser necesario tratar sus límites, por separados, en el momento en que se listan las fallas funcionales.
- **Contexto operacional:** la definición exacta de falla para cualquier activo depende en gran parte de su contexto operacional, esto significa que de la misma manera que no debemos generalizar acerca de funciones de activos idénticos, también tenemos que tener cuidado en no generalizar acerca de sus fallas funcionales.



#### Figura 4: Falla funcional

Fuente: Moubray. (2010)

### 2.2.15. Consecuencias de la Falla

Un punto fuerte del MCC, es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per se, sino evitar o reducir las consecuencias de ellas. El proceso de MCC clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera: (Moubray, 2010)

- **Consecuencia de fallas ocultas:** las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencia seria y hasta catastrófica, la mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad.
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** una falla tiene consecuencia para la seguridad si es posibles que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- **Consecuencias Operacionales:** una falla tiene consecuencia operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales, además, del costo directo de la reparación)
- **Consecuencias No-Operacionales:** las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

Esto contribuye a colocar a la seguridad y al medio ambiente dentro de las prioridades principales de la administración del mantenimiento.

### 2.2.16. Qué logra el MCC

Permiten que las funciones de mantenimiento satisfagan las expectativas nombradas en la figura 1, la manera en que lo hacen es resumida de la siguiente forma: (Moubray, 2010)

- **Mayor seguridad e integridad ambiental:** el MCC considera las implicancias ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en las operaciones, en otras palabras, está actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el ambiente, mejorando la actitud de las personas en relación con este tema.
- **Mejor funcionamiento operacional (calidad, cantidad de producto y servicio al cliente):** el MCC reconoce que todos los tipos de mantenimientos tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta manera se asegura que sólo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico, y que se tomarán las medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda ayudar. Este esfuerzo de ajustar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos existentes donde se las requiere.
- **Mayor costo-eficacia del mantenimiento:** MCC continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la empresa. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierte en las áreas en las que puede tener los mejores resultados, si el MCC se utiliza para desarrollar un programa de mantenimiento nuevo, la carga de trabajo resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado con los métodos tradicionales.
- **Mayor vida útil de componentes costosos:** debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición.
- **Una base de datos global:** una revisión de MCC finaliza con un registro global y extensivamente documentado de los requerimientos de

mantenimiento de todos los activos físicos utilizados por la organización. Esto posibilita la adaptación a circunstancias cambiantes (como cambios de modelos o aparición de nuevas tecnologías) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde un comienzo. Una revisión MCC sobre los requerimientos de mantenimiento de cada activo físico a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico, y para decidir qué repuestos deben tener en stock. Un producto secundario valioso es la mejora de planos y manuales.

- **Mayor motivación del personal:** especialmente las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un sentido de pertenencia más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También aumenta la probabilidad de que las soluciones perduren.
- **Mejor trabajo de equipo:** MCC provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. Esto da al personal de mantenimiento y de operaciones un mejor entendimiento de lo que el mantenimiento puede (y de lo que no puede) lograr, y qué debe hacerse para lograrlo.

Todos estos temas son parte central de la administración del mantenimiento y muchos ya son los objetivos de los programas de mejora. Un rasgo importante en MCC es que provee un encuadre efectivo y paso a paso para tratar a todos ellos al mismo tiempo, y para involucrar a todos aquellos que tengan relación con el equipo y con el proceso del que forman parte.

#### **2.2.17. Efectos de Falla**

Otros para el proceso de MCC tienen que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como: (Moubray, 2010).

- Qué evidencia existe (si la hay) de que falla ha ocurrido.

- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si la afecta)
- Qué daños físicos (si lo hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

### 2.2.18. Tareas Proactivas (Moubray, 2010)

Mucha gente todavía cree que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de la empresa es hacer algún tipo de mantenimiento proactivo de rutina. El pensamiento de la Segunda Generación/MSG-2 sugería grandes reparaciones, o reposición de componentes a intervalos fijos. La figura 5 muestra la perspectiva de la falla a intervalos regulares.

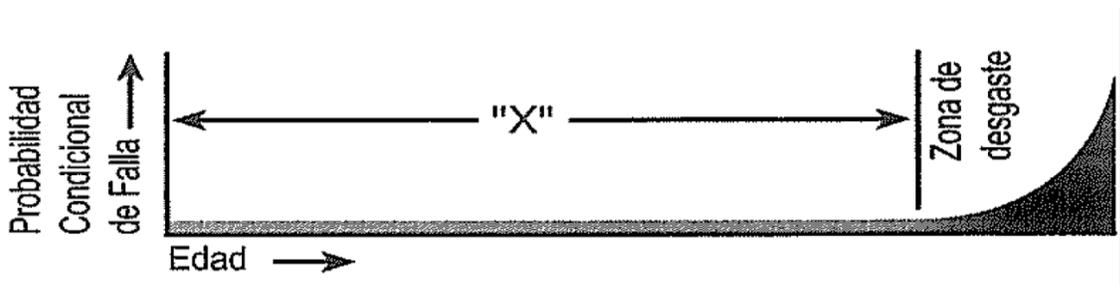
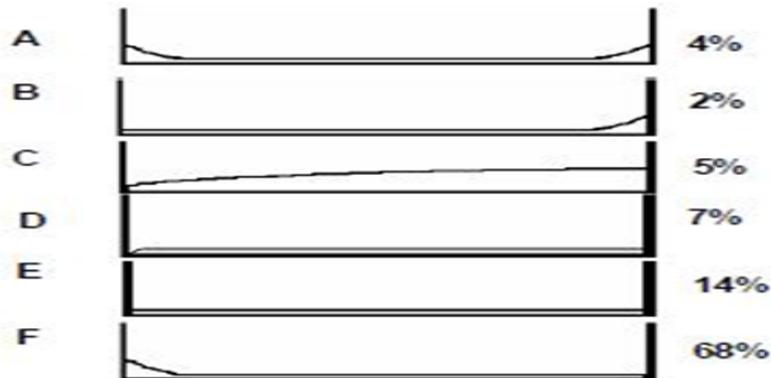


Figura 5: La perspectiva tradicional de la falla

Fuente: Moubray (2010)

### 2.2.19. Patrones de fallas

La Figura 6, muestra cómo el punto de vista acerca de las fallas en un principio era simplemente que cuando los elementos físicos envejecen tienen más posibilidades de fallar, mientras que un conocimiento creciente acerca del desgaste por el uso durante la Segunda Generación llevó a la creencia general en la “curva de la bañera”. Sin embargo se revela que en la práctica actual no sólo ocurre un modelo de falla sino seis diferentes.



**Figura 6: Patrones de Falla**

Fuente: Moubray (2010)

- **El modelo A** es la conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia de falla alta (conocida como mortalidad infantil o desgaste de funcionamiento) seguida por una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o que es constante, y luego por una zona de desgaste.
- **El modelo B** muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste.
- **El modelo C** muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.
- **El modelo D** muestra una probabilidad de falla bajo cuando el componente es nuevo o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.
- **El modelo E** muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla aleatoria).
- **El modelo F** comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que aumenta muy despacio o que es constante.

Por ejemplo, los estudios hechos en la aviación civil mostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el modelo F.

En general, los modelos de las fallas dependen de la complejidad de los elementos. Cuanto más complejos sean, es más fácil que estén de acuerdo con los modelos E y F. (El número de veces que ocurren estos modelos en la aviación no es necesariamente el mismo que en la industria). Pero no hay duda de que cuanto más complicados sean los equipos más veces se encontrarán los modelos de falla (E y F).

#### **2.2.20. Ventajas que ofrece el MCC (Moubray, 2010)**

1. Ofrece soluciones adecuadas basadas en análisis de tipo funcional.
2. Reducción de los gastos de mantenimiento.
3. Aumenta los índices de disponibilidad de los equipos y del sistema.
4. Mantiene unas buenas condiciones no sólo la operación de los equipos, sino también sus funcionamientos.
5. Mejora de la habilidad administrativa de los recursos.
6. Rompe con paradigmas antiguos, creando una visión más amplia de mejora a futuro.

#### **2.2.21. Proceso para la aplicación del MCC**

**Selección de equipos o de sistemas:** Se realiza una identificación de aquellos equipos a los que se les aplica mantenimiento periódico. Se dará prioridad a algún equipo considerando los siguientes parámetros: (Parra, 2008)

- Importancia del equipo en el proceso productivo.
- Costo del equipo en caso de daño por falla.
- Estado del equipo.
- Disponibilidad de desconexión (restricciones).
  - Costo del mantenimiento (materiales, mano de obra, ubicación, frecuencia, entre otras).

**Selección de fronteras, interfaces y componentes:** Para la selección de fronteras se debe definir de forma explícita los límites físicos del equipo. Las interfaces están constituidas por todos los elementos que son entradas al equipo y

con los cuales funciona, pero no forman parte de él. Los componentes son las partes del equipo como tal.

**Descripción de funciones:** Se debe identificar las funciones básicas y las funciones más importantes realizadas por el equipo. Se debe evaluar el nivel de criticidad que presenta cada función. En esta sección se debe determinar el impacto que tendría si el equipo saliese de operación por falla.

**Identificar los modos de falla:** Se lista aquellas formas o maneras en las que el equipo pueda fallar. Esto se hace para cada función importante. Se determina cuáles formas de fallas son críticas.

**Identificar causas de falla:** Se describe el por qué la falla ocurre. Se deben identificar las razones principales que producen cada modo de falla.

**Selección de tareas de mantenimiento:** Para cada causa de falla se examina qué tarea de mantenimiento debe aplicarse. Una vez determinada la tarea de mantenimiento, se asigna una frecuencia (generalmente esta decisión es tomada por el cuerpo de ingeniería).

**Comparación entre tareas mediante el MCC y programas de mantenimiento previos:** En esta última fase en la aplicación de la metodología, se realiza un estudio comparativo entre los resultados de la aplicación de MCC y de los métodos convencionales.

**Consolidación de las tareas de mantenimiento:** Se realiza como manera de simplificación de tareas redundantes y agregar tareas no consideradas en los programas actuales. Su función es unificar criterios para conseguir un solo plan de mantenimiento.

**Análisis de factores que modifican el mantenimiento:** Se debe tomar en cuenta aquellos elementos presentes y no previsto que pueden afectar la operación del equipo. Algunos de estos factores son: Medio ambiente, tiempo de operación, tipo de configuración, etc.

**Elaboración de plantillas:** Se realiza una documentación estructurada donde se definirán las rutinas de mantenimiento por familias de equipos.

### **2.2.22. Análisis de Criticidad - Metodología de Anthony Ciliberti**

De acuerdo con Amendola (2015) menciona que:

*“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, dirigiendo el esfuerzo y los recursos a áreas donde sea más importante y/o necesarias mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método según sea el orden de prioridad de los sistemas objeto de análisis” (p.29).*

Y Ciliberti (1996), define el mantenimiento basado en la criticidad (CBM)

*“es una prioridad para efectuar la aproximación del mantenimiento de los equipos de procesos en industrias. El CBM igualmente toma en cuenta los procesos y la seguridad estableciendo parámetros de criticidad, los cuales proporcionan a las empresas un retorno de la inversión debido a los refuerzos direccionados en estudios de integridad mecánica mientras se establecen cumplimiento con las regulaciones gubernamentales. Esta aproximación optimiza de manera efectiva los programas de integridad mecánica haciendo énfasis en los equipos más críticos” (p.01).*

El CBM usa una jerarquización de procesos críticos el cual es similar a la metodología usada en los procesos de estudio de análisis de riesgos. Todos los componentes y equipos de procesos son evaluados y a cada uno se le otorga un valor relativo de acuerdo a un índice de criticidad global. Una vez que todos los equipos son evaluados por criticidad es cuando comienza una priorización de las actividades de mantenimiento.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con técnicas de mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo, análisis de fallas, análisis de confiabilidad, a través de criterios divididos en: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, frecuencia de fallas y tiempo promedio los cuales serán descriptos a continuación:

Evaluación de la criticidad por consecuencia respecto a la Seguridad y Ambiente:

- Índice de Criticidad por Consecuencia (ICSHA):

$$\text{ICSHA} = \text{FCSHA} - \text{FRSHA} - \text{FMSHA}.$$

Donde,

**FCSHA** = Factor de Criticidad de SHA.

**FRSHA** = Factor de Reducción SHA.

**FMSHA** = Factor de Mitigación SHA.

- ❖ **El Factor de Criticidad de SHA (FCSHA)** se define dependiendo la magnitud de la falla en el equipo dependiendo si se considera, Extremadamente peligrosa, peligrosa, moderadamente peligrosa, de peligro bajo o no peligrosa, adicionalmente se consideran condiciones del contexto operacional como temperatura, presión, RPM, entre otros.
- ❖ **El Factor de Reducción SHA (FRSHA)**, considera la posibilidad de que la falla del equipo genere consecuencias severas sobre la salud, higiene y el medio ambiente.
- ❖ **El Factor de Mitigación SHA (FMSHA)**, evalúa si existe un equipo o respaldo u opción del proceso (maniobra operacional) que permita mitigar las consecuencias de la falla.

Evaluación de la criticidad respecto a las operaciones:

- Índice de Criticidad del proceso (ICP):

$$\text{ICP} = \text{FCP} - \text{FRP}$$

Donde,

FCP = Factor de Criticidad del Proceso.

FRP = Factor de respaldo del Proceso.

- ❖ **El Factor de Criticidad del Proceso (FCP)**, evalúa la afectación de falla sobre las operaciones en las siguientes categorías:

1. La falla del equipo causa pérdida completa de la capacidad de producción o calidad inaceptable del producto.
2. La falla del equipo causa la pérdida de una corriente, limita la producción o diferimiento de la misma.
3. La falla del equipo causa la recirculación o almacenaje inmediato o pérdida de eficiencia y confiabilidad.
4. La falla del equipo causa la pérdida de control del proceso.
5. La falla del equipo no afecta la capacidad del proceso.

❖ **El factor de Respaldo del Proceso (FRP)**, es un Factor de corrección del factor anterior en función de si el equipo posee un respaldo o existe alguna maniobra operacional que evite las consecuencias en las operaciones.

### 2.2.23. Equipo Natural de Trabajo (ENT).

El equipo natural de trabajo (ENT) es un conjunto de personas de diferentes funciones dentro de la organización que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. Los miembros de un Equipo Natural de Trabajo, no deben ser mayores de diez personas y deben estar conformados de la forma siguiente: (Parra, 2008)



Figura 7: Conformación básica del equipo natural de trabajo (ENT)

Fuente: ER&M (2005)

- El ingeniero de procesos tiene una visión global del negocio, son los destinados al conocimiento de la operación de la máquina, para indicar los posibles efectos y las consecuencias de las acciones planeadas en el rendimiento de la producción.
- El mantenedor debe ser capaz de contribuir en el análisis de los detalles específicos de la máquina y la opción de tareas de mantenimiento, también tiene que controlar el programa de mantenimiento.
- El operador tiende a conocer mejor la maquinaria y puedo informar al grupo sobre los problemas actuales de las máquinas. Tendrá que ejecutar muchas de las tareas, de mantenimiento y si éstas no son prácticas o no vale la pena hacerlas, no serán apoyadas.
- El programador debe tener una visión sistemática de la actividad, necesita entender el proceso del ENT.
- Los especialistas son los expertos en el área de estudio, representan el personal que tiene la responsabilidad total de comprobar que ha sido completada correctamente la revisión de cada elemento de los equipos importantes y que todo el personal implicado esté de acuerdo con la evaluación de las consecuencias de los fallos y la selección de las tareas.



Figura 8: Equipo natural de trabajo

Fuente: Parra (2008)

El facilitador es el líder del equipo de trabajo, deberá facilitar la implantación de las filosofías o técnicas a usar aprovechando las diferentes destrezas del personal

que forma el equipo de trabajo, el facilitador deberá ser absolutamente competente en las siguientes áreas:

- a) Técnicas a implantar.
- b) Gerencia del análisis.
- c) Dirección de reuniones.
- d) Administración del tiempo.
- e) Administración, logística y gerencia ascendente.

#### **2.2.24. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)**

Según Zambrano (2014) “El análisis de modos y efectos de falla (AMEF) es una herramienta que identifican los efectos y consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional.” (p. 41).

El análisis AMEF permite:

- Responder las siete preguntas básicas del MCC.
- Realizar un análisis de confiabilidad, generando suficientes datos sobre causas y frecuencias de falla.
- Obtener una profunda visión desde el sistema hasta sus componentes.
- Descubrir y documentar problemas de diseño.

El análisis del AMEF debe basarse en:

- Experiencia de operadores y mantenedores.
- Reportes de análisis de falla y acciones correctivas.
- Archivos de trabajo realizados
- Mantenimiento de rutina
- Data de ingeniería
- Data de construcción

El análisis de AMEF puede resumirse en los siguientes pasos básicos:

- Funciones y estándares de operación.
- Criterios de funcionamiento
- Síntomas de Falla.
- Especificar los Fallos funcionales.

- Modos de Falla
- Efectos de Falla
- Consecuencias de las Fallas
- Seleccionar las actividades de Mantenimiento según su nivel.

#### **2.2.25. Análisis Causa Raíz.**

De acuerdo con Cardiz (2016) el análisis de causa raíz : *“es una metodología de confiabilidad que emplea un conjunto de técnicas o procesos, para identificar factores casuales de falla”* (p.5).

Es decir, el origen de un problema definido, relacionado con el personal, los procesos, las tecnologías, y la organización, con el objetivo de identificar actividades o acciones rentables que los eliminen.

De acuerdo con Benítez (2012), define el Análisis de Causa Raíz como: *“la herramienta que permite descubrir el evento indeseable o causa raíz que ocasiona una falla. Al eliminarlo no sólo se aumenta la confiabilidad, la seguridad y la disponibilidad, sino también la eficiencia y productividad de operaciones en la empresa, al mismo tiempo que se disminuyen los costos de mantenimiento”* (p.16).

El Análisis Causa Raíz debe realizar mediante el método Causa-Efecto. Este método se basa en el hecho de que un evento de falla siempre tiene una causa, y que éstas a su vez tiene otra causa, convirtiéndose la primera en efecto de la segunda. Dicho de otra manera una causa siempre se convierte en efecto de otra causa, formándose de este modo una cadena de causas y efectos, que puede continuar hasta llegar a la causa fundamental del problema.

