

**MODELO DE MANTENIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD
DE LA FLOTA DE AVIONES DASH8-100/200/300 y BOEING 737-700 NG.**

**JAVIER ALFONSO CAMACHO GONZALES
JULIO ALBERTO FONSECA VARGAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2012

**MODELO DE MANTENIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD
DE LA FLOTA DE AVIONES DASH8-100/200/300 y BOEING 737-700 NG**

**JAVIER ALFONSO CAMACHO GONZALES
JULIO ALBERTO FONSECA VARGAS**

Monografía de Grado

**Presentada como requisito para optar el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

Director

GUSTAVO SUAREZ

Ingeniero Industrial y Metalúrgico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos:

Primero a dios por darnos la fortaleza e inteligencia por cumplir este proyecto.

A nuestras familias por apoyarnos e incentivarnos a mejorar cada día, como personas y profesionales.

A la universidad Industrial de Santander (U.I.S) por permitirnos compartir y aprender de las experiencias de cada uno de los maestros y compañeros de la especialización.

A la compañía AIRES S.A en cabeza del Ing Gustavo Suárez Gerente Técnico y Erica Zarante Secretaria General (representante legal) por su apoyo en este proyecto para el mejorar o plantear el modelo de mantenimiento para mejorar la disponibilidad operacional de la flota de aviones DHC-8 y Boeing 737-700.

DEDICATORIA

A Dios por concederme la gracia de estar vivo y
compartiendo con mis seres queridos.

A mi familia que con su paciencia me
demuestran su apoyo en cada paso que avanzo
en la vida.

Y en especial a mi hija Mariana que esta por
venir

Javier A.

DEDICATORIA

A mi linda esposa quien compartió mis preocupaciones y me aconsejo con sus grandes palabras motivándome a seguir adelante cumpliendo mi objetivo de esta especialización.

A mi madre e hijo quienes son también mi motor en esta grandiosa vida.

Julio A.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	17
1. MARCO CONTEXTUAL	19
1.1 LA EMPRESA	19
1.2 DESCRIPCION DE COBETURA DE LA AEROLINEA	21
1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	22
1.3.1 Estructura Organizacional de la Empresa AIRES SA	22
1.3.2 Estructura Organizacional de la Gerencia Técnica	23
1.4 PROCESO DE MANTENIMIENTO	23
1.4.1 La Gerencia Técnica	20
1.4.2 La Dirección de Producción o Mantenimiento	21
1.4.3 La Dirección de Control Calidad y Aseguramiento	21
1.4.4 La Dirección de Ingeniería y Planeación	22
1.4.5 La Dirección de logística	23
1.4.6 Sistema de Información Máximo	23
1.5 NUESTRA FLOTA	28
1.5.1 Flota BOEING 737-700 NG	25
1.5.2 Flota de DASH-8	27
1.6 DIAGNOSTICO	31
1.7 INDICADORES ACTUALES DE LA COMPAÑÍA	33
1.7.1 Confiabilidad Operacional actual	30
1.8 OBJETIVOS	37
1.8.1 Objetivo General	34
1.8.2 Objetivos específicos	34

2. MARCO TEORICO	38
2.1 AIRES HOY	38
2.2 DISPONIBILIDAD	39
2.3 CONFIABILIDAD	43
2.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	45
2.4.1 Pasos para hacer un análisis de criticidad	43
2.5 ANÁLISIS CAUSA/RAÍZ	48
2.5.1 Etapas del análisis causa raíz	46
2.6 ANALISIS MODO EFECTO DE FALLA	53
2.6.1 Metodología del AMEF	53
2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLA	59
2.7.1 Distribuciones de probabilidad.	59
2.8 MANTENIBILIDAD	62
3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE MANTENIMIENTO	65
3.1 PROCESO DE ANALISIS	67
3.1.1 Análisis y Recolección de Datos	65
3.2 PROCESO DE MEJORA	70
3.2.1 Análisis de Criticidad	67
3.2.2 Análisis Causa Raíz	68
3.2.3 Análisis Modo Efecto de Falla	69
3.2.4 Análisis Estadístico de Falla	70
3.3 PROCESO DE PLANIFICACIÓN	76
3.4 PROCESO DE PROGRAMACION	76
3.4.1 Reprogramación	74
3.5 PROCESO DE EJECUCION	77
3.5.1 Factores Personales	74
3.5.2 Factores Condicionales	77

3.5.3 Entorno	77
4. CONCLUSIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	84

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Presentación Aires SA.	19
Figura 2. Mapa de cobertura de AIREAS SA	21
Figura 3. Organigrama Aires SA.	22
Figura 4. Entrada principal Sistema de Información Maximo.	27
Figura 5. Foto de Boeing 737-700 NG	29
Figura 6. Foto de Dash-8	30
Figura 7. Artículo Calidad del servicio de transporte de pasajeros	33
Figura 8. Grafica-Indicador Dispatch Reliability	35
Figura 9. Grafica-Indicador Schedule Completion Rate	36
Figura 10. Grafica-Indicador Total Completion Rate	36
Figura 11. Calculo de correctivos “mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios AMG page 65”	42
Figura 12. Calculo de preventivos “mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios AMG page 65”	43
Figura 13. Análisis de criticidad	46
Figura 14. Etapas del análisis causa raíz	49
Figura 15. Etapas del ACR	52
Figura 16. Análisis Causa-Raíz	53
Figura 17. cadena de sucesos	55
Figura 18. Reporte generado por el Software Máximo	69
Figura 19. Proceso de toma y análisis de datos	70
Figura 20. Análisis de Criticidad	71
Figura 21. Limitaciones de los datos históricos	73

LISTA DE TABLAS

	pág.
Cuadro 1. Confiabilidad Operacional actual.	34
Cuadro 2. Valoración Análisis de Criticidad	48
Cuadro 3. Cuadro de distribuciones	62

ANEXOS

	pág.
Anexo A. Organigrama Gerencia Técnica	85
Anexo B. Asignación de Valores en el Análisis de Criticidad Aires S.A.	86
Anexo C. Análisis Causa-Raíz	87
Anexo D. Formato Análisis de Fallas y Problemas	91
Anexo E. Task Ingeniería	93
Anexo F. Formato Lluvia de Ideas	94
Anexo G. Modo Efecto de Falla	95
Anexo H. Análisis de Criticidad	97

RESUMEN

TITULO: MODELO DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE AVIONES DASH 8-100/200/300 Y BOEING 737-700 NG.

AUTOR (ES): JAVIER ALFONSO CAMACHO GONZALES, JULIO ALBERTO FONSECA VARGAS.

PALABRA CLAVES: MODELO DE MANTENIMIENTO, DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD, CONFIABILIDAD.

DESCRIPCION: Esta monografía desarrolla la estructura de un modelo de mantenimiento con la interrelación de varias técnicas para los análisis de fallas presente en la flota de aviones dash8-100/2007300 y la flota Boeing 737-700 de la compañía aérea AIRES S.A, este modelo es planteado por la necesidad de la alta competitividad que en la actualidad este tipo de industria exige para la existencia y vigencia de las aerolíneas en el mundo.

El modelo se centraliza en la gerencia técnica de la empresa Aires S.A, involucrando varias direcciones como son Mantenimiento, Ingeniería y Planeacion, Confiabilidad y Control Calidad con el objetivo de elevar los índices de Mantenibilidad y Confiabilidad de sus procesos y procedimientos mejorando la disponibilidad de su flota importante para el cumplimiento de metas de la alta dirección y accionistas de la empresa.

El planteamiento el modelo de mantenimiento se realiza con el objetivo de aumentar la disponibilidad de la flota de aviones con el desarrollo y uso de técnicas con sus respectivas metodologías para la eficiencia y eficacia de los procesos y procedimientos utilizados actualmente, la técnicas o herramientas implementadas en este modelo son el análisis de falla, análisis de criticidad, mantenimiento centrado en confiabilidad, análisis causa raíz, análisis modo efecto de falla y análisis estadístico de falla.

El éxito del modelo esta fundamentado en el análisis de 3 puntos importantes relevantes para el crecimiento de las empresas como son las personas, entorno y artefactos o equipos analizados desde una confiabilidad y mantenibilidad que con su identificación de problemas y su progresivas correcciones se logra el mejoramiento continuo y la mas alta calidad de sus procesos para la satisfacción de los clientes internos y externos.

*Monografía

**Facultad de Ingenierías físico-Mecánicas.

Escuela de Ingeniería Mecánica

Director: Gustavo Suarez.

SUMMARY

TITLE: MAINTENANCE MODEL FOR IMPROVING THE AVAILABILITY OF THE FLEET OF AIRCRAFTS DASH 8-100/200/300 AND BOEING 737-700 NG.

AUTHOR (S): JAVIER CAMACHO ALFONSO GONZALES, JULIO FONSECA ALBERTO VARGAS.

KEY WORDS: MAINTENANCE MODEL, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY, RELIABILITY.

DESCRIPTION: This monograph develops the structure of a maintenance model with the interrelationship of various techniques for failure analysis in the aircrafts fleet Dash8-100/2007300 and Boeing 737-700 of airline AIRES SA, this model is posed the need for high competitiveness that currently requires this type of industry for the existence and validity of the airlines in the world.

The model is centered on the technical management of the company Aires SA, involving several directions such as Maintenance, Engineering and Planning, Reliability and Quality Control with the objective of raising rates Maintainability and Reliability of its processes and procedures to improve the availability of its fleet to fulfill important goals of top management and shareholders of the company.

The approach of model maintenance is done with the objective of increasing the availability of the aircraft fleet with the development and use of techniques with their respective methodologies for efficiency and effectiveness of processes and procedures currently used, techniques or tools implemented in this model are the failure analysis, criticality analysis, reliability centered maintenance, root cause analysis, effect of failure mode analysis and statistical analysis of failure.

The success of the model is based on the analysis of 3 important points relevant to the growth of companies such as people, scenery and tested appliances or equipment from a reliability and maintainability that identification of problems and their corrections progressive improvement is achieved continuum and the highest quality of their processes to the satisfaction of internal and external customers.

* Monograph

**Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Maintenance Management Specialization.
Director: Gustavo Suárez.

INTRODUCCION

Muchas veces se ve el mantenimiento como una operación que tiene por finalidad orientar los esfuerzos a evitar fallas en equipos, sin embargo no vemos que esta actividad es realmente estratégica, la competitividad y la permanencia en la industria son factores que buscan el mejoramiento de los procesos de mantenimiento con la optimización y la eficiencia de estos, en donde la capacidad productiva debe maximizarse; el mantenimiento debe ser función directa de la confiabilidad de operación, buscar que las aeronaves operen no sólo con una elevada confiabilidad sino también dentro de sus parámetros de diseño con el fin de disponer de procesos productivos óptimos.

La característica común de las aerolíneas es satisfacer las necesidades de cliente como función específica, la disponibilidad de la flota de aviones es el indicador más importante de cualquier compañía y su capacidad inherente para desempeñar una función.

No solo se espera que la flota de aviones de la compañía cumpla su función específica, sino también que satisfaga unos requisitos mínimos dados por la aeronavegabilidad y seguridad del vuelo, es necesario definir las condiciones de operación y así determinar la criticidad de los tipo de fallas que generan consecuencias o demoras importantes al cumplimiento de los itinerarios en la operación.

El presente trabajo muestra un enfoque estructurado que permite mirar el mantenimiento desde una óptica organizada y centrada en la creación de valor. En esta nueva forma de ver el mantenimiento, es importante observar de cerca y

comentar varios procesos que, en conjunto, hacen de la actividad de mantenimiento, un proceso estratégico e influyente en la rentabilidad del negocio, este enfoque nos ayudará a estructurar un sistema de mantenimiento que esté alineado con la estrategia de la compañía.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 LA EMPRESA

Lo que en 1981 nació como el sueño de unir los Departamentos de Tolima y Huila con el centro del país, hoy es una pujante Aerolínea; Aerovías de Integración Regional AIRES S.A., que genera más de 700 empleos directos, transporta más de un millón de pasajeros y cerca de 1500 toneladas de carga por año.

Figura 1. Presentación Aires SA.



Fuente: Aires S.A. Obtenido de: www.aires.aero. 2009

AIRES S.A., es 100% colombiana, ofrece una operación seria y responsable con rutas a las principales ciudades del país, concentrando sus esfuerzos en cubrir e integrar las regiones de Colombia, con la prestación de un servicio aéreo con altos estándares de calidad, adecuado cumplimiento de los itinerarios y un mayor número de frecuencias para poder volar a un lugar y regresar el mismo día.

Han pasado 29 años desde que la Aerolínea decidió llevar con orgullo el emblema regional por nuestros cielos. Y si que lo ha hecho porque gracias a su tradición,

experiencia y compromiso, AIREs ha contribuido al desarrollo social, económico y comercial de los rincones mas alejados de la geografía nacional.

Aires SA ha concentrado sus esfuerzos en cubrir e integrar las regiones de Colombia, con la prestación de un servicio aéreo con altos estándares de calidad, adecuado cumplimiento de los itinerarios y un mayor numero de frecuencias para poder volar a un lugar y regresar el mismo día.

De esta forma, Aires lleva progreso a los lugares mas remotos de nuestra geografía, ciudades del centro sur y norte del país están ahora unidas. Esta permanente inquietud y el constante esfuerzo han hecho que la empresa se concentre en estrategias que permitan demostrar que tiene realmente algo especial que ofrecer a sus pasajeros.

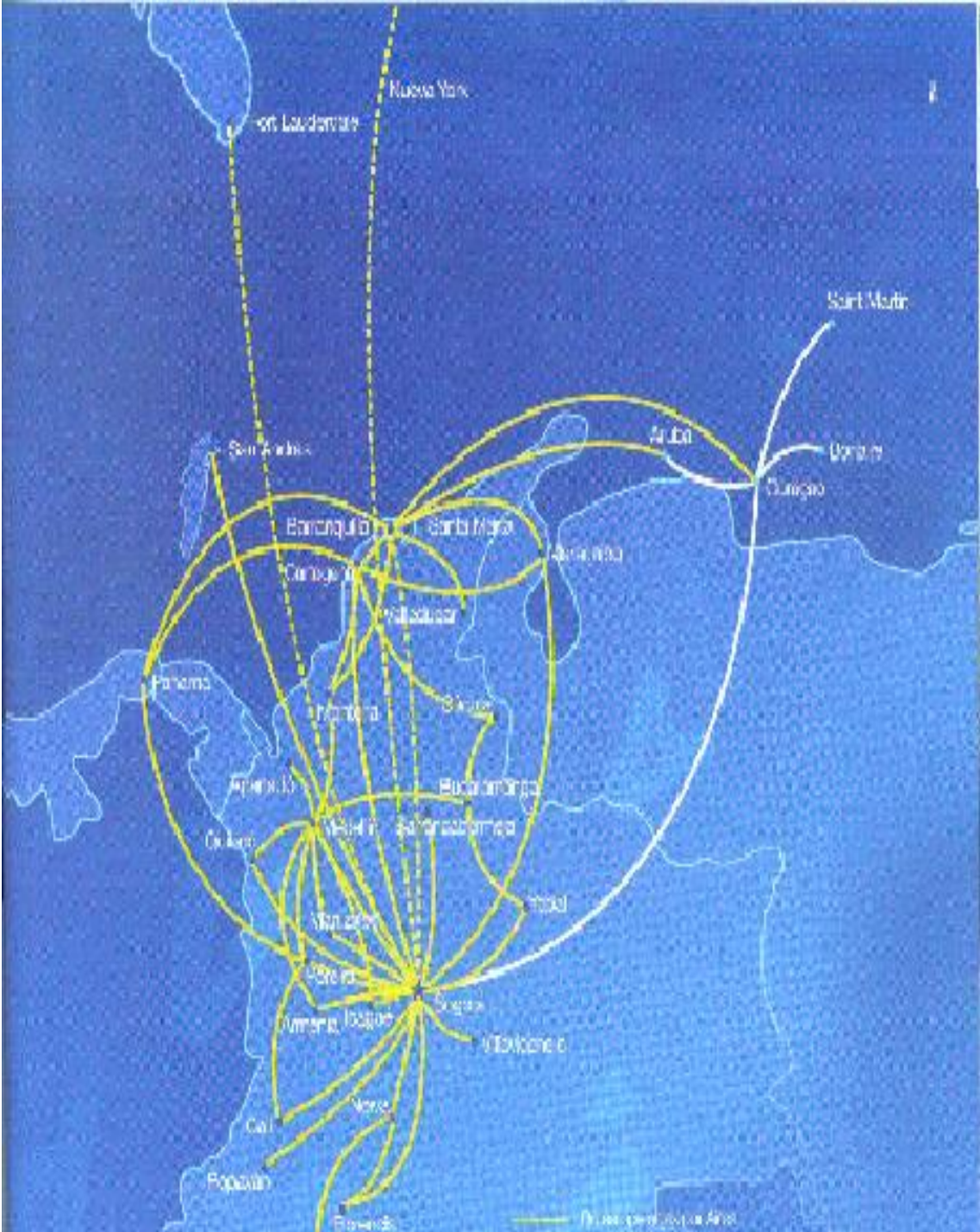
Actualmente AIREs opera una de las mas modernas flotas de aviones turbohélices de fabricación canadiense De Havilland DASH 8-100/200/300 de 37, y 50 sillas, y cuatro aviones Nueva Generación como son los B737-700 respectivamente, los cuales cuentan con altos estándares de seguridad, comodidad y confort.

