

ESTRATEGIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS DE
FALLOS A COMPONENTES HIDRÁULICOS QUE SE PRUEBAN EN LOS
BANCOS JG001 Y JG002 EN LA EMPRESA AEROHIDRAULICOS LTDA

CARLOS ANDRES GOMEZ TORRES

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

2016

ESTRATEGIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS DE
FALLOS A COMPONENTES HIDRÁULICOS QUE SE PRUEBAN EN LOS
BANCOS JG001 Y JG002 EN LA EMPRESA AEROHIDRAULICOS LTDA

CARLOS ANDRES GOMEZ TORRES

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: Iván Darío Gómez Lozano
Ingeniero Mecánico

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

2016

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Mis hermanas, Adriana, Sandra, y sobrinos por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

Dedico este trabajo a mi preciosa hermosa esposa, por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

“Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo.” Benjamín Franklin.

AGRADECIMIENTOS

A mi Director Ing. Iván Darío Gómez Lozano por el apoyo, por los conocimientos brindados y su enseñanza, por los lineamientos y la estructuración de este proyecto, por la pasión por el área de mantenimiento.

A Aerohidraulicos Ltda. Por permitirme llevar a cabo este proyecto, por el apoyo y el respaldo de sacar este proyecto adelante.

A mis compañeros de trabajo a los técnicos, inspectores y área administrativa, a quienes agradezco el apoyo y regaños por aprovechar un poco de tiempo del trabajo para elaborar la monografía.

Otro agradecimiento especial a los docentes que impartieron la especialización de Gerencia de mantenimiento, quienes nos hicieron ver las cosas de otra forma, nos enseñaron que ya están dadas las soluciones, solo es cuestión de aprender a esforzarse, para obtener un mayor conocimiento.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo general.....	18
1.1.1 Objetivos específicos.....	19
1.2 JUSTIFICACION DE LA SOLUCION	19
2. DESCRIPCIÓN DE AEROHIDRAULICOS LTDA Y DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	21
2.1 MISIÓN.....	21
2.2 VISIÓN.....	22
2.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	22
2.4 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS.....	23
2.5 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	23
2.6 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACION	24
2.6.1 Sistema de inspección.....	26
2.7 INFRAESTRUCTURA TÉCNICA.....	27
2.7.1 Banco hidráulico JG-001.....	27
2.7.2 Banco hidráulico JG-002.....	28
3. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES A LOS QUE SE LES REALIZA EL ANALISIS DE FALLA (FMEA)	30
3.1 BOMBA HIDRÁULICA DE PISTONES.....	30
3.2 CILINDRO ACTUADOR HIDRAULICO.....	33
3.2.1 Tipos de cilindros según el recorrido del pistón	33
3.2.2 Cilindros de acción sencilla.....	33
3.2.3 Cilindros de doble acción.....	34
3.2.4 Cilindro amortiguador.....	35
3.3 VALVULAS HIDRAULICAS	38
3.4 TREN DE NARIZ	39
4. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS (FMEA).....	42

4.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA Y NORMAS DESARROLLADAS	42
4.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL FMEA.....	44
4.2.1 Definición del análisis de modos de falla y efectos.....	44
4.2.2 Propósitos del método fmea	44
4.3. BENEFICIOS DESTACABLES DEL FMEA	45
4.4 TIPOS DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS	45
4.4.1 FMEA de sistema	47
4.4.2 FMEA de diseño	47
4.4.3 FMEA de proceso	48
4.5.4 FMEA de servicio.....	48
4.6 IMPLANTACIÓN DEL FMEA	49
5. METODOLOGÍA DEL FMEA ORIENTADO EN LA IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE FALLOS EN LOS COMPONENTES HIDRAULICOS QUE SE PRUEBAN EN LOS BANCOS JG001 Y JG002	50
5.1 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA DESARROLLAR UN FMEA.....	52
5.2 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL FMEA	53
5.2.1 Formación del equipo de trabajo fmea.....	53
5.2.2 Registro del sistema y jerarquía de elementos	54
5.2.3 Taxonomía en plantas industriales	55
5.3 ENCABEZADO DEL REPORTE FMEA	56
5.4 DETALLE Y CODIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES A ANALIZAR.....	57
5.5 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES.....	59
5.5.1 Parámetros de funcionamiento	60
5.5.2 Tipos de funciones.....	61
5.6 IDENTIFICACION FALLA FUNCIONAL	63
5.7 IDENTIFICACIÓN MODOS DE FALLA.....	64
5.8 IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS DE FALLA	66
5.9 DESCRIPCION DE EFECTOS DE FALLA	66
5.10 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SEVERIDAD, FRECUENCIA Y DETECTABILIDAD EN EL FMEA A ANALIZAR	68
5.10.1 Evaluación del grado de frecuencia (ocurrencia) de falla	68

5.10.2 Evaluación del grado de severidad de efectos de falla	70
5.10.3 Evaluación del grado de detección de falla.....	72
5.11 IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN	73
5.12 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)	74
5.13 ACCIONES A IMPLEMENTAR	75
5.13.1 Acciones Recomendadas	75
5.13.2 Acciones implantadas	76
5.14 RESPONSABLE	76
5.15 ÍNDICES REVISADOS	76
6. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CON LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	77
7. ANALISIS Y DESARROLLO FMEA PARA LOS COMPONENTES QUE SE PRUEBAN EN LOS BANCOS JG-001 Y JG-002	80
7.1 RESULTADOS DEL FMEA CON NPR CRITICO	97
8. CONCLUSIONES	109
9. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFIA	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama general	22
Figura 2. Banco hidráulico para prueba de accesorios hidráulicos de aviones y helicópteros JG-001	28
Figura 3. Banco para prueba de bombas hidráulicas de aviones y helicópteros JG-002	29
Figura 4. Descripción bomba de pistones axiales	31
Figura 5. Bomba de pistones caudal	31
Figura 6. Bomba axial compensador de presión	32
Figura 7. Bomba de pistón eje inclinado	33
Figura 8. Cilindro de simple efecto	34
Figura 9. Cilindro de doble efecto	35
Figura 10. Cilindro amortiguador extensión y compresión tren principal	37
Figura 11. Cilindro amortiguador tren de nariz	37
Figura 12. Tren de nariz	41
Figura 13. Evolución histórica de normativas desarrolladas del FMEA	42
Figura 14. Relación de los cuatro tipos de FMEA	46
Figura 15. Soporte del FMEA en la aplicación de tareas de mantenimiento	51
Figura 16. Procedimiento general realización FMEA	52
Figura 17. Personal implicado como posible grupo de trabajo FMEA	54
Figura 18. Registro del sistema y jerarquía de elementos	55
Figura 19. Formato de reporte FMEA	57
Figura 20. Sistema de codificación componentes a analizar en el FMEA	58
Figura 21. Relación funcional con el desglose jerárquico de sistemas	59
Figura 22. Relación capacidad inicial y funcionamiento deseado	60
Figura 23. Diagrama de decisión de funciones significantes	63
Figura 24. Ejemplo falla funcional	64