El Análisis Causa-Raíz debe estar dirigido a:

- Análisis de falla de componentes (AFC), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de causa de raíz (ICR), ésta herramienta incluye a la anterior e investiga las causas físicas.

- Análisis de causa raíz (ACR), ésta herramienta incluye a los dos anteriores y estudia además el error humano.

## Diagrama de Ishikawa

Es un método que fue propuesto por el Dr. Kaoru Ishikawa con la finalidad de mostrar de manera gráfica todos los conocimientos que se tiene sobre un problema en particular, frecuentemente esta técnica es empleada para hacer la representación del análisis causa-raíz.

De acuerdo con Gálvez (2009), lo define como:

*“un método de trabajo que muestra la relación entre una característica de calidad (efecto) y sus factores (causas), este método tiene la particularidad de agrupar las causas en distintas categorías, tales como: Máquinas, Mano de Obra, Materiales y Métodos y también se pudiera incluir la causa del Medio Ambiente” (p.34).*

En este diagrama las causas que generan un potencial de efecto se presentan de manera jerarquizada, por su particular forma también se le denomina como espina de pescado, se denota un ejemplo típico del diagrama de Ishikawa.

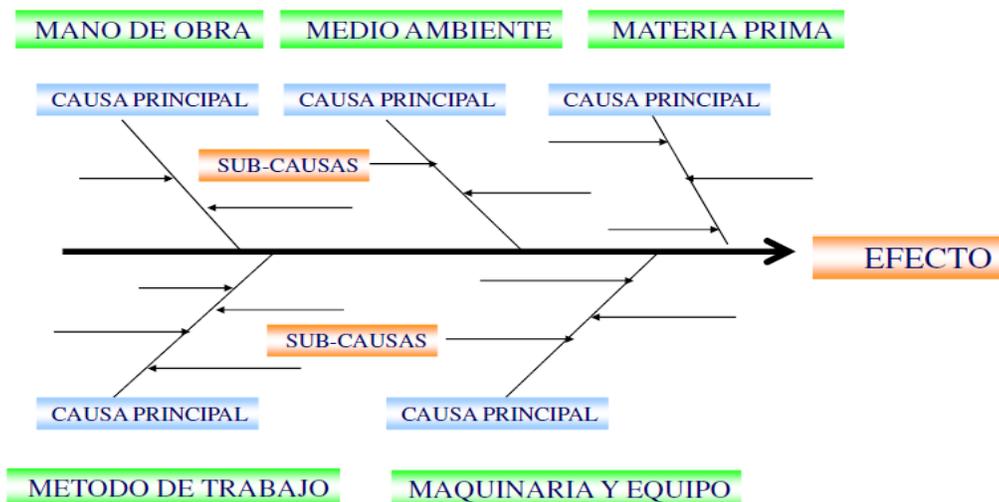


Figura 9: Representación del análisis causa-raíz (Diagrama de Ishikawa)

Fuente: Gálvez (2009)

### **2.2.26. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).**

De acuerdo con Primitivo (2007), lo define como: *“una herramienta clave para mejorar la confiabilidad de procesos y productos”* (web).

La metodología del Análisis de Modo y Efecto de Fallas, proporciona la orientación y los pasos que se deben seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o un proceso, junto con el efecto que las provocan. A partir de lo anterior se debe establecer prioridades y acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales que más vulneran la confiabilidad del producto o proceso.

El AMEF se ha vuelto un actividad casi obligada para garantizar que los productos sean confiables, en el sentido que logren funcionar bien el tiempo que se ha establecido como su periodo de vida útil, pero también cada día se hace más común su aplicación en muchos otros campos con el objetivo de detectar fallas potenciales y prevenirlas y de esa forma reducir los tiempos de ciclo, mejorando la eficiencia de procesos.

De ésta forma una tarea fundamental cuando se busca caracterizar y mejorar un proceso es aplicar la metodología del AMEF, con la idea de conocer mejor las debilidades (modos de falla potenciales) del producto o proceso y a partir de ahí generar soluciones a nivel proceso o rediseño de producto.

- **Actividades para realizar un AMEF.**
  1. Delimitar los equipos, productos o proceso a los que se le aplicará.
  2. Identificar y examinar todas las formas posibles en que puedan ocurrir fallas de un equipo, producto o proceso (identificar los modos potenciales de falla).
  3. Para cada falla, identificar su efecto y estimar la severidad del mismo.

- **Por cada falla potencial hacer:**
  4. Encontrar las causas potenciales de la falla y estimar la frecuencia de ocurrencia de éstas debido a cada causa.
  5. Hacer una lista de los controles o mecanismos de revisiones que existen para detectar la ocurrencia de la falla, antes de que el equipo la padezca y genere consecuencias graves. Además estimar la probabilidad de que los controles hagan la detección de éstas.
  6. Calcular el número prioritario de riesgo (NPR), que resulta de multiplicar la severidad por la ocurrencia y la detección.
  7. Establecer prioridades de acuerdo al NPR, y para los NPR más altos decidir acciones para disminuir severidad y ocurrencia, o en el peor de los casos mejorar la detección.
  8. Revisar y establecer los resultados obtenidos, lo cual incluye precisar las acciones tomadas y volver a calcular el NPR.
- **Severidad (S):** La severidad de los efectos potenciales de falla se evalúa en una escala del 1 al 10, como se indica en la tabla 1 y representa la gravedad de la falla para una operación o el operador, una vez que esta falla ha ocurrido. La severidad solo se refiere o se aplica al efecto.

Tabla 1: Criterio de Severidad sugerido para un AMEF

Tabla de criterio de Severidad		
Efectos	Criterio evaluativo de severidad del efecto de falla	Valor
Alerta peligrosa	La falla afecta la operación total y segura del equipo e implica su desincorporación, por falta de compromiso adecuado de la dirección de mantenimiento poniendo en riesgo la vida del operador	10-9
Muy arriba	El equipo es inoperable con pérdida total de su función y puede poner en riesgo la vida del operador	8
Alto	El equipo es operable, pero reduce su nivel total de funcionamiento y puede ocasionar lesiones al operador	7
Moderado	El equipo es operable, pero genera incomodidad e inseguridad en el operador por el desempeño del equipo	6
Bajo	El equipo es operable a un nivel reducido de su funcionamiento	5
Muy bajo	La falla presente en el equipo es notable fácilmente por el operador	4-3

Muy de menor importancia	La falla presenta algún desajuste y exceso de ruidos al equipo	2
Ninguno	Ningún efecto	1

Fuente: Primitivo (2007)

- **Ocurrencia (O):** Es la frecuencia con la que se espera ocurra la falla. La posibilidad de que ocurra cada causa potencial se estima en una escala del 1 al 10, como se representa en la tabla 2. Si hay registros estadísticos adecuados, éstos deben utilizarse para asignar un número a la frecuencia de ocurrencia de la falla. Es importante ser consciente y utilizar los criterios de la tabla para asignar tal número. Si no hay datos históricos puede hacerse una evaluación subjetiva utilizando las descripciones dadas por los encargados de los equipos o procesos.

**Tabla 2: Criterios de ocurrencia de fallas sugeridos en un AMEF**

Tabla de criterio de Ocurrencia		
Probabilidad de ocurrencia de fallas	Criterio evaluativo de las ocurrencias de las fallas en los equipos	Valor
Muy alta probabilidad	Se producirá el fallo casi con total seguridad	10-9
Alta probabilidad	Los fallos se presentan con frecuencia	8-7
Moderada probabilidad	Asociado a situaciones similares que hayan tenido fallos esporádicos, pero no en grandes proporciones	6-5-4
Baja probabilidad	Ocasionalmente podría producirse un número relativo bajo de fallos	3-2
Remota probabilidad	Sería irrazonable esperar que se produjera un fallo	1

Fuente: Primitivo (2007)

- **Detección (D):** Con una escala del 1 al 10, se estima la probabilidad de que los controles y revisiones empleados en los equipos o procesos detecten alguna falla y su efecto, una vez que haya ocurrido y antes de que el producto o equipos salga hacia procesos posteriores o antes de que esté en el área de mantenimiento. Se debe suponer que la avería ha sucedido y entonces se evalúa la eficacia de los controles actuales para prevenir el embarque del defecto. Es decir, es una estimación de la probabilidad de

detectar, suponiendo que ya ha ocurrido la falla y no es una estimación sobre la probabilidad de que la misma ocurra, en la tabla 3, se representan los valores correspondientes al criterio de detección.

**Tabla 3: Criterios de detención de fallas en un AMEF**

<b>Tabla de criterio de Detección</b>		
<b>Detección</b>	<b>Criterio evaluativo en las detecciones de fallas en los equipos</b>	<b>Valor</b>
Incertidumbre absoluta	No existe un control ni revisiones que detecte una causa potencial de incidente o modo de falla en los equipos, no hay control de nada.	10
Alejada	Probabilidad alejada de que el control empleado en las revisiones y mantenimientos, detecten alguna causa potencial de incidente o modo de presentarse alguna falla en los equipos.	9-8
Muy baja	Probabilidad Muy baja de que el control empleado en las revisiones y mantenimientos, detecte alguna causa potencial de incidente o modo de presentarse alguna falla en los equipos.	7
Baja	Probabilidad baja de que el control empleado en las revisiones y mantenimientos, detecte alguna causa potencial de incidente o modo de presentarse alguna falla en los equipos.	6
Moderada	Puede ser que el control empleado en las revisiones de los equipos, detecte alguna causa potencial de falla.	5-4
Alta	La probabilidad es muy alta en la detección de las fallas por parte de los encargados de mantenimientos en las revisiones de los equipos.	3-2
Casi Segura	Los criterios de evaluaciones y revisiones de los equipos son totalmente seguros para detectar futuras fallas en los equipos.	1

Fuente: Primitivo (2007)

- **Número de prioridad del riesgo (NPR):** El NPR es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la severidad (S) del efecto de falla, las probabilidades de ocurrencia (O) de fallas y la probabilidad de que los controles y revisiones empleados en los equipos o procesos detecten (D) alguna falla y su efecto. Es decir, para cada efecto se tienen varias causas y para cada causa un grupo de controles. El valor viene dado por la siguiente expresión:

### **Ecuación (1) NPR = (S) x (O) x (D)**

El NPR cae en un rango del 1 a 1.000 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla. A los más altos números de NPR se les deberá dar prioridad para acciones correctivas, ya sea para prevenir la causa o por lo menos para emplear mejores controles de mantenimientos y revisiones de los equipos, productos o sistemas. Especial atención debe darse cuando se tengan altos NPR (mayores a 80) con severidades altas.

### **2.3. Marco Referencial**

El MCC se puede extender a todas las industrias del sector productivo, servicios y militar, donde el direccionamiento y el grado de profundidad del programa depende mucho del tipo de industria que lo ha de manejar e implementar; es así como para el sector comercial el programa no ha de ser tan riguroso como en el caso del sector militar, sin embargo se deben mantener estándares altos de seguridad sin perder la relación costo-beneficio. Dentro de la industria se distinguen tres tipos de sectores que emplean los estudios de Confiabilidad para determinar el grado de calidad de sus productos y/o servicios, éstos son:

- La industria del transporte tanto el sector de producción como de mantenimiento.
- Las empresas de telecomunicaciones.
- Las empresas de servicios públicos, como es el caso de plantas generadoras de energía y plantas de tratamiento de aguas entre otras.

### **Línea Aérea de Servicio Ejecutivo Regional (LASER) C.A.**

La línea aérea LASER C.A. en su MGM (2015), menciona lo siguiente:

“El programa de confiabilidad de Laser C.A describe y define los métodos y procedimientos usados para supervisar, evaluar y mejorar la efectividad del programa de mantenimiento, asegurando la confiabilidad

de la flota de aeronaves de Laser C.A, dando cumplimiento a lo establecido en la RAV 121.150.

El programa de confiabilidad de Laser C.A está basado en un sistema de recopilación de reportes de mantenimiento, que definen el comportamiento de la flota de aeronaves bajo condiciones normales de operación. Esto provee una media de la confiabilidad del comportamiento de los sistemas de las aeronaves y la rotación de componentes, y permite compararlos con niveles predeterminados de comportamiento aceptables. Un sistema de reporte de eventos y un análisis de datos permite una rápida identificación de tendencias adversas. Mediante los sistemas y rotación de componentes, se establecen niveles que definen el comportamiento, emitiéndose una alerta e iniciándose un procedimiento de investigación para detectar el problema y dar origen a una acción correctiva.

El programa de mantenimiento puede ser controlado por decisiones y acciones de la dirección de mantenimiento, basados en el análisis continuo de datos, comparando los resultados con los estándares establecidos” (p.1).

Además,

**El programa de confiabilidad de Laser C.A cubre el proceso de monitorización de los siguientes eventos:**

- Reportes del maintenance log book.
- Reemplazo de componentes no programados.
- Mantenimiento no programado.
- Cambios en el proceso de mantenimiento primarios.
- Cambios en el programa de mantenimiento programado.
- Cambios a las frecuencias de mantenimiento programado.

## **Aplicación.**

El programa de confiabilidad de Laser C.A cubre la totalidad de la aeronave incluyendo lo siguiente: Sistemas, Estructura, Plantas de propulsoras y componentes descritos en las especificaciones ATA 100, aplicables a la flota Laser C.A. Para los propósitos de control del programa, las ATA's pueden ser subdivididas en sub. ATA's.

El programa de confiabilidad de Laser C.A cubre todas las tareas del mantenimiento programado, no programado, inspecciones y chequeos operacionales junto a sus intervalos asociados.

Las demoras y cancelaciones de vuelos, reportes del maintenance log book, cortes de motor en vuelo, remociones de motor no programadas y remociones de componentes no programadas son recolectados, presentados a través de gráficas, las cuales indicarán la tendencia del comportamiento de las aeronaves y/o componentes. Los niveles de alerta son establecidos y permiten identificar cuando una investigación sea requerida. Cuando un sistema, componente ó planta propulsora excede estos niveles de alerta, se inicia una investigación para determinar las causas e identificar las medidas correctivas que deberán ser aplicadas. Los resultados y las acciones correctivas recomendadas serán entonces ejecutados. Los reportes de defectos estructurales son revisados mensualmente por el departamento de ingeniería y la junta de revisión técnica (JRT).

## **2.4. Bases Legales**

### **2.4.1. Internacionales**

#### **Anexo 6 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).**

Es responsabilidad de mantenimiento del explotador de conformidad con procedimientos aceptables para el Estado de matrícula:

- Cada avión explotado por ellos se mantenga en condiciones de aeronavegabilidad;
- El equipo operacional y de emergencia necesario para el vuelo previsto se encuentre en estado de funcionamiento;
- El certificado de aeronavegabilidad de cada avión explotado por ellos siga siendo válido.

Los Estados deberían exigir, como parte de su programa de seguridad operacional, que el organismo de mantenimiento implante un sistema de gestión de la seguridad operacional aceptable para el Estado que, como mínimo:

- Identifique los peligros de seguridad operacional;
- Asegure que se aplican las medidas correctivas necesarias para mantener un nivel aceptable de seguridad operacional;
- Prevea la supervisión permanente y evaluación periódica del nivel de seguridad operacional logrado; y
- Tenga como meta mejorar continuamente el nivel global de seguridad operacional.

La conformidad de mantenimiento se completará y firmará para certificar que el trabajo de mantenimiento se completó satisfactoriamente y según datos aprobados y los procedimientos descritos en el manual de procedimientos del organismo de mantenimiento, la conformidad de mantenimiento contendrá una certificación donde se indiquen:

- Los detalles básicos del mantenimiento realizado, incluyendo referencia detallada de los datos aprobados empleados;
- La fecha en que se completó dicho mantenimiento;
- Cuando corresponda, la identidad del organismo de mantenimiento reconocido; y
- La identidad de la persona o personas firmantes de la conformidad.

## **Norma ISO 14224**

Esta Norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del MCC.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan Cuantificar la Confiabilidad de Equipos y compararla con la de otros de características similares.

Los parámetros sobre Confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de diseño montaje, operación y mantenimiento.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

- Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:
  - Diseño y configuración del Sistema.
  - Seguridad, Confiabilidad y Disponibilidad de los Sistemas y Plantas.
  - Costo del Ciclo de Vida.
  - Planeamiento, optimización y ejecución del Mantenimiento.
- Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:
  - Permitir el intercambio de datos entre Plantas.
  - Asegurar que los datos sean de calidad suficiente, para el análisis que se pretende realizar.

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de Operación, como también la calificación de la jerarquía de las Fallas. Parte desde el Modo de Falla, (perdida de la función) hasta el detalle de la Causa de Falla y el componente (ítem mantenible para la norma), que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el Técnico de Mantenimiento (y las que quedan para un Especialista como metalografía, fractormecánica, etc.).

Estructuración de Jerarquías ISO 14224.

La norma ISO 14224 toma la máquina dividiéndola de mayor a menor jerarquía o grado de detalle:

- CLASES
- SISTEMA
- SUB SISTEMA
- ÍTEM MANTENIBLE
- COMPONENTE DE DETALLE (en un grado último de división, opcional)

### **EA-JA1011**

Los criterios en esta norma SAE están basados en los procesos MCC y los conceptos de tres documentos sobre MCC: (1) Libro de 1978 de Nowlan and Heap, "Reliability-Centered Maintenance," (2) MIL-STD-2173(AS) de la Aviación Naval de U.S. (Reliability-Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment) y su sucesor, U.S. Naval Air Systems Command Management Manual 00-25-403 (Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process), y (3) "Reliability-Centered Maintenance (MCC 2)," por John Moubray. Estos documentos son considerados como los documentos sobre MCC disponibles más ampliamente usados y aceptados.

Este documento está concebido para cualquier persona que desee determinar si cualquier proceso que pretenda ser MCC es de hecho MCC. Es específicamente útil para personas que deseen contratar servicios de MCC (entrenamiento, análisis, facilidades, consultoría, o cualquier combinación de estos).

#### **2.4.2. Nacionales**

#### **2.4.3. Ley de Aeronáutica Civil Venezolana (2005/2013)**

**Artículo 5.** La legislación aeronáutica civil venezolana se orientará a la adecuación y al cumplimiento de las normas y métodos recomendados, emanados de la Organización de Aviación Civil Internacional y otros organismos

internacionales especializados, para alcanzar la uniformidad con la normativa aeronáutica internacional, a fin de promover el desarrollo de la aeronáutica civil de manera segura, ordenada y eficiente.