La operación de AIREs esta soportada por empleados en tierra y vuelo altamente capacitados y entrenados que garantizan la mejor atención y el mayor compromiso con los usuarios.

De esta forma AIREs, consolida su liderazgo regional con un compromiso total en términos de seguridad, confiabilidad y excelente atención, siendo reconocida como la aerolínea que siempre se preocupa por estar a la vanguardia en el servicio, y permitiéndole transportar durante estos 29 años lo mejor de Colombia, el caribe y ahora Norteamérica.

1.2 DESCRIPCION DE COBERTURA DE LA AEROLINEA

Figura 2. Mapa de cobertura de AIREAS SA

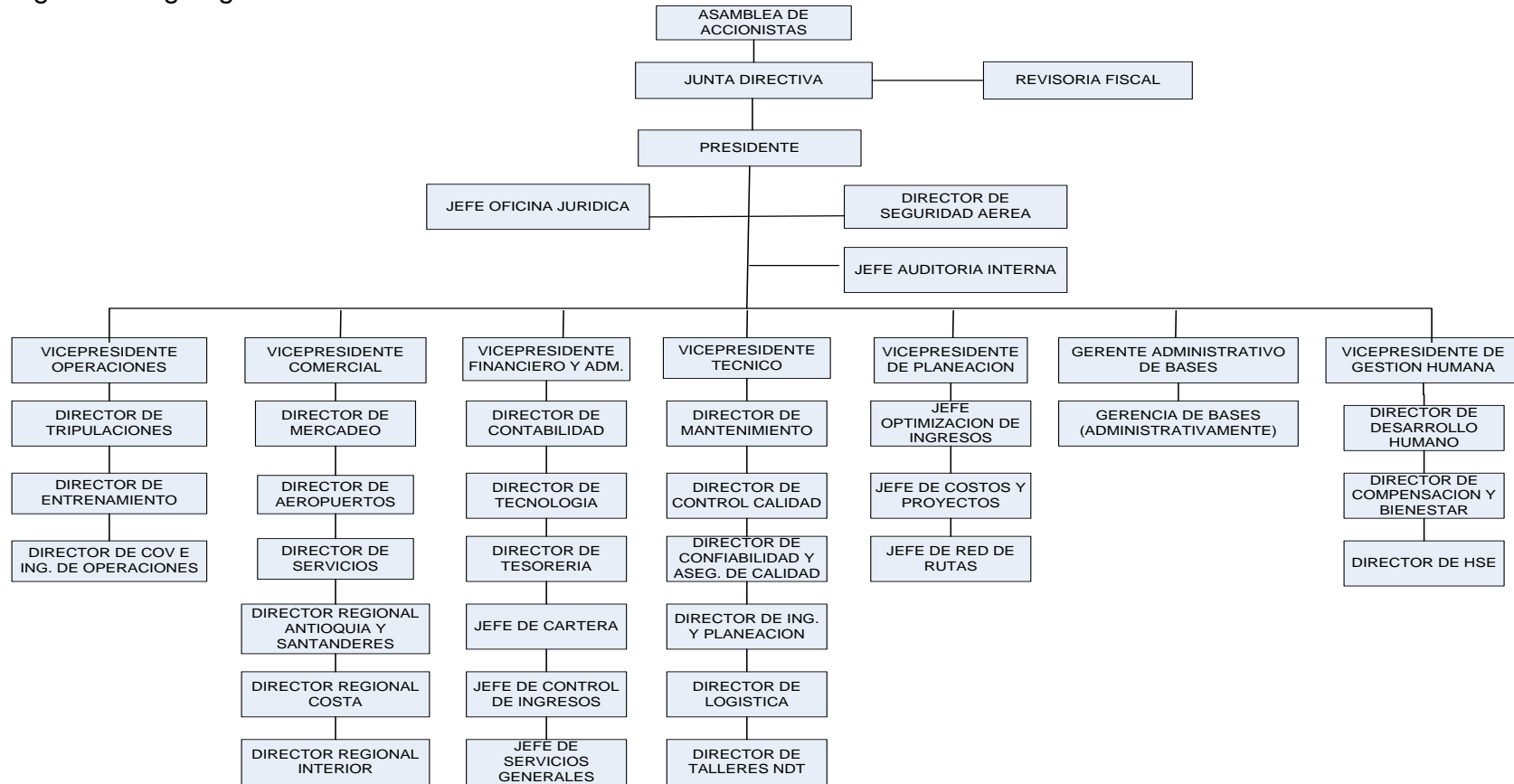


Fuente: Aires S.A. Obtenido de: www.aires.aero. 2009

1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

1.3.1 Estructura Organizacional de la Empresa AIRES SA

Figura 3. Organigrama Aires SA.



Fuente: Aires S.A. Obtenido de: www.aires.aero. 2009

1.3.2 Estructura Organizacional de la Gerencia Técnica

Ver Anexo A. Organigrama Gerencia Técnica.

1.4 PROCESO DE MANTENIMIENTO

El proceso de mantenimiento esta compuesto por la participación de varias áreas como son:

- La gerencia técnica
- Producción o Mantenimiento
- Ingeniería y Planeación
- Control calidad y Aseguramiento
- Logística

1.4.1 La Gerencia Técnica. Es quién reporta a la Presidencia de AIRES S.A cada una de aquellas actividades relevantes para el cumplimiento de la operación.

Es responsable por la organización y realización de las labores de mantenimiento y la disponibilidad oportuna de la flota, cumpliendo todas las normas de Aeronavegabilidad establecidas en el manual general de mantenimiento (MGM), Reglamento Aeronáutico Colombiano (RAC) y programa de mantenimiento establecido por los fabricantes (Bombardier de Havilland y Boeing).

La gerencia técnica representa la empresa ante las autoridades aeronáuticas, contratistas y ante los propietarios de las aeronaves operadas en AIRES S.A.

La Gerencia Técnica establece las directrices, políticas, objetivos y metas para obtener los mejores estándares de calidad, seguridad y cumplimiento en la operación, realizando seguimiento al desempeño de los procesos con el fin de tomar decisiones para el mejoramiento continuo.

1.4.2 La Dirección de Producción o Mantenimiento. La dirección de mantenimiento es una entidad técnica de un alto nivel, que tiene la capacidad de efectuar el mantenimiento de aviones, cumpliendo los más altos estándares de calidad en la ejecución de cada una de las tareas programadas en cumplimiento al programa de mantenimiento de cada aeronave.

Dentro de la cobertura de operación las bases de mantenimiento se encuentran localizadas en las ciudades de Medellín, Barranquilla y Bogotá, cuya ubicación estratégica permite obtener con rapidez y eficiencia acciones de mantenimiento.

Las distintas actividades desarrollados por la Dirección de mantenimiento vienen determinadas por una estricta planificación que se desarrolla en función de la utilidad y las horas de vuelo del avión. Dentro de las acciones trabajadas se encuentra mantenimiento **No Programado** este es el que se realiza ante cualquier avería surgida en un momento determinado, otra acción a tomar es con el mantenimiento **Programado** que tiene como finalidad mantener la aeronavegabilidad de los aviones y restaurar el equipo al nivel especificado de operación segura.

1.4.3 La Dirección de Control Calidad y Aseguramiento. Es responsable ante la Gerente Técnica, por la vigilancia continua al cumplimiento de los procedimientos y políticas de Calidad establecidas en el Manual General de Mantenimiento (MGM), Programa de Mantenimiento de cada aeronave y Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC para cada uno de los trabajos de Mantenimiento ejecutados a la flota AIREs.

Su objetivo principal es Velar por la Aeronavegabilidad de cada uno de los aviones.

1.4.4 La Dirección de Ingeniería y Planeación. Administra y registra el cumplimiento de cada uno de las tareas de los programas de mantenimiento y soporta técnicamente las consultas generadas por las áreas de Mantenimiento, Control Calidad y logística.

El área de Ingeniería y Planeación tiene la facultad de ser el contacto directo con cada uno de los fabricantes de avión y sus componentes.

El área esta conformada por ingeniería y planeación.

Ingeniería. Ingeniería; su función principal es dar soporte a cada una de las consultas generadas por las áreas directamente relacionadas con la ejecución de las tareas del programa de mantenimiento. Cada ingeniero también tiene la función de trabajar con proyectos establecidos por la alta gerencia para el mejoramiento y crecimiento de la compañía relacionados con la vicepresidencia técnica.

Ingeniería esta dividida por especialidades:

- Motores
- Hidráulica
- Aviónica
- Estructuras
- Programas de mantenimiento.

Planeación. Su función principal es la de planificar, programar y registrar el cumplimiento del programa de mantenimiento.

planeación además debe velar por cada uno de los recursos necesarios para el debido cumplimiento de las tareas, estos recursos son: equipos, herramientas,

recurso humano y la subcontratación de empresas especializadas en tareas donde la capacidad técnica de la compañía no alcanza a cubrir la demanda; para citar un ejemplo, las tareas de avionica es uno de los sistemas con mas solicitud de personal especializado.

1.4.5 La Dirección de logística. Su principal objetivo es la de suministrar los materiales, equipos y herramientas requeridas para la ejecución del mantenimiento correctivo y preventivo en cada una de las bases principales y secundarias. Esta Área es la encargada también de controlar y administrar cada uno de los componentes que requieren ser inspeccionados, reparados y restaurados cumpliendo con el programa de mantenimiento administrado por el área de ingeniería y planeación.

La dirección de logística también tiene como responsabilidad la de dirigir el área de almacén de repuestos quien se encarga de asegurar que cada equipo, herramienta y material requerido este en el lugar solicitado por el área de mantenimiento e ingeniería y planeación, estas solicitudes son generadas a través del software de mantenimiento o sistema de información llamado MAXIMO quien tiene la opción de generar sistemáticamente la solicitudes de materiales, equipos y herramientas requeridas para cada una de las tareas de mantenimiento.

1.4.6 Sistema de Información Máximo. Este sistema de información controla y administra el programa de mantenimiento de cada aeronave identificada por el numero de matricula entregado por la autoridad local. Este sistema tiene varios módulos requeridos por cada una de las áreas que afectan directamente la mantenibilidad, confiabilidad y por consiguiente la disponibilidad de la flota. Es este sistema para ingeniería y planeación la herramienta principal de trabajo con la que puede cumplir con su misión dentro de la organización ya que con este actualiza y programa el mantenimiento de cada aeronave.

Para la dirección de logística este software lo soporta para la administración de inventarios, y la generación de órdenes de compra, de trabajo a proveedores nacionales e internacionales.

A continuación se presenta la entrada principal al software con cada uno de sus módulos presentes.

Figura 4. Entrada principal Sistema de Información Maximo.



Fuente: Software Máximo.

Ordenes de trabajo (Work Order): Este modulo maneja las órdenes y el tiempo de trabajo

Mantenimiento preventivo (PM): este modulo trabaja el área de mantenimiento preventivo.

Inventario (Inventory): Como su nombre lo indica maneja todo el tema de inventarios como son las cantidades y localizaciones

Equipos (Equipment): Este modulo trabaja con las localizaciones de los equipos que están instalados en las aeronaves y los que se tienen en inventario.

Compras (Purchasing): este modulo procesa las órdenes de compra y de servicio, enviándolas directamente a los proveedores para solicitud de precios y condiciones de compra antes de generar la orden de compra.

Planeación (Plans): Este modulo planifica y entrega los detalles de como adelantar el trabajo.

Recursos (Resources): maneja los recursos internos y externos necesarios para el cumplimiento de las tareas de mantenimiento como son; compañías, herramientas, contratos de servicio, registros de horas hombre etc.

Reportes (Business Análisis & Reporting): Entrega los reportes de cada unos de los módulos anteriores.

1.5 NUESTRA FLOTA

Actualmente Nuestra Flota de Aviones se compone de 15 aviones así; once (11) DASH8-200, uno (1) DASH8-300 y tres (3) Boeing 737-700 nueva generación.

1.5.1 Flota BOEING 737-700 NG. El Boeing 737 es un avión para transporte aéreo de pasajeros a reacción de rango corto a mediano. Ha sido continuamente fabricado por Boeing Commercial Airplanes desde 1967. Con 6.000 unidades vendidas, es el avión para transporte de pasajeros más producido y popular de la historia. Considerado como uno de los preferidos por los operadores a nivel mundial dadas sus características y su confiabilidad.

Figura 5. Foto de Boeing 737-700 NG



Fuente: Aires S.A. Obtenido de: www.aires.aero. 2009

La flota de aviones Boeing 737-700 NG esta serie es la más moderna y actualizada de todas, se caracteriza por contar con nuevas tecnologías tales como:

- Actualización de los motores CFM-56-7, siendo 7% más efectiva que la serie 3 utilizado en la línea clásica.
- Ala rediseñada completamente, incrementado su ancho y área, entre otras mejoras.
- Incremento de la capacidad de almacenamiento de combustible, y también incremento en el Peso Máximo al Despegue.
- Nuevo cabina del piloto (*cockpit*) rediseñada, con 6 pantallas LCD junto con la tecnología más reciente en aviónica.
- Mejoras en la cabina de pasajeros, siendo similar a la encontrada en el Boeing 777 junto con los del Boeing 757-300.
- Rango de vuelo expandido y optimizado para viajes internacionales.

1.5.2 Flota de DASH-8. Los 12 aviones restantes son DHC-8 Canadienses del fabricante De Havilland Bombardier los cuales están diseñados con una

aerodinámica de plano alto, lo cual permite una eficiencia máxima. Estas aeronaves están capacitadas para aterrizar y despegar en cualquier aeropuerto del país y tienen una autonomía de vuelo de hasta 5 horas. Los Dash 8 cuentan con sistemas computarizados y alarmas de alta tecnología para controlar a la perfección su funcionamiento. Sus motores están protegidos por un sistema que permite superar con facilidad y rapidez cualquier alteración en su desempeño.

Esta compuesta por los siguientes modelos:

- DASH8-100
- DASH8-200
- DASH8-300

Figura 6. Foto de Dash-8



Fuente: Aires S.A. Obtenido de: www.aires.aero. 2009

Estos aviones cuentan con motores Pratt & Whitney PW 121 y PW 123 con capacidad de 37 pasajeros para los modelos DHC8-100 y DHC8-200, para el modelo DHC8-300 con capacidad de 51 pasajeros, su máxima altitud de crucero es 25.000 pies, con rango de vuelo de 1.795 Km y velocidad crucero de 530 Km/h.

1.6 DIAGNOSTICO

La alta competitividad que en la actualidad condiciona la existencia y vigencia de las Aerolíneas, exige optimizar los procesos de las mismas, de tal manera que puedan dominar la totalidad de los factores que inciden en el mantenimiento de los activos.

Uno de los problemas fundamentales que enfrenta el desarrollo de una aerolínea en nuestro país es la disponibilidad o característica de funcionalidad de su flota, no solo por los altos costos que genera un bajo índice de este indicador, sino por la imagen positiva que debe tener una empresa ante sus clientes.

Actualmente la flota de aviones Dash8 presenta un número considerable de reportes o eventos que llevan a la demora y cancelación de vuelos. La metodología actualmente empleada no muestra un enfoque estructurado que permita mirar el problema desde una óptica organizada y centrada en la creación de valor, no identifica el índice de criticidad de estas fallas para determinar cuales son realmente las que generan consecuencias relevantes y perdidas considerables en la compañía. No solamente es tener la estadística de fallas sino también la técnica para determinar la causa raíz del problema y su acción correctiva.

La gerencia técnica cuenta con un programa de mantenimiento definido por el fabricante pero no tiene un programa que estudie de manera eficiente las fallas críticas de operación de cada aeronave lo cual hace que el operador necesite de una customizacion¹ del programa de mantenimiento, actualmente AIRES ha desarrollado un numero de tareas por sistema para minimizar estos eventos pero desafortunadamente no han generado resultados positivos.

El problema de La aerolínea esta en el tipo de estrategia o modelo de mantenimiento seleccionado que actualmente se trabaja para la corrección y

solución de fallas críticas. La dirección de control calidad tiene como responsabilidad el manejo del área de confiabilidad, esta área trabaja en la recopilación de información de fallas y eventos que generan las demoras y cancelación de vuelos en la operación, esta información se encuentra en los reportes técnicos y de piloto generados a diario en cada aeronave.

El análisis de esta información no ha sido el correcto ya que pocas soluciones a problemas recurrentes aun permanecen en la operación y en las estadísticas de fallas.

Es importante tener claro que la ultima actualización del indicador general con que se miden las aerolíneas por lo menos en Colombia, la compañía no esta en una posición importante, sino demuestra que el modelo de mantenimiento para mejorar el índice de disponibilidad es necesario y urgente. A Continuación se muestra una copia del periódico de la ciudad de Bucaramanga **Vanguardia “Aerocivil revela la lista de aerolíneas mas puntuales” “febrero de 2009”**

Customizacion: es la organización y planteamiento del programa de mantenimiento para una sola aeronave.