Figura 25. Curva de la Bañera	79
Figura 26. Grafico Comparativo NPR críticos y nuevos NPR evaluados	98
Figura 27. Curva de weibull probabilidad acumulada bomba hidraulica	99
Figura 28. Curva de weibull tasa de falla bomba hidraulica	100
Figura 29. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad bomba hidraulica	100
Figura 30. Curva de weibull probabilidad acumulada cilindro hidraulico	102
Figura 31. Curva de weibull tasa de falla cilindro hidráulico	102
Figura 32. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad cilindro hidraulico	104
Figura 33. Curva de weibull probabilidad acumulada tren de nariz	104
Figura 34. Curva de weibull tasa de falla tren de nariz	105
Figura 35. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad tren de nariz	105
Figura 36. Curva de weibull probabilidad valvula	107
Figura 37. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad valvula	107
Figura 38. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad valvula	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Codificación componentes a analizar	58
Tabla 2. Ejemplos de funciones de varios elementos	62
Tabla 3. Ejemplos de modos de falla en análisis de equipos	65
Tabla 4. Criterio de evaluación de frecuencia para sistemas en general	70
Tabla 5. Criterio de evaluación de severidad para sistemas en general	71
Tabla 6. Criterio de evaluación de detección para sistemas en general	73
Tabla 7. Métodos de detección	74
Tabla 8. Criterios Prioridad de NPR	75
Tabla 9. Desarrollo y análisis del FMEA bomba hidráulica	80
Tabla 10. Desarrollo y análisis del FMEA Cilindro	84
Tabla 11. Desarrollo y análisis del FMEA tren de nariz	88
Tabla 12. Desarrollo y análisis del FMEA válvula	93
Tabla 13. Resultado FMEA – NPR critico	97
Tabla 14. MTBF Y MTTR Bomba hidráulica	99
Tabla 15. MTBF Y MTTR cilindro hidráulico	101
Tabla 16. MTBF Y MTTR tren de nariz	104

ANEXOS

ANEXO A. Especificaciones Aceite hidráulico MIL-H-5006 (Royco)	113
ANEXO B. Taxonomía de Equipos	115
ANEXO C. Modos de falla ISO 14224	116
ANEXO D. Categorías y división de causas de falla ISO 14224	120
ANEXO E. Gráficos weibull	121

RESUMEN

TÍTULO: ESTRATEGIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS DE FALLOS A COMPONENTES HIDRÁULICOS QUE SE PRUEBAN EN LOS BANCOS JG001 Y JG002 EN LA EMPRESA AEROHIDRAULICOS LTDA

AUTOR: Carlos Andrés Gomez Torres**.

PALABRAS CLAVES: Distribución de Weibull, Confiabilidad, componente hidráulico, Análisis de modo y efectos de falla (FMEA), MTTR, MTBF.

DESCRIPCIÓN:

La presente monografía fue realizada en Aerohidraulicos Ltda., tiene como objetivo proponer una metodología para optimizar la confiabilidad de los modos de falla críticos a los componentes hidráulicos que se prueban en los bancos hidráulicos de la empresa.; con el fin de lograr una mejor gestión del mantenimiento, apoyándose en herramientas de confiabilidad, análisis de modos y efectos de fallo FMEA, las cuales son importantes para la comprensión de los fenómenos de falla de los componentes que se prueban. El desarrollo de este proyecto busca inicialmente identificar los componentes hidráulicos, documentar, priorizar, analizar y diagnosticar las fallas a través del FMEA y la situación actual de las fallas frecuentes presentadas en los componentes hidráulicos realizando la evaluación de severidad, frecuencia y detectabilidad para cada modo de fallo teniendo en cuenta los recursos con los que se dispone operativamente. Se efectúa un reconocimiento de las fallas presentadas apoyado de entrevistas a personal técnico encargado del mantenimiento e inspectores con el fin de realizar el análisis de modo y efecto de fallos. Lo siguiente consiste en recopilar los datos de tiempos entre fallas y tiempos de reparación de los componentes, asistidos por el departamento de mantenimiento, con estos se calculan los indicadores de confiabilidad, a través de la distribución Weibull que gráfica y analiza los datos que es realizado por el software isograph Availability Workbench will run in demonstration. Estos indicadores permiten describir cómo se comporta cada componente y así poder reducir el NPR crítico del FMEA general, con el fin de atacar estos modos de fallos y corregir los tiempos de intervención del equipo para mejorar la confiabilidad. Finalmente, el proyecto presenta el análisis y la evaluación de las acciones realizadas.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
Director: Ing. Iván Darío Gomez

SUMMARY

TITLE: STRATEGY FOR THE ANALYSIS OF FAILURES A HYDRAULIC COMPONENTS TO PROVE IN JG001 AND JG002 AEROHIDRAULICOS BANKS IN THE COMPANY LTDA

AUTHOR: Carlos Andrés Gomez Torres**.

KEYWORDS: Weibull distribution, Reliability, Hydraulic team, Analysis of failure mode and effects (FMEA). MTTR and MTBF.