**Artículo 8.** Toda persona natural o jurídica que utilice o preste servicios aeronáuticos de conformidad con lo establecido en la presente Ley, tiene deberes y derechos en cuanto a eficiencia, calidad, puntualidad, responsabilidad, orden, disciplina, seguridad, respeto, transparencia y equidad, en el servicio, de acuerdo con lo previsto en el ordenamiento jurídico que rige la materia. Las personas discapacitadas o de necesidad especial tienen derecho a recibir una asistencia acorde con sus condiciones en la totalidad de su viaje, para lo cual los explotadores o prestadores de servicios aeronáuticos están obligados a ajustar sus operaciones para satisfacer las necesidades del usuario.

**Artículo 14.** La vigilancia permanente de la seguridad operacional y protección de la aviación civil por parte de la Autoridad Aeronáutica, se ejerce sobre todas las actividades aeronáuticas mediante la función fiscalizadora, tendiente a asegurar que las mismas estén conformes con los estándares internacionales de seguridad. En ejercicio de sus funciones, la Autoridad Aeronáutica tendrá el acceso inmediato a los lugares donde se desarrollen actividades aeronáuticas, conexas o de soporte y serán sancionados, conforme con la ley, quienes impidan el acceso inmediato de sus funcionarios.

**Artículo 100.** El que realice transporte aéreo, es responsable por los daños causados al pasajero por la demora, cancelación o el accidente o incidente producido a bordo de la aeronave o durante cualquiera de las operaciones de embarque o desembarque, conforme a las normas técnicas.

Las operaciones de embarque comienzan en el momento en que el pasajero deja las instalaciones del aeródromo o aeropuerto para ingresar a la aeronave y las operaciones de desembarque terminan cuando el pasajero, al salir de la aeronave, ingresa a las instalaciones del aeródromo o aeropuerto. En cualquier caso, la

responsabilidad por daños en el embarque y desembarque recaerán sobre quienes realicen dichas actividades.

El derecho a percibir la indemnización por los daños ocasionados al pasajero, se ajustará a los siguientes términos:

- Por muerte o por incapacidad total permanente, hasta cien mil Derechos Especiales de Giro.
- Por incapacidad parcial permanente, hasta cincuenta mil Derechos Especiales de Giro.
- Por incapacidad parcial temporal, hasta veinticinco mil Derechos Especiales de Giro.
- Por demora o cancelación injustificada en el vuelo contratado, hasta cuatro mil ciento cincuenta Derechos Especiales de Giro.

#### **2.4.4. Circular de Asesoramiento (CAA-09-21) 2088**

Esta Circular de Asesoramiento provee información sobre la aplicación de métodos de confiabilidad como una parte integral de un programa de mantenimiento de aeronaves aprobado para los operadores que cumplen las disposiciones del RAV's 121, 135 y Documento 9389-AN/919 de la OACI. Así como proveer una guía para el desarrollo de programas que utilizan el control de mantenimiento a través del método de confiabilidad. Expresa las recomendaciones del Instituto Nacional de Aeronáutica Civil (INAC) con respecto a los programas de control que utilizan estas técnicas. Esta circular combina la información y los criterios de los procesos de condición - monitoreo, que se establecen en las Regulaciones Aeronáuticas Venezolanas (RAV), el documento de Planificación de Programas de Mantenimiento MSG-2/MSG-3, establece los criterios para clasificar los procesos de mantenimiento, que se incluyen en el Apéndice 1.

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo tiene como objetivo fundamental, definir el tipo de investigación, la metodología a emplear para poder ejecutarla y llevarla a cabo, el diseño de la investigación, la población y muestra vinculada en la misma, las técnicas de recolección de datos, las fases de la investigación, el procedimiento por objetivos y por último, las variables y definiciones conceptuales y operacional e indicadores durante el desarrollo.

### 3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo con (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014), un estudio descriptivo: *“busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice”* (p.92).

El tipo de investigación que se utilizará en la presente investigación será descriptiva, ya que la misma, está sustentada en un proyecto real que actualmente se está aplicando y en datos que ya existen, los cuales van a ser analizados y procesados para luego proponer soluciones y recomendaciones concretas.

La investigación propondrá una serie de indicadores, que permitan la evaluación de la eficiencia y la efectividad en la aplicación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa aeronáutica nacional o internacional, involucrando de esta manera un análisis y síntesis que se hará de toda la información revisada en la empresa y recolección de datos o registros dada por la Gerencia de Mantenimiento, como también por la observación directa, con el fin de lograr los objetivos planteados y una culminación satisfactoria de la presente investigación.

### 3.2. Diseño de la Investigación

Según Hernández, Fernández, & Baptista (2014), define el diseño de la investigación como: *“plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación”* (p.126).

Por otro lado, tenemos que Sabino (1992), menciona que: *“su objeto es proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerlo”* (p.75).

La investigación será de Campo, debido a que se recopilarán todos los datos desde la fuente primaria, es decir, de los reportes de mantenimiento que informan ya sea la tripulación de mando (Capitán) o el personal técnico en mantenimiento de aeronaves (TMA) que describen las fallas durante la operación de los componentes aeronáuticos.

Por otro lado, de acuerdo con Muñoz (2011), la investigación de campo permite:

El análisis sistemático de problema de la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explica sus causas y efectos o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas (...) de investigación conocidos (p.226).

La investigación será de campo, por tal motivo el diseño de la investigación conducirá al mismo criterio, ya que los datos que obtendremos serán de información empíricas que elaboran las fuentes primarias (Capitán y TMA), y por ser de primera mano, originales, que es el producto esencial de la investigación.

Por otro lado, la investigación estará basada en el obtener información por medio de documentos o registros de mantenimiento que informen de hallazgos durante la operación de un producto aeronáutico.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **Población**

Una vez definido el tipo y diseño de la investigación, se describe a continuación la población o universo objeto de este estudio. Según Hernández, Fernández, &

Baptista (2014), define la población como: *“Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”* (p.176).

La población a estudiar comprenderá la cantidad de aeronaves que posee el propietario o aerolínea, por tal motivo es importante resaltar que esta investigación abarca una población desde una aeronave hasta la máxima que pueda tener un explorador.

Por otro lado, la según Hernández, Fernández, & Baptista (2014), define la muestra de la siguiente manera: *“subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de ésta”* (p.176).

La muestra enfocada en la investigación será no probabilística, partiendo de lo que dice Hernández, Fernández, & Baptista (2014), *“subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación”* (p.176). Esta se debe a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones del investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación.

Por ejemplo, un explotador posee diez (10) aviones registrada ante la Autoridad Aeronáutica y las mantiene operativa, su muestra sería siete (7) aeronaves. Pero esta muestra no limita a que el propietario o aerolínea desee que se le aplique el análisis de fallas a toda su población. Esta representación reflejada en la investigación es de carácter de ejemplo, ya que la muestra será la que el explotador requiera dentro de sus políticas de la organización o a medida que se demuestre la eficacia de la investigación.

En algunos casos, se sabe que hay propietarios que solo poseen una sola aeronave, y por ello esta investigación no lo excluirá, debido a que se va a analizar las fallas de los componentes y sistemas que conforman una aeronave.

### 3.4. Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos pueden considerarse como la forma o procedimiento que utiliza el investigador para recolectar la información necesaria en el diseño de la investigación. Así lo expresa Muñoz (2011) una técnica es *“un procedimiento o conjunto de procedimientos, reglas, normas o protocolos, que tienen como objetivo obtener un resultado determinado, ya sea en el campo de la ciencia, de la tecnología, del arte, de la educación o en cualquier otra actividad”* (p. 222).

Entre las técnicas de recolección de información están la observación en sus distintas modalidades, la entrevista, el análisis documental, entre otras. Dada la naturaleza de esta investigación, y en función de los datos que se requerían, las técnicas que se utilizarán serán:

- **La revisión documental**, para esto se identificaron las fuentes documentales, las cuales están representadas por normativas, leyes, reglamentos y decretos, e información bibliográfica, hemerográfica y/o relacionada con el tema, las cuales pueden dar respuesta a las necesidades planteadas, y luego se utilizaron técnicas como el subrayado, el fichaje, las notas de referencias bibliográficas, los cuadros resumen, las hojas de cálculo, entre otros. Esta técnica de recolección de datos estará apoyada en el análisis documental como instrumento.
- **El registro de observación**, es una técnica utilizada en la investigación documental, que permite al observador plasmar en un registro de forma clara y precisa toda la información obtenida para facilitar su posterior análisis. Cabe destacar, que en cualquier técnica de recolección de datos, el investigador debe definir los objetivos que persigue, determinar su unidad de observación, las condiciones en que la asumirá y las conductas que deberán registrarse, para ello, se puede valer de una lista de cotejo, como instrumento, en donde registrará todo lo observado.

Para la realización de esta investigación, se eligió la aplicación de la observación estructurada ya que es la idónea a la hora de realizar investigaciones del tipo concluyente por que impone límites al investigador para incrementar tanto la objetividad como la precisión para obtener la información requerida. Esta observación generalmente se realiza basándose en una lista de control que permite registrar la frecuencia con la que se repite algún comportamiento, para luego clasificarlos y describirlos.

El fin de aplicar estos instrumentos serán para recabar información a través de los mismos, a través de la revisión de documentos de mantenimientos , de las leyes y normas relacionadas con el tema, observación de todo el material archivado y toda la información relacionada al tema, a los registros de mantenimientos de la aeronave que conforman la muestra, los capitanes y TMA que son los encargados de registrar las fallas de los componentes que conforman el avión y de todo el personal involucrados en el mantenimiento de la aeronave, con el fin de recolectar información del producto que presento la falla, la acción correctiva que aplicó y saber principalmente cual fue la causa de la falla.

### **3.5. Fases de la Investigación**

La investigación constara con cuatros fases, con la finalidad de dar repuesta de los objetivos planteados en ella, las fases se dividirán de la siguiente manera:

#### **Fase I: Búsqueda de Información o recolección de datos y análisis de datos.**

- **Sistema de Recolección de Datos:**

Este sistema deberá incluir un flujo específico de información, identificación de fuentes de datos y procedimientos para la transmisión de datos, incluyendo el uso de formularios, computadoras, etc. Las responsabilidades dentro de la organización del operador deben ser establecidas para cada etapa del desarrollo y procesamiento de datos. Las fuentes típicas de información, son las que se indicarán más adelante, sin embargo, esto no implica que todas

estas fuentes necesiten ser incluidas en el programa ni que este listado prohíba el uso de otras fuentes de información:

- Informes del piloto.
- Datos de rendimiento de motor en vuelo.
- Interrupciones/demoras mecánicas.
- Paradas de motor.
- Remociones no programadas.
- Fallas confirmadas.
- Chequeos funcionales.
- Chequeos de banco.
- Discrepancias halladas en los talleres.
- Inspecciones de muestreo.
- Reportes de inspecciones.
- Reportes de dificultades de servicio (RDF).

- **Sistema de análisis de datos**

El análisis de datos será el proceso para evaluar datos de rendimiento mecánico para identificar las características que indican la necesidad para el ajuste del programa de confiabilidad, el mejoramiento de los componentes (modificación), etc. La etapa inicial en el análisis será la comparación de los datos con un estándar que represente una condición aceptable. El estándar puede ser un parámetro o promedio móvil, tabulaciones de índices de remoción para periodos previos, gráficos, cuadros, u otro medio de describir una “norma”.

1. Programas que incorporan estándares de rendimiento estadístico (Tipo alerta).  
Los programas de confiabilidad desarrollados con criterios anteriores en la Circular (CAA-07-21), utilizarán parámetros para el análisis de la confiabilidad tales como retardos en un sistema de aeronaves, con un promedio de 100 salidas por aeronave. Estos incorporan estándares de rendimiento como se describen en el párrafo (d) de la Circular de Asesoramiento. Estos estándares definirán rendimientos aceptables. Cuando se les compara con una

disposición grafica o tabular, el rendimiento actual de los mismos describe las tendencias, así como también muestra las condiciones “fuera-de-limites”. Al sistema de información de rendimiento, se le agrega usualmente la remoción de componentes o datos confirmados de falla. El proceso de Monitoreo por Condición puede ser fácilmente adaptado para este tipo de programa.

2. Programas que usan otros análisis de estándares (Tipo no-alerta). Los datos que se reúnen para ayudar en la operación diaria del programa de mantenimiento pueden ser usados como una base para un análisis continuo de rendimiento mecánico. Resúmenes de interrupción mecánica, revisión del historial de vuelo, informes del monitoreo de motor, informes de incidentes, informes de análisis de motor y componentes son ejemplo de los tipos de información apropiada para este método de monitoreo. Para que esta disposición sea efectiva, el número y el rango de entradas debe ser suficiente para proveer una base para el análisis equivalente a los programas estadísticos estándar. La organización del operador debe tener la capacidad de resumir los datos para llegar a conclusiones significativas. También, el análisis de los procedimientos debería ser efectuado periódicamente para asegurarse que las clasificaciones del proceso actual sean las correctas.

## **Fase II: Clasificar los productos aeronáuticos que se le aplicarán el método centrado en confiabilidad.**

En esta fase se identificarán los componentes aeronáuticos y sistemas que se le aplicará la metodología para diagnosticar fallas con apoyo del método centrado en confiabilidad.

Los productos aeronáuticos se clasifican en tres (3) clases, que son:

- La primera clasificación es llamada Clase I, de acuerdo con la RAV 21 (2012), la define: “*Un producto Clase I: es una aeronave completa, motor de la aeronave ó hélice, el cual posee un Certificado Tipo otorgado por el Estado de Diseño*” (p.4).

- La segunda clasificación es conocida como de Clase II, y de acuerdo con la RAV 21 (2012) los definen como:

*Un producto Clase II: es un componente mayor de un producto clase I, ejemplo: alas, fuselaje, conjuntos de empenaje, tren de aterrizaje, transmisiones de potencia, superficies de control, etc., cuya falla comprometería la seguridad de un producto Clase I; o cualquier parte, material o dispositivo aprobado y fabricado bajo el sistema de orden técnica estándar (TSO) o una aprobación de fabricación de partes (PMA) (p.4).*

- La tercera y última clasificación se llama Clase III, donde la RAV 21 (2012), la define: “Un producto Clase III: es cualquier parte o componente que no clasifica como un producto Clase I o Clase II, incluyendo partes estándar” (p.4).

Estos serán los componentes aeronáuticos que se le efectuará el método centrado en confiabilidad.

**Fase III: Analizar las fallas presentadas en los productos ya clasificados por medio del método de causa raíz para aplicar el método centrado en confiabilidad.**

Para la identificación de la causa raíz se requieren de varios pasos:

1. Identificar perfectamente cómo es el proceso en cuestión y el papel que desempeña el equipo dentro de dicho proceso. Esto se hace a través de un mapa de procesos hasta un tercer nivel con la finalidad de identificar las estaciones o mecanismos que pueden estar involucrados con la aparición del defecto.

En el primer nivel, se sugiere hacer el mapa de procesos de la línea. Para el segundo nivel, se desagrega la aeronave en grupos presentada en la fase II y, en el tercer nivel, se desagregan los sistemas que componen los productos clase I de tal manera que se puedan identificar plenamente los componentes clase II que componen a los productos Clase I. En este punto se puede agregar una identificación de alerta a los elementos donde se piensa que se puede encontrar la causa potencial de la falla en estudio.

2. Se recomienda tomar del mapa de procesos del tercer nivel, los productos sistemas que se consideren como aquellos causantes del defecto y colocarlos como ramas principales en un diagrama de causa-efecto. En la cabeza del diagrama, se debe colocar el defecto que se quiere corregir. Se recomienda que cada rama genere una causa potencial hasta un nivel tres. Además, se sugiere utilizar el método de Ishikawa, seleccionando aquellos factores que se consideren como causantes de la falla en cuestión e introducirlos también como ramas principales del diagrama de Ishikawa. A través de un proceso de lluvia de ideas, se debe llevar a consenso las causas potenciales para cada rama principal y generar las causas raíz (**X's**) de la falla en estudio.
3. Se propone generar una tabla AMEF y colocar cada "**X**" del diagrama causa-efecto como una prueba de hipótesis que debe ser aceptada o rechazada. En la columna relativa al efecto, se escribe el defecto que se quiere atacar. Es importante establecer una columna de acciones recomendadas junto con el responsable y fecha de entrega, para saber qué se tiene que hacer y quién lo tiene que hacer.

Las acciones requeridas en el AMEF deben ser implementadas de manera provisional y realizar un análisis del producto monitoreado, cuidando realizar sólo una acción por vez. Es decir, se implementa una mejora y se hace un análisis. La mejora realizada se elimina y se procede a implementar otra mejora a fin de evitar que más de una mejora influya en un análisis. En cada análisis, se revisa el defecto que se trata de eliminar y con la muestra original y la nueva muestra, se aplica una prueba de hipótesis para verificar si la acción de mejora recomendada realmente influye o no en el defecto que se quiere corregir. Cuando se tengan los resultados de todas las pruebas de hipótesis, se sabrá cuales causas potenciales (**X** en el diagrama causa-efecto) realmente influyen en el defecto a eliminar. Con esto se estandarizan las mejoras y se obtienen las conclusiones pertinentes.

**Fase IV: Recomendar una metodología que garantice el buen funcionamiento de los productos aeronáuticos antes de que fallen para estar dentro de los estándares nacionales como internacionales, en cuanto a seguridad aeronáutica.**

En esta fase se comprobará que utilizando los métodos de calidad anteriormente señalado en la Fase III, nos llevará a cumplir con la principal misión que hay en el campo de la aeronáutica que es evitar accidentes aéreos y para mitigar este peligro latente en el mundo aeronáutico, es recomendable seguir los procedimientos de mantenimiento que exigen los fabricantes para garantizar el buen funcionamiento de sus productos. (ANEXO 8 de la OACI).

Con el Método Centrado en Confiabilidad, lograremos adelantarnos y estudiar a profundidad las causas y efectos que podrían ocasionar la falla de un componente que conforma una aeronave, es por este motivo que es de vital importancia la implementación del MCC, ya que ayuda a disminuir los costos de mantenimiento de la aeronaves, al igual de tener en el momento preciso los componentes o productos que van a necesitar reemplazarse, en otras palabras, tener un almacén con un stop mínimo de repuestos adecuado.