El más reciente boletín de Calidad del Servicio de Transporte de pasajeros en Colombia, emitido por la Aeronáutica Civil, reveló que durante 2008 el porcentaje de cumplimiento de itinerarios por parte de las aerolíneas estuvo entre el 82 y el 49%.

En el escalafón revelado por la autoridad aérea, AeroRepública fue la mejor aerolínea en puntualidad con un cumplimiento promedio del 82% de sus vuelos en las rutas nacionales. Le siguieron Avianca con un 77%, SAM con el 75%, ADA con el 64%, Easyfly con el 57% y Aires con un 49%.

Figura 7. Artículo Calidad del servicio de transporte de pasajeros

The screenshot shows the Vanguardia.com website interface. At the top, there is a navigation bar with a search box and a 'Buscar' button. Below this is a banner for '500 EMPRESAS GENERADORAS' and 'Vanguardia Liberal'. The main header features the 'Vanguardia.com' logo. A secondary navigation bar lists various categories like 'INICIO', 'SANTANDER', 'PAÍS', etc. The main content area displays an article titled 'Aerocivil revela lista de aerolíneas más puntuales' with a sub-header 'puntuales'. The article text discusses a report from Aeronáutica Civil regarding airline punctuality in 2008, mentioning AeroRepública as the most punctual. To the right of the article is an image of a blue car on a road. Below the article is a 'Últimas noticias' section with three news items.

Bucaramanga, Colombia - Sábado, 30 de mayo de 2009

INICIO | SANTANDER | PAÍS | JUDICIAL | POLÍTICA | MUNDO | OPINIÓN | DEPORTES | ECONOMÍA | DIVERSIÓN | INFORMES | VIVIR MEJOR | MULTIMEDIA | BLOGS | CLASIFICADOS

LOCAL | NACIONAL | MUNDIAL | SECTORIAL | EMPRESARIAL

Te interesaría LEER 100 PÁGINAS EN 30 MINUTOS? HAZ CLICK AQUÍ.

Inicio > Economía > Local > Aerocivil revela lista de aerolíneas más puntuales

Aerocivil revela lista de aerolíneas más puntuales

MIÉRCOLES 04 DE FEBRERO DE 2009 00:00 |

☆☆☆☆ (0 - votos)

El más reciente boletín de Calidad del Servicio de Transporte de pasajeros en Colombia, emitido por la Aeronáutica Civil, reveló que durante 2008 el porcentaje de cumplimiento de itinerarios por parte de las aerolíneas estuvo entre el 82 y el 49%.

En el escalafón revelado por la autoridad aérea, AeroRepública fue la mejor aerolínea en puntualidad con un cumplimiento promedio del 82% de sus vuelos en las rutas nacionales. Le siguieron Avianca con un 77%, SAM con el 75%, ADA con el 64%, Easyfly con el 57% y Aires con un 49%.

Dentro de las estadísticas se destaca que en el transcurso de 2008, AeroRepública ocupó sostenidamente los primeros lugares de puntualidad.

Vuelos internacionales

Últimas noticias

- 15:11 - Ciudad Juárez busca en Medellín un ejemplo a seguir para reducir la violencia
- 14:47 - Los Príncipes de Asturias viajan a El Salvador fin de su visita a Colombia
- 14:42 - Inversiones de la Banca en arte ascienden a 21.100 millones de pesos

Fuente: Periódico vanguardia de Bucaramanga

1.7 INDICADORES ACTUALES DE LA COMPAÑÍA

1.7.1 Confiabilidad Operacional actual. A continuación en la tabla muestra la estadística por aeronave con las horas de vuelo realizadas por año y con el número de demoras o cancelaciones presentadas y el tiempo de avión en tierra.

Cuadro 1. Confiabilidad Operacional actual.

AIRCRAFT	SINCE NEW FLYING HOURS	SINCE NEW CYCLES	MONTH FLYING HOURS	MONTH CYCLES	DELAYS			AVERAGE FLIGHT DURATION
					NUMBER	TOTAL TIME	RATE	
HK3951	29531,85	56325	0	0	0	0:00:00	---	
HK4030	32799,99	54882	176,57	271	10	10:55:00	5,66	
HK4107	41143,59	59155	118,63	162	5	4:45:00	4,21	
HK4345	44217,73	59769	116,78	205	11	15:28:00	9,42	
HK4432	23146,6	30326	180,02	293	4	7:06:00	2,22	
HK4473	21891,76	27144	209,02	333	1	0:38:00	0,48	
HK4480	22417,61	27776	200,85	316	2	0:37:00	1,00	
HK4491	22293,33	27402	196,04	299	0	0:00:00	0,00	
HK4495	21579,38	26375	196,84	310	1	1:33:00	0,51	
HK4509	21164,69	26095	193,3	310	2	0:32:00	1,03	
HK4513	21633,16	26394	184,19	303	4	5:59:00	2,17	
HK4520	20992,86	25173	207,73	310	4	2:10:00	1,93	
HK4539	20889,27	25309	179,81	305	3	2:46:00	1,67	
HK4554	20481,36	24521	211,02	321	1	1:02:00	0,47	
HK4608	25272,19	12065	209,64	292	6	3:53:00	2,86	
HK4623	26349,3	11385	152,76	214	5	4:41:00	3,27	
TOTAL	415804,67	520096	2733,2	4244	59	62:05:00	36,91	0,64

Fuente: Departamento de Confiabilidad AIRES S.A. 2009

La compañía actualmente tiene tres indicadores para el control de la disponibilidad de la flota Dash8-100/200/300 y Boeing 737-700 NG que son:

1. Dispatch Reliability
2. Schedule Completion Rate
3. Total completion Rate

Estos tres indicadores miden lo siguiente:

AC Chargeable (Cargables): se denominan a todos los eventos cargables de mal funcionamiento de avión.

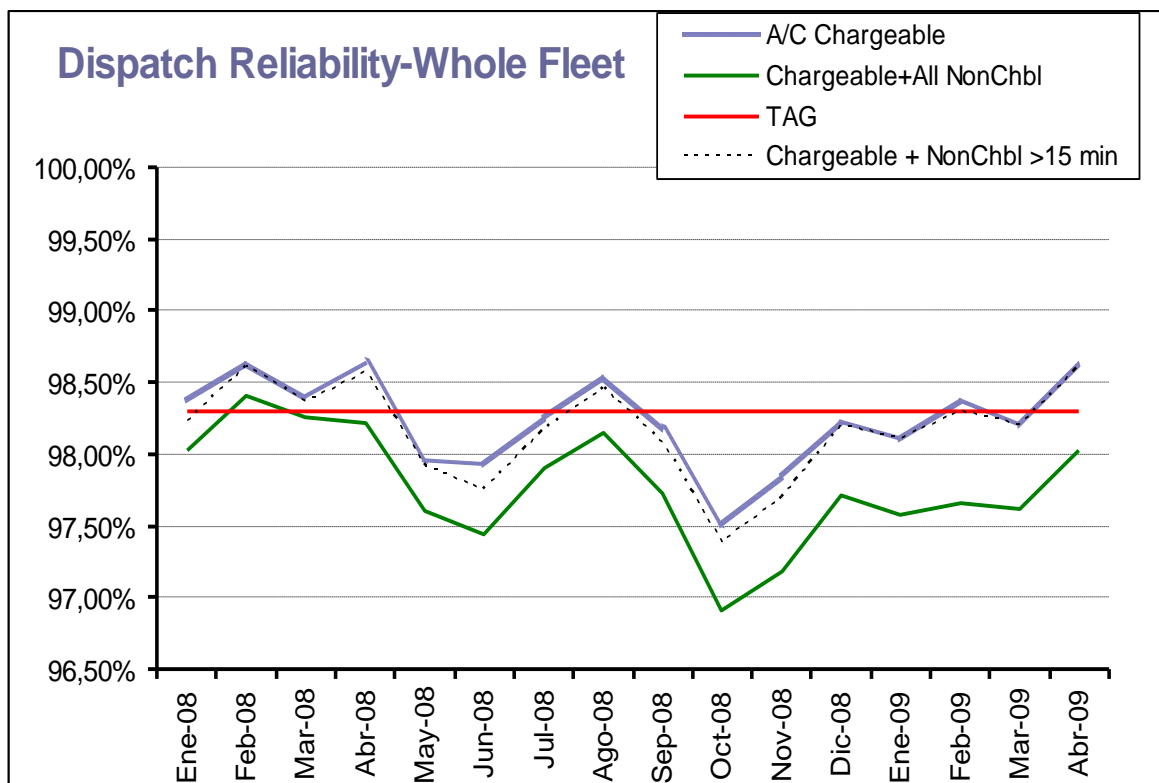
Non Chargeable (No cargables): se denominan a todos los eventos que no son mal funcionamiento de avión, ejemplo: servicios demoras, mal tiempo etc.

TAG¹: este es el objetivo de disponibilidad operacional a cumplir por la compañía

TAG: Es la meta u objetivo de la compañía, medido en porcentaje.

A continuación se muestra el indicador de Confiabilidad de despacho (Dispatch reliability); Esta es la medida de impactos de demoras en la operación.

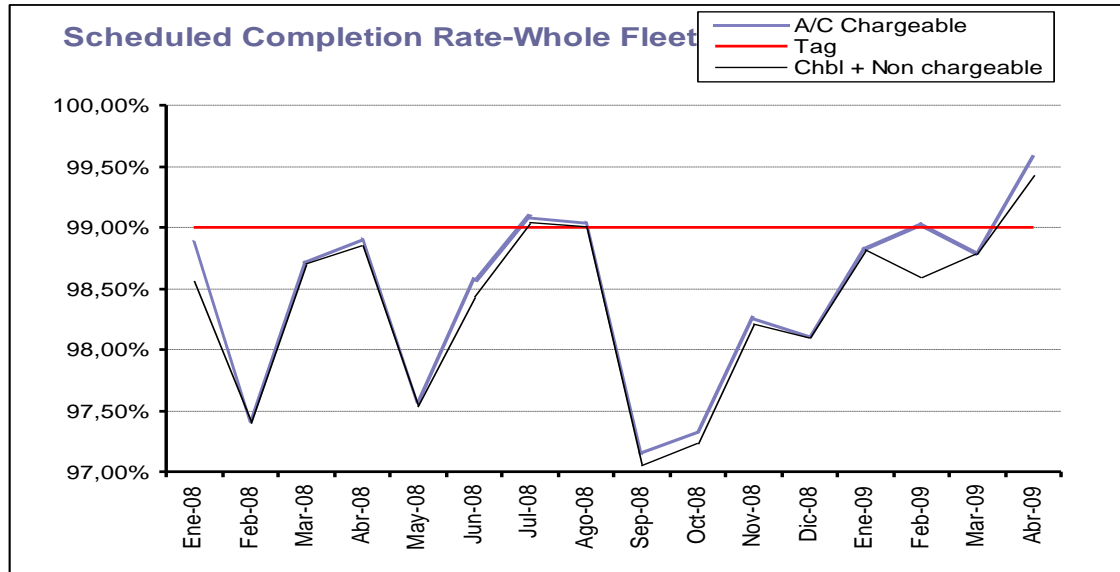
Figura 8. Grafica-Indicador Dispatch Reliability



Fuente: Departamento de Confiabilidad AIRES S.A. 2009

A continuación se presenta el indicador de Cumplimiento en lo Programado (Schedule Completion Rate); En este indicador se muestra la desviación de lo programado contra las cancelaciones.

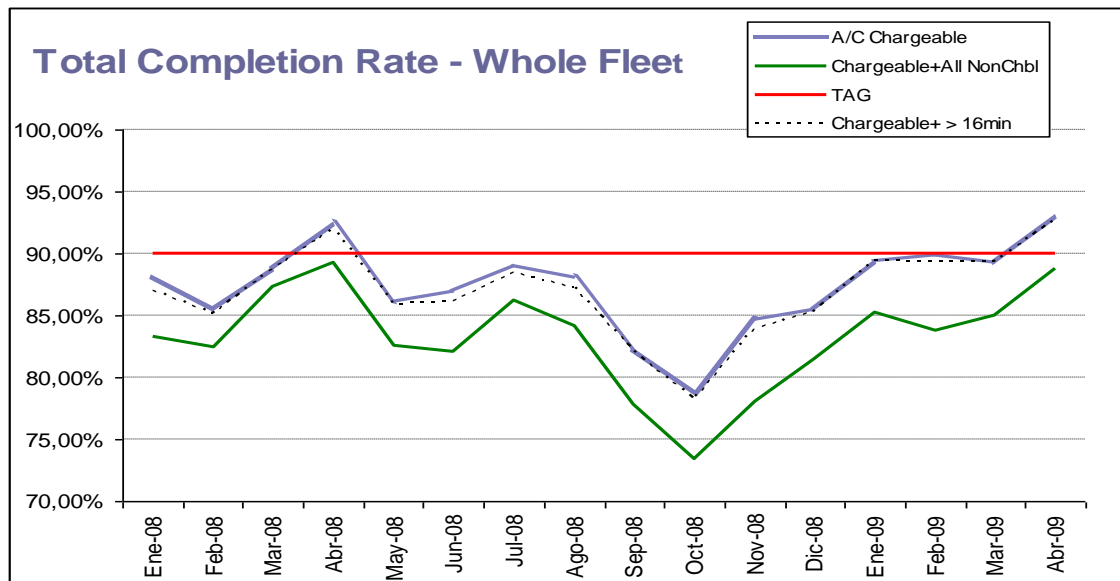
Figura 9. Grafica-Indicador Schedule Completion Rate



Fuente: Departamento de Confiabilidad AIRES S.A. 2009

El tercer indicador es el (Total completion Rate): se refiere al total de impactos por demoras y cancelaciones.

Figura 10. Grafica-Indicador Total Completion Rate



Fuente: Departamento de Confiabilidad AIRES S.A. 2009

Las anteriores graficas muestran la situación actual de la compañía con respecto a la disponibilidad operacional, el objetivo no se esta cumpliendo por tal razón la necesidad de un modelo que mejore este indicador se hace urgente.

1.8 OBJETIVOS

1.8.1 Objetivo General. Proponer un modelo de mantenimiento óptimo que garantice un índice alto de **disponibilidad** en la flota de los aviones de Aires S.A. cumpliendo con todos los estándares de seguridad y aeronavegabilidad

1.8.2 Objetivos específicos.

- ✓ Identificar la técnica básica para determinar el valor de disponibilidad requerido para la industria aeronáutica.
- ✓ Seleccionar las herramientas aplicables de confiabilidad para el análisis de fallas.
- ✓ Identificar la mejor metodología para la interacción de técnicas para el Análisis de fallas.
- ✓ Desarrollar la estructura de trabajo para la interacción de procesos del modelo planteado.
- ✓ Desarrollar los formatos aplicables para el modelo
- ✓ Desarrollo del grupo de mejoramiento para los análisis de falla.
- ✓ Desarrollo y formulación de formatos de “análisis de criticidad” para la recopilación e interpretación de fallas.

2. MARCO TEORICO

2.1 AIRES HOY

Aires S.A. cuenta con una flota de 12 aviones DASH-8 y 3 Boeing 737, estos últimos con capacidad de hasta 148 pasajeros cada uno. Durante la vida operativa de cada uno de estos equipos, los aviones tienen que ser sometidos a una serie de trabajos programados y trabajos no programados, destinados a conservar el estado de funcionamiento del mismo avión. Todas las noches los aviones tienen programada una inspección diaria llamada PERNOTADA¹ o (Daily Check) que consiste en un examen cuidadoso de varios puntos vitales para la operación de la aeronave y de la cual se despliegan algunos trabajos no rutinarios. Además de estos, cualquier estado de falla del avión o de algunos de los componentes del mismo, es reportado por la tripulación con el fin de ser investigado y definido antes del siguiente vuelo. Cabe mencionar que estas actividades no solamente hacen parte de un conjunto de buenas prácticas, sino que además son de carácter obligatorio por parte de la entidad regulatoria aeronáutica civil. Aparte de las actividades nombradas anteriormente el programa de mantenimiento para cada uno de los aviones es ejecutado con base en las horas de vuelo o en los ciclos cumplidos (aterrizajes). Mencionado programa incluye tareas de inspección, lubricación, ajuste, pruebas operacionales, chequeos funcionales, y sustitución de partes; pero aparte de estas “tareas” controladas por la operación del mismo avión, nuestra flota está sometida a servicios mayores de mantenimiento, que se realizan cada 5000 horas, esto equivale aproximadamente a 1,7 años en nuestro modelo de operación que presenta 8 horas de vuelo por día. Estos servicios se preparan con anterioridad y en promedio se ejecutan 200 tarjetas del trabajo programado, las cuales generan otras 200 tareas de trabajo no programado. La jornada de trabajo para estos servicios es de 15 días trabajando turnos de 8 horas,

¹ PERNOTADA: servicio de inspección general a la aeronave el cual se realiza a diario

20 personas; sumando más de 2500 horas hombre de trabajo para estos servicios, estas horas son cumplidas entre empleados de la compañía y contratistas. En estos servicios mayores el avión queda casi desnudo ya que se destapa su suelo, el interior de las cabinas, se desmontan los motores y en algunos casos se pinta completamente el avión. Este programa de mantenimiento que esta dado por el fabricante se debe ejecutar de acuerdo a las frecuencias establecidas por los fabricantes con el fin de garantizar la disponibilidad de las aeronaves.