DESCRIPTION

The present paper was made in Aerohidraulicos Ltda., has as objective to propose a methodology to optimize the reliability of the critical failure modes to the hydraulic components that are tested in the banks of the hydraulic company; with the purpose of achieving a better management of maintenance, relying on tools for reliability, analysis of modes and FMEA failure effects, which are important to the understanding of the phenomena of failure of components that are tested. The development of this project seeks to initially identify hydraulic components, documenting, prioritize, analyze and troubleshoot through the FMEA and the current situation of the frequent failures presented in hydraulic components conducting the assessment of severity, frequency and discoverability for each failure mode taking into account the resources that are available operationally. Recognition of the failures presented interviews supported technical maintenance personnel and inspectors in order to perform the analysis of failure modes and effects is carried out. The following is to collect time data between failures and repair times of components, assisted by the maintenance department, with these indicators of reliability are calculated through the Weibull graphical distribution and analyzes the data that is performed the software will run isograph Availability Workbench in demonstration. These indicators describe how each component behaves so we can reduce the critical NPR general FMEA, in order to attack these failure modes and correct intervention times the team to improve reliability. Finally, the project presents the analysis and evaluation of the actions taken.

* **Degree Work**

****Faculty of Physics Mechanical Engineering School of Mechanical Engineering.**

Director: Ing. Iván Darío Gomez

INTRODUCCION

La demanda actual y el futuro de alta calidad que impone a las empresas la necesidad de modernización y mejoramiento, con el fin de elevar su productividad y condiciones competitivas, hace obligatorio la existencia de buenas políticas de mantenimiento dentro del departamento encargado de dicho servicio. Por esta razón es necesario implementar herramientas y estudios que permitan optimizar los procesos siempre pensando en la satisfacción del cliente, los objetivos misionales de la empresa y la confiabilidad de los equipos.

AEROHIDRAULICOS LTDA es una empresa con 20 años de experiencia dedicada al mantenimiento de equipos hidráulicos de aviones y helicópteros, la cual se ha mantenido competitiva gracias a la constante inversión en tecnología que realiza; a su visión para reconocer las falencias de su proceso de mantenimiento, a su personal altamente calificado y el compromiso con el mejoramiento continuo.

El mantenimiento de Aerohidraulicos Ltda, debe obedecer a esta renovación en políticas de mantenibilidad y apoyarse en la confiabilidad, que es una metodología de análisis que se soporta en una serie de herramientas que permite evaluar los sistemas no solo en el presente sino a futuro basado en el estudio de las fallas en los equipos. Son múltiples los mecanismos con los que cuenta la confiabilidad con el fin de proponer planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento, evitando disminución en la calidad que se refleja en el aumento del costo del mantenimiento final, ya que equipos en mal estado generan disminución en la capacidad y baja confiabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior se evidencia la necesidad de optimizar la interpretación del registro de fallas mediante un análisis implementando un modelo

de confiabilidad para que el aporte informático en la gestión de mantenimiento se convierta en un valor agregado real para la empresa.

El presente trabajo pretende mediante la implementación de un análisis de modos y efectos de falla, la comprensión de los fenómenos de falla de los equipos con modelos probabilísticos, controlar y mejorar los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos que pertenecen a los procesos aeronáuticos, permitiendo al departamento de mantenimiento una adecuada planificación, programación y ejecución de los trabajos de mantenimiento ; ya que estos son equipos de alta relevancia y grado de confiabilidad en los cuales detener su servicio perjudica de gran manera el transcurrir normal de las operaciones aeronáuticas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Aerohidraulicos Ltda. Es una empresa aeronáutica que se encarga de efectuar el mantenimiento a los componentes hidráulicos de los aviones y helicópteros, una vez reparados se realizan pruebas funcionales en los bancos hidráulicos JG001 banco de pruebas de accesorios hidráulicos con una capacidad de 0 a 5000 psi y un banco de pruebas de bombas hidráulicas JG002 con una capacidad de 0 a 5000 psi, 7500 rpm y 10 gpm.

En el sistema de mantenimiento actual, hay componentes hidráulicos con una baja confiabilidad, esto debido a fallas que se presentan en la operación y al reparar un componente hidráulico; ya que, una vez iniciadas las pruebas funcionales en el banco hidráulico se evidencian fallas en el componente teniendo que suspender la prueba, incurriendo esto en tiempo, desgaste para el operario y costos operacionales para la empresa, ya que no se cuenta con un procedimiento o análisis de fallas para analizar y corregir estas, como no se cuenta con una metodología que nos permita tener un protocolo para el análisis de estas fallas, se incurre en la afectación de la confiabilidad de estos, al momento de que el operador reporta la falla del componente y la posterior prueba en los bancos hidráulicos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Proponer una metodología para optimizar la confiabilidad de los modos de falla a los componentes hidráulicos que se prueban en los bancos de Aerohidraulicos Ltda.; con el fin de lograr una mejor gestión de mantenimiento

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los componentes hidráulicos a los que se les efectuara el análisis de fallas.

- Efectuar un análisis de modo de falla y efecto, que nos permita determinar, clasificar, ponderar y priorizar estos fallos, de los componentes hidráulicos sometidos a los bancos de prueba JG001 y JG002 de Aerohidraulicos Ltda.

- Proponer acciones de mejora de optimización

1.2 JUSTIFICACION DE LA SOLUCION

Con el desarrollo de esta propuesta se busca identificar, evaluar, ponderar y prevenir los fallos que se vienen presentando en algunos componentes hidráulicos a analizar que se prueban en los bancos hidráulicos; para así, controlar a nivel de planes de mantenimiento, las actividades del taller aeronáutico de componentes hidráulicos. Con el desarrollo eficaz de la metodología a proponer, se busca mitigar y reducir la probabilidad de fallo, cada que permitan visualizar el estado de los equipos inherentes a su mantenimiento, mejorando el desempeño, calidad y alargando el tiempo de vida útil de los mismos, buscando proporcionar a los técnicos aeronáuticos y a los clientes una mayor confiabilidad, seguridad durante la operación y manipulación de los componentes.