### **3.6. Procedimiento por Objetivos**

El procedimiento por objetivo estará estructurado por cuatro puntos que conforman el Objetivo General de la investigación, es decir, el procedimiento a seguir para dar ejecución de los objetivos específicos del proyecto, los cuales serán los siguientes:

- 1.** Determinar cuáles son los productos y sistemas que presentan alguna alteración en sus perfiles de funcionamiento.

Es esta etapa de la investigación se identificarán los componentes aeronáuticos que se le realizará el análisis de fallas por medio del método centrado en confiabilidad, para ello se diseñará una metodología para el análisis de las fallas de los componentes identificados como Clase I.

Los componentes identificados como Clase I, serán los requeridos en la investigación, ya que ellos conforman la criticidad operacional de la aeronave.

Además, se llevará en conjunto los sistemas más críticos de estos componentes, denominándolos como productos Clase II, ya que en su gran mayoría son estos componentes que fallan.

2. Realizar un análisis causa-raíz mediante el cual se puedan identificar el origen de los daños en los componentes de los sistemas.

Esta etapa de la investigación se realizará una investigación de los métodos que nos proporciona el SGC, que faciliten el análisis de las fallas de los componentes que conforman una aeronave.

Como por ejemplo el modelo presentado por **Ishikawa**, conocido como el análisis de causas-efectos, entre otras herramientas de la calidad que faciliten el buen desarrollo de lo planteado en esta investigación.

Por otro lado, para poder desarrollar el análisis de falla de una manera satisfactoria, los propietarios se verán en la necesidad de crear un Comité de Confiabilidad el cual está integrado el departamento de confiabilidad y departamento de mantenimiento, este comité es el encargado de evaluar todas las fallas y deficiencias que se presenten en la operación y en la disponibilidad de la aeronave.

El departamento de confiabilidad debe ser el encargado de evaluar los índices de falla de la aeronave, a su vez tendrá que emitir alertas sobre el funcionamiento de los diferentes sistemas de las aeronaves deberá proponer sugerencias de tareas de mantenimiento para reparar las fallas que se presenten.

El departamento de mantenimiento, encabezado por el técnico de mantenimiento debe ser el encargado de realizar las diferentes tareas de mantenimiento propuestas por el departamento de confiabilidad.

3. Desarrollar una metodología para el diagnóstico de fallas que provoquen que la seguridad del avión se vuelva crítica.

En el desarrollo de este objetivo, se pondrán en práctica las herramientas de calidad que se han escogido en el objetivo anterior. Estas herramientas ayudarán a los involucrados a llevar a cabo el desarrollo del diseño de una metodología para diagnosticar fallas en los componentes de productos aeronáuticos con apoyo del método centrado en confiabilidad.

Las herramientas seleccionadas proporcionarán el análisis de los componentes aeronáuticos establecido en el desarrollo del primer objetivos, permitiendo adelantarse a las fallas que ellos puedan originar durante su funcionamiento, además que puedan cumplir su vida funcional u operacional establecido por el fabricante para garantizar la eficiencia y efectividad de ellos en la aeronave.

Tomando en cuenta lo anterior se estará cumpliendo con los estándares establecidos por normas internacionales y nacionales, que manifiestan que cada operador o propietarios de una aeronave deben mantener su buen funcionamiento “Aeronavegable”, que conlleven a prestar un servicio óptimo a los pasajeros y que además pongan la seguridad en cada vuelo que esta realice.

4. Recomendar cambios necesarios en las tareas de mantenimiento para mejorar índices de confiabilidad y de disponibilidad de las aeronaves, como se establecen en la Organización de Aviación Civil Internacional, las Regulaciones Aeronáuticas Venezolanas.

Al seleccionar las mejores herramientas de la calidad que se ajusten a los requerimientos de adelantarnos a las fallas funcionales de los componentes que conforman una aeronaves, estaremos garantizando la seguridad de nuestros clientes “Pasajeros”, tal como lo establece las normas internacionales y nacionales, por ende estas herramientas podrán ayudar a mantener los equipos críticos en constante observación o monitoreo de las frecuencias que fallen.

Por otro lado, se estará reduciendo costos innecesarios de mantenimientos no programados de estos equipos que puedan ocasionar gastos no planificados por el propietario del avión, de igual manera se minimizarán las

compras innecesarias de repuestos y ayudando a la compra de aquellos productos aeronáuticos que se necesitaran justo cuando son requerido su reemplazo por el fabricante.

Finalmente, esta investigación proporcionará a la organización o propietario, monitorear el buen funcionamiento de sus aeronaves que es la esencia generadora de sus ganancias.

### 3.7. Variables, Definición Conceptual y Operacional e Indicadores

#### 3.7.1. Variable

De acuerdo con Sabino (1992) podemos decir que la variable *“cualquier característica o cualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores”* (p.65).

En la siguiente tabla, se detallan las partes o componentes de la aeronave que se le aplicará el MCC, con la finalidad de adelantarse a las fallas operacionales que puedan ocurrir durante su operación en vuelo, por esta razón se plantea el MCC como alternativa de prevención de análisis de fallas y a su vez podemos recolectar esta información mediante reportes efectuados por el capitán durante el vuelo o por el personal técnico en mantenimiento de aeronave durante la ejecución del mantenimiento preventivo.

Tabla 4 Cuadro de Variables

Ítems	Descripción	Concepto	Operacional
1	Fuselaje del avión	Cuerpo principal de la estructura del avión, cuya función principal es la de dar cabida a la tripulación, a los pasajeros y a la carga, además de servir de soporte principal al resto de los componentes. (Muñoz M. , 2017)	Proporciona el resguardo de los pasajeros, la tripulación, carga de equipaje, el combustible y el almacenamiento de los equipos electrónicos de la aeronave.
2	Motores	Unidad que se utiliza o se tiene la intención de utilizar para propulsar una nave. (RAV 1. , 2008)	Es el componente encargado de propulsar la aeronave y mantenerla en el aire.
3	Tren de Aterrizaje	Se denomina tren de aterrizaje al conjunto de ruedas, soportes, amortiguadores y otros equipos que un avión utiliza para aterrizar o maniobrar sobre una superficie. (Muñoz M. , 2017)	Sirve de soporte al aeroplano, posibilita el movimiento del avión en superficie (incluyendo despegues y aterrizajes), y amortigua el impacto del aterrizaje. Las operaciones en superficie exigen del tren de aterrizaje capacidades de direccionamiento y frenado, y para amortiguar el aterrizaje debe ser capaz de absorber impactos de cierta magnitud.

### 3.7.2. Indicadores

Primero se establece que cada categoría del producto aeronauticas a ser evaluado en este caso serian los Clasel (Fuselaje del avion, Motores y Tren de aterrizaje), es importante mencionar que cada clase tendrán indicadores distintos por su configuración y sistemas que los componen, de acuerdo con Jansen ( 2017), un indicador es: *“una característica específica, observable y medible que puede ser usada para mostrar los cambios y progresos que está haciendo un programa hacia el logro de un resultado específico”*.

Por ejemplo, los componentes de un motor son más complejos y tienden a dañarse más que los componentes o sistemas que conforman el tren de aterrizaje, además del desempeño que cumple en la configuración de la aeronave.

Por otro lado, es importante aclarar que el propietario u organización no está en la obligación de utilizar la totalidad de los indicadores propuestos en la investigación, cabe destacar que estos fueron elaborados en base a la evaluación previa que se realizó durante la recolección de los datos.

Es importante resaltar que a pesar que la organización o propietario no tome en consideración algunos indicadores o resultados de los análisis de los registros recolectados para el análisis de las fallas del componente, los indicadores señalados en la investigación son los más convenientes que le ha parecido al investigador, pero a la medida que se recolecten datos pueden sufrir cambios de mejoras.

Antes de proponer cualquier tipo de indicador, se recomienda a la empresa y propietarios que deben priorizar los componentes o productos aeronauticos, pasando estos por una herramienta de criticidad que calculará el riesgo de los activos físicos, tomando en cuenta la frecuencia de fallas y las consecuencias de los mismos.

Para el cálculo del riesgo se toma en cuenta la siguiente formula:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

Siendo la frecuencia de falla, el número de veces que se presenta una falla en un año, y la consecuencia es el impacto que tiene esa misma falla sobre los siguientes factores:

- Costo de reparación
- Ambiente
- Vuelo efectuado
- Seguridad de los pasajeros y tripulación

Una vez cargada los componentes en la herramienta de criticidad, ésta calculará el riesgo y le asignará un valor, según las ponderaciones que asigne el analista a cada criterio de evaluación y mostrará los componentes de “Alta Criticidad”, “Media Criticidad” y “Baja Criticidad”, esto permitirá tener el conocimiento de que equipos tienen más importancia al momento de invertir en la reparación del componente afectado y poder realizar presupuestos que se adapten a la realidad del mercado y evitando la compra excesivas de repuestos.

**Tabla 5 Herramienta de Criticidad**

Herramienta de Criticidad Avión: Vuelo: Mes:	Frecuencia de fallas (Anual)			Tiempo promedio fuera de servicio (TPFS)			Impacto del vuelo realizado			Costo de Reparación (Miles de \$)			Impacto Ambiental			Impacto en la seguridad del pasajero y tripulación de la aeronave			Factor de Utilización del avión									
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3							
	No más de 1 por año.	Entre 2 y 3 por año	Entre 4 y 6 por año	Entre 7 y más por año	Menos de 45 minutos	Entre 46 y 60 minutos	Entre 1 y 8 horas	Entre 8 y 24 horas	Más de 1 día	No afecta los vuelos	Se puede reemplazar el avión por otro.	Afecta totalmente los vuelos	Entre 0 y 100	Entre 101 y 500	Entre 501 y 1000	Más de 1001	No pone en riesgos el ambiente	Contaminación ambiental baja, el componente derrama algún fluido hidráulico.	Contaminación ambiental moderada, el componente además de fluido arroja humo.	Contaminación ambiental alta, el avión a sufrido un accidente con pérdida total.	No origina lesiones a las personas	Puede originar heridas leves pero no incapacitarlo	Puede ocasionar lesiones graves con incapacidad entre 1 y 30 días.	Puede originar incapacidad superior a 30 días o la muerte de la persona.	Se utiliza el 100 % y 91 % del tiempo de vuelo	Se utiliza entre el 90% y 75 % del tiempo de vuelo	Se utiliza entre el 74 % y 35% de operación de vuelo	Se utiliza meno de un 34% de operación de vuelo
<b>Fuselaje</b>																												
<b>Motor</b>																												
<b>Tren de Aterrizaje</b>																												

### 3.7.2.1. Indicadores de Efectividad del Mantenimiento (Bustos, 2012)

La propuesta de indicadores de efectividad del mantenimiento se presenta a continuación:

Tabla 6 Indicadores de efectividad del mantenimiento

Indicador	Unidad	Fórmula
OEE (Efectividad Global del Equipo)	%	Disponibilidad x Ejecución x Calidad
Disponibilidad	%	$D = \frac{TMEF}{TMEF + TPPR}$
TPEF (Tiempo Promedio Entre Fallas)	%	Tiempo promedio entre dos o más fallas sobre un período de tiempo determinado
TPPR (Tiempo Promedio Para Reparar)	%	Tiempo promedio entre el momento en que ocurre la falla y el momento cuando esta es reparada.
FF (Frecuencia de Fallas)	Número	Número de fallas que ocurren en un período de tiempo determinado
TMP (Tasa de Mantenimiento Preventivo)	%	$TMP = \frac{\text{Hrs. Planificadas para MP}}{\text{Hrs. Planificadas Totales}}$
TP (Tasa de Planificación)	%	$Tp = \frac{\text{Hrs. Previstas para OT Planificadas}}{\text{Total Hrs. Disponibles}}$
TR (Tasa de Realización)	%	$TR = \frac{\text{Hrs. Previstas para OT Planificadas y Terminadas}}{\text{Hrs. Previstas para OT Planificadas}}$
TU (Tasa de Utilización)	%	$TU = \frac{\text{Hrs. Asignadas en Orden de trabajo}}{\text{Hrs. Disponibles}}$
TPFS (Tiempo Promedio Fuera de Servicio)	Horas	$TPFS = \frac{\text{Sumatoria de los tiempos Fuera de Servicio}}{\text{Período de Tiempo Detenido}}$
CPC (Cumplimiento Plan de Capacitación)	%	$CPC = \frac{\text{Hrs. Capacitación Ejecutadas}}{\text{Hrs. Capacitación Programadas}}$
IPC (Índice de Personal Capacitado)	%	$IPC = \frac{\text{Hrs. Capacitación Ejecutadas}}{\text{Hrs. Disponibles}}$

### 3.7.2.2. Indicadores de Costos por Aeronave en Tierra.

A continuación se presenta la propuesta del indicador para medir costos en el área operacional de la aeronave cuando permanezca en tierra.

Tabla 7 Indicadores de Costo por Aeronave en Tierra

Indicadores	Unidad	Fórmula
CP (Costo del Personal de Mantenimiento)	%	$CP = \frac{\text{Costo del Personal}}{\text{Costo Total de Mantenimiento}}$
CPT (Costos del Personal de Tripulación)	%	$CPT = \frac{\text{Costo del Personal de tripulante}}{\text{Costo Total de Vuelo}}$
CPA (Costo de Pasajeros Afectados)	%	$IPC = \frac{\text{Costo de Pasajeros Afectados}}{\text{Costo Total de Vuelo}}$
CIF (Costos de Indisponibilidad por falla)	Número	$FF \times TPFS \times (CD + CP)$ CD: Costos directo de mantenimiento CP: Costos de penalización por hora.

### 3.7.2.3. Indicadores de Repuestos y Reparación

En la siguiente tabla se presentará la propuesta del indicador que permitirá medir los costos de repuestos y reparación del componente que presento la falla.

Tabla 8 Indicadores de Repuestos y Reparación

Indicador	Unidad	Formula
ICR (Índice de Consumo de Repuestos)	%	$ICR = \frac{\text{Componentes Planificados}}{\text{Componentes Consumidos}}$
RCI (Rotación de Componentes en Inventario)	Número	$RCI = \frac{\text{Consumo de Componentes}}{\text{Valor del componente en almacen}}$
CCR (Cantidad de Componente a Reparación)	Número	$CCR = \frac{\text{Componentes con fallas}}{\text{Total de compontes en almacen}}$

Estos indicadores permitirán al propietario de la aeronave, prevenir la ocurrencia de fallas de los componentes brindándoles beneficios en la reducción de costos innecesarios de tener un almacén con existencia de componentes que no son requeridos al momento o no presenta una alta rotatividad en la aeronave, como

por ejemplo, si hay un componente que presenta falla periódicamente, pero esta no representa ningún tipo de consecuencia económica, no vale la pena invertir en mantenimiento preventivo o predictivo, sino se espera a que falle y se reemplaza, y a la vez optimizar los planes de mantenimiento que se le efectúan a cada componente durante su parada de mantenimiento programado.

### **3.8. Aspectos Éticos**

La investigación tendrá un aspecto ético en el momento de la búsqueda, registro, análisis y elaboración de informe, ya que aportará información requeridas para la implementación de una metodología centrada en confiabilidad, que ayudará a los propietarios mantener sus aeronaves en óptimas condiciones en el vuelo que realicen, además de disminuir los costos por mantenimiento no programados y compras innecesarias de repuestos que no son necesario en cada parada mayor de Mantenimiento.

Por otro lado, la ética se implementará por las que rige el Colegio de Ingeniero de Venezuela, a continuación se mencionan las que se relacionan con la investigación, enumerándola de acuerdo como están registradas en el mismo.

Se considera contrario a la ética e incompatible con el digno ejercicio de la profesión, para un miembro del Colegio de Ingenieros de Venezuela:

**1ro. (virtudes):** Actuar en cualquier forma que tienda a menoscabar el honor, la responsabilidad y aquellas virtudes de honestidad, integridad y veracidad que deben servir de base a un ejercicio cabal de la profesión.

**2do. (ilegalidad):** Violar o permitir que se violen las leyes, ordenanzas y reglamentaciones relacionadas con el cabal ejercicio profesional.

**3ro. (conocimiento):** Descuidar el mantenimiento y mejora de sus conocimientos técnicos, desmereciendo así la confianza que al ejercicio profesional concede la sociedad.

**4to. (seriedad):** Ofrecerse para el desempeño de especialidades y funciones para las cuales no tengan capacidad, preparación y experiencias razonables.

**5to. (dispensa):** Dispensar, por amistad, conveniencia o coacción, el cumplimiento de disposiciones obligatorias, cuando la misión de su cargo sea de hacerlas respetar y cumplir.

**11ro. (influencia):** Ofrecer, dar o recibir comisiones o remuneraciones indebidas y, solicitar influencias o usa de ellas para la obtención u otorgamiento de trabajos profesionales, o para crear situaciones de privilegio en su actuación.

**15to. (justicia):** Contravenir deliberadamente a los principios de justicia y lealtad en sus relaciones con clientes, personal subalterno y obreros, de manera especial, con relación a estos últimos, en lo referente al mantenimiento de condiciones equitativas de trabajo y a su justa participación en las ganancias.

**19no. (secreto):** Revelar datos reservados de índole técnico, financiero o profesionales, así como divulgar sin la debida autorización, procedimientos, procesos o características de equipos protegido por patentes o contratos que establezcan las obligaciones de guardas de secreto profesional. Así como utilizar programas, discos, cintas u otros medios de información, que no sea de dominio público, sin la debida autorización de sus autores y/o propietarios, o utilizar sin autorización de códigos de acceso de otras personas, en provecho propio.

**20mo. (experimentación y servicios no necesarios):** Someter a su cliente o a su empleador a la aplicación de materiales o métodos en experimentación, sin su previo y total conocimiento y aprobación o recomendarle servicios no necesarios.

**22do.** (actuación gremial): Incumplir con lo dispuesto en las “Normas de Actuación Gremial del CIV”.

### **3.9. Cronograma**

El modelo del cronograma de la investigación se realizada por medio del diagramas de Gantt, pero es importante mencionar que de acuerdo con PMBOK (2013) el cronograma es: *“una salida de un modelo de programación que presenta actividades relacionadas con fechas planificadas, duraciones, hitos y recursos”* (p.182).

El cronograma del proyecto debe contener, como mínimo, una fecha de inicio y una fecha de finalización planificadas para cada actividad. Si la planificación de recursos se realiza en una etapa temprana, entonces el cronograma mantendrá su carácter preliminar hasta que se hayan confirmado las asignaciones de recursos y se hayan establecido las fechas de inicio y finalización programadas.