No obstante el mantenimiento riguroso que se realiza en una aerolínea, estas sufren de SOFA² en algunos de sus equipos y este estado va en contra de los intereses económicos de la misma; entonces surge la necesidad de plantear un modelo que a pesar de las rutinas de mantenimiento establecidas por los fabricantes de aviones se mejore el índice de disponibilidad y con esto la seguridad, despachando lo vuelos a tiempo satisfaciendo al cliente con un servicio seguro y puntual.

2.2 DISPONIBILIDAD

Existen muchas definiciones y estas varían de acuerdo al autor, o de acuerdo al contexto del cual se esté hablando; no pretendemos crear una nueva definición ni justificar o discriminar las diferentes definiciones que se pueden encontrar acerca de este tema; por tal razón consideramos para este trabajo de monografía darle un significado propio que abarque el campo al cual nos estamos refiriendo. La disponibilidad entonces la definiremos como: *La probabilidad de poder contar con un equipo cuando sea necesario y que este cumpla con los estándares de seguridad y confort.* Es decir no solo basta con que contemos con uno de nuestros aviones para poder cumplir el itinerario a tiempo sino que además este debe ser seguro (aeronavegable²), y cumplir con las normas mínimas de confort para el pasajero.

² SOFA: estado de falla.

Existen varias técnicas para determinar el valor de disponibilidad de un activo o un grupo de activos, tal y como lo describe Luis Alberto Mora en su libro: **Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios** “ La Modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde si se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad, hasta llegar al uso de simulaciones tipo Montecarlo”. Las más empleadas son: Disponibilidad Genérica, Disponibilidad Inherente, Disponibilidad Alcanzada, Disponibilidad Operacional y Disponibilidad Operacional Generalizada. Consideramos para este trabajo emplear la Disponibilidad Operacional. “Si se tiene en cuenta los tiempos logísticos y administrativos de demoras, en la gestión del mantenimiento y en la operación de equipos, antes o después de una intervención correctiva o planeada, se debe considerar la disponibilidad operacional.

La disponibilidad operacional lo podemos expresar mediante la siguiente expresión

$$Disponibilidad\ Operacional = A_o = \frac{MTBM}{MTBM + M'} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

MTBM (*Mean Time Between Maintenance*) es el tiempo medio entre mantenimientos, no solo para mantenimientos correctivos sino también para preventivos y predictivos.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

MTBM_c: (Mean time between corrective maintenance) Tiempo medio entre mantenimientos correctivos.

MTBM_p: (Mean time between preventive maintenance) Tiempo medio entre mantenimientos preventivos.

M (Mean Active Maintenance Time) es el tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento, cabe mencionar que al momento de calcular este índice se debe tener en cuenta los LDT ya sean para las reparaciones correctivas o para los mantenimientos planeados.

$$\overline{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} \quad \text{Ecuación 3}$$

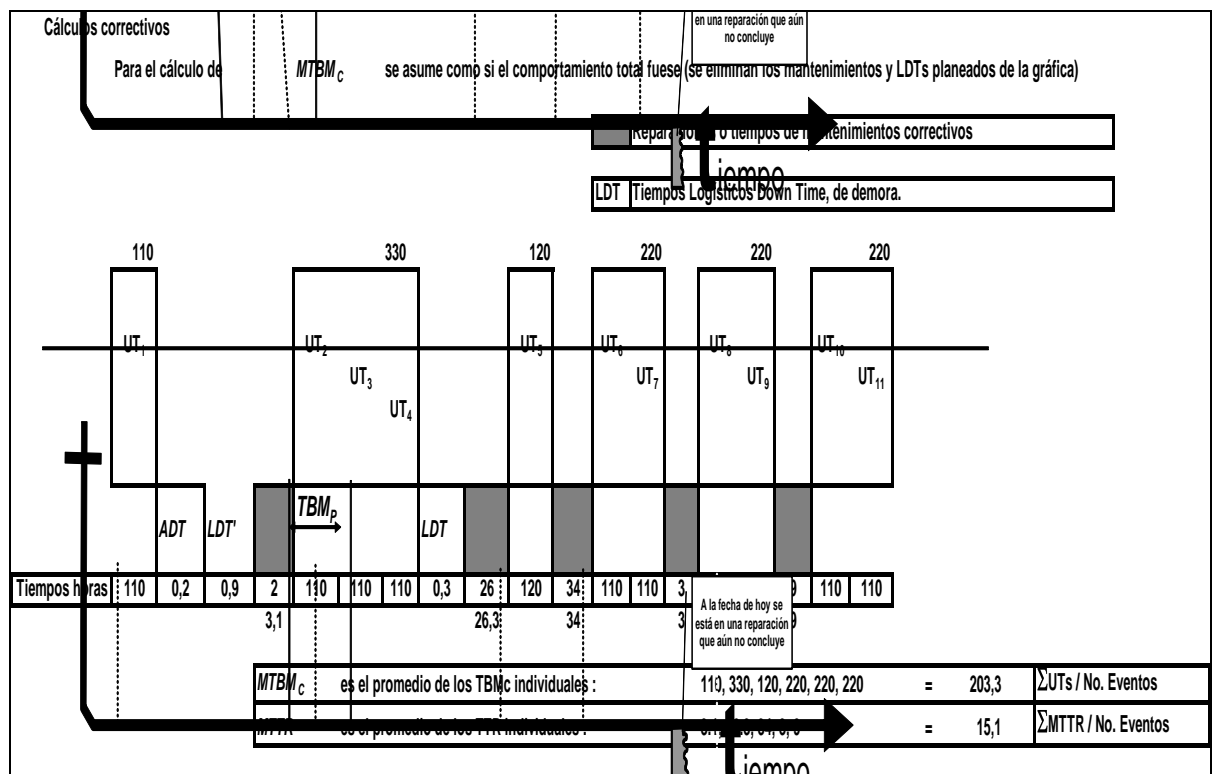
Donde:

MTTR: (Mean time to repair) Tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, incluyendo demoras logísticas y retrasos administrativos.

M_p : Tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

En las siguientes graficas se muestra claramente cuales se consideran los tiempos de los LDT^1 y los tiempos entre mantenimientos.

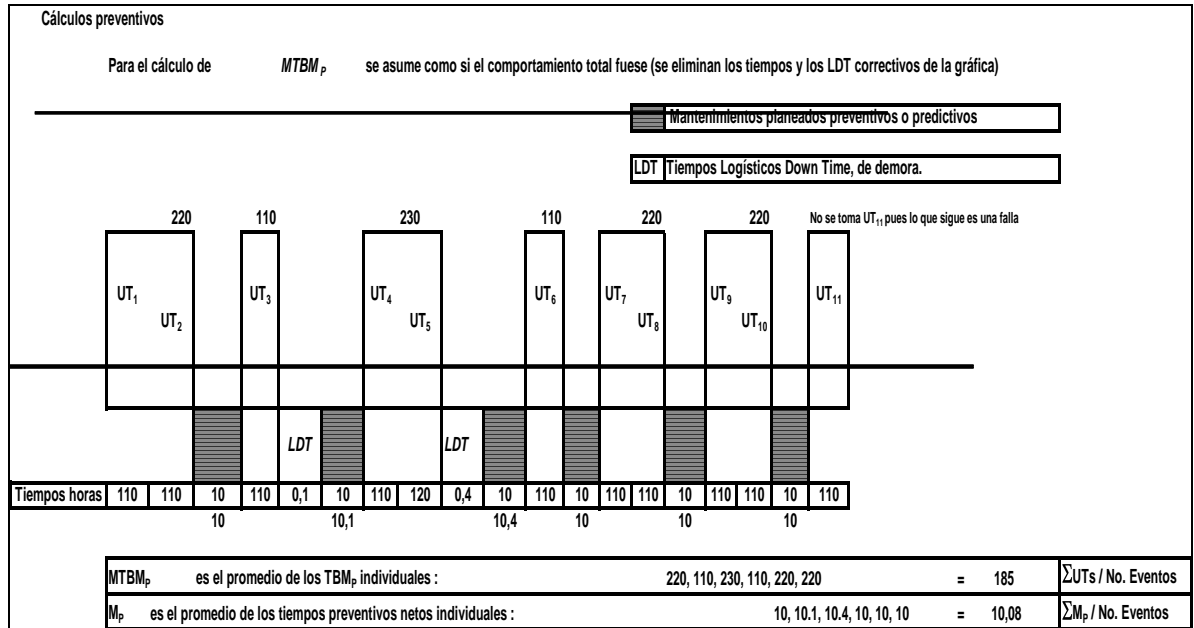
Figura 11. Calculo de correctivos “mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios AMG page 65”



Fuente: Carlos Parra

LDT: tiempos de demora por logística.

Figura 12. Calculo de preventivos “mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios AMG page 65”



Fuente: Carlos Parra

Recordemos que el objeto del presente trabajo es elevar el índice de disponibilidad de la flota de aviones de Aires S.A. y para tal efecto lo que debemos hacer es aumentar el valor de MTBM (confiabilidad) que se encuentra en el numerador y disminuir el valor de M (mantenibilidad) que está en el denominador, con esto nuestro índice denominado Disponibilidad va a tender a elevarse. (Claro esta si se cumple con las indicaciones mencionadas en el contenido de este trabajo).

2.3 CONFIABILIDAD

Para dar una definición de confiabilidad lo más apropiada y que además también esté relacionada a nuestro caso de estudio, decidimos tomar la definición ofrecida por la Militar Standard N721 que dice:” *La probabilidad de que un ítem pueda desempeñar sus funciones durante un determinado intervalo de tiempo bajo condiciones estándares de operación*”. MIL-STD-721 PAGE 8.

Para dar una explicación numérica a la confiabilidad hemos decidido mostrar la siguiente explicación extraída del libro de *EE2G1 Systems Engineering Course – Clive Roberts*.

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^t f(t).dt$$

$$f(t) = \frac{1}{\vartheta} e^{-\frac{t}{\vartheta}}$$

$$R(t) = \int_0^t \frac{1}{\vartheta} e^{-\frac{t}{\vartheta}} = e^{-\frac{t}{\vartheta}}$$

Donde: (Θ) representa el tiempo medio de vida y (t) representa el periodo de tiempo que se esta estudiando.

El tiempo media de vida (θ), es el promedio del tiempo de vida del sistema en estudio, donde para la función exponencial es el tiempo medio entre fallas (MTBF).

$$R(t) = e^{-\frac{t}{M}} = e^{-\lambda t}$$

Donde λ es la tasa de falla y M es el MTBF

La tasa de falla y el tiempo medio están relacionados por:

$$\lambda = \frac{1}{\vartheta}$$

La tasa en donde ocurren las fallas esta especificado por el intervalo de tiempo llamado tasa de falla en ese intervalo. La tasa de falla por hora se encuentra por:

$$\lambda = \frac{\text{number of failures}}{\text{total operating hours}}$$

Así pues, para aumentar el valor de nuestra $R(t)$ debemos disminuir los MTBF o MTBM. Para tal efecto debemos disminuir las fallas o paradas no programadas, y para esto hemos escogido las siguientes herramientas:

- Análisis de Criticidad
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- Análisis Causa/efecto
- Análisis Causa/Raíz
- Análisis Estadístico de falla.

2.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Según Carlos Parra facilitador de RCM y consultor especialista en Mantenimiento, define al análisis de criticidad como una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Lo que esperamos luego de este análisis es conocer los sistemas más críticos, esto evaluado desde el punto de vista operacional y económico, para así enfocar las acciones hacia estos sistemas o componentes y aumentar los tiempos medios entre mantenimientos correctivos.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo con la cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Posteriormente se incluyen en una matriz estos datos con el ánimo de visualizar completamente los equipos o sistemas más críticos si uno de estos fallara.

Figura 13. Análisis de criticidad

FRECUE CIA	4	40	80	120	160	200
	3	30	60	90	120	150
	2	20	40	60	80	100
	1	10	20	30	40	50
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIAS				

CRITICO
 SEMICRITICO
 NO CRITICO

Fuente: Carlos Parra

En la grafica XX se puede apreciar un claro ejemplo de matriz para los sistemas o componentes críticos. Mediante esta herramienta es muy probable encontrar a los eventos repetitivos presentados en la flota.

2.4.1 Pasos para hacer un análisis de criticidad.

1. Definir un alcance y propósito para el análisis.
2. Establecer criterios de importancia.
3. Seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de sistemas objeto del análisis.

Criterios comúnmente utilizados

- Seguridad.
- Ambiente.
- Producción.
- Costos.
- Frecuencia de fallas.
- Tiempo promedio para reparar.

Modelo de criticidad de factores ponderados/ basado en la teoría del riesgo – cualitativo

Es necesario definir cualitativamente el riesgo, para así establecer el nivel de criticidad del componente o del sistema que se está tratando, una manera de expresar este valor la provee Carlos Parra en una de sus ponencias en el congreso internacional de mantenimiento celebrado entre el 12 y el 13 de mayo de 2005 en la ciudad de Bogotá.

Riesgo = frecuencia X consecuencia

Frecuencia = # de fallas (en un tiempo determinado)

Consecuencia = ((impacto operacional x flexibilidad) + Costos Mtto + impacto SHA)

Los valores asignados para cada una de las expresiones pueden ser tomado de la siguiente tabla, pero también pueden ser modificados para uso personalizado del estudio, y de acuerdo a las políticas de la empresa, esto mediante un estudio previo con un equipo multidisciplinario que evalúe las consecuencias y su respectivo impacto; esto debido a que no todas las industrias operan y consideran los riesgos de la misma manera.

Cuadro 2. Valoración Análisis de Criticidad

Frecuencia de Fallas:		Costo de Mtto.:	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 \$	2
Promedio 1 - 2 fallas/año	3	Inferior a 20000 \$	1
Buena 0.5 -1 fallas/año	2		
Excelente menos de 0.5 falla/año	1		
Impacto Operacional:		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas.	7	Afecta el ambiente /instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
Flexibilidad Operacional:			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	4		
Hay opción de repuesto compartido/almacen	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: MORA, Luis Alberto. CMD.

Para efectos de este trabajo y basados en la experiencia sugerimos la tabla mostrada en el Anexo B.

2.5 ANÁLISIS CAUSA/RAÍZ

El análisis causa raíz es una herramienta que consta de pasos sistemáticos que ayudan a localizar las causas, orígenes o raíces de las fallas que se están estudiando y avanzar así hacia el mejoramiento de los procesos productivos y de la confiabilidad de los mismos.

El concepto de ACR es un sistema lógico y consistente para análisis de detalles de calidad no solo se aplica sobre eventos o incidentes sucedidos sino en el análisis de las operaciones actuales para su optimización y prevención. Dentro del marco de confiabilidad es la herramienta fundamental para determinar las causas fundamentales que generan una repetición de falla o en su defecto dentro de un conjunto de fallas, la anomalía de mayor peso en cuanto al impacto operacional, económico y de seguridad y ambiente. Es una herramienta sistemática que se

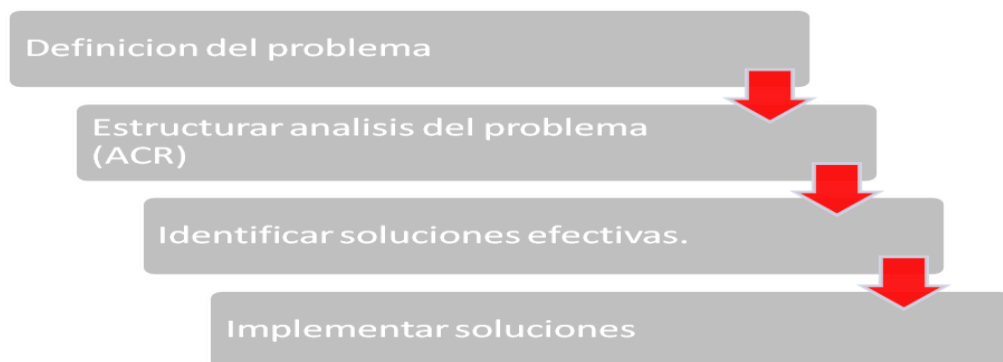
aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para luego mitigarlas o suprimirlas totalmente. Se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas. Para aplicar un Análisis Causa Raíz se debe tener una definición clara de sistema para comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que nos permitirá a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.

Normalmente cuando ocurre un fallo, este es percibido porque genera ciertas manifestaciones o fenómenos de fácil localización también llamados síntomas; lo que no ocurre con las causas del fallo, que mientras más complicado sea el sistema mayor será la dificultad de localizar el origen de dichas causas, pudiendo atacar las manifestaciones del fallo pero no en su origen, lo que se traduce en potencialidad de ocurrencia de fallos que probablemente se harán recurrentes o repetitivos.