La Importancia de esta monografía denota solo la definición del término. Aquellos equipos cuyas fallas se dicen que afectan severamente, probablemente y detectablemente el estado deseado del sistema y se catalogan de ser los más importantes debido a que nos afectan los modos de fallo los cuales hay que revisar a fondo, según el grado de criticidad como un resultado de evaluación. Según esta

es donde se toman los más críticos, se analizan y se vuelven a evaluar como una parte de solucionar estos modos de falla que nos afectan la función del equipo al momento de probarlos en los bancos hidráulicos de la empresa Aerohidraulicos Ltda y teniendo en cuenta un análisis de confiabilidad.

2. DESCRIPCIÓN DE AEROHIDRAULICOS LTDA Y DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

AEROHIDRAULICOS LTDA, busca ofrecer a las empresas de aviación, servicios con altos estándares en calidad, para aprovechar la excelente experiencia del personal capacitado, en el mantenimiento de equipos aeronáuticos y poner a disposición nuestros equipos optimizados, que brindaran beneficios a las empresas. Somos una empresa que brinda calidad y confiabilidad, con **Certificado de Funcionamiento CDF No. 103** Expedido por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil de Colombia – UAEAC, Fundada en el año 2006 por Tecnólogos Hidráulicos en aviación e Ingenieros mecánicos, con una experiencia en el campo aeronáutico de más de veinticinco años, contamos con personal altamente capacitado y confiable, profesional y licenciado para efectuar las diferentes actividades y servicios que ofrecemos. Todos ellos comprometidos con el único objetivo de brindar un servicio de calidad y confiable a la aviación civil y aviación militar. La Empresa tiene una figura jurídica y es de una sociedad comercial denominada Aerohidraulicos Ltda.

La sociedad tiene como objeto principal servicios técnicos, reparación, mantenimiento e inspección de accesorios en sistemas hidráulicos. Venta suministro de repuestos, contrataciones y licitaciones. Entre otras actividades comerciales.

2.1 MISIÓN

Satisfacer las necesidades, requerimientos y expectativas en el área de hidráulicos para lograr que las aeronaves de su empresa estén en condiciones óptimas de vuelo mediante una efectiva planeación, organización, control de los repuestos y componentes reparados. Ofreciendo una excelente calidad en los servicios y

reparaciones en el área de sistemas hidráulicos manteniendo un alto grado de seguridad aérea.

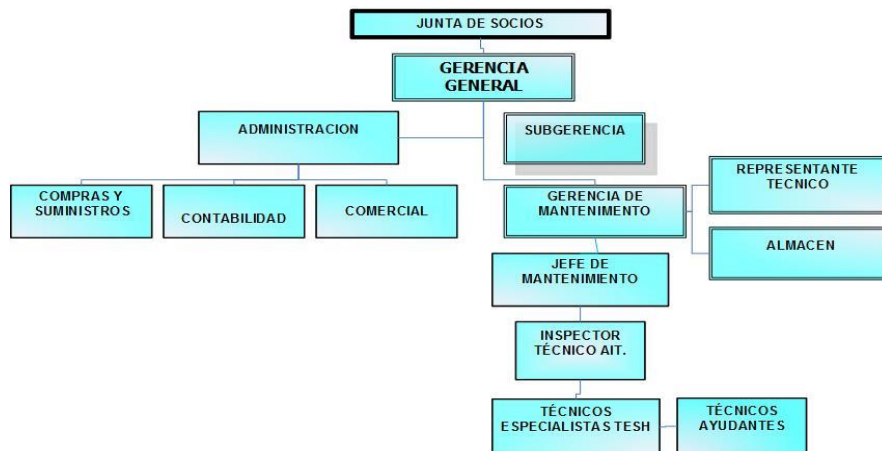
2.2 VISIÓN

Seremos una unidad líder en el campo aeronáutico con el mejor talento humano profesional y especializado, con una organización ágil y moderna que nos permitirá crecer y desarrollarnos ampliamente, creando un alto grado de confiabilidad en todos los trabajos desarrollados por parte de la especialidad, asegurando condiciones óptimas de vuelo y un excelente mantenimiento, abastecimiento y conservación de los componentes del sistema hidráulico.

2.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Es una estructura piramidal, en la cual en su parte superior se encuentran los líderes de la dirección y los líderes por departamento en la empresa. El grupo de mantenimiento que comprende los inspectores y técnicos son los que ayudan al desarrollo de la empresa.

Figura 1. Organigrama general



Fuente. MPI Aerohidraulicos Ltda

2.4 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS

La capacidad de producción y servicio que puede brindar la Empresa con el personal profesional capacitado con el que contamos, las instalaciones, bancos de prueba de accesorios hidráulicos y banco de prueba de bombas hidráulicas, herramienta especial y equipos, tiene la capacidad de:

- * Overhaul, Reparación, prueba e inspección, de componentes hidráulicos de aviones y helicópteros
- * Overhaul, Reparación, prueba e inspección, de bombas hidráulicas de aviones y helicópteros.
- * Mantenimiento, Reparación, prueba e inspección de equipo ETAA. (Gatos hidráulicos, plantas hidráulicas, entre otros)

2.5 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

El Inspector Técnico responderá ante el Gerente de mantenimiento, por el cumplimiento total de todos los procedimientos de inspección instaurados en el manual de procedimientos de inspección (MPI) de la empresa y el manejo de los mismos durante la realización de los trabajos en el taller. El representante Técnico del taller aeronáutico de reparaciones (TAR), informara a la unidad administrativa de aeronáutica civil (UAEAC), sobre cualquier cambio por medio de un informe escrito solicitada a esta.