Como se menciona anteriormente el cronograma de la investigación estará enfocado en el diagrama de Gantt que presenta la información del cronograma con la lista de actividades en el eje vertical, las fechas en el eje horizontal y las duraciones de las actividades se representan en forma de barras colocadas en función de las fechas de inicio y de finalización. Los diagramas de barras ayudan a leer las actividades más fáciles y se utilizan frecuentemente en presentaciones a la dirección. Para las comunicaciones de control y dirección, se utiliza una actividad resumen más amplia y completa, denominada a menudo actividad resumen, entre hitos o a través de múltiples paquetes de trabajo dependientes entre sí; se representa en reportes de diagrama de barras.

#### **3.9.1. Datos del Cronograma**

Los datos del cronograma para el modelo de programación del proyecto de acuerdo con PMBOK (2013) *“es el conjunto de la información necesaria para describir y controlar el cronograma”* (p.183)

Por lo tanto, los datos del cronograma del proyecto se incluirán, como mínimo, las actividades del cronograma, la cantidad de datos adicionales variará en función del área de aplicación. La información suministrada a menudo como información detallada de apoyo incluye, entre otra:

- Requisitos de recursos por período de tiempo, a menudo presentados en formato de histograma de recursos.
- Cronogramas alternativos, tales como el mejor o el peor escenario, con o sin nivelación de recursos, con o sin fechas obligatorias; y
- Programación de las reservas para contingencias.

Entre los datos del cronograma se podrían incluir asimismo elementos tales como histogramas de recursos, proyecciones del flujo de caja y cronogramas de pedidos y entregas.

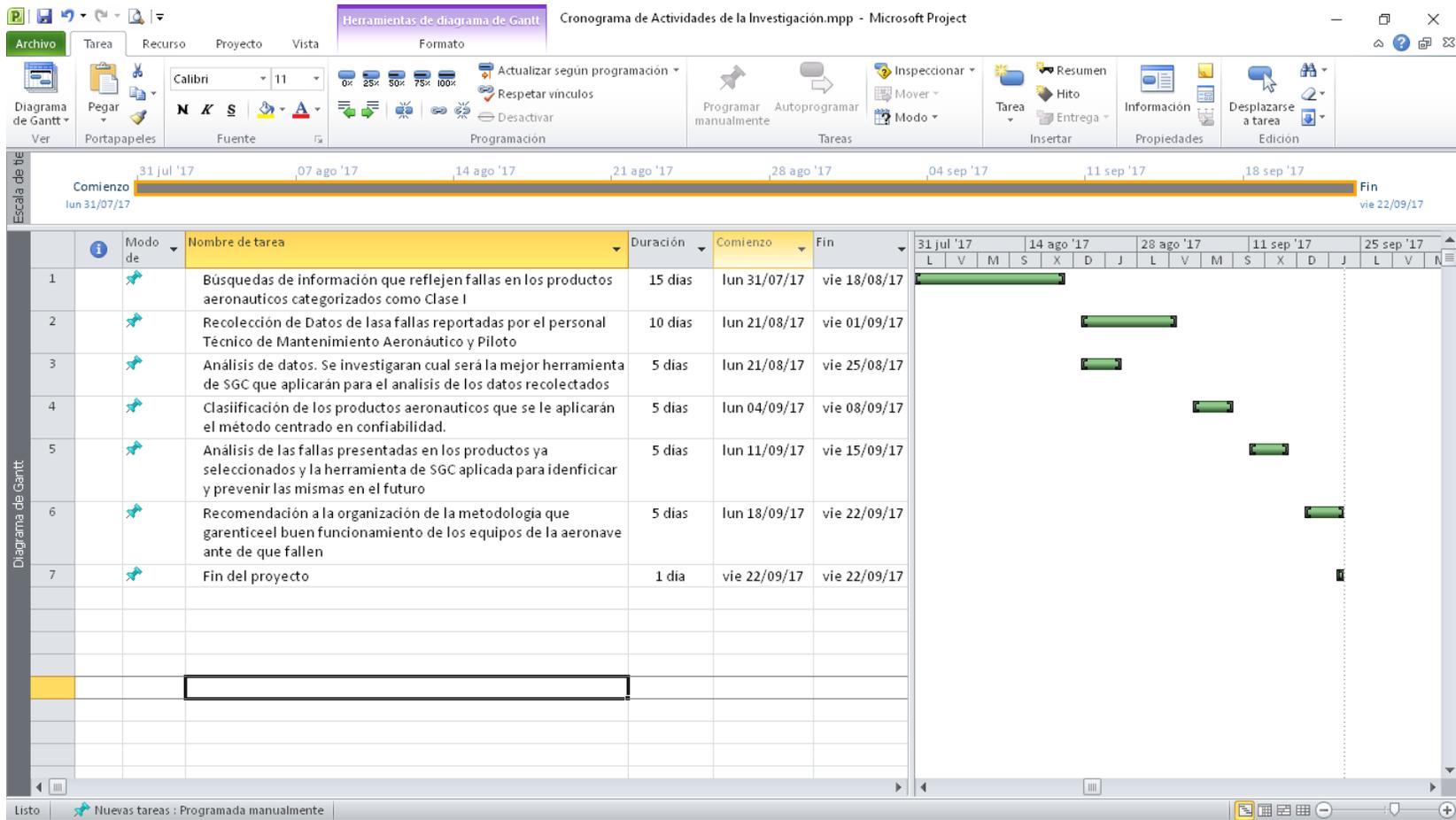


Figura 10 Cronograma de Actividades

### 3.10. Recursos

La investigación implica una inversión económica, puesto que exige aseguramientos y recursos que se dedicarán, en la medida que se requieran, para alcanzar los objetivos plasmados en el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la misma. Esto se materializa a través de acciones basadas en un plan lógico, el cual se debe corresponder con los costos estimados del proyecto.

#### 3.10.1. Tipos de gastos

- **Gastos de personal:** Se refieren a categorías ocupacionales, salarios básicos, devengados y totales, así como el porcentaje de tiempo que cada investigador dedicará mensualmente al proyecto. La inclusión del estimado para cubrir la seguridad social dependerá del sistema establecido en cada país y formará o no parte del cálculo del salario total de cada participante.
- **Materiales de oficina:** Son todos los productos requeridos para llevar a cabo la investigación; hay que describir las unidades y formas en que se presentan en el mercado, los precios por unidad o por forma de presentación, la cantidad solicitada y el importe total del producto.
- **Equipamiento:** Se enumeran los equipos necesarios para la ejecución de la investigación con sus correspondientes precios, cantidades e importe por renglón solicitado.
- **Viajes:** Si como parte de la investigación se han planificado traslados a otras unidades muy distantes geográficamente, se incluirán los gastos en pasajes por persona y el número de viajes, así como alimentación y hospedaje, considerando el importe por día, número de personas y los días.
- **Otros gastos:** En este acápite se consignarán aquellos materiales no relacionados directamente con la ejecución de la investigación, pero necesarios para actividades colaterales, como reproducciones, combustible para viajes locales etc. Forma parte también de este punto la depreciación de equipos por mes, con referencia al valor inicial.

- **Total del presupuesto:** Para cada uno de los aspectos descritos se calcularán los gastos totales y su suma se expresará como el total del presupuesto en gastos directos.

Tabla 9 Recursos

Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación presentada.			
Ítems	Descripción del Recurso	Cantidad	Costo (Bs.)
1	Personal	3	2.500.000,00
2	Equipos Informático o computadoras	2	2.500.000,00
3	Un kit de materiales de Oficinas, como cuadernos, lápices, bolígrafos, etc.	1	200.000,00
4	Inscripción de Seminario I	1	39.000,00
5	Inscripción de Seminario II	1	60.000,00
6	Inscripción del Trabajo Especial de Grado (TEG)	1	150.000,00
7	Empastado del TEG	1	50.000,00
<b>Total</b>			<b>5.499,000,00</b>

Todo lo señalado en la tabla 9, es una representación estimada de los costos que tendrá la investigación y de acuerdo con PMBOK (2013) es: *“es el proceso que consiste en desarrollar una estimación aproximada de los recursos monetarios necesarios para completar las actividades del proyecto”* (p.199).

Se estiman los costos para todos los recursos que se van a asignar al proyecto. Estos incluyen, entre otros, el personal, los materiales, el equipamiento, los servicios y las instalaciones, así como otras categorías especiales, tales como el

factor de inflación, el costo de financiación o el costo de contingencia. Las estimaciones de costos se pueden presentar a nivel de actividad o en formato resumido.

## **CAPÍTULO IV: DISEÑO DE INSTRUMENTOS**

En el presente capítulo se diseñará los instrumentos que se utilizarán para la recolección de datos que ayudará a adelantarse a las fallas de los componentes aeronáuticos que conforma la aeronave, de igual manera se mencionarán los componentes más críticos que se le aplicará el análisis de MCC.

También está conformado por las cuatro fases del desarrollo de la investigación como son la búsqueda de Información o recolección de datos y análisis de datos (FASE I), para luego clasificar los productos aeronáuticos que se le aplicaran el método centrado en confiabilidad. (FASE II), con estas dos fases completadas se podrá analizar las fallas presentadas en los productos ya clasificados por medio del método de causa raíz para aplicar el método centrado en confiabilidad. (FASE III) y finalmente con las tres fases ya abarcadas, se podrá recomendar una metodología que garantice el buen funcionamiento de los productos aeronáuticos antes de que fallen para estar dentro de los estándares nacionales como internacionales, en cuanto a seguridad aeronáutica. (FASE IV)

### **4.1. Elaboración de Instrumentos de Levantamiento de Información**

Los instrumentos que ayudaran al levantamiento de la información que requerimos será la recolección de datos por medio de la bitácora de vuelo, instrumento donde se registran las fallas que se originan durante el vuelo de la aeronave, estas fallas son reportadas por el Capitán, también la podemos recolectar durante el mantenimiento programado y no programado durante el servicio de parada de la aeronave, con estas dos formas se podrán recolectar los datos de los componentes que se investigaran en la presente investigación.

El instrumento estará basado por el MCC, debido a que ayuda a reducir las fallas que puedan producirse en un sistema o mitigar los efectos de éstas al menor costo posible, cabe destacar que esta metodología no se orienta al mantenimiento de los componentes aeronáuticos, sino a evitar las fallas críticas o significativas y a su vez minimizar los efectos de cualquier falla en caso de que suceda, por otro

lado debemos tener claro que no existen equipos críticos, sino fallas críticas y solo con mantenimiento no es posible evitar fallas.

#### **4.1.1. Categoría de las Fallas según su impacto en la disponibilidad del servicio.**

Para la elaboración del instrumento deberán tener presente las siguientes categorías de fallas según su impacto, estas son:

- **Falla significativa:** Falla que impide la prestación del servicio o que provoca un retraso en el servicio superior al especificado. Esta estará identificada en el instrumento de recolección de datos con el número uno (1) y a su vez con fondo de color rojo.
- **Falla Importante:** Falla que debe ser corregida para que el equipo logre el rendimiento especificado pero que no provoca un retraso superior al especificado para la falla significativa. Esta estará identificada en el instrumento de recolección de datos con el número dos (2) y a su vez con fondo de color amarillo.
- **Falla Menor:** Falla que no impide que el equipo logre el rendimiento especificado y que no cumple con los requisitos para ser considerada una falla significativa o importante. Esta estará identificada en el instrumento de recolección de datos con el número tres (3) y a su vez con fondo de color verde.

Una vez de identificada la categoría de las fallas, se podrá llenar el instrumento de levantamiento de información con mayor facilidad y posteriormente para su análisis.

#### **4.1.2. Diseño del Instrumento de recolección de datos o información.**

El instrumento de recolección de datos aparte de las categorías mencionadas anteriormente, estará conformada con la siguiente información:

- **Ítems:** Es el número asignado al componente o sistema que vamos a realizar el análisis por medio del MCC.

- **Matrícula de la aeronave:** La matrícula de la aeronave es aquella que asigna el INAC, a los aviones o helicópteros registrada en Venezuela y su siglas comienza con “YV”.
- **Fechas:** Es el día, mes y año que se presentó la falla del componente, esta debe ser registrada de la siguiente forma: dd/mm/aa
- **Componente de aeronave:** Es el nombre del componente que está presentando la falla o se le presentó a su vez, es todo equipo, instrumento, sistema o parte de una aeronave que una vez instalado en ésta, es esencial para su funcionamiento.
- **ATA 100:** Esta es la identificación dentro del sistema donde está instalado el componente, esta identificación o código lo asigno el fabricante por recomendación de la Asociación de Transporte de Aviación (ATA).
- **Sub-ATA 100:** Se relaciona con el código del componente en el ATA del fabricante, es decir, la identificación del componente en el sistema donde opera.
- **N° de la Bitácora:** Es la identificación del número del reporte donde se registro el hallazgo de la falla y la corrección que se efectuó.
- **Reporte de Falla:** Es aquella que ocurrió durante la operación del vuelo y es reportada por el Capitán o cuando se le efectúa mantenimiento programado a la aeronave y es detectada por el TMA.
- **Acción correctiva:** Es la ejecución del mantenimiento que se le efectuó por parte del TMA, relacionado con las especificaciones del fabricante, es decir, que el TMA debe realizar la ejecución del mantenimiento del componente como se detallado en el Manual de Mantenimiento de la Aeronave (Aircraft Maintenance Manual).
- **Tiempo de Corrección:** Es el tiempo desde la apertura del reporte realizado por el Capitán o TMA hasta el cierre que detalla la acción correctiva realizada por el TMA.
- **Categoría de la Falla:** Es la categoría que se le da al reporte levantado, y es importante ya que nos ayudara a prevenir las fallas ante de lo

establecido por el fabricante o planificar un intervalo de tiempo más reducido antes de que el componente o sistema vuelva a presentar la falla.

- **Reportado por:** Es importante conocer la persona que realiza el reporte, esto se realiza para saber si es la misma persona que siempre informa de la misma falla, con esto podemos también saber si es por parte de mala operación.

**Tabla 10 Ejemplo del llenado de instrumento de recolección de datos**

Ítems	Matrícula de la Aeronave	Fecha	Componente de aeronave	ATA 100	Sub-ATA	N° de la Bitácora	Reporte de Falla	Acción Correctiva	Tiempo de corrección	Categoría de Falla	Reportado por:
1	YV1240	12/03/17	Tren Principal RH	32	32-10-00	13405-A	Fuga en la banda de freno RH	Se reparó fuga en la banda de freno RH de acuerdo al AMM 32-10-01	45 minutos	3	Frank Fernández (Capitán)
2	YV480T	11/03/17	Luz de Aterrizaje LH	33	33-20-01	14415-B	Se evidenció Luz de aterrizaje LH inoperativa	Se reemplazo Luz de Aterrizaje LH de acuerdo al AMM-33-20-01, operando satisfactoriamente	20 minutos	3	Carlos Pérez (TMA)
3	YV3367	20/03/17	Motor RH	70	70-10-02	17405-C	Alta Temperatura en el Motor RH	Se ajustó línea del CSC de acuerdo al AMM 70-10-02	30 minutos	2	Ricardo Torres (Capitán)
4	YV3367	21/03/17	Motor RH	70	70-10-02	17406-A	Explosión en el Motor RH durante el encendido	Se reemplazo Motor RH de acuerdo al AMM 70-10-02	24 horas	1	Ricardo Torres (Capitán)

## **4.2. Búsqueda de Información o recolección de datos y análisis de datos (FASEI)**

En esta fase se procederá a la recolección de datos considerados históricamente en las fallas que se han presentados en los componentes o sistemas de las aeronaves, las cuales se obtendrán a partir de la información suministrada por la bitácora de mantenimiento de la aeronave, ya sea reportada por el Piloto durante su operación en vuelo o cuando el TMA la detecte durante el mantenimiento preventivo que se le aplique a la aeronave por recomendación del fabricante.

Una vez recolectada la información se procederá analizar la categoría de las fallas por medio del instrumento establecido, con el propósito de establecer procedimiento de inspecciones programas a los componentes de la aeronave que puedan ocasionar un incidente o accidente.

Es responsabilidad del departamento de Confiabilidad de la organización la encargada de recolectar la información requerida en el instrumento de recolección de datos, esto debido a su experiencia en la materia.

Por otro lado, el departamento de Confiabilidad debe alertar cuando un componente o sistema de la aeronave se vuelva repetitivo y tomar las acciones para mitigar la falla presentada por el componente durante su operación.

### **4.2.1. Equipo de trabajo del Departamento de Confiabilidad**

Para conformar el equipo de trabajo del departamento de confiabilidad que serán los especialistas del MCC, tendrán que considerar los siguientes aspectos:

- Para implantar el departamento de confiabilidad se comienza por establecer los requisitos de mantenimiento de cualquier sistema o componente de la aeronave.
- Se requiere conformar equipos de trabajo reducidos que incluyan al menos personal de mantenimiento (TMA), personal de operaciones (Pilotos), personal de Control de la Calidad (Inspectores), personal de Aseguramiento de la Calidad (Ingeniero) y el cliente podría incluir un asesor. Estas

personas deberán tener amplios conocimientos de los componentes y sistema que conforman la aeronave y deben ser entrenados en MCC.

- Se requiere de un Líder, guía o facilitador con suficiente experiencia, que conozca ampliamente la aeronave, los sistemas y componentes que conforman la aeronave y su operación de cada uno de ellos.
- Se debe conocer los objetivos organizacionales que se quieren lograr al implantar el MCC a las aeronaves.
- Quizás el departamento deba habilitar grupos de trabajos especializados de las características de operación de cada sistemas y componentes que conforman la aeronave, es decir, crear personal especializados en los diferentes Clases de producto que conforman la aeronave, como se ha mencionado anteriormente, basándose en su contexto y necesidades de mantenimiento establecido por el fabricante.