2.5.1 Etapas del análisis causa raíz.

La aplicación del análisis causa raíz consta de cuatro (4) etapas básicas:

Figura 14. Etapas del análisis causa raíz



Fuente: Carlos Parra, MCC

a) Definición del Problema; Esta etapa consiste en identificar cual es el problema o la situación que se desea solucionar. A partir de este punto se decide o no la aplicación de la herramienta ACR en la búsqueda de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos que afectan la integridad de una planta y además la competitividad de la compañía.

b) Análisis del problema: Esta etapa consta de las fases preliminares y de desarrollo en pleno de la herramienta. El *reliability center Inc.* Desarrollo una metodología de cinco pasos llamada PROACT™ por sus siglas en ingles:

- PReserving Failure Data
- Ordering the Analysis.
- Analysing the data.
- Commucating Findings and Recommendations.
- Tracking to Ensure Success.

El Recolectar datos del fallo (*Preserving Failure Data*): Este paso consiste en reunir todos los datos relacionados con el fallo o el problema estudiado. Se debe asegurar ser lo más objetivo y evitar suposiciones, puesto que solo se llegara a un resultado real contando con datos confiables. Los datos deben ser recolectados, clasificados, y analizados cuidadosamente sin obviar detalles.

El Ordenar el análisis (*Order the analysis*): Se debe asegurar que el equipo destinado a realizar el análisis sea multidisciplinario, conformado por representantes de cada departamento involucrado, con el fin de descartar y realizar un análisis de puntos de vista o conclusiones pre-concebidas.

Analizar los datos (*Analyze the data*): En este paso se debe tomar cada pieza del rompecabezas y ponerla en su lugar, para hacer esto existen diversos métodos,

sin embargo, aquí se usará el árbol de fallos propuesto por el RCI (Reliability Center Inc.). El árbol de fallos promueve un proceso de deducciones lógicas y disciplinadas que obliga al equipo a trabajar en reversa desde el fallo hasta las causas. Constantemente se desarrollan hipótesis de cómo un evento puede ser consecuencia de otro precedente. Cuando todas las posibilidades han sido identificadas, se debe desarrollar estrategias para verificar si, de hecho, estos eventos han ocurrido.

Para un mejor desarrollo del ACR, existen dos preguntas básicas que deben ser realizadas repetidamente hasta que todas las raíces sean localizadas. Estas preguntas son: ¿Cómo? Y ¿por qué? Los ¿Cómo? Están relacionados con la forma como puede ocurrir el fallo; mientras que los ¿Por qué? Se relacionan con las causas por las cuales ella ocurre.

El Comunicar los hallazgos y recomendaciones (*Communicate Findings and Recommendations*): Este paso se realiza una vez completado el proceso de ACR, en este momento las soluciones a las fallas o a los eventos parecen aparentes.

Encaminando para asegurar el éxito (*Tracking to ensure success*): En este punto se propone realizar los cambios e inversiones necesarias para evitar que el evento o la falla ocurra de nuevo por la misma causa, eliminando esta y realizando un seguimiento para detectar los beneficios obtenidos.

c) Identificar soluciones efectivas: Esta etapa está íntimamente ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidos a lo largo de la aplicación del ACR al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo, se identifican las correcciones que deben realizarse para asegurar la no ocurrencia del fallo debido a la no presencia de la causa que la origina.

d) Implementar soluciones: Cuando se realizan las correcciones y se recogen los frutos de la aplicación de la metodología. A continuación mostramos un esquema de las etapas del ACR y su correcto orden:

Figura 15. Etapas del ACR



Fuente: Carlos Parra, MCC

Existen causas comunes de fallos, estas se agrupan en tres grandes grupos:

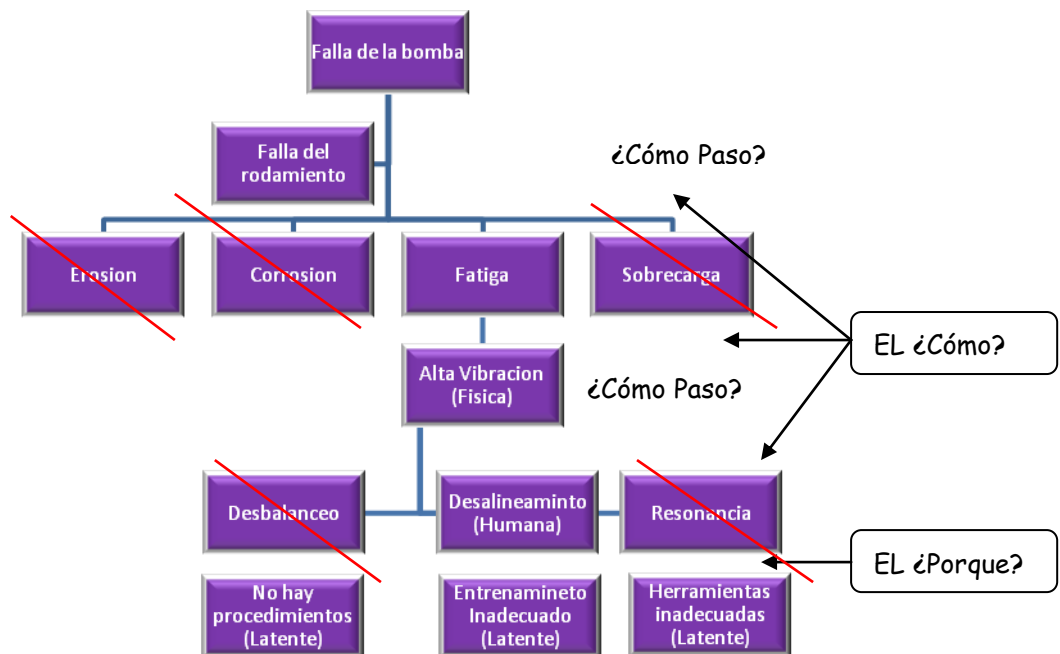
a) Raíces Físicas: En este nivel se encuentran todas las manifestaciones de falla de origen físico, como son; mala condición de repuestos, conexiones inadecuadas, juntas en mal estado, etc. Generalmente en este nivel no se encuentra la causa raíz sino es un buen punto de partida.

b) Raíces Humanas: Como su nombre lo indica en este nivel se encuentran los errores cometidos por el factor humano, ya sea que incide directa o indirectamente, esto pueden ser; incorrecta instalación, no utilización de los procedimientos, no empleo de herramientas adecuadas, etc. En esta categoría es muy común encontrar las raíces de los fallos.

c) Raíces latentes: En este nivel se ubican todos los problemas que nunca se han presentado, pero que de todas maneras tiene cierta probabilidad de presentarse, estos pueden ser; Operación inapropiada, falta de un procedimiento para realizar una actividad específica, capacitación adecuada al personal que ejecuta labores de mantenimiento, etc.

En el siguiente ejemplo se muestra el fallo de una bomba y el respectivo ACR que se hace gracias a la información recolectada de la falla, lo plasmamos ya que es un caso interesante cuando se cuenta con la información adecuada y correcta.

Figura 16. Análisis Causa-Raíz



Fuente: Carlos Parra, MCC

2.6 ANALISIS MODO EFECTO DE FALLA

Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología de un equipo sistemáticamente dirigido que identifica los modos de falla potenciales en un sistema, producto u operación de manufactura / ensamble causadas por deficiencias en los procesos de diseño o manufactura / ensamble. También

identifica características de diseño o de proceso críticas o significativas que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de falla. AMEF es una herramienta utilizada para prevenir los problemas antes de que ocurran.

Una definición que se podría mencionar será entonces:

“El AMEF o Análisis Modal de Fallos y Efectos es un método dirigido a lograr el Aseguramiento de la Calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo, para priorizar las causas, sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo”.

Los AMEFs han estado por mucho tiempo. Antes de que cualquier formato documentado sea elaborado, los inventores y expertos del proceso tratan de anticiparse a lo que puede estar mal en un diseño o un proceso antes de que el mismo sea desarrollado. La prueba y error así como el conocimiento de cada falla son tanto costosos como consumidores de tiempo.

Los AMEFs fueron formalmente introducidos a finales de los 40's mediante el estándar militar 1629. Utilizados por la industria aeroespacial / desarrollo de cohetes, los AMEF y el todavía más detallado Análisis Crítico del Modo y Efecto de Falla (ACMEF) fueron de mucha ayuda en evitar errores sobre tamaños de muestra pequeños en la costosa tecnología de cohetes.

El principal empuje para la prevención de fallas vino durante los 60's mientras se desarrollaba la tecnología para enviar un hombre a la luna. Ford Motor Company introdujo los AMEF en la industria automotriz a finales de los 70's para consideraciones de seguridad y requisitos regulatorios después del fracaso del modelo "Pinto". Ford Motor Company también utilizó los AMEF's efectivamente para mejoras en la producción y en el diseño.

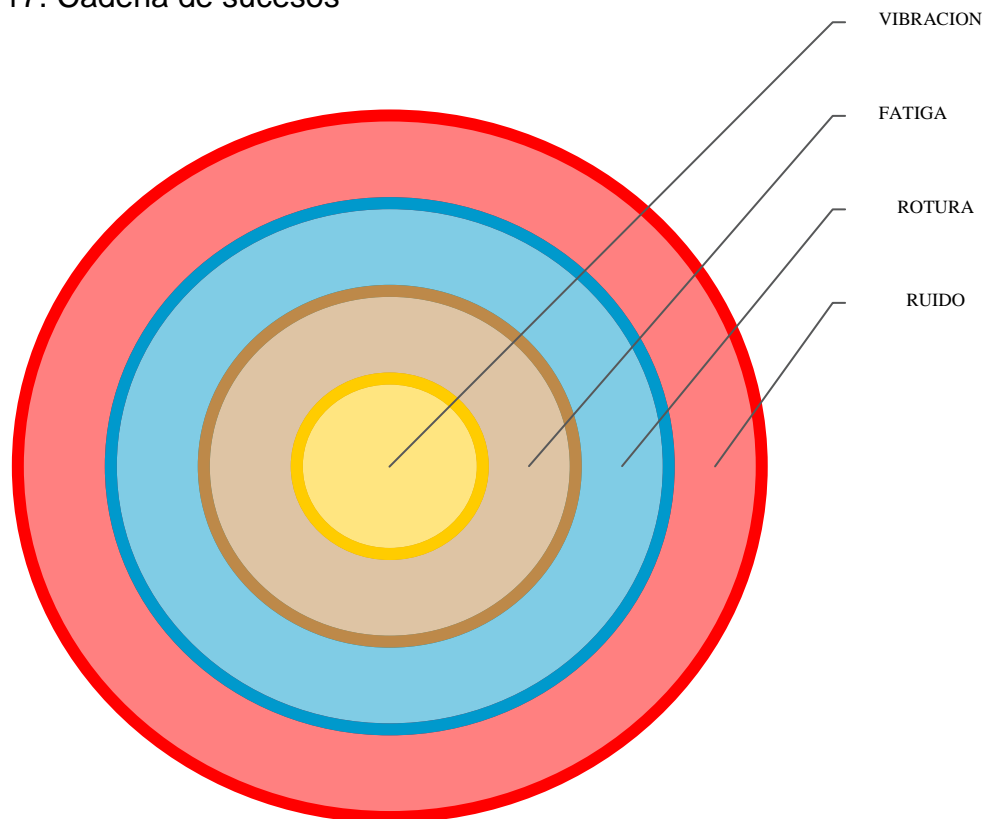
Un modo de fallo puede estar originado por una o más causas.

Éstas, pueden ser independientes entre sí, también pueden combinarse entre ellas, es decir, que el modo de fallo está condicionado a que se presenten ambas; y por último, puede que las causas estén encadenadas.

Para tratar de explicar mejor el modo de fallo tomemos un ejemplo básico como es el de **la fatiga**; siempre que se produce la fatiga se origina ruido (este es el efecto), entonces sería modo de fallo. En cambio, si no siempre que aparece la fatiga se produce ruido, esta sería causa.

Es muy importante definir la cadena de sucesos en el orden correcto, para una mejor comprensión del problema, por ejemplo:

Figura 17. Cadena de sucesos



Fuente: Los Autores

Para realizar una correcta evaluación de los modos de fallo es necesario contar con los parámetros de evaluación, estos nos ayudan a priorizar las causas y así enfocarnos en lo que más afecta a la organización. Para esto existe el “Número de Prioridad de Riesgo”, y este está dado por la siguiente expresión:

$$\text{NPR} = \text{S} * \text{O} * \text{D}$$

Donde:

NPR: Número de prioridad de Riesgo.

S: **Severidad** Impacto del fallo o gravedad.

O: **Ocurrencia** Probabilidad de falla.

D: **Detección** Probabilidad de no detección.

2.6.1 Metodología del AMEF. Los siguientes son los pasos que según varios autores describen, para la implantación de un AMEF.

- 1) Crear y formar el equipo de trabajo.
- 2) Identificar el proceso, sistema o componente.
- 3) Elaborar el diagrama de bloques funcionales y/o el diagrama de flujo
- 4) Recoger datos de fallos y clasificarlos.
- 5) Preparar el AMEF.
- 6) Implantar las acciones correctivas.
- 7) Revisar y hacer seguimiento al AMEF.

A continuación vamos a dar una breve explicación de los pasos mencionados con el fin de profundizar un poco y hacer un breve análisis.

1. Crear y formar el equipo de AMEF. Es necesario la conformación de un grupo de trabajo interdisciplinario en el que intervengan áreas como ingeniería,

mantenimiento, control calidad, confiabilidad, y logística. No es aconsejable que el grupo exceda mas de 6 personas, y estas deben estar capacitados en técnicas estadísticas, y de falla como el diagrama espina de pescado, causa-efecto, y análisis de problemas.

2. Identificar el proceso, sistema o componente. Debemos tener claro sobre que vamos a realizar el AMEF, esto puede ser resultado de un análisis de criticidad o de una lluvia de ideas, es responsabilidad del grupo de trabajo establecer claramente el sistema o componente sobre el cual se va a realizar el trabajo, y también su porque o justificación.

3. Elaborar el diagrama de flujo y/o diagrama de bloques. Primero explicaremos a que se refieren estos diagramas; el diagrama de flujo es como una fotografía del proceso; es la representación esquemática y cronológica de las operaciones que componen un proceso.

El diagrama de bloques por su parte, representa de forma esquemática las partes o subpartes que componen un sistema o componente y sus relaciones físicas o funcionales.

4. Recoger datos de fallos y clasificarlos. Antes de dar inicio al AMEF el grupo de trabajo debe tener toda la información del problema que se va a tratar durante el análisis.

5. Preparar el AMEF. El grupo de AMEF, mediante una o varias reuniones y haciendo uso de la documentación aportada por el responsable del AMEF, de sus conocimientos y de las técnicas de análisis y solución de problemas más adecuadas en cada caso, comienza la aplicación del AMEF al producto o al proceso designado.

Para ello, completa en primer lugar el encabezamiento del formato AMEF con los datos correspondientes (producto, proceso, especificación, fecha, etc.).

A continuación, y haciendo uso del método más adecuado (por ejemplo. la tormenta de ideas, el diagrama causa-efecto), se comienzan a identificar los diferentes Modos de Fallo. Para cada uno se determina:

- El efecto del fallo,
- La causa del fallo,
- La probabilidad de ocurrencia,
- La gravedad,
- La probabilidad de no detección,
- El índice de prioridad de riesgo,
- Las acciones correctivas,
- La responsabilidad de implantar las acciones correctivas;

Con la definición de las acciones correctivas concluye la etapa inicial de aplicación del AMEF.

6. Implantar las acciones correctivas. La implantación de las acciones puede estar realizada a través del área de planeación, la cual con la entrada que le da el grupo de AMEF establecerá el cumplimiento de las diferentes acciones.

7. Revisar y hacer seguimiento al AMEF. Una vez implantadas las acciones correctivas, con el objeto de mejorar el NPR, en los modos de falla seleccionados, el equipo del AMEF se debe reunir con el área de planeación y evaluar los resultados, esto con el fin hacer seguimiento y evaluar la efectividad de las acciones correctivas.

2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLA

Mediante la utilización de esta herramienta podemos encontrar la frecuencia óptima de intervención de mantenimiento en los componentes o sistemas que se consideraron críticos desde el inicio, esto dependiendo del tipo de distribución a emplear.

En general, la mayoría de distribuciones usadas en Confiabilidad tienen, a lo sumo, tres parámetros:

a) Parámetro de escala β : Este es el parámetro que caracteriza a las distribuciones uniparamétricas. El parámetro de escala define cuán dispersa se encuentra la distribución (en el caso de la distribución normal, el parámetro de escala es la desviación típica).

b) Parámetro de forma α : Este parámetro define la forma de la distribución. Algunas distribuciones (como la exponencial o la normal) carecen de este parámetro pues tienen una forma predeterminada que nunca varía (en el caso de la normal, ésta tiene siempre forma de campana).

c) Parámetro de localización δ : Se usa para desplazar una distribución hacia un lado u otro. Esto significa que, dada una distribución cuyo dominio habitual sea $[0, +\infty)$, la inclusión de un parámetro de δ localización cambiará el dominio a $[\delta, +\infty)$

2.7.1 Distribuciones de probabilidad.

a) Distribución Gamma: Esta distribución se emplea de manera extensa en una gran variedad de áreas; por ejemplo, para representar el tiempo aleatorio de falla de un sistema que falla sólo si de manera exacta los componentes fallan y la falla de cada componente ocurre con una frecuencia constante $\lambda=1/\beta$ por unidad de tiempo.