El personal de inspección y mantenimiento del taller debe tener la licencia de Inspector Técnico (AIT) y sus habilitaciones en hidráulicos vigentes de acuerdo al regulaciones aeronáuticas colombiana (RAC), el personal técnico debe tener la

licencia de técnico especialista en sistemas hidráulicos (TESH) y sus habilitaciones en hidráulicos vigentes de acuerdo a las regulaciones aeronáuticas colombiana (RAC), además debe tener conocimiento de todos los métodos de tácticas de mantenimiento y equipos de inspección, para cumplir con la calidad de aeronavegabilidad establecidas para los componentes hidráulicos según lo mandatorio en el manual de mantenimiento de estos, debe conocer los equipos de prueba requeridos para el mantenimiento de los componentes

El inspector AIT del TAR verificara que se hayan cumplido cada uno de los pasos de inspección, reparación y/o overhaul dando cumplimiento a las directivas de aeronavegabilidad, boletines y cartas de servicio de cada componente hidráulico, para poder dar liberación al servicio del componente y el MGM del operador, que el AIT del TAR deberá firmar y aprobar, llenando, verificando los datos de los formatos con la documentación que corresponda, verificando que los trabajos realizados a los accesorios autorizados por la UAEAC estén dentro de las especificaciones de operación y que los trabajos de mantenimiento e inspección se ejecutaran de acuerdo a la reglamentación tanto de la empresa como de la aeronáutica civil colombiana.

2.6 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACION

El Inspector Técnico (AIT) es el responsable de verificar uno a uno los pasos seguidos en el taller aceptados de acuerdo a las especificaciones de los manuales, boletines, cartas, datos de ingeniería, directivas u otros documentos técnicos aprobados y aplicables a lo relativo de la reparación o inspección de cada equipo.

En el TAR el inspector autorizado por la unidad aeronáutica civil especializada (UAEAC) será el responsable de seguir la inspección durante las siguientes etapas:

- Limpieza, desarme y reparación del componente o parte admitido por el taller para la ejecución del trabajo a realizar, según sea el caso y originar los reportes de las discrepancias encontradas. Estos procedimientos de ejecución de estos trabajos se podrán registrar en la orden de trabajo.

La responsabilidad ampara tanto al Inspector Técnico, como al Técnico especialista quienes cumplen los trabajos de acuerdo a las especificaciones de los manuales, describiendo como están previstos en los registros, como se efectúa el mantenimiento del accesorio, que documentos se deben elaborar, junto con sus respectivas certificaciones.

El inspector deberá garantizar la utilización correcta de los manuales o documentos técnicos, por parte del técnico que está ejecutando el trabajo controlando los métodos, técnicas, prácticas, pruebas y procesos descritos en el manual teniendo en cuenta los boletines, ordenes de ingeniería y documentos aprobados por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) para avalar la salida y aeronavegabilidad del componente.

El inspector tendrá la labor de estar presente y observar que el trabajo es ejecutado por el técnico, y continuar atento en caso de cualquier consulta. Este a la vez vigilara y ratificara que solo las partes y materiales certificados se utilicen en la reparación, mantenimiento y /o calibración del equipo

Dentro del mantenimiento de los componentes se debe verificar la calibración vigente de las herramientas o equipos que se utilicen para el mantenimiento de estos.

El técnico que efectúa el trabajo estará en la obligación de seguir las instrucciones del fabricante, además de conservarlas en un sitio de trabajo legible como guía hasta la terminación del trabajo, y se asegurara que el manual este actualizado,

completo y que disponga de toda la documentación requerida para realizar el trabajo, en la situación que no se cumpla esto no podrá ejecutar el trabajo y deberá informar al director control calidad o al inspector del taller.

El técnico tendrá la labor de llenar completamente los formularios de trabajo con su nombre firma y número de licencia, si al diligenciar los formularios el técnico presenta dudas, deberá preguntarle al inspector encargado antes de que sea recibido por este, así mismo el inspector deberá recibir el trabajo certificándolo con su nombre, firma y numero de licencia previo a la liberación al servicio del componente.

2.6.1 Sistema de inspección. El inspector del taller de reparación (TAR) en la elaboración de cualquier trabajo de mantenimiento deberá cumplir las siguientes especificaciones:

- Inspección de recibo
- Orden de trabajo
- Inspección preliminar
- Inspección por daños ocultos
- Seguimiento de la inspección o continuidad del trabajo en el mantenimiento
- Registros de inspección y mantenimiento
- Cumplimiento del mantenimiento
- Inspección final
- Liberación al servicio

2.7 INFRAESTRUCTURA TÉCNICA

En su infraestructura técnica Aerohidraulicos Ltda., cuenta con dos (2) bancos de prueba de componentes hidráulicos, los manuales técnicos de los bancos reposan en la biblioteca técnica de Aerohidraulicos Ltda. Estos bancos hidráulicos trabajan con un aceite especial que es el usado por los aviones y helicópteros, cuya descripción es aceite hidráulico MIL-H-5606 (ROYCO 756), cuyas características y especificaciones se encuentran en el anexo A de este proyecto.

2.7.1 Banco hidráulico JG-001. El banco hidráulico JG-001, cuyo uso es para pruebas y chequeos de componentes hidráulicos de aviones y helicópteros. Posee un sistema doble, que permite trabajar en dos sistemas diferentes a la vez.

El banco tiene una capacidad de 0 psi a 5000psi con una máxima salida de 10GPM, un rango de operación de - 10°C a 70°C. Es utilizado como un banco estacionario en nuestra empresa, el cual se utiliza como:

- Prueba de componentes hidráulicos
- Funcionamiento y regulaciones
- Prueba de fugas
- Resistencia por presión
-

En la figura No. 2, se muestra el banco de prueba de componentes hidráulicos de aviones y helicópteros perteneciente a la empresa Aerohidraulicos Ltda.

Figura 2. Banco hidráulico para prueba de accesorios hidráulicos de aviones y helicópteros JG-001



Fuente. MPI Aerohidraulicos Ltda.

2.7.2 Banco hidráulico JG-002. El banco hidráulico de bombas JG-002, cuyo uso es para pruebas, regulaciones y chequeos de bombas hidráulicos de aviones y helicópteros.