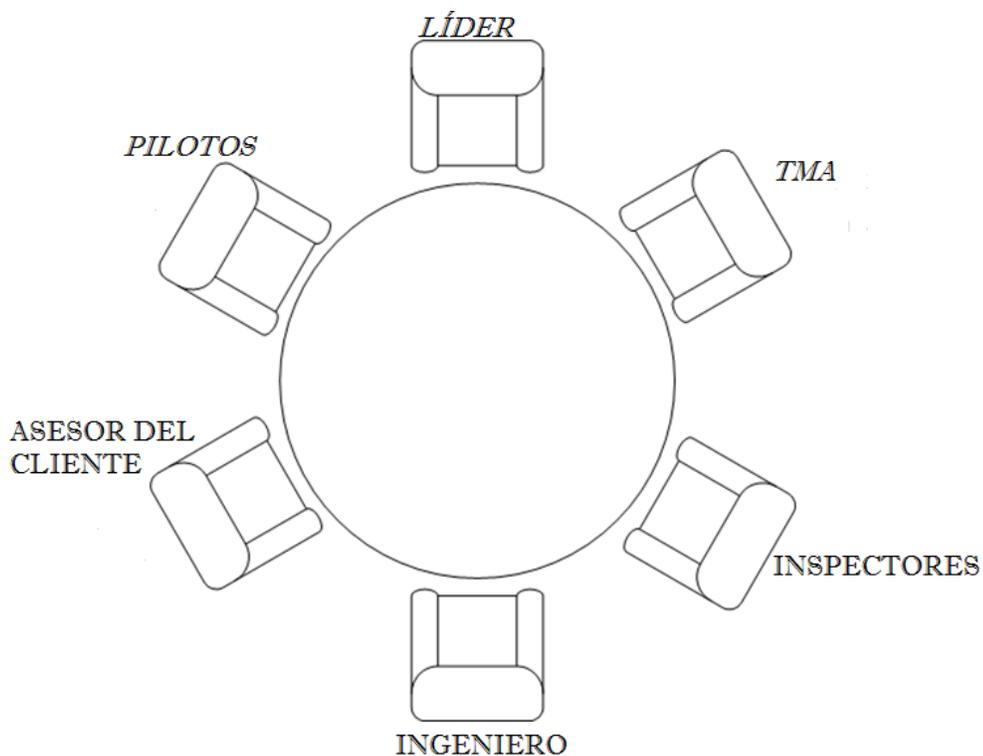


Figura 11 Equipo de Trabajo "Departamento de Confiabilidad"

### 4.3. Clasificar los productos aeronáuticos que se le aplicaran el método centrado en confiabilidad. (FASE II)

Es esta fase se procederá a detallar por Clases los productos aeronáuticos que se le aplicará el MCC, como se mencionó anteriormente, es importante resaltar que estos son de Clase I, constituido por el Fuselaje de la aeronave, el motor y tren de aterrizaje, Clase II, son los componentes que conforman los productos de Clase I, además, son los aquellos que se pueden mandar a reparar.

Es importante resaltar que la clasificación estará conformada por el código ATA 100, esto debido a que nos proporcionara de qué sistema pertenece el componente que está presentando la falla.

### Sistema de numeración

Divide al manual en Capítulos (sistemas), secciones y temas

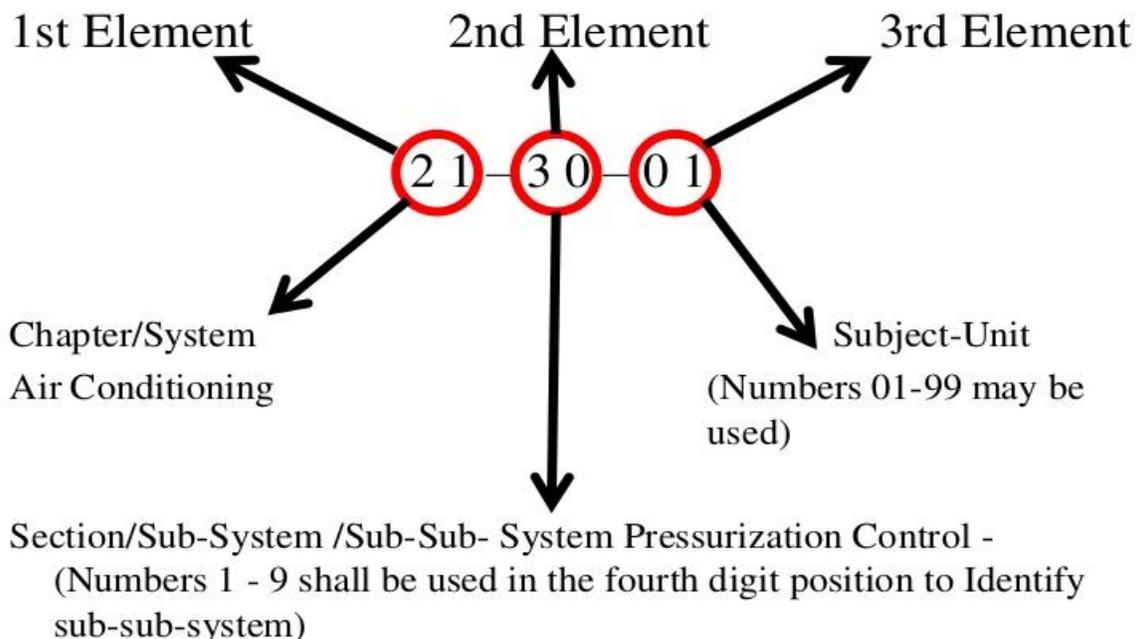


Figura 12 Sistema de Numeración de ATA 100

#### **4.4. Analizar las fallas presentadas en los productos ya clasificados por medio del método de causa raíz para aplicar el método centrado en confiabilidad. (FASE III)**

El departamento de Confiabilidad de la organización es la responsable de recolectar la información y a la vez por medio de ella analizar las fallas que se han presentado en los componentes durante su operación o cuando se le están efectuando el mantenimiento programado establecido por el fabricante.

El personal estará conformado por especialista en la materia, ya que luego de su análisis procederán a evaluar las fallas para poder aplicar procedimientos de trabajos para mitigar la ocurrencia de las mismas.

Por otro lado, elaborarán informe para ser llevado a los propietarios de la aeronaves con la finalidad de mantenerlo al tanto de las ocurrencia que se están presentando fallas en los sistemas de las aeronaves y qué medida se están tomando para mitigar las mismas.

El informe estará desarrollado por pasos lógicos y esquemáticos para la estimación estadística de los valores que representan de manera directa el comportamiento del producto estudiado, refiriéndose específicamente a la estimación de las tasas de fallas y de reparación que se le efectúan a los componentes, detallándolos por sistemas o sub-sistemas donde está instalado el componente aeronáutico. Este informe deberá ser entregado los primeros cinco días del mes anterior a los propietarios, para que ellos tengan conocimientos de cómo se encuentra la aeronavegabilidad de su (s) aeronave(s).

##### **4.4.1. Análisis de Causa Raíz**

Es importante conocer que no existen instalaciones, máquinas o equipos libres de fallas a lo largo de su vida útil, y con un adecuado mantenimiento es posible reducir a un mínimo los perjuicios que ocasiona algún desperfecto, por lo tanto siempre debe recordar que un buen mantenimiento no elimina un mal diseño, además, el mantenimiento de cualquier tipo de sistema o componente debe evitar

los desperfectos que puedan aparecer y hacer las modificaciones necesarias para que estos no aparezcan de nuevo. A continuación se detalla los elementos que se debe tomar para realizar el análisis de causa raíz:

- Definición y Clasificación de las Fallas
- Nivel Jerárquico de las fallas
- Probabilidad de Fallas
- Modo de Fallas
- Clasificación de los Modos de Falla
- Fundamentos del Análisis de Causa Raíz
- Pasos para realizar un Análisis de Causa Raíz
- Análisis de modos y efectos de fallas AMEF
- Consecuencias de las fallas
- Árbol lógico de decisión
- Software requeridos para llevar los registros de las fallas

#### **4.4.2. Sistema de Numeración**

El sistema de numeración facilitara de codificar de manera eficiente la identificación de la falla en el componente de la aeronave, por tal motivo deben de considerar los siguientes aspectos:

- Los números de los sistemas se asignan según su ubicación en el avión, al primer componente el número 1, al segundo el dos y así sucesivamente. Este es un sistema sencillo y fácil de recordar.
- Pero si se incluye un nuevo componente entre dos existentes, entonces se podría complicar el sistema o crear confusiones, ya que a veces se agregan prefijos o sufijos para integrar el nuevo componente a los ya existentes, lo cual puede ser desacertado para el sistema de registro.
- Se numeran los componentes que conforman el sistema. Esto tiene sentido a los efectos de contabilidad e inventario de bienes del propietario.
- Cuando a cada componente se le asigna un número puede surgir el problema cuando este componente es sustituido por otro, y luego es

reubicado en otra aeronave. Esto obliga a llevar un control mucho más minucioso del registro, de lo contrario, se corre el riesgo de inhabilitarlo o hacerlo más complicado.

A veces surgen problemas en el seguimiento de los componentes cuando han sido numerados. Con una omisión en el registro de componentes, este quedaría irremediablemente confuso y atrasado.

Se recomienda mantener un registro formal de componentes por separado bajo las siguientes condiciones:

- Cuando los componentes pueden ser sometidos a trabajos de reacondicionamiento o reparación, de lo contrario deben ser instalados como piezas de recambio.
- Los componentes son tan costosos, complejos o críticos que merece la pena implantar un sistema especial para su seguimiento.
- Se tiene en uso un gran número de componentes idénticos en distintos lugares al mismo tiempo.
- Hay más de un proveedor para cada componente.
- La vida útil de los componentes es mucho más corta que la de los elementos de los que forman parte.
- No existe un sistema eficaz y sencillo para hacerles seguimiento.
- Tener la seguridad de que todos los movimientos de los componentes se comunicarán rápida y fielmente al departamento de confiabilidad.

#### **4.4.3. Procedimiento para Analizar las Fallas**

Para realizar un procedimiento para analizar las fallas es importante comprender perfectamente el problema, definir los síntomas de la falla y comprende el proceso que lo provoca, así se evita desperdiciar esfuerzos innecesariamente.

Algunas técnicas que sirven para el análisis de problemas son:

- Gráficos de torta
- Gráficos de barras

- Histogramas
- Gráficos de distribución acumulada
- Funciones de densidad de probabilidades
- Funciones de distribución acumulada
- Diagrama de Pareto
- Diagrama Causa-Efecto
- Diagramas de Flujo

**4.5. Recomendar una metodología que garantice el buen funcionamiento de los productos aeronáuticos antes de que fallen para estar dentro de los estándares nacionales como internacionales, en cuanto a seguridad aeronáutica. (FASE IV).**

Esta fase es la última de la investigación y aquí se encontrarán las razones de implementar el MCC en el campo aeronáutico, específicamente en el monitoreo de funcionalidad de los sistemas y componentes que conforman una aeronave.

El sistema MCVC permitirá reducir el alto costo de mantenimiento y reparación de los sistemas y componentes de la aeronave, para poder realizar esta reducción debemos de implementar el MCC de manera eficaz y secuencial, es decir, no dejar a un lado esta metodología si no se ven resultados a mediano o corto plazo.

**4.5.1. Táctica de mantenimiento**

La primera opción consiste en buscar una solución al problema por medio del mantenimiento. Las modificaciones consumen tiempo, recursos, implican costos que van desde la concepción de la solución, diseño, procura, construcción, instalación, pruebas y puesta en marcha entre otros.

**4.5.1.1. Las Modificaciones deben ser:**

- Debidamente justificadas y Adecuadamente diseñadas.
- Realizadas correctamente en términos de tiempo, costos y calidad.
- Actualizados de planos, manuales y listas de piezas.

- Debidamente administradas, ni interferir con las acciones de mantenimiento programado y otras actividades de la organización.

#### **4.5.1.2. Ejecución del rediseño.**

Cuando no se consigue una acción de mantenimiento preventivo efectiva, se procede al rediseño según las consecuencias de la falla. Se trata de reducir el riesgo de que se produzca el modo de falla hasta que casi desaparezca. Cambiar el elemento de tal forma que la falla no tenga consecuencias para la seguridad, esto puede lograrse con la instalación de componentes que:

- Alerten al personal sobre la existencia de una anomalía.
- Detengan la aeronave en caso de una avería.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales que siguen a una avería que pudiera ocasionar daños graves.
- Asumir las actividades de la función que ha fallado.
- Impedir que se desarrolle una situación peligrosa.
- Sustituir la función oculta por una evidente. Si esto se logra, entonces las inspecciones para detectar fallas en una función oculta no serán necesarias.
- Sustituyendo la función oculta por un dispositivo más confiable. Pero que también será oculta, esto podría mejorar las condiciones de la inspección para detectar fallas de una función oculta.
- Hacer evidente la función oculta. Instalando otro dispositivo que la monitoree.

Si no hay repercusiones para la seguridad o el ambiente, tomar en cuenta la vida útil del producto aeronáutico antes del rediseño, es importante evaluar si la inversión que implica será recuperada con el tiempo remanente de vida útil del bien.

Cuando las consecuencias de la falla son tolerables, la mejor opción puede ser ajustarse a las consecuencias económicas de la falla. Se debe estar seguro de tomar una decisión soportada por un riguroso estudio costo/beneficio.

#### **4.5.2. Documentación**

Un documento de mantenimiento es una instrucción que describe una serie de tareas que deben practicarse a un bien específico con una frecuencia determinada.

La información básica debe al menos incluir:

- Descripción del sistema o componente, con su número cuando proceda.
- Responsable de realizar el mantenimiento: operario, mecánico, electricista, etc.
- Qué se debe hacer: la descripción de las tareas debe ser clara y concisa.
- Frecuencia para realizar el mantenimiento.
- El tiempo aproximado para realizar el mantenimiento.
- Si la aeronave debe pararse, aislarse o trasladarse a otro sitio para realizar el mantenimiento. Debe indicarse precauciones de seguridad que deben seguirse durante el mantenimiento.
- Herramientas necesarias, repuestos y si se requiere de maquinaria para realizar el mantenimiento.

##### **4.5.2.1. La Orden de Trabajo (O/T)**

Todo trabajo de mantenimiento debe originarse con un documento para evitar la ejecución de labores sin importancia, no autorizadas o innecesarias y llevar un registro del trabajo efectuado por máquina e instalación.

La solicitud de servicio puede provenir del personal de producción o de mantenimiento, en este último caso puede ser a consecuencia de una inspección de tipo preventiva donde se encontró algún problema o requerimiento de atención.

La O/T puede variar de acuerdo al tipo de empresa, sin embargo este documento constituye la autorización básica para el trabajo de que se trate, y es la fuente de toda información sobre reparaciones de rutina que formarán parte de los registros históricos. Los objetivos de la orden de trabajo consisten en:

- Solicitar a mantenimiento la solicitud de un trabajo.
- Seleccionar el mejor método, personal que realizará el trabajo, tiempo estimado y costos.
- Reducción de costos por medio del control de horas-hombre y materiales en los trabajos de mantenimiento.
- Ejecutar el mantenimiento preventivo.
- Mejorar la planificación y programación del mantenimiento.

**Tabla 11 Táctica para realizar O/T**

DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS	FRECUENCIAS	PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS PROGRAMAS
<p>Los planes de mantenimiento deben escribirse de forma fácil, clara, comprensible y sin ambigüedades.</p> <p>Si la persona que va hacer el trabajo no entiende las indicaciones, no se habrá hecho nada en escribirlas.</p> <p>Por ejemplo, colocar “chequear válvula de combustible de los motores”, puede significar que verifique si está totalmente abierta, totalmente cerrada, si hay goteo entre otros resultados. Este tipo de indicación es una pérdida de tiempo además que puede ser peligrosa.</p>	<p>Las frecuencias suelen asociarse con dos criterios para su programación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En base al tiempo calendario transcurrido.</li> </ul> <p>Si el equipo funciona la misma cantidad de tiempo en cada periodo calendario.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Según el tiempo de funcionamiento. Si el desgaste que determina el proceso de falla se relaciona con el tiempo de funcionamiento.</li> </ul>	<p>Teniendo claras las tareas preventivas a realizar, y su frecuencia, se establece la responsabilidad de realizarlas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas ejecutados por los Pilotos o TMA.</li> <li>• Programas ejecutados por la Inspección de calidad.</li> <li>• Programas de alta frecuencia ejecutados por TMA.</li> <li>• Programas de baja frecuencia ejecutados por TMA.</li> </ul>

- **Programas ejecutados por Pilotos o TMA.**
  - Los Pilotos y TMA están cerca de los equipos mucho tiempo, llegan a conocer su funcionamiento y por ello son capaces de realizar muchas tareas simples, pudiendo desarrollar capacidades para abordar tareas de más complejidad.
  - Pueden practicar rutinas de lubricación, ajuste y calibración, realizar inspecciones para revisar si una función oculta ha fallado.
  - Además deben ser entrenados para informar sobre cualquier anomalía oportunamente, llenar las solicitudes para que el supervisor de producción las envíe a mantenimiento.
  - En TMA pueden realizar cambios de componentes o accesorios si son entrenados y motivados para ello.
  
- **Programas ejecutados por la inspección de calidad.**
  - Las inspecciones de calidad son una fuente valiosa de información para mantenimiento.
  - Es vital generar procedimientos para que calidad reporte problemas y defectos para que mantenimiento ejecute las acciones preventivas y correctivas con prontitud.
  
- **Programas de alta frecuencia realizados por TMA.**
  - Son tareas simples de servicio, como inspecciones para detectar fallas, mantenimiento predictivo, que pueden hacerse rápidamente. Muchas pueden hacerse con el mantenimiento no programado o mantenimiento preventivo.
  - Se pueden elaborar listas de cotejo que se extraen de la información contenida en los programas de mantenimiento, se recomienda:
    - Programar la misma cantidad de trabajo por día.
    - La lista de cotejo puede abarcar desde un día hasta una semana.

- Las listas pueden incluir la lectura de contadores y parámetros de operación, aunque esto debe evitarse y dejar que los operarios hagan estas lecturas.
  - En el caso de sistema o componentes de alta frecuencia de inspección, si son numerosos en la aeronave, es preferible encargar a una persona a esta tarea, así se centralizan estos datos aunque sea más costoso.
  - Se debe centralizar el proceso de registro.
- **Programas de baja frecuencia ejecutados por TMA.**
    - Estos se realizan a intervalos más largos, requieren más trabajo, consumen más tiempo y a veces la aeronave se requiere pararse.
    - Estos programas de mantenimiento pueden planificarse en base al tiempo calendario o ciclos transcurrido o según el tiempo de funcionamiento acumulado por la aeronave establecido por el fabricante.