La distribución Gamma es versátil puesto que exhibe varios perfiles que dependen del valor del parámetro α , para $\alpha \leq 1$ la distribución Gamma tiene un perfil en forma de J traspuesta. Para $\alpha > 1$, presenta un pico que ocurre en $x = \beta (\alpha - 1)$.

b) Distribución Weibull: La distribución Weibull fue establecida por el físico del mismo nombre, quien demostró, con base en una evidencia empírica, que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. En los 25 años esta distribución se empleo como modelo para situaciones del tipo tiempo-falla y con el objetivo de lograr una amplia variedad componentes mecánicos y eléctricos.

La distribución Weibull es versátil puesto que exhibe varios perfiles que dependen del valor del parámetro α por ejemplo para $\alpha < 1$ tiene una forma de J traspuesta, y si $\alpha > 1$, la función de densidad de Weibull presenta un pico único. Si $\alpha = 3.6$ la distribución es Asimétrica, si es menor que 3.6 tiene un sesgo positivo y si es mayor a 3.6 tiene un sesgo negativo.

El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar una probabilidad, basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull descubierta por el sueco **Walodi Weibull**, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951. La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc. Las técnicas discutidas en la distribución de Weibull son similares a las usadas con las distribuciones Normal y Log-Normal.

c) Distribución Exponencial: Se ha notado con anterioridad que la distribución exponencial (negativa) es un caso especial de los modelos Weibull y Gamma. Ya que es un caso especial de la distribución Gamma (Erlang), la variable aleatoria

exponencial es el tiempo que transcurre hasta que se da el primer evento de Poisson. Es decir, la distribución exponencial puede modelar el lapso entre dos eventos consecutivos de Poisson que ocurren de manera independiente y a una frecuencia constante. Esta distribución se emplea con bastante frecuencia con el objeto de modelar problemas del tipo tiempo-falla y como modelo para el intervalo en problemas de líneas de espera.

La distribución exponencial es conocida por no tener memoria, es decir, la probabilidad de ocurrencia de eventos presentes o futuros no depende de los que hayan ocurrido en el pasado. De esta forma, la probabilidad de que una unidad falle en un lapso específico depende nada más de la duración de éste, no del tiempo en que la unidad ha estado en operación.

La distribución exponencial se caracteriza por un parámetro β , que representa el lapso promedio de tiempo entre dos eventos independientes de Poisson. En el contexto de Confiabilidad, β recibe el nombre de tiempo promedio entre fallas, y $1/\beta$ la frecuencia de falla.

d) Distribución Lognormal

La f.d.p. de una distribución normal es no nula en todo el eje real (y no sólo en el semieje positivo). Por este motivo, el uso de la normal implicaría que el fallo puede producirse antes del instante $t = 0$. Para evitar esta inconveniencia que presenta la distribución normal, se puede utilizar en su lugar la distribución Log-normal.

En la siguiente tabla se encuentra una comparación entre las diferentes distribuciones, y el modelo de confiabilidad, así como su aplicación:

Cuadro 3. Cuadro de distribuciones

Modelos Comunes de Confiabilidad	Exponencial	Weibull	Normal	Lognormal
Función de Densidad de Probabilidad (pdf), f(t)	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]\right\}$	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$	$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$
Función de Confiabilidad, R(t)	$R(t) = \exp(-\lambda t)$	$R(t) = \exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]\right\}$	$R(t) = \int_{z(t)}^{\infty} \phi(z) dz$	$R(t) = \int_{z[\ln(t)]}^{\infty} \phi(z) dz$
Función de Tasa de Falla, h(t)	$h(t) = \lambda$	$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$h(t) = \frac{\phi(z)}{\sigma R(z)}$	$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	$\bar{T} = \frac{1}{\lambda}$	$\bar{T} = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$	$\bar{T} = \text{media}$	$\bar{T} = \exp\left(\bar{T} + \frac{1}{2}\sigma^2\right)$ donde T es la función ln(t)
Parámetros	1/λ = escala sin forma	η = escala β = forma, o pendiente Weibull	media = localización σ = escala	media de ln's = escala σ de ln's = forma
Aplicaciones	Sistema complejo vida útil electrónica	β < 1, fallas infantiles β = 1, exponencial β > 1, desgaste β app 3.4, app. normal muy flexible bien para fatiga en componentes mecánicos	z(t) = (t - μ)/σ φ(z) = pdf normal std. desgaste alto efectos aditivos (CLT)	z[ln(t)] = (ln(t) - μ)/σ donde μ = media de ln's σ = desv. std. de ln's φ(z) = pdf normal std. fatiga en metales desgaste de partes mecánicas ^{1,71} efectos multiplicativos

Fuente: empresa de consultaría en mantenimiento ICIM.

2.8 MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es una característica de diseño e instalación, expresada como la probabilidad de que un elemento sea recuperado a una condición especificada, a lo largo de un periodo dado del tiempo empleado en el mantenimiento, cuando éste se realiza de acuerdo con los procedimientos y recursos prescritos. [MIL-STD-721B, 1996 USA]

La Mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de Mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema. Esto incluye la duración (horas) o el esfuerzo (horas-hombre) invertidos en desarrollar todas las acciones necesarias para mantener el sistema o uno de

sus componentes para restablecerlo o conservarlo en una condición específica. Depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de Mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos especializados, etc). Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de Mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad lo constituye el tiempo promedio de reparación de la fallas.

$M(t) = P$ (funcionabilidad sea recuperada en el tiempo t o antes)

$= P(TTR \leq t)$

$$= \int_0^t m(t) dt$$

Donde $M(t)$ es la función de densidad de TTR (Time To Repair)

Factor de tiempo empleado por los mantenedores. (*Mantenibilidad por Jezdimir Knezevic pag 52*)

- Factores Personales, que representan la influencia de la habilidad, motivación, experiencia, autodisciplina, formación, responsabilidad y otras características similares relacionadas con el personal involucrado;
- Factores condicionales; que representan la influencia del entorno operativo y las consecuencias que ha producido el fallo en la condición física, geométrica y forma del elemento en recuperación.

- Entorno; representa la influencia de factores como temperatura, humedad, ruido, iluminación, vibración, momento del día, época del año, viento, ruido, etc. en el personal de mantenimiento durante la operación de recuperación.

Así, los diferentes tiempos empleados en la ejecución de cada ensayo individual de la tarea de mantenimiento son el resultado de la influencia de los factores mencionados anteriormente. Por tanto la relación entre los factores influyentes y el parámetro T podría expresarse por la siguiente expresión:

$T = f$ (factores personales, condicionales y ambientales)

3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE MANTENIMIENTO

El presente modelo se propone con el objetivo ya antes mencionado; mejorar los índices de disponibilidad para la flota de aviones de la aerolínea.

Para dar un adecuado inicio con nuestro modelo, es importante tener clara la misión de la compañía:

Misión: En AIRES SA generamos progreso y bienestar interconectando regiones con seguridad, cumplimiento y calidad de servicio.

La estructura general del modelo de mantenimiento planteado consta de tres partes principales; que son: <insumo–proceso–producto>



El insumo para nuestro estudio son los objetivos de la disponibilidad de la flota, es decir la disponibilidad deseada para que cuando se aplique el proceso se obtenga una disponibilidad operacional alcanzada, por tanto se plantea lo siguiente:

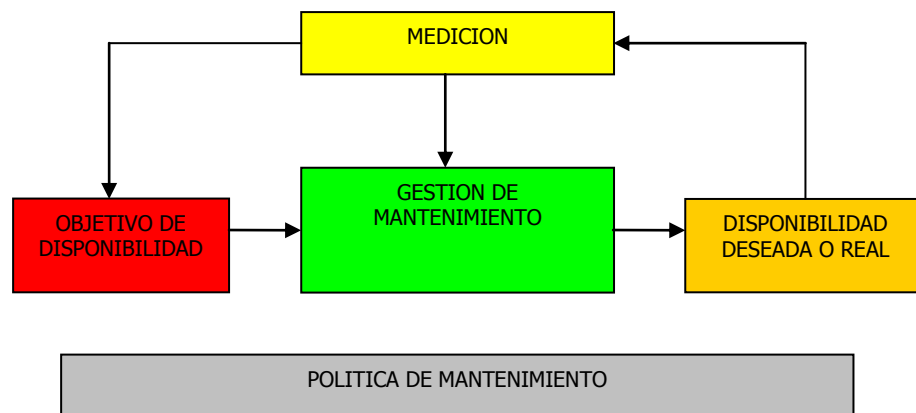


Ahora, la gestión de mantenimiento para nuestro modelo de disponibilidad operacional de la aerolínea esta definida por la estrategia de la compañía y por la misma competencia, donde se busca elevar el índice de la disponibilidad en la operación.

Cabe mencionar que el MRB ¹ contiene las tareas, que de acuerdo a la aplicación de RCM mediante el grupo de trabajo denominado MSG² el fabricante de las aeronaves considera necesarias para garantizar la confiabilidad de sus aeronaves. Lo que quiere decir que la técnica de RCM ya fue empleada en la creación y revisión del programa de mantenimiento por el fabricante; por consiguiente esta técnica no será utilizada en el modelo presente.

Definido ya el objetivo del modelo es importante dentro de su misma estructura monitorear el cumplimiento de este. A continuación se presenta el siguiente esquema como paso hacia la estructura del modelo mismo.

Figura 18. Modelo de Mantenimiento Planteado

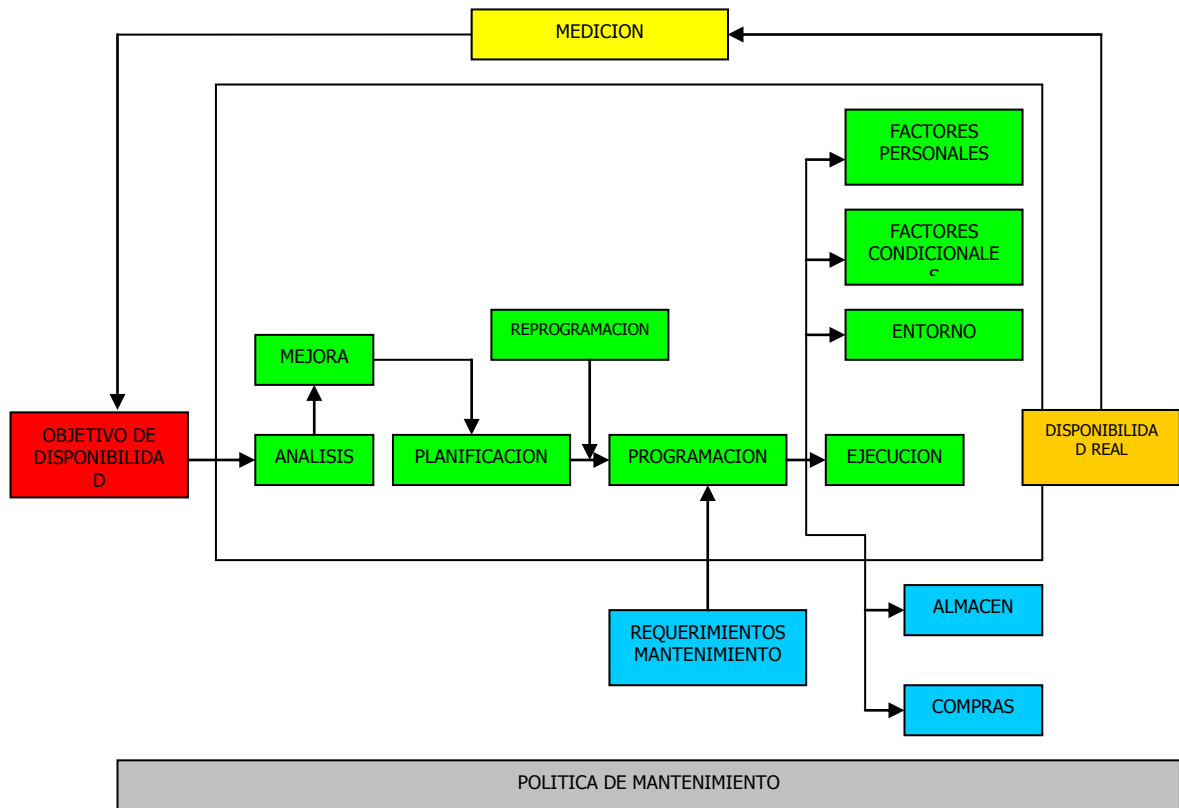


Fuente: Los Autores. 2009

Para este proceso es importante definir el mecanismo de retroalimentación mediante el cual se controla la gestión desde el punto de vista de resultados, con ello sabemos si estamos cumpliendo el objetivo propuesto en el modelo.

Para disponer de un sistema confiable de medición es importante definir como hacerlo, el recurso a utilizar es el sistema de información Maximo.

Figura 19. Modelo de Mantenimiento en Procesos



Fuente: Los Autores. 2009

A continuación se explicara cada uno de los procesos integrantes del modelo propuesto.

3.1 PROCESO DE ANALISIS

Este es uno de los procesos mas importante del modelo por cuanto nos permitirá identificar las causas que han generado la desviación entre el objetivo real y el objetivo propuesto para luego implementar las medidas correctivas necesarias en nuestra gestión, para ello se propone el uso de herramientas como el análisis Causa Raíz y análisis de criticidad; es necesario una adecuada recolección de datos con el sistema informático máximo como base de datos para proporcionar la información relevante para la identificación de las causas básicas de los problemas puntuales o recurrentes.

3.1.1 Análisis y Recolección de Datos. Para poder dar inicio al modelo debemos partir de la información real y actualizada que brindan los mismos equipos y para tal efectos proponemos un protocolo de entrega de la información mediante el cual se establece: el tiempo de entrega, los datos, el formato, y la cantidad mínima de datos así como un chequeo periódico con el fin de establecer bases confiables. El suministro de esta información proviene del software de mantenimiento MAXIMO.

El protocolo de información fue solicitado a los coordinadores y consultores del software con el fin de satisfacer las necesidades planteadas para el análisis completo de disponibilidad para la flota de aviones de la aerolínea.

En la grafica de abajo ilustramos una muestra de cómo quedaría le reporte generado por el software con los siguientes datos:

- a) Fecha
- b) Avión
- c) Descripción del reporte de falla
- d) Corrección de la falla
- e) Sistema ATA¹
- f) Orden de trabajo
- g) Numero de reporte

Figura 20. Reporte generado por el Software Máximo

WO	Fecha Reporte	HK	Sistema	Descripción	Acción Correctiva
69902	01-Jan-08	HK3951	00-00-01	PIREP 83130 BAGGAGE DOOR PRESENT PRESSURIZATION SCAPE (NOISE)	APPLIED RTV SILICONE ASHESIVES 732 I.A.W A.M.M 20-25-00 IN NORMAL CONDITION
69902	01-Jan-08	HK3951	24-31	PIREP 83130 DURING ALL FLIGHT AFTER TAKE OFF MORE OR LESS 400FT #1 AC GEN ILLUMINATES	CARRIED OUT REPAIR WIRING IN CONNECTOR 2421-P1 IN AC GENERATOR POSITION 1 OPERATIONAL TEST IN AC GENERATOR SYSTEM I NORMAL CONDITION I.A.W A.M.M 24-31-00
69985	02-Jan-08	HK3951	32-41	PIREP 83134 STRONG VIBRATION DURING TAKE OFF AND LANDING	CHANGED WHEEL ASSY #1 AND #2 NLG I.A.W A.M.M 32-41-16
70073	03-Jan-08	HK3951	12-30	PIREP N°83137 THE AIRCRAFT IS TOO DIRTY.	DIFFERED TO T.R. #51-2971.
70071	03-Jan-08	HK3951	32-41	PIREP N°83136 CHECK WHEEL CONDITION #1.	I.A.W MM 32-41-11 IT WAS REPLACED WHEEL ASS M.L.G #1 IN SERVICEABLE CONDITION.
70073	03-Jan-08	HK3951	34-46	PIREP N°83137 TERRAIN LIGHT SOMETIMES ILLUMINATE.	RESET SWITCH TERRAIN INOP SERVICEABLE CONDITION I.A.W MM 34-43-16.
70243	04-Jan-08	HK3951	25-10	PIREP N°83139 THE OBSERVER COMMUNICATION BOX IS INOPERATIVE.	THE PIREP WAS DIFFERED TO C/O #51-0647.
70246	04-Jan-08	HK3951	32-30	PIREP N°83138 NOSE GEAR TAKES LONGER THAN NORMAL TO EXTEND AND STRONGNOISE DURING EXTENSION.	I.A.W MM 32-30-00 CARRIED OUT SWAPPED THE N.L.G SEQUENCE VALVE WITH THE LH M.L.G SEQUENCE VALVE AND CARRIED OUT OPERATIONAL TEST WITH 16 CYCLES OF EXTENSION AND RETRACTION OF THE LANDING GEAR SYSTEM THE N.L.G AND M.L.G ARE OK. AND IN NORMAL CONDITION.