Es utilizado como un banco estacionario en el taller de reparación (TAR), el propósito del sistema hidráulico es llevar a cabo pruebas y servicios de operación como:

- Prueba, funcionamiento y regulaciones
- Prueba de fuga y resistencia
- Inspección de rangos de operación

En la capacidad del banco de bombas, este puede recibir una presión máxima de 5000psi y 15gpm de generación de estas. La potencia que entrega el motor eléctrico a la bomba hidráulica será de 1 a 15hp y de 0 a 7500rpm, según sea el requerimiento de cada bomba hidráulica, el motor va acoplado al banco hidráulico y conectado a un variador de velocidad micro master vector marca Siemens, en el cual se controlan las funciones del motor. La bomba hidráulica va engranada al motor por medio de un piñón y plato de fijación o anillo de soporte según sea las características de la bomba.

Figura 3. Banco para prueba de bombas hidráulicas de aviones y helicópteros JG-002



Fuente. MPI Aerohidraulicos Ltda.

3. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES A LOS QUE SE LES REALIZA EL ANALISIS DE FALLA (FMEA)

Los equipos hidráulicos que se prueban en los bancos hidráulicos JG-001 y JG-002 de AEROHIDRAULICOS LTDA se describen y se clasifican a continuación:

- Bomba hidráulica
- Cilindro hidráulico
- Válvulas
- Tren de Nariz

3.1 BOMBA HIDRÁULICA DE PISTONES

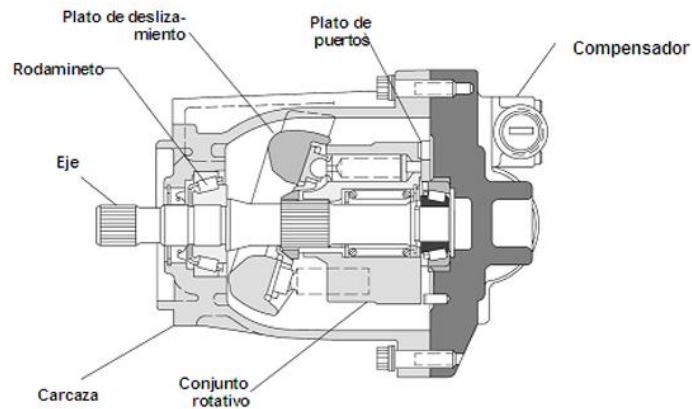
Las bombas de pistones axiales poseen varios pistones que están colocados paralelamente al árbol de accionamiento. Están disponibles o bien como bombas de caudal variable o como bombas de caudal fijo.

Las bombas ajustables de pistones axiales funcionan según el principio de plato oscilante. Regulan el caudal geométrico de máximo a cero. Como resultado varían el caudal que se pone a disposición de los consumidores.

Las bombas de pistones axiales y caudal fijo funcionan según el principio de plato oscilante. Poseen un caudal constante, por lo que suministran un caudal que se mantiene constante con un número de revoluciones determinado.

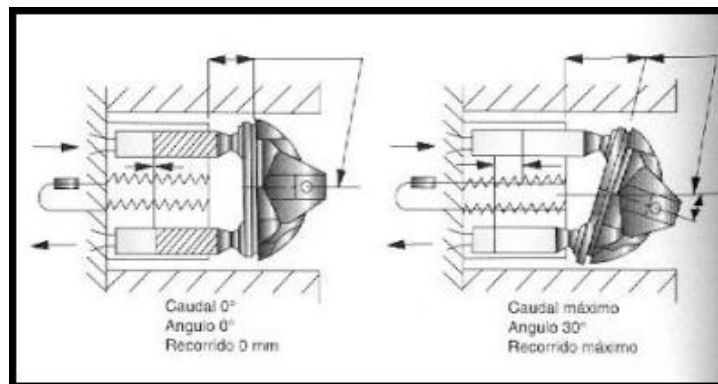
El conjunto rotativo consiste de: El plato de presión, el barril de los pistones, los pistones, las zapatas de los pistones, el plato de deslizamiento y el eje motriz. Los pistones viajan dentro de los agujeros cilíndricos del barril succionando y descargando el aceite mientras que el conjunto rotativo rota por acción del eje que a su vez es movido por la fuente de potencia.

Figura 4. Descripción bomba de pistones axiales



Fuente. <http://www.hidraulicapractica.com/es/eq-movil/como-funciona-una-bomba-de-pistones-hidraulica>

Figura 5. Bomba de pistones caudal

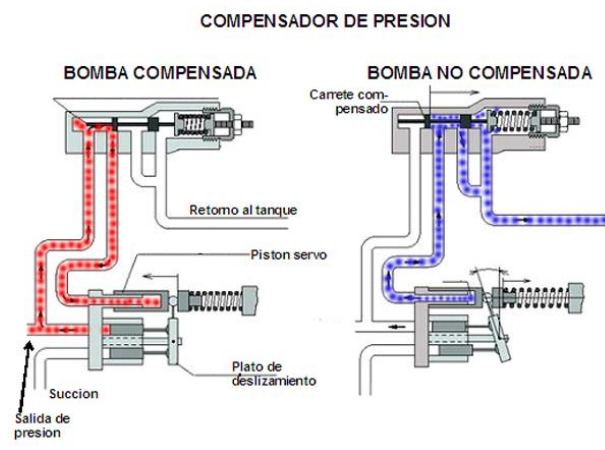


Fuente. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_23_bombas_de_piston.html

El control, también llamado Compensador es generalmente un elemento exterior que se pega a la carcasa de la bomba. El compensador puede tener muchísimas variaciones, algunas de ellas muy complejas, pero podemos decir que en general, es el que controla la máxima presión, el flujo que la bomba entrega, y en otros casos el máximo torque y más aún, la potencia.

El compensador es capaz de hacer todas esas funciones porque controla la posición del plato de deslizamiento, o en otras palabras, controla el ángulo que tiene con respecto al eje de giro de acuerdo a las demandas del sistema hidráulico.