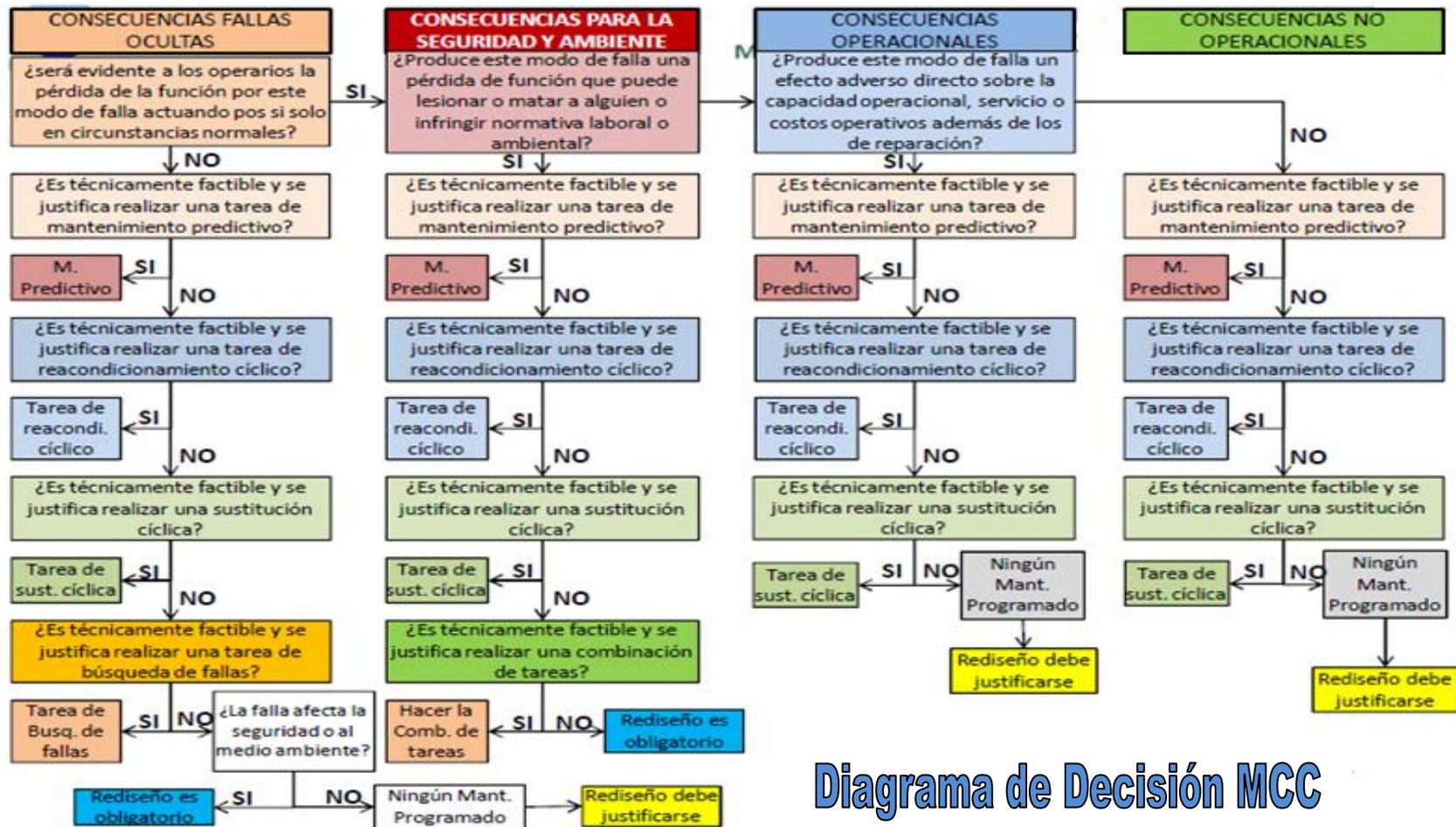


Diagrama de Decisión MCC

Figura 13 Diagrama de decisión del MCC



acciones correctivas emanadas por la JRT, tales como: Boletín de alerta, Aviso de alerta, directiva de alerta y reporte de defecto estructural. Condiciones que requieran de atención inmediata serán notificadas inmediatamente al presidente de la JAC, y una reunión extraordinaria de la JAC podrá ser convocada si el presidente así lo considera necesario.

## **5.2. Junta administradora de confiabilidad (JAC).**

La junta administradora de confiabilidad tendrá carácter permanente e incluirá a los representantes de cada uno de los siguientes departamentos ó sus designados, así como también todas aquellas personas ó departamentos que puedan contribuir a la solución de las problemáticas a tratar:

- Director general ( Presidente o Asesor)
- Director de operaciones.
- Director de seguridad operacional de la aviación.
- Director de mantenimiento
- Jefe de pilotos.
- Jefe del departamento de control de calidad.
- Director de confiabilidad.

El jefe de la sección de confiabilidad presentará un reporte mensual del programa, denominado reporte de vigilancia mensual (RVM) y será presentado a la JAC.

La JAC tiene la autoridad de decidir la aplicación de acciones correctivas necesarias sobre todos los eventos presentados para su evaluación y resolución. La JAC está autorizada a destinar recursos monetarios, mano de obra, instrucción, tiempo en tierra de las aeronaves y medidas mandatarías correctivas, necesarias para restablecer la confiabilidad de la flota. Adicionalmente velará que los procesos sugeridos se lleven a cabo en un tiempo razonable de ejecución y seguridad de operación dentro de la organización.

La JAC definirá un programa de acciones correctivas cuando las discrepancias repetitivas y las alertas sean notificadas.

La JAC se encargará de monitorear las acciones correctivas programadas, y de acuerdo a los resultados, se mantendrá ó finalizará la aplicación de las acciones.

### **5.3. Junta de revisión técnica (JRT).**

La JRT resolverá situaciones inmediatas que requieran una acción correctiva, como la emisión de boletines de alerta, avisos de alerta y todas aquellas correcciones menores de las tendencias adversas a los estándares operacionales establecidos. El jefe de la sección de confiabilidad presenta un reporte semanal, para ser evaluado por la JRT. Allí se establecen acuerdos y decisiones menores, y son resumidos a través de minutas de la JRT, las cuales son enviadas semanalmente a los integrantes de la JAC, y finalmente las evaluaciones de mayor consideración serán presentadas en el RVM para ser discutidas por la JAC. El envío de las minutas semanales a los integrantes de la JAC es responsabilidad del jefe de la sección de confiabilidad. Esto mantendrá informado a los integrantes de la JAC del desempeño de las actividades dentro del programa de una forma continua.

La JRT estará conformada por las personas que ocupen los siguientes cargos:

- Director de mantenimiento.
- Jefe del departamento de control de calidad.
- Jefe del departamento de ingeniería.
- Jefe del departamento de planificación.
- Jefe de producción y servicios.
- Gerente de almacén.
- Director de confiabilidad.

La JRT se encarga de analizar los resultados del PCL e identificar las modificaciones al programa de mantenimiento cuando se requiera, para ser presentadas en la JAC, para su aprobación.

La JRT se encarga de emitir Job Cars (JC), instrucciones de planificación (IP), ordenes de ingeniería (OI), boletines de alerta, avisos de alerta y directivas de

alerta, cuando sea requerido, para advertir y canalizar algún evento presentado, para aplicar acciones correctivas, modificaciones, boletines de servicio (emitidos por el fabricante) a la aeronave, sistema, plantas de poder y/o componente afectado. La JRT se encarga de proporcionar investigaciones para soportar ajustes en los intervalos de tiempo y cambios en el proceso de mantenimiento.

#### **5.4. Parámetros de actuación**

Los parámetros de actuación de la flota de aeronaves usados para monitorear y evaluar estadísticamente son presentados a continuación:

##### **5.4.1. Sistemas**

Total de reportes del maintenance log book (TRMLB) es el resultado de la suma de los reportes de pilotos (REMPI) y reportes de mantenimiento (REPMA), los cuales estarán asentados en el maintenance log book de cada aeronave.

$$\text{TRMLB} = \text{REMPI} + \text{REPMA}$$

Índice total de reportes del maintenance log book (ITRMLB), es el resultado del total de reportes del maintenance log book (TRMLB) por cada 100 Horas de vuelo (FH) entre el total de horas de vuelo (TFH) en el período de un mes:

$$\text{ITRMLB} = \frac{\text{TRMLB} \times 100 \text{ FH}}{\text{TFH}}$$

##### **5.4.2. Componentes**

Las remociones serán monitoreadas a través de los siguientes parámetros:

MTBR: Tiempo promedio entre remociones.

MTBUR: Tiempo promedio entre remociones no programadas.

MTBF: Tiempo promedio entre fallas.

URR: Índice de remociones no programadas.

#### **5.4.3. Motor.**

Cortes de motor en vuelo por cada 100 horas de vuelo. Remociones no programadas por cada 100 horas de vuelo. Control de consumo de aceite de los motores.

#### **5.4.4. Aeronave.**

Reportes repetitivos del maintenance log book. Hallazgos significativos de reportes no rutinarios (no estructurales) encontrados durante la operación y durante el mantenimiento mayor.

#### **5.4.5. Estructura.**

Hallazgos significativos de reportes no rutinarios (estructurales) encontrados durante la operación y durante el mantenimiento mayor.

#### **5.5. Advertencia de alerta.**

Existe cuando el ITRMLB excede por dos (2) meses consecutivos el UCL, mientras que el promedio del ITRMLB de los últimos tres (3) meses se encuentra por debajo del UCL. Esta etapa advierte la posibilidad de una condición de alerta en el próximo mes.

#### **5.6. Alerta roja.**

Existe cuando el promedio del ITRMLB de los últimos tres (3) meses excede el UCL. La presencia de una alerta roja deberá ser notificada inmediatamente a la JRT y la JAC a través de un boletín de alerta.

#### **5.7. Alerta permanente.**

Existe cuando el promedio del ITRMLB de los últimos tres (3) meses excede el UCL por dos (2) ó más meses y el ITRMLB del mes actual es igual ó mayor al ITRMLB del mes anterior.

## **5.8. Procedimiento para establecer el nivel de alerta (UCL).**

Los valores de alerta son calculados para los ATA's y se establecen a través del TRMLB. Para obtener los niveles de alerta en los ATA's, se debe revisar el comportamiento del TRMLB de meses anteriores. El comportamiento de los doce (12) meses anteriores consecutivos es recomendado para así poder compensar las variaciones de las temporadas de alta y baja en las operaciones; aunque con tan solo tres (3) meses es suficiente para establecer los niveles de alerta iniciales, los cuales servirán de referencia inicial y serán la base para efectuar nuevos recálculos mediante el cual se ajustarán a los valores estándares que definirán el comportamiento normal de la aeronave.

Los niveles de alerta Iniciales serán calculados con los datos de tres (3) meses consecutivos a partir de la implementación del PCL. Estos serán recalculados al cumplirse los siguientes tres (3) meses, de manera de conseguir su primer ajuste a los seis (6) meses y finalmente, los niveles de alerta Inicial serán reajustados con un próximo re-cálculo al cumplirse los primeros doce (12) meses a partir de la implementación del PCL. Esto permite obtener valores de los niveles de alerta más ajustados al comportamiento estándar de la flota, así como nivelar las temporadas de alta y baja operación. Los ajustes efectuados durante los primeros doce (12) meses a los niveles de alerta no tendrán limitantes, es decir, podrán establecerse los nuevos niveles de alerta hacia la baja (LCL) ó la alza (UCL), siempre y cuando sean ajustados de manera conservativa, de acuerdo al comportamiento estándar que presenten los ATA's.

Para evitar que un bajo número del TRMLB ó un bajo ITRMLB, cause que los ATA's estén fuera de los límites de alerta, una medida de índice del 0,30 se tomará como referencia, aunque conteos de dos (2) ó menos reportes, ó un ITRMLB de 0.3 serán considerados dentro de los niveles de alerta.

Para el cálculo del nivel de alerta (limite de control superior / inferior), se define el siguiente procedimiento:

- Determine el TRMLB para los ATA's para el período a calcular (tres a doce meses).
- Calcule el ITRMLB tal como se especifica en la sección 4.2.1.
- Calcule la media aritmética ( $X_m$ ) del ITRMLB sumando el índice de los meses calculados dividiéndolo entre el total de meses sumados.
- Calcule la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la  $X_m$  obteniendo la diferencia de la  $X_m$  y el ITRMLB de cada mes y luego elevándolo al cuadrado. Cada diferencia elevada al cuadrado será sumada para obtener el total y será dividido por el número de meses del período, y de este resultado se obtendrá la raíz cuadrada. Este valor final se denomina desviación estándar ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X_m)^2}{N}}$$

El valor del nivel de alerta (UCL) será igual a  $X_m$ , más dos (2) veces la desviación estándar ( $\sigma$ ).

$$\text{UCL} = X_m + 2\sigma$$

Limite de control inferior (LCL) es el valor de alerta inferior, y será utilizado solo como referencia, para evaluar la actividad de apertura de reportes del maintenance log book. Por lo tanto, los **ITRMLB** que se encuentren por debajo del **LCL** no se tratarán como ATA's en alerta, si no que este permitirá iniciar una investigación para obtener las causas que generaron la salida del sistema del estándar de operación. El **LCL** será igual a  $X_m$ , menos dos (2) veces la Desviación Estándar ( $\sigma$ ):

$$\text{LCL} = X_m - 2\sigma$$

### **5.9. Revisión de los valores de alerta.**

Los niveles de alerta serán recalculados cada doce (12) meses a partir de la implementación del PCL. No existe límites para establecer un nuevo nivel de alerta hacia la baja (LCL), pero cualquier re-cálculo hacia el alza luego de cumplirse el primer (1) año de implementación del PCL, deberá tener como máximo de ajuste un valor no mayor a diez (10%) por ciento del último valor calculado.

Todos los ajustes al UCL mayores al 10 %, deberán ser aprobados por la JAC y deberá ser notificado al INAC a través del inspector principal de mantenimiento.

Si un nivel de alerta es excedido por un período consecutivo de tres (3) meses a pesar de las continuas acciones correctivas, y mediante la investigación realizada por el jefe de la sección de confiabilidad demuestra que el UCL está incorrecto, el caso se presentará en la JRT y la JAC, para que este sea revisado y así establecer un nuevo valor más real. La aprobación del nuevo valor será notificado al INAC a través del inspector principal de mantenimiento

### **5.10. Línea de tendencia.**

Un gráfico será realizado y controlado por el jefe de la sección de confiabilidad del valor de actuación individual de cada uno de los ATA's. En el gráfico se observará el UCL, LCL,  $X_m$ , el comportamiento del ITRMLB y una línea de tendencia, y será usado para visualizar cualquier tendencia adversa que presente los ATA's. Si uno de los ATA's permanece fuera del UCL por tres (3) meses consecutivos, deberá ser reportado.

Las siguientes fórmulas son usadas para calcular URR, MTBR, MTBUR y MTBF:

- URR (Índice de remociones no programadas) = remociones no programadas por 100 horas de vuelo (FH) ó 100 aterrizajes (LDGS), dividido entre el total de horas de vuelo (TFH) ó el total de aterrizajes (TLDGS) de la flota por la cantidad de unidades por aeronave (QPA).

$$URR = \frac{\text{total de remociones no programadas} \times (100 \text{ FH o LDGS})}{2\alpha(TFH \text{ O } TLDGS) \times QPA}$$

- MTBR (Tiempo Promedio Entre Remociones) = TFH ó TLDGS de la flota por cantidad de unidades por aeronave (QPA) dividido entre el total de número de remociones.
- MTBUR (Tiempo Promedio Entre Remociones No Programadas) = TFH ó TLDGS de la flota por cantidad de unidades por aeronave (QPA) dividido entre el total de número de remociones no programadas.

$$MTBUR = \frac{(TFH \text{ o } TLDGS) \times (QPA)}{TOTAL \text{ DE REMOCIONES NO PROGRAMADAS}}$$

- MTBF (Tiempo Promedio Entre Fallas) = TFH ó TLDGS de la flota por cantidad de unidades por Aeronave (QPA) dividido entre el total de número de fallas.

$$MTBF = \frac{(TFH \text{ o } TLDGS) \times (QPA)}{Total \text{ de Fallas}}$$

Estos valores son comparados con las estadísticas de otras líneas aéreas, y de esta manera controlar las remociones y fallas presentadas. El jefe de la sección de confiabilidad lleva a cabo un análisis de diagnóstico, si los índices anteriormente descritos, estén por debajo de las estadísticas de referencia por un período de tres (3) meses consecutivos, a fin de establecer una acción correctiva. La información estadística será incluida en el reporte de la última semana de cada mes de la JRT y en el RVM para ser presentado en la JAC.

Se calcularán niveles de alerta para los componentes, tal como se especifico el procedimiento para el ITRMLB, los cuales sólo se utilizarán como límites de referencia, es decir, Los límites serán denominados Línea de referencia superior (LRS) y línea de referencia Inferior (LRI), y serán calculados similarmente como el UCL y el LCL. Esto nos permitirá conocer cuál es el comportamiento estándar de cada componente, pero no son limitantes para la operación normal de la flota. Solo serán investigados los componentes que tengan valores inferiores al LRI.

### **5.11. Niveles de alerta (UCL) para nuevas aeronaves.**

Nuevas aeronaves podrán ser añadidas al PCL en cualquier momento. El proceso de monitoreo a usarse depende de la cantidad de información que esté al alcance en el momento de ser añadida.

Siempre que sea posible, los niveles de alerta de estos nuevos equipos, se obtendrán del fabricante, otros operadores ó experiencia previa.

Si los datos no están accesibles, se realizará la recolección de datos y luego se establecerá los niveles de alerta de los ATA's de la nueva aeronave. Este procedimiento se realizará hasta cumplirse los primeros doce (12) meses luego de incluir la aeronave al PCL. Estos límites sólo aplicarán a la nueva aeronave incluida en el PCL.

Luego de cumplirse los primeros doce (12) meses de la nueva aeronave dentro del PCL, podrán ser incluidos los datos de esta nueva aeronave para recalculer los niveles de alerta de la flota en general. Por lo tanto, los valores de los niveles de alerta Inicial de la nueva aeronave obtenidos a los doce (12) meses, se mantendrán hasta que la revisión anual de los valores de toda la flota se efectúe.

### **5.12. Análisis de los datos (PCL).**

Este análisis se realiza para detectar áreas con problemas que puedan requerir el inicio de acciones correctivas para restablecer niveles aceptables de operación de una aeronave en específico, como de toda la flota en general. El jefe de la sección de confiabilidad es el responsable de notificar al departamento apropiado cuando una alerta ocurra dentro del PCL.