Fuente: Software Máximo

Dichos títulos hacen parte del protocolo mínimo necesario para dar inicio al análisis de la información que nos conducirá más adelante al análisis que permitirá dar las directrices para alcanzar el aumento del índice de disponibilidad operacional, que es el objetivo de nuestro trabajo de grado.

El ingreso de datos deberá ser realizado por personal que tenga como mínimo una familiarización con los datos a ingresar, conocimiento de MAXIMO, conocimiento del paquete Office, y que sea una persona analítica y no se convierta en un digitador sino en un analista de datos.

Por último estos datos deberán ser revisados periódicamente (quincenalmente)¹ con el fin de encontrar inconsistencias y falta de datos y así evitar bases de datos incompletas, lo que generaría análisis erróneos.

El proceso de toma y análisis de datos consta de 4 pasos importantes definidos con anterioridad por la organización, los pasos son los siguientes:

Figura 21. Proceso de toma y análisis de datos



Fuente: Los Autores. 2009

3.2 PROCESO DE MEJORA

3.2.1 Análisis de Criticidad. Mediante este análisis se pretende encontrar al componente o sistema de toda la flota de nuestros aviones que mas genera eventos, ya sean demoras o cancelaciones, y para esto se proponen las siguientes actividades:

Figura 22. Análisis de Criticidad



Fuente: Los Autores. 2009

La siguiente tabla es la que proponemos para hacer el análisis de criticidad, luego de tener la información descargada de MAXIMO.

Luego de esto se pretende encontrar no solo el sistema más crítico, sino el avión que más presenta esta falla, con el fin de concentrar los esfuerzos en encontrar acciones que reduzcan estos eventos.

Es importante saber que tanto podemos mejorar, es decir que impacto genera este tipo de eventos críticos sobre la operación de la flota, y para esto en la última parte de la tabla se define el % de indisponibilidad que genere este tipo de fallas.

3.2.2 Análisis Causa Raíz. El siguiente pasó, luego de encontrar el sistema o componente más crítico, así como la falla y el avión que más eventos genera se propone proceder a realizar el análisis causa raíz que nos conduzca a los orígenes

del problema el cual hemos definido como el más crítico en la operación. Tal como se menciona en el marco teórico el análisis causa raíz es aplicable a fallas cuyas manifestaciones son evidentes y de fácil detección por ejemplo:

- Fugas hidráulicas
- Daño en rodamientos
- Juego en compuertas
- Indicaciones erróneas

Para la aplicación de esta herramienta se propone el formato: Análisis de la Causa Raíz de las Fallas. (Ver anexo C) con su respectivo instructivo.

3.2.3 Análisis Modo Efecto de Falla. Si se considera que la falla o el problema más crítico no puede ser abordado para su solución a través de la herramienta causa raíz, se propone emplear el análisis modo efecto de falla.

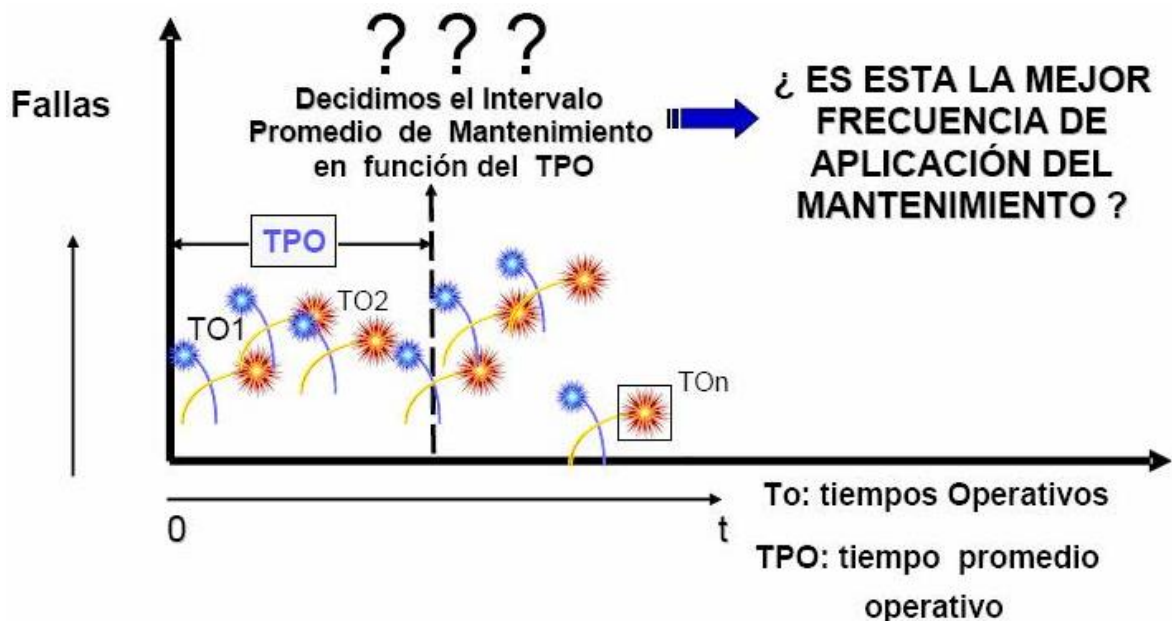
Se recomienda para el empleo de esta herramienta definir muy bien la cadena de eventos que finalizan con una falla o un problema evidente. Es importante conformar un equipo multidisciplinario que aborde los problemas a solucionar; para la aplicación de esta herramienta se propone el Formato: Modo Efecto de Falla. (Ver Anexo D)

El grupo de trabajo a través de una herramienta como lluvia de ideas describirá los modos de fallo y para cada uno de estos se mencionara:

- El efecto del fallo,
- La causa del fallo,
- La probabilidad de ocurrencia,
- La gravedad,
- La probabilidad de no detección,
- El índice de prioridad de riesgo,
- Las acciones correctivas,

3.2.4 Análisis Estadístico de falla. Una vez encontrada las posibles soluciones a los problemas críticos y las diferentes intervenciones preventivas; debemos establecer la frecuencia de ejecución de estas misma tareas y para esto empleamos el análisis estadístico de falla. Recordemos que existen varias distribuciones estadísticas y cada una de estas tiene su aplicación específica dependiendo del componente del problema a solucionar; no es lo mismo emplear una distribución estadística para determinar la frecuencia de falla en un componente roto dinámico mecánica a una distribución estadística en componente eléctrico, esto porque patrones de falla y comportamiento diferentes.

Figura 23. Limitaciones de los datos históricos



Fuente: Carlos Parra.

Recomendamos la aplicación de las siguientes distribuciones estadísticas en los diferentes componentes y sistemas para el modelo de mantenimiento después de haber establecido las tareas preventivas, como ya se menciona el objeto de este paso es establecer la frecuencia óptima de intervención en componente o sistema:

a) Distribución Gamma: Esta distribución la emplearemos en componentes y sistema donde su frecuencia de falla es constante, para el caso de los Dash-8 son:

- Conjunto de ruedas
- Conjunto de frenos

b) Distribución Exponencial: es usada en análisis de confiabilidad como distribución de la variable aleatoria “tiempo entre fallas” de equipos o sistemas. Genéricamente describe la cantidad de tiempo que transcurre entre eventos, tal como el tiempo entre fallas de equipos eléctricos y electrónicos. Hay una característica fundamental de las variables que siguen la distribución exponencial, “el numero de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo es aproximadamente constante”. Los componentes que podemos citar en marcados en este patrón de comportamiento de falla para aires serán:

- AHRS Actitud Heading Reference System
- EECU Engine Electronic Control Unit
- PSEU Proximity Sensor Electronic Unit
- Indicadores
- Pantallas
- Radares
- ADIRUS
- TSC Torque Signal Condition

c) Distribución Weibull: la distribución Weibull es ampliamente usada en el estudio del tiempo de vida o tiempo para la falla de componentes dinámicos. Cabe mencionar que el empleo de esta distribución estadística es aplicado cuando el número de ocurrencia de eventos por unida de tiempo no permanece

necesariamente constante. Para el caso de nuestra flota algunos de los componentes que se manifiestan de esta manera son:

- MFC Mechanical Fuel Control
- PCU Propeller Control Unit
- Hydraulic PUMP
- AC generador
- DC generador
- ACM Air Cycle Machina
- Overspeed Governor

d) Distribución Lognormal; esta destrucción se aplicara las variables que ocurren cerca del valor mínimo. Muchas variables físicas y procesos de deterioro son los elementos estructurales de las aeronaves como son:

- Stringers
- Frame
- Skins
- Fittings
- Web
- Floor
- Panels

Algunas de las acciones importantes a implementar podrán ser:

- Mejoras en el diseño como modificaciones SB números y STC números
- Entrenamiento
- Capacitación
- Herramientas y Equipos

- Modificación al os intervalos de ejecución de las tareas PM
- Creación de tareas de mantenimiento.
- Protocolos.
- Formatos.

En el Anexo E se presenta el formato: Task Ingeniería, para la generación de tareas como resultado del proceso de análisis las cuales se adicionaran al programa de mantenimiento.

En este proceso se refiere fundamentalmente a las acciones o tareas a implementar, resultado del proceso de análisis efectuado con el fin de asegurarnos que hemos eliminado en forma definitiva las causas básicas del problema. Es importante para este proceso considerar la participación de personal de mantenimiento e inspectores de control calidad.

3.3 PROCESO DE PLANIFICACIÓN

Este proceso se refiere a la existencia de una estructura organizada en el área de ingeniería y planeación de planes de mantenimiento programado y no programado que estén alineados con las reales necesidades de las aeronaves.

La planificación es una forma organizada de administrar el trabajo en los aviones con el fin de no tener trabajos paralelos que impliquen más de dos aviones en servicio. Estas actividades serán planificadas por la variable de horas hombre requeridas por cada servicio, con el objetivo de no repercutir desfavorablemente a los itinerarios programados por la compañía

3.4 PROCESO DE PROGRAMACION

En este proceso se llevara a cabo la programación de cada una de las tareas generadas por el proceso de mejora del modelo planteado, categorizadas como tareas de mantenimiento programado, preventivo y predictivo. Esta programación

se realizara bajo una estricta planificación por el área de planeación, mantenimiento, logística y control calidad.

3.4.1 Reprogramación. Esta actividad se llevara a cabo siempre y cuando la tarea no se cumpla por alguna restricción en el proceso para garantizar el cumplimiento de las acciones correctivas.

Estas nuevas tareas deben ser incluidas en el programa de mantenimiento de cada aeronave y auditadas por la aeronáutica civil.

3.5 PROCESO DE EJECUCION

Para este proceso se tendrán en cuenta los siguientes factores que conllevan a mejorar la mantenibilidad.

- Factores Personales
- Factores condicionales
- Entorno

3.5.1 Factores Personales. Este factor contiene un grupo de características importantes sobre el recurso humano, para lograr estas ventajas en el proceso se requiere de métodos para facilitar el trabajo de mantenimiento. Para nuestro modelo podemos implementar; trabajo en equipo, lluvia de ideas, reuniones de máximo 10 minutos para el inicio y final de las actividades de trabajo y el buzón de sugerencias para el mejoramiento continuo de los procedimientos de cada proceso. Un factor que es el más importante es la capacitación, esta debe ser direccionada a las necesidades reales del personal técnico y profesional generando la motivación y fortaleciendo las debilidades de la gente.

El modelo propone las siguientes actividades:

Actividades de trabajo en equipo; cada director de las áreas de mantenimiento programara una reunión de máxima duración de una (1) hora, semanalmente donde se mostraran videos del tema y actividades para el mejoramiento del área.

Lluvia de ideas: esta práctica se llevara a cabo para minimizar el liderazgo autoritario y aumentar el democrático. Es recomendable emplear esta técnica para la solución de problemas en la flota de índole técnico y operativo, además de esto también se recomienda documentar las diferentes sesiones y resultados. La estructura o etapas para lograr una buena práctica son:

a) Introducción: Inicie la sesión explicando los objetivos, las preguntas o los problemas que van a ser discutidos y las reglas de juego, en su conducción se recomienda:

- Promueva un clima tranquilo y agradable.
- Esté seguro de que todos han entendido el tema que va a ser tratado.
- Redefina el problema si fuera necesario.

b) Generación de ideas: Dé uno o dos minutos para que los participantes piensen en el problema, Solicite, en secuencia, una idea a cada participante. En caso de que algún participante no tenga nada para que contribuir, podrá hacerlo más adelante. Se pueden hacer varios turnos para que todos tengan oportunidad de participar. Para su conducción se recomienda:

- No se olvide que todas las ideas son importantes, evite enjuiciarlas.
- Incentive al grupo a dar un mayor número de ideas.
- Mantenga un ritmo rápido en la recolección y registro de las ideas.
- Coloque las fichas que registran las ideas en el orden de aparición

c) Revisión de las tarjetas expuestas en el panel: Pregunte si alguien tiene alguna duda y, si fuera el caso, pida aclaración a la persona que la generó, para la conducción se recomienda:

- El objetivo de esta etapa es tener claros todos los conceptos vertidos, sin juzgarlos.

d) Análisis y selección: Lleve al grupo a discutir las ideas y a escoger aquéllas que vale la pena considerar. Utilice el consenso en esta selección preliminar del problema o solución. Para la conducción se recomienda

- Ideas semejantes deben ser agrupadas; ideas sin importancia o impracticables deben eliminarse
- Cuide para que no haya monopolio o imposición por parte de algún participante

e) Ordenando las ideas: Solicite el análisis de las tarjetas que permanecerán en el panel. Promueva la priorización de las ideas, solicitando a cada participante que escoja las tres más importantes. Para la conducción se recomienda

- La votación debe ser usada apenas cuando el consenso no sea posible

Nota: (Ver Anexo F) Formato Lluvia de Ideas

Reuniones cortas: estas reuniones serán obligatorias para el inicio de las actividades de mantenimiento para eliminar cada una de las dudas posibles para el inicio de las actividades y una reunión al final para concluir sugerencias

Buzón de sugerencias: cada departamento en una localización definida por el director.

Capacitación: para este punto se recomienda el planteamiento de un programa de capacitación con objetivos definidos y con aplicación de la metodología DOFA para tener claro las estrategias corporativas con respecto al recurso humano.

3.5.2 Factores Condicionales. El modelo sugiere para este factor llevar cabo auditorias internas y seguimiento a cada una de la actividades de mantenimiento para verificar realmente el cumplimiento de cada una de las normas de seguridad como son las advertencias y precauciones que dictan las normas y manuales en la operación de los mismos aviones y el cumplimiento de los procedimientos en cada tarea. Si esto no se cumple se pueden generar daños a corto y a mediano plazo repercutiendo a fallas en la operación de las aeronaves y bajando el índice de disponibilidad. Por tal motivo es importante que el área de Aseguramiento de Calidad planifique un programa de auditorias internas para estas actividades con el objetivo de no ser destructivas en el proceso sino constructivas al personal involucrado en estas actividades.

Cumplir con las normas de seguridad conlleva a mejorar el entorno operativo y mantener la condición física, geométrica y forma del elemento en recuperación es decir el avión y sus componentes.

3.5.3 Entorno. El factor entorno se recomienda que para cada una de las tareas de mantenimiento se realicen con el mínimo de recursos necesarios en lo que respecta a las instalaciones, para la industria aeronáutica el Hangar es la condición mas importante en la ejecución de actividades sobre las aeronaves ya que con este el entorno se hace mas cómodo y seguro para las personas y para la misma aeronave. Pero este hangar debe cumplir con un mínimo de requisitos como es la iluminación adecuada, bancos de trabajo para alcanzar las áreas más complejas en la aeronave y cumplir con las normas de seguridad como son: salidas de emergencia, líneas de vida, áreas restringidas con cada uno de sus avisos respectivos. La compañía debe cumplir con la política de seguridad integral y de gestión del riesgo, para Aires la seguridad es un requisito esencial en todas nuestras actividades, debe ser el primer valor fundamental y por ello un requisito

no negociable que nos comprometamos a cumplir para alcanzar nuestra visión y misión.

Se propone los siguientes lineamientos:

- Hacer que todas las personas en los sitios de operación, conozcan, cumplan y hagan cumplir los estándares y procedimientos de seguridad.
- Ser respetuosos y cumplidores de la normatividad establecida así como de los compromisos sectoriales, corporativos y de las expectativas de nuestros clientes, accionistas y de la sociedad.
- Realizar en forma permanente acciones de gestión preventiva de riesgos tanto en nuestra operación aérea como de todas las actividades que la apoyan en tierra.

4. CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo de monografía y al combinar la experiencia de las personas que hicimos partícipes de este proceso podemos concluir:

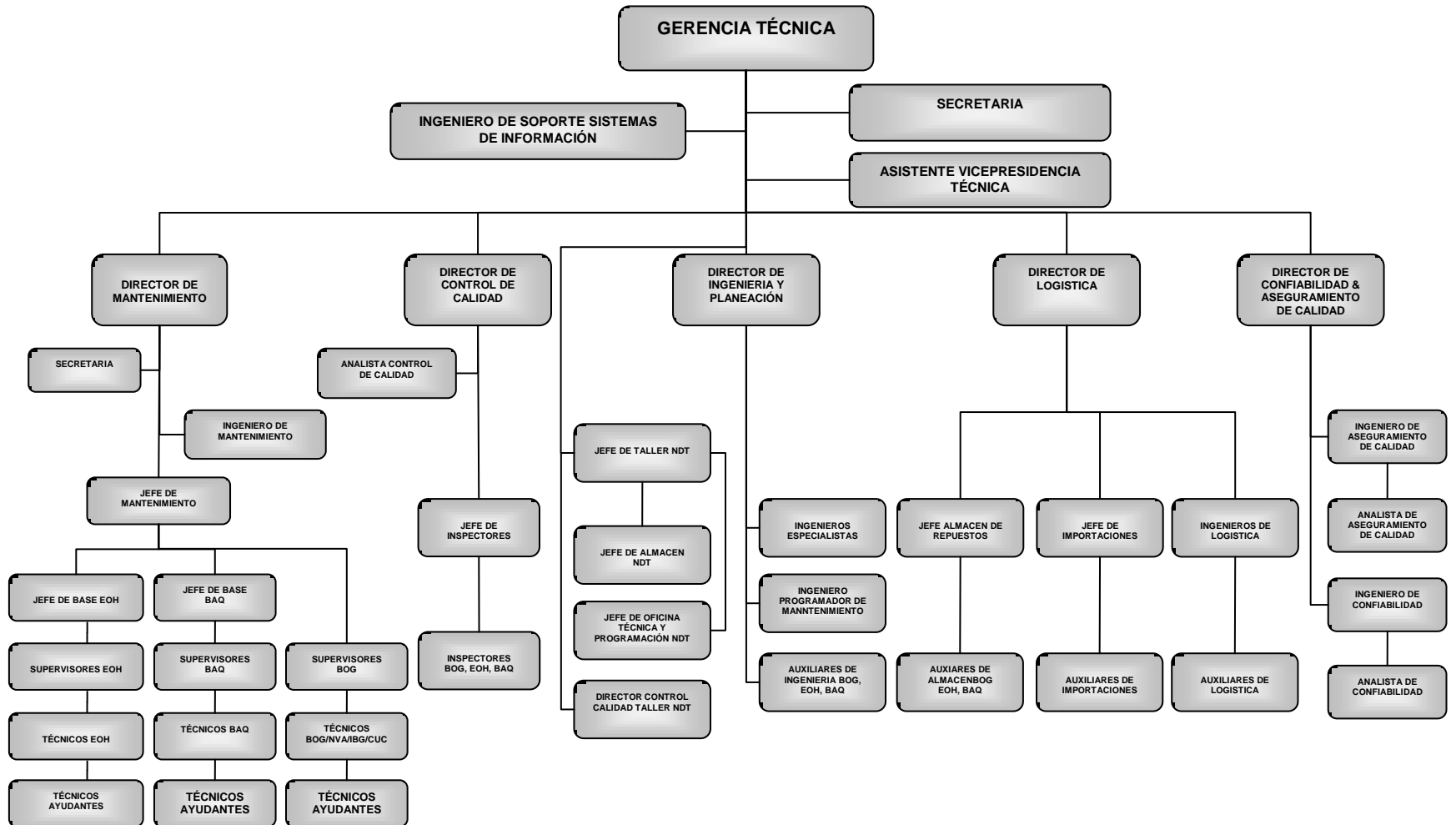
- ✓ Se establece un modelo de mantenimiento que aplica exclusivamente a la operación de una aerolínea como Aires S.A. enfocándose en la disponibilidad de la flota.
- ✓ Se identificaron las herramientas de confiabilidad, que aplican a la operación de los aviones de la aerolínea, con el fin de mejorar los índices de disponibilidad.
- ✓ Se relacionaron e integraron las herramientas de confiabilidad, segregando su aplicabilidad con el fin de escoger la más adecuada a las exigencias de la aerolínea.
- ✓ Se analizaron las actividades necesarias para mejorar la mantenibilidad, teniendo en cuenta las actividades actuales en la labor de mantenimiento dentro de la aerolínea.
- ✓ También podemos concluir que la disponibilidad de una flota tiene directa relación con la confiabilidad y la mantenibilidad de los activos que la componen. Y que estas a su vez pueden ser mejoradas con el empleo de herramientas y técnicas combinadas.

BIBLIOGRAFÍA

- MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico Para Empresas de Servicios Industriales o de servicios. Bogotá; editorial AMG. 2008. 54p.
- KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. Madrid; Isdefe. 1996. 53p.
- <http://www.vanguardia.com/historico/19887-aerocivil-revela-lista-de-aerolineas-mas-puntuales> , Periodico vanguardia de Bucaramanga en su edición de 04 de Febrero de 2009.
- AMENDOLA, Luis. La madurez como factor de éxito en la gestión integral de activos fijos físicos, Asset Management PAS 55. España; editorial Universidad Politécnica de Valencia. 2010.
- MENDOZA, R.H. En análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. En: Mantenimiento Mundial. Revista No 6 de Septiembre 2001. www.mantenimientomundial.com
- MOUBRAY Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. U.S.A; Edición en Español. 2004.
- PEREZ, Carlos. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RC M), Aplicación e Impacto. Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. México; Octubre de 2003

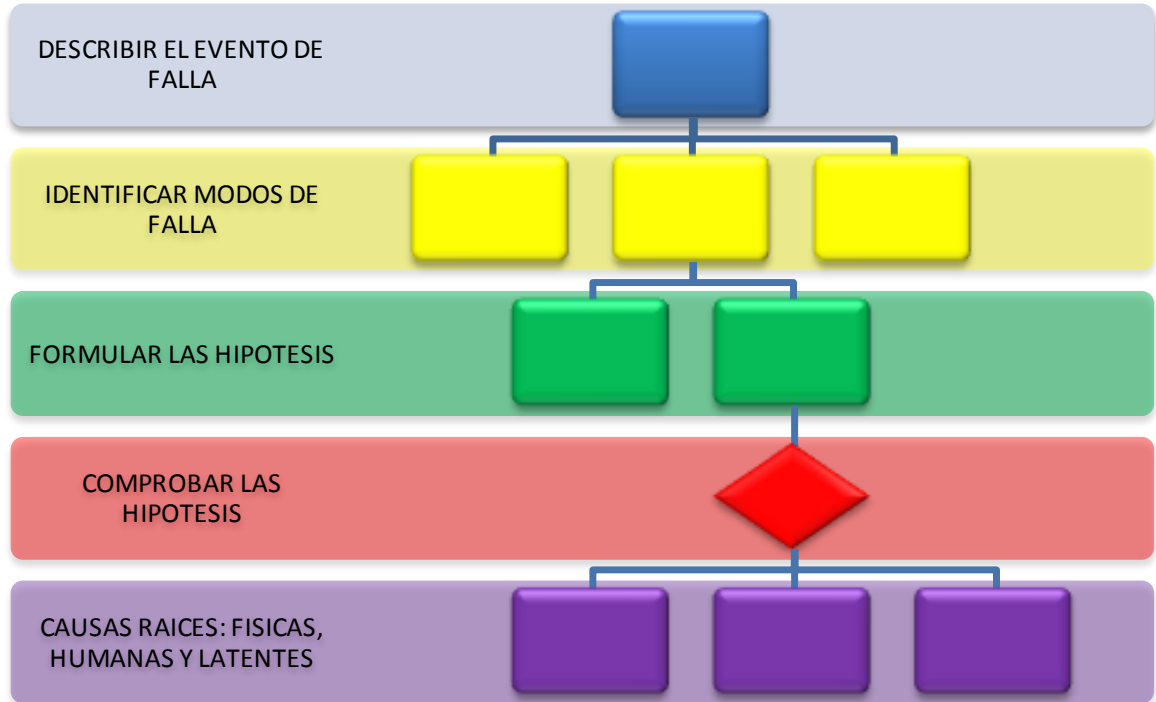
ANEXOS

Anexo A. Organigrama Gerencia Técnica



Anexo B. Asignación de Valores en el Análisis de Criticidad Aires S.A.

Frecuencia de Fallas:		Costo de Mtto:	
Mas de 5 eventos /mes	5	Mayor o igual a U\$50000	2
Entre 3 -4 Eventos /mes	4	Inferior a 50000 \$	1
Hasta 10 Eventos / año	3		
Hasta 5 Eventos / año	1		
Impacto Operacional:		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH)	
Pérdida de todo el despacho día	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente / instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Provoca daños menores (ambiente-seguridad)	3
La demora no afecta el despacho inmediato y al ser corregida no altero la operación	1	No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	1
Flexibilidad Operacional			
Es necesario hacer una cancelacion o mas debido a este evento.	4		
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2		
Stock de repuesto disponible	1		



COMPONENTE O SISTEMA	ATA	SUB ATA	Fecha	AAAA	MM	DD
----------------------	-----	---------	-------	------	----	----

Caso: _____

Pasos en el Análisis de la Causa Raíz de los Fallos

A – Identificación del problema o mejora a realizar (definir límites técnico y físico del problema) : _____

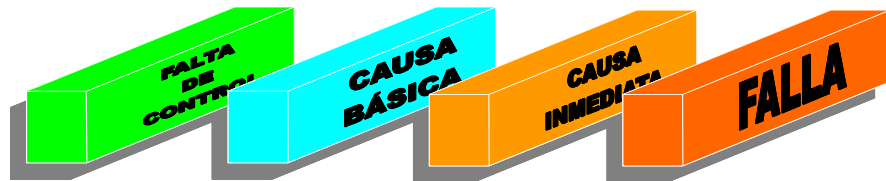
B – Beneficios económicos, técnicos, productivos, etc. De analizar el problema o mejora mediante el método de Causa Raíz de los Fallos: _____

C – Desarrollo ANÁLISIS:

C – 1) Desviación - Subestándar – Falla -

C – 2) Especificación Técnica (datos, planos, fotografías, evidencias reales y verbales, cálculos, verificaciones, estudios, normas, procedimientos de calidad, otros, etc.) con que se cuenta: _____

C – 3) Procedimiento:



C – 3 – A) Plantear diferentes

Posibles Causas: _____

Inmediatas _____

Básicas _____

C – 3 – B) Pruebas de Validez de las Causas planteadas en el paso anterior:

C – 3 – C) Selección de la Causa planteada y probada:

C – 4) Bitácora de Cálculos – Técnicas utilizadas

Síntesis: _____

C – 5) Actuaciones a realizar (Política de Control) que garantice erradicación de Falla:

C – 5 – A) Falla: _____

C – 5 – B) Causa Inmediata Única: _____

C – 5 – C) Causa Básica Única: _____

C – 5 – D) Implementación de Controles: _____

Falla a resolver y a erradicar: _____

Control 1 a realizar: _____ _____ _____ _____
--

Fecha de implementación del control _____ Prioridad: _____

Control 2 a realizar: _____

Fecha de implementación del control _____ Prioridad: _____

C – 6) Seguimiento a los diferentes controles: _____

Fechas de seguimiento a control: _____

C – 7) Beneficios económico y técnico logrados: _____

D) Divulgación de Resultados: _____ Estrategias: _____

Fuente: Luis Alberto Mora

Anexo D. Formato Análisis de Fallas y Problemas

A – Identificación del problema o mejora a realizar (definir límites técnicos y físicos del problema) : _____

B – Beneficios económicos, técnicos, productivos, etc. de analizar el problema o mejora, mediante el método de análisis de fallas para encontrar la Causa Raíz - _____

C – Desarrollo del análisis:

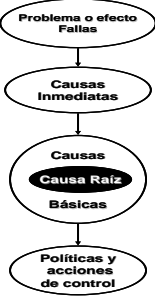
C – 1) Estándar - Desviación - Condiciones encontradas fuera del estándar - Falla - _____

C – 2) EVIDENCIAS - Especificación Técnica (datos, planos, fotografías, evidencias reales y verbales, cálculos, verificaciones, estudios, normas, procedimientos de calidad, otros, etc.) con que se cuenta: - _____

C – 3) Procedimiento:

C – 3 – A) Plantear diferentes posibles Causas Inmediatas: _____
 1 - _____
 2 - _____
 3 - _____

Esbozar Causas Básicas potenciales:

	1 - A - _____
	1 - B - _____
	1 - C - _____
	1 - ... - _____
	1 - n - _____
	2 - A - _____
	2 - B - _____
	2 - C - _____
	2 - ... - _____
	2 - n - _____
	3 - A - _____
	3 - B - _____
3 - C - _____	
3 - ... - _____	
3 - n - _____	

y así sucesivamente hasta completar varias básicas de cada una de las inmediatas.

C – 3 – B) Pruebas de Validez de cada una las Causas básicas planteadas en el paso anterior: _____

C – 3 – C) Selección de la Causa Básica planteada y probada técnicamente como Raíz, que a su vez explica todos los hechos ocurridos: _____

C – 3 – D) Hechos y cálculos de ingeniería que comprueban técnicamente la Causa Raíz como causante de toas las situaciones encontradas durante los hechos y el análisis –

Bitácora de Cálculos – Técnicas utilizadas

Síntesis del análisis técnico de la causa raíz: _____

C – 5) Actuaciones a realizar (Política de Control) que garantice erradicación o control de la Falla:

C – 5 – A) Sobre la Falla: _____

C – 5 – B) Sobre la Causa Inmediata Única: _____


C – 5 – C) Sobre la Causa Básica Única: _____

C – 5 – D) Implementación de Controles:

Tareas y responsables, recursos, controles y nuevas mediciones para verificar validez del control aplicado.

Falla a resolver y a erradicar: _____

Fechas de registro: _____

ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA		Revision 1	Fecha 2	Elaboró 3	Rango de criticidad 4					
COMPONENTE O SISTEMA 5				ATA 6	Sub ATA 7	RESP. 8				
Función 9	Modo de fallo 10	Efectos de fallo 11	Severidad del fallo 12	Causa del fallo 13	Prob de ocurrencia 14	Prob de NO deteccion 15	NPR 16	Accion correctiva 17	Responsables 18	

1	Revision del formato
2	Fecha de inicio del analisis
3	Persona que realizo la ultima revision
4	Rango de criticidad del componente o sistema que se va a trabajar
5	Numero de ATA al cual pertenece el componente o sistema
6	Sub capitulo al cual pertenece el componente o sistema
7	Responsabel de realizar el analisis
8	Nombre especifico del componente o sistema.
9	Describa la función compieta del activo o sistema.
10	El modo de fallo es la negacion de la funcion (no funciona de acuerdo a la especificacion)
11	Describa los efectos del fallo (síntomas)
12	Severidad o impacto de la falla, ya sea operacional o economica. (S)
13	Pueden ser las causas potenciales de fallo
14	Probabilidad con la que ocurre la falla (O)
15	El valor de No deteccion de la falla podria ser la asigancion de la falla oculta. (D)
16	Esta formulado el numero prioritario de riesgo
17	Se marcan las acciones correctivas para mitigar los modos de fallo
18	Las areas responsabels de las acciones marcadas en la celda anterior (17).

AIRES S.A
ENGINEERING DEPARTMENT
MAINTENANCE TASK CARD DASH-8

TASK NUMBER

Aircraft Number :	_____		
TASK COMPLETION			
NAME (PRINT)	DATE	MAN / HRS	SIGNATURE LIC.
MECHANIC :	_____ / _____ / _____	_____	_____
INSPECTOR :	_____ / _____ / _____	_____	_____

TASK DESCRIPTION:

INTERVAL:

REFERENCE: XXXXXXXXX

ZONE: XXXXXXXXX

APPLICABILITY: XXXXXXXXX

PROCEDURE:

WARNING:
XXXXXXXXXXXX

WARNING:
XXXXXXXXXXXX

1. XXXXXXXXX
2. XXXXXXXXX
3. XXXXXXXXX
4. XXXXXXXXX.

Anexo F. Formato Lluvia de Ideas

Criterio Valor de PROBABILIDAD DE NO DETECCION (D) para AMEF		
Muy escasa	La falla es obvia. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Escasa	La Falla, aunque es obvia y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado	2 a 3
Moderada	La falla es una característica de bastante fácil detección.	4 a 5
Frecuente	Fallas de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente	6 a 7
Elevada	La falla es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo	8 a 9
Muy elevada	La falla con mucha probabilidad se presentara, por ser muy difícil detectable	10

Criterio Valor de PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (O) para AMEF	
Muy escasa probabilidad de ocurrencia. Defecto inexistente en el pasado.	1
Escasa probabilidad de ocurrencia. Muy pocos fallos en circunstancias pasadas similares	2 A 3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente.	4 A 5
Frecuente probabilidad de ocurrencia. En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia	6 A 7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	8 A 9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	10

Criterio Valor de IMPACTO (S) para AMEF	
El evento o el fallo no genera impacto sobre la operación durante el día.	1
La falla genera hasta 15 minutos de demora	2 A 3
El evento genera mas de una demora por encima del minuto 15.	4 A 5
Debido a la falla es necesario hacer hasta tres (3) cancelaciones en el día.	6 A 7
El evento no permite operar el avion durante el día o 12 horas de vuelo.	8 A 9
El evento no permite operar el avion durante el día o 12 horas de vuelo en adelante o mas.	10