Figura 6. Bomba axial compensadora de presión

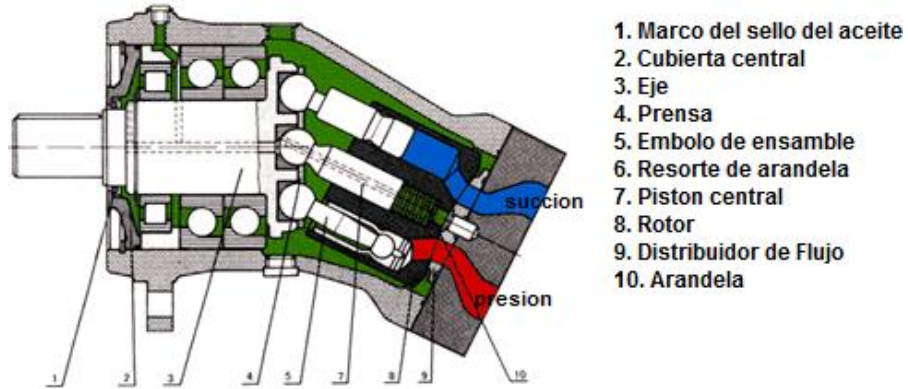


Fuente. <http://www.hidraulicapractica.com/es/eq-movil/como-funciona-una-bomba-de-pistones-hidraulica>

La bomba hidráulica con pistón eje inclinado. El aceite a presión que fluye desde la entrada empuja el pistón contra la brida y la fuerza resultante en la dirección radial hace que el eje y el bloque del cilindro giren en la dirección de la flecha. Este tipo de bomba es muy conveniente para usos a alta presión y a alta velocidad. Es posible modificar su capacidad al cambiar el ángulo de inclinación de la bomba.

Girando el eje motor; el cilindro es arrastrado sin cardán a través de pistones articulados y comienza a rotar. En los agujeros del cilindro los pistones recorren una carrera, cuya magnitud depende del ángulo de inclinación del eje inclinado. El fluido es conducido hacia la bomba del lado de baja presión (entrada) y transportado por los pistones del lado de alta presión (salida) hacia el sistema

Figura 7. Bomba de pistón eje inclinado



Fuente. <http://www.motor-manufacturer.es/5-1-axis-pump-motor.html>

3.2 CILINDRO ACTUADOR HIDRAULICO

Un cilindro actuador hidráulico es un componente que convierte la potencia fluídica en fuerza mecánica y movimiento lineal. Usualmente consiste de una elemento movable, como un pistón, un vástago, etc., actuando dentro de un cilindro.

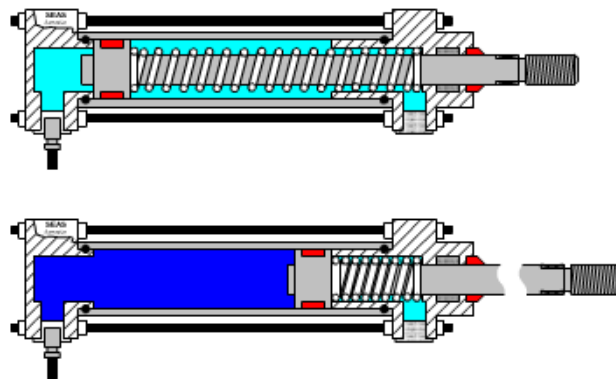
3.2.1 Tipos de cilindros según el recorrido del pistón. Los cilindros pueden ser de acción única (de simple acción), de doble acción y cilindro amortiguador.

3.2.2 Cilindros de acción sencilla. Los cilindros de simple acción usan la potencia fluídica solo en una dirección, ya que el pistón regresa a su posición inicial por la gravedad mediante una carga o mediante un resorte.

Los cilindros de acción sencilla, con regreso de resorte se usan en aplicaciones en las cuales no hay carga sujeta en la contracción del pistón.

Los cilindros de acción sencilla de regreso por gravedad se usan en equipo móvil, en las granjas y otras aplicaciones en las cuales se esté controlando cargas a suspenderse o moverse verticalmente. El fluido (impulsado por una bomba) entrando a la cámara del cilindro hace que el pistón suba y suba la carga y posteriormente, cuando la carga ya fue “descargada” o procesada, el fluido es evacuado de la cámara usando una válvula de control, lo que permite que el pistón baje nuevamente

Figura 8. Cilindro de simple efecto



Cilindro de simple efecto tipo "dentro".

Fuente.<http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%204.pdf>

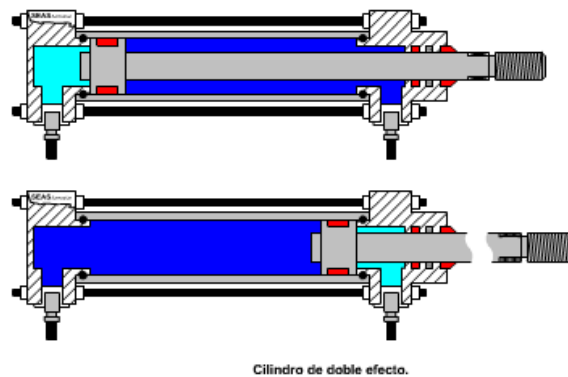
3.2.3 Cilindros de doble acción. Los cilindros de doble acción usan la potencia fluidita en ambas direcciones y pueden ser de dos tipos, de vástago sencillo o de vástago doble. Los de vástago sencillo son los más comunes en la industria. Si el vástago es sencillo, puede ser que la fuerza de un lado no sea la misma que del otro, debido a la diferencia de áreas, lo que implica también, que la velocidad de contracción, podría ser diferente a la velocidad de expansión.

El principio operacional es que el fluido impulsado por una bomba y controlado por una electro válvula (válvula de control) entra por un puerto a la cámara A y obliga al arreglo pistón-vástago a moverse hacia un lado ejerciendo mediante esta acción, el trabajo deseado. El fluido, al otro lado del pistón en la cámara B, se evacua hacia

un tanque, controlado por el mismo electro válvula. Cuando el electro válvula cambia de sentido, fluido comienza a entrar por el lado opuesto (en la cámara B), obligando al pistón a moverse nuevamente para atrás y volver a su posición inicial, evacuándose así el fluido de ese lado (cámara A) nuevamente al tanque; luego, este ciclo comienza nuevamente.