Los sistemas, componentes, ó plantas de poder que alcancen la etapa de alerta roja serán mostrados en el RVM. Allí se definirán las acciones correctivas a ejecutarse.

El jefe de la sección de confiabilidad iniciará una investigación para confirmar la validez de cada sistema que se encuentre en alerta roja. Las alertas falsas podrán

ser cerradas por la JRT, siempre y cuando el jefe de la sección de confiabilidad presente la documentación apropiada que justifique su cierre.

Las acciones correctivas de las alertas rojas serán resumidas y presentadas en el RVM posterior a la alerta inicial. Se necesitará una reevaluación de las acciones correctivas siempre y cuando el sistema pase a la etapa de alerta permanente.

### **5.13. Análisis de alerta.**

Una experiencia de falla presentada en la aeronave ó presencia de eventos que inicien una sospecha, a través de experiencias anteriores y/o de otro operador, se le debe dar una prioridad de respuesta inmediata a través de un boletín de alerta. La primera acción del análisis es identificar el sistema ó componente y el modo de falla. El análisis deberá confirmar que la seguridad de la aeronave se mantenga, considerando si la falla fue de tipo eventual, revisando además el historial de remociones, etc. Si existe alguna duda se deberá efectuar inspecciones para proteger la aeronave o las otras de la flota, y de acuerdo a los resultados de estas inspecciones, establecer acciones correctivas inmediatas, si es requerido en otras aeronaves del propietario o la empresa. En caso que sea necesario se podrán utilizar como advertencia el boletín de alerta, avisos de alerta ó directivas de alerta.

La JRT, la dirección de seguridad operacional de la aviación, ó cualquier otra persona que conozca de una falla crítica pueden participar y convocar una reunión extraordinaria de la JAC ó solicitar un aviso de alerta para recabar toda la información necesaria sobre el evento. La JRT ó la JAC determinarán cual acción correctiva final deberá ser aplicada para prevenir fallas posteriores. En fallas del fuselaje ó plantas de poder, los fabricantes podrán ser consultados, ya que ellos podrían estar siguiendo ese problema ó haber efectuado previamente análisis y ensayos, los cuales contribuirán a la resolución de la falla.

El análisis deberá primero concentrarse en la historia del componente ó sistema, y así verificar si algunos síntomas pudieron haber sido detectados inicialmente para prevenir la falla. Esta información podría utilizarse para crear criterios de

inspección que pudieran revelar fallas potenciales en los conjuntos de aeronaves ó componentes. Esto podría también ayudar a determinar fallas ocultas y seleccionar la acción correctiva final. El análisis es realizado por el jefe de la sección de confiabilidad, el cual presentará progresivamente los resultados a la JRT y la JAC. Las acciones correctivas a tomar servirán para estrechar los posibles defectos al menor grupo de componentes ó partes posibles y efectuar todos los chequeos y pruebas que estén al alcance.

#### **5.14. Indicadores del nivel de alerta.**

La sección de confiabilidad vigilará la actuación de la flota por tendencias de los ATA's. Estas tendencias llamarán la atención hacia las áreas con problemas potenciales, la magnitud y severidad del problema definirá el nivel del análisis inicial. El PCL utiliza los niveles de alerta para supervisar el comportamiento de la aeronave. Comparando el comportamiento estándar de los ATA's con las actuaciones operacionales se le hace seguimiento a los sistemas y componentes.

Si se presenta alguna tendencia adversa, esta es advertida a través de los indicadores de alerta. Toda la atención deberá enfocarse en el análisis de la situación desde todos los puntos de vista posibles. Esta perspectiva incluirá los siguientes ítems, pero no estará limitada a:

- Chequeo histórico del comportamiento del ITRMLB de los ATA's.
- Chequeo de los datos recopilados de los reportes del maintenance log book de la aeronave.
- Chequeo de los parámetros de componentes.
- Chequeo de formatos de confiabilidad.

#### **5.15. Intervalos de tiempo para el análisis de datos.**

Un análisis de ingeniería será conducido cuando alguno de los parámetros controlados esté en alerta roja. El análisis debe entornar las acciones requeridas para restablecer el comportamiento del sistema a los niveles aceptables ó estándares obtenidos.

El análisis deberá ser realizado en un tiempo no mayor a un (1) mes después de que una advertencia de alerta haya sido visualizada a través del PCL.

Podrán ser necesarias extensiones de análisis de datos, siempre y cuando sea por causas externas a la jefatura de mantenimiento. Un ejemplo podría ser la recepción pendiente de información que es suministrada al PCL, tales como: Reportes de hallazgos de componentes reparados (shop findings reports), análisis de laboratorio de un consumible, etc. Solo el jefe de la sección de confiabilidad podrá diferir el proceso de investigación y análisis de datos, siempre y cuando justifique las razones en la JRT ó la JAC, si es requerido. Las extensiones podrán ser justificadas por escrito y podrá ser incluido en los diferentes reportes de la JRT y la JAC. El análisis no será diferido por un tiempo mayor de tres (3) meses.

#### **5.16. Intervalos de tiempo para la aplicación de las acciones correctivas.**

Una vez que un programa de acciones correctivas es desarrollado, las órdenes técnicas ó actividad de mantenimiento establecida asociadas con ese programa, deberán ser tratadas como acciones “mandatarias por confiabilidad”.

Las acciones correctivas deberán ser aplicadas dentro de los límites de tiempo prescritos como indica la orden técnica. Si se requiere de una extensión en el tiempo de aplicación de la acción correctiva, el jefe de la sección de confiabilidad se encargará de presentar por escrito al presidente de las JAC, la justificación respectiva.

Las acciones correctivas deberán ser aplicadas en un tiempo no mayor a la próxima aplicación de un servicio “C” de la aeronave afectada.

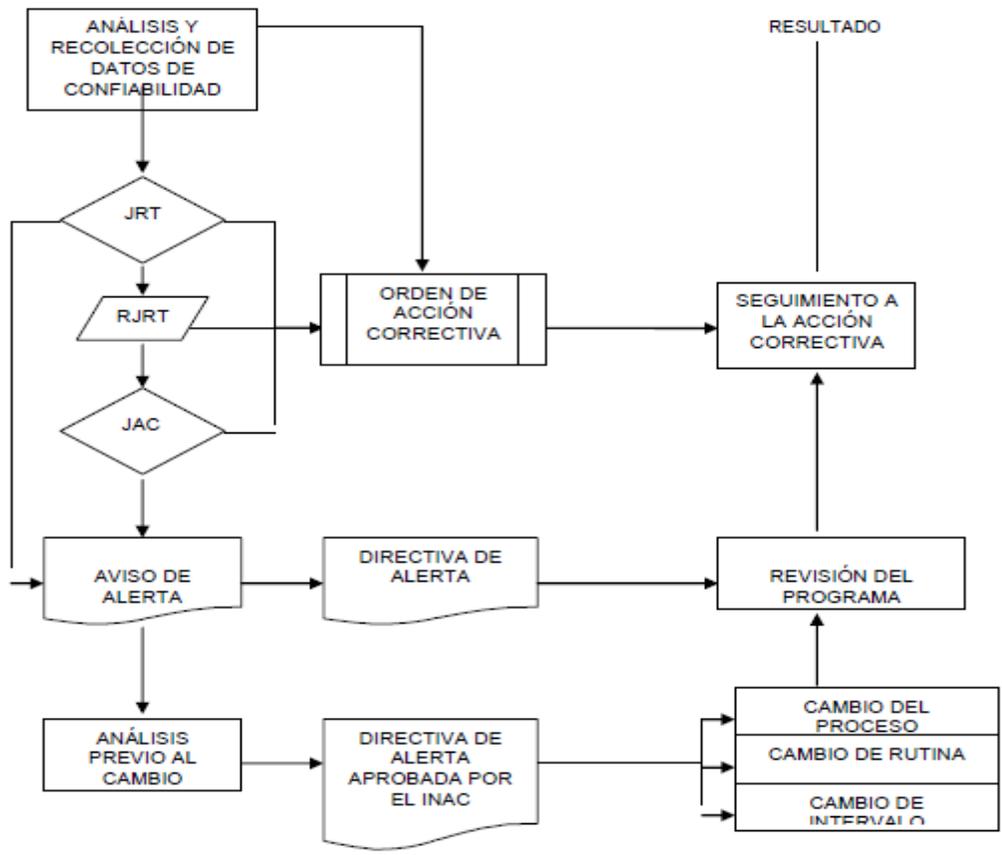


Figura 15 Diagrama de Flujo de Análisis de Datos

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

Cuando se pretende aplicar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en la industria aeronáutica se deben tener en cuenta las regulaciones y normas establecidas por las autoridades aeronáuticas del país, en este caso las dadas por el Instituto Nacional de Aeronáutica Civil (INAC).

Para las empresas relacionadas con el sector aeronáutico a nivel mundial y específicamente en Venezuela, es una exigencia desarrollar un plan de confiabilidad basado en las técnicas y normas internacionales de MCC.

Aunque el MCC fue desarrollado en la década de 1960, tiene en la actualidad más vigencia que nunca, pues es imperativo que el sector aeronáutico mantenga e incremente sus niveles de seguridad operativa, y la mejor estrategia para lograrlo es tener un plan de MCC bien desarrollado como lo establece la filosofía del MSG-3.

Los planes de MCC no son genéricos, dependen en gran medida de las condiciones de operación de la aeronave y la empresa en la cual se está desarrollando, por eso los análisis de fallas deben ser desarrollados de una manera muy juiciosa y exhaustiva para asegurar resultados de ésta estrategia. Llevar a cabo el seguimiento de las condiciones operativas de los aviones es primordial para desarrollar una MCC adecuado a la realidad de la empresa y/o propietario.

Existen muchas fuentes de información para aprender sobre los planes de MCC, pero para asegurar que el plan que se está desarrollando es el adecuado, se debe consultar en las normas internacionales que se refieren a éstos planes, tales como: SAE JA1011, SAE JA1014, HMS, entre otras.

El MCC que se presenta en esta investigación, implementan las herramientas para que se aplique en el campo aeronáutico venezolano, no solo en los sistemas y componentes de las aeronaves, sino también en otras aéreas de la aeronáutica, como puede ser aplicarlo en la atención al cliente en los mostradores, en el despacho de la aeronaves para efectuar el vuelo, entre otras, dando parámetros para que se ponga en funcionamiento según las características típicas de las Organizaciones Aeronáuticas.

El MCC también ha sido usado exitosamente por fuera de la industria de la aviación comercial. Los proyectos militares frecuentemente mandan el uso del MCC porque él permite a los usuarios finales experimentar la clase de desempeño de equipos altamente confiable que experimentan las aerolíneas. La industria de la minería opera típicamente en sitios remotos que están lejos de las fuentes donde se consiguen las partes y los materiales para realizar labores de reemplazo. En consecuencia, los mineros quieren alta confiabilidad y disponibilidad de sus equipos-mínimo tiempo de inactividad y máxima producción del equipo.

El MCC ha sido útil en optimizar la disponibilidad de las flotas de camiones transportadores y otros equipos al tiempo que reducen los costos de mantenimiento para partes y la labor, además del tiempo de inactividad para el mantenimiento planificado.

Si el MCC se usa correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los equipos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que se percibe la función del mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz.

## RECOMENDACIONES

- Este proyecto se basa en una investigación de cómo debe ser un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), a partir de las Normas Internacionales y la Regulaciones Aeronáutica Venezolanas. Los avances que se han hecho en la confiabilidad refiriéndose a los aviones son importantes, tratando éstos de permitir que las aerolíneas aumenten aun más sus altos niveles de seguridad, así como de tratar de reducir costos de inventarios de repuestos.
- Se recomienda que, a partir de este proyecto, se formule uno que haga una aplicación en un caso real en el que se muestre la potencial reducción de costos por eliminar los mantenimientos no programados, por reducir al máximo las cancelaciones y retrasos; además del aumento en la confiabilidad operativa de la empresa.
- En un proceso de mejoramiento del mantenimiento, evitar sobrecargarse y aplicar muchas iniciativas (herramientas) de forma simultánea, para esto es necesario conocer el objetivo de cada metodología y justificar su aplicación.
- El éxito de la implementación del MCC dependerá fundamentalmente del personal de mantenimiento y producción involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de inducción y en la capacitación del personal que participará en este proceso. El proceso de inducción y capacitación, deberá ser capaz de motivar al personal y de generar en este, el compromiso necesario, para implantar el MCC de forma eficiente.
- Para el análisis MCC se generó información detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente ocurran al equipo, pero es necesario continuar registrando e incluir las fallas que vayan sucediendo y que no hayan sido consideradas.
- El MCC se puede aplicar a cualquier sistema o componente de la aeronave. Lo fundamental es preparar una persona experta o facilitador en MCC y apoyarlo con el personal técnico en mantenimiento, que son los que más conocen los recursos físicos de la aeronave, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, entre otras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amendola, L. (2015). *Gestión de proyectos de activos industriales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Avio.Pro. (12 de 02 de 2015). [http://es.avia.pro/plane\\_fuselage](http://es.avia.pro/plane_fuselage) . Obtenido de AVIA.PRO: [http://es.avia.pro/plane\\_fuselage](http://es.avia.pro/plane_fuselage)
- Benítez, R. (2012). Herramientas para mejorar la confiabilidad operacional. *Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 2012*, (pág. 16). La Habana.
- Bustos, A. (2012). *Indicadores para medir los beneficios economicos de un sistema de gestion de mantenimiento centrado en confiabilidad*. Caracas: Universidad Nueva Esparta.
- CAA-09-21. (2008). *Control de mantenimiento de aeronaves por metodo de confiabilidad*. Caracas: INAC.
- Cabello, J. (24 de 08 de 2011). <http://jairocaballero.blogspot.com>. Obtenido de <http://jairocaballero.blogspot.com/2011/08/metodo-6m-o-analisis-de-dispersion.html>: <http://jairocaballero.blogspot.com/2011/08/metodo-6m-o-analisis-de-dispersion.html>
- Cáceres, M. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Castellanos.
- Cardiz, C. (2016). *Metodología de análisis de causa raíz*. México: PEMEX.
- Ciliberti, T. (1996). *Mantenimiento Basado en la criticidad*. Florida.
- Fidias, A. (2006). *El proyecto de investigación*. Caracas: Episteme.
- Gálvez, I. (2009). *Herramientas para la mejora de los procesos*. La Habana: Cavila.
- González, J. (2014). *Válidez y Confiabilidad del instrumento*.

- González, W. (30 de 05 de 2017). *http://recodatos.blogspot.com*. Obtenido de <http://recodatos.blogspot.com/2009/05/tecnicas-de-recoleccion-de-datos.html>
- Hernández, R., Carlos, F., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hurtado, J. (2008). *El proyecto de investigación*. Caracas: Quirón.
- Jansen, H. (03 de julio de 2017). *ONU MUJERES*. Obtenido de <http://www.endvawnow.org/es/articles/336-indicadores.html>
- MGM. (2015). Confiabilidad. En I. Martínez, *Manual General de Mantenimiento* (pág. 1). Caracas: LASER C.A.
- Montes, J. (2013). *Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de INTEGRA S.A., usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en confiabilidad*. España: Universidad Tecnológica De Pereira.
- Moubray, J. (2010). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Buenos Aires: Aladon LLC.
- Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México: Pearson Educación.
- Muñoz, M. (30 de 06 de 2017). *Manual de Vuelo*. Obtenido de <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV15.html>
- Norma, C. 3. (1993). *Mantenimiento*. Caracas: Covenin.
- OACI, A. 8. (2004). *AERONAVEGABILIDAD*. Chicago: OACI.
- Parra, C. (2008). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Sevilla: Ingecon.

PDVSA. (1995). *Centro Internacional de Educación y Desarrollo*. Caracas: PDVSA.

PMBOK. (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos*. Pensilvania: Project Management Institute.

Primitivo, R. (25 de Mayo de 2017). Obtenido de [https://www.google.co.ve/search?q= analisis+de+criticidad&oq= analisis+de+criticidad&aqs=chrome..69i57j0l5.26218j0&sourceid=chrome&espv=210&es\\_sm=93&ie=UTF-8#es\\_sm=93&q= analisis+del+modo+y+efecto+de+fallas+PFMEA+Dr+primitivo+reyes](https://www.google.co.ve/search?q= analisis+de+criticidad&oq= analisis+de+criticidad&aqs=chrome..69i57j0l5.26218j0&sourceid=chrome&espv=210&es_sm=93&ie=UTF-8#es_sm=93&q= analisis+del+modo+y+efecto+de+fallas+PFMEA+Dr+primitivo+reyes). Consulta [2013 Mayo 25].: www.google.com

Ramírez, S. (2014). *Análisis de datos de falla*. Manizalez: Universidad Nacional de Colombia.

Ramírez, Y. (2012). *Análisis de confiabilidad de la flota de aeroanves de la Escuela de Aviación del Pacífico*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura.

RAV, 1. (2008). Definiciones y Abreviaciones. En *Regulación Aeronáutica Venezolana* (pág. 4). Caracas: INAC.

RAV, 1. (2013). Reglas de operación de explotadores de servicio público de transporte aéreo en operaciones regulares y no regulares nacionales e internacionales. *Regulación Aeronáutica Venezolana*, 5.

RAV, 2. (2012). *PROCEDIMIENTOS PARA LA CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS*. Caracas: INAC.

RAV, 4. (2008). Mantenimiento. En *Regulación Aeronáutica Venezolana* (pág. 2). Caracas: INAC.

Renovetec. (21 de marzo de 2013). *Instituto renovetec de ingeniería del mantenimiento (IRIM)*. Obtenido de <http://www.renovetec.com/269-desarrollo-de-rcm>

- Rodríguez, M. (2015). *Metodología para sistemas integrales de detección de mal funcionamiento en equipos. Aplicación a los aerogeneradores*. Argentina: Universidad de la Rioja.
- Rojas, A. (2015). *Modelo Multi-Estado para Estudios de Confiabilidad del parque Eólico Minas de HUASCACHACA*. Mexico: Universidad de Mexico.
- Sabino, C. (1992). *El proceso de la investigación*. Caracas: Panapo.
- Sneiderman, S. (23 de julio de 2011). *Subjetividad y procesos cognitivos*. Obtenido de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-73102011000200005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73102011000200005)
- Zambrano, S. (2014). *Fundamentos básicos de mantenimiento*. Caracas: UNET.