Este tipo de cilindros usa generalmente un gran área para desarrollar la mayor potencia requerida en un circuito reciproco.

Figura 9. Cilindro de doble efecto



Fuente.<http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%204.pdf>

3.2.4 Cilindro amortiguador. Cuando un cilindro en movimiento llega a un extremo muerto (como sucede al final de la carrera del cilindro), la acción que experimenta se conoce como “carga de choque”. Cuando un cilindro está sujeto a una carga de choque, se usan amortiguadores para minimizar el efecto.

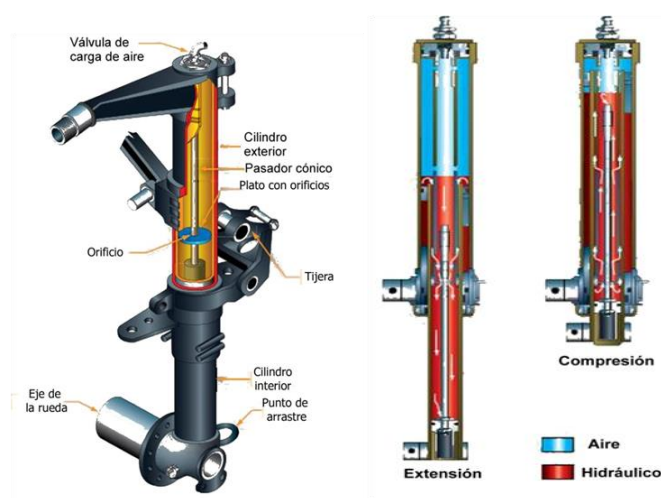
Cuando el pistón se aproxima al final de la carrera, el amortiguador se mueve dentro del conducto de aceite que en ocasiones es mezclado con nitrógeno del retorno y restringe el flujo de aceite de retorno del cilindro. La restricción produce un aumento de la presión de aceite de retorno entre el conducto del aceite (puede ser mezclado con nitrógeno que nos crea un mayor colchón de amortiguación) de retorno y el

pistón. El aumento de la presión de aceite produce un “efecto de amortiguación” que reduce el movimiento del pistón y minimiza el choque que ocurre al final de la carrera.

Los amortiguadores de los aviones, excepto raras excepciones, no llevan incorporados muelles. No son amortiguadores realmente, sino que controlan las cargas. Constan básicamente de un cilindro exterior, la pata del tren de aterrizaje, y otro interior al que va unida la rueda. Interiormente existen dos cámaras de volumen variable, una de aire a presión y otra con líquido hidráulico. Estas dos cámaras están unidas a través de un orificio. Dentro de este orificio, y sujeto al cilindro interior se desplaza una aguja reguladora que controla el paso del líquido hidráulico de una cámara a otra.

Con el avión en tierra el amortiguador está extendido lo necesario para absorber las cargas ejercidas sobre el tren de aterrizaje cuando se desplaza el avión y el líquido hidráulico permanece en la parte inferior. Cuando el avión despegue se extiende el amortiguador y, al disminuir el tamaño de la cámara del líquido, éste es forzado a pasar, a través del orificio cuyo paso está controlado por la aguja reguladora, a la cámara de aire. De esta forma se consigue que el amortiguador se extienda suavemente. En el aterrizaje ocurre lo contrario, la cámara del aire se reduce al comprimirse el amortiguador y el líquido pasa a su cámara, también a través de orificio controlado por la aguja reguladora. De esta forma se absorbe el impacto del avión contra el suelo.

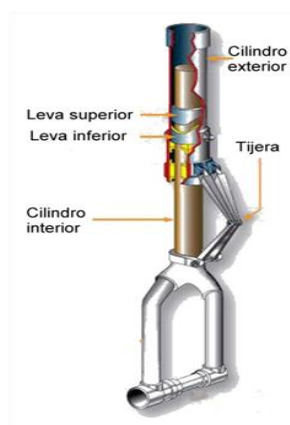
Figura 10. Cilindro amortiguador extensión y compresión tren principal



Fuente. <http://www.aama.es/aama/los-amortiguadores-de-los-aviones/>

Para evitar el giro del cilindro interior, ambos cilindros van unidos por medio de una tijera. La descripción corresponde al amortiguador básico, a partir de este principio los amortiguadores se hacen cada vez más complicados.

Figura 11. Cilindro amortiguador tren de nariz



Fuente. <http://www.aama.es/aama/los-amortiguadores-de-los-aviones/>

Como complemento, en el amortiguador de la pata de morro va incorporado una leva autocentrante, que al extenderse encaja de forma que la rueda de morro no entre atravesada en su alojamiento.

3.3 VALVULAS HIDRAULICAS

Las válvulas son usadas en nuestros sistemas hidráulicos para controlar el funcionamiento de los actuadores. Las mismas se utilizan en un circuito hidráulico para regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite.

Las válvulas estas divididas en tres categorías generales: las de control de presión, las de control de flujo y las de control direccional.

- **VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN:** diseñadas para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido. Su misión es evitar la explosión del sistema protegido o el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión.
- **VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO:** Usada para regular o controlar el flujo de un líquido a través de un sistema. Por lo general, ese sistema tiene un propósito industrial.
- **VÁLVULAS DE CONTROL:** son las que controlan los actuadores dirigiendo su funcionamiento en una dirección u otra, permitiendo el bloqueo del paso de aceite hidráulico, tanto con presión como succión y retorno al tanque.

Las de tipo manual y automáticas en las cuales se desglosan otros tipos de válvulas como: válvula de regulación, control y bloqueo, válvula reguladora unidireccional, válvulas de regulación de caudal, Válvulas reguladoras de presión, etc.

Este tipo válvulas presentan la característica de accionamiento asistido, siendo desplazado el obturador electrohidráulicamente o con la ayuda de un servomotor

donde es necesario aplicar grandes esfuerzos, tal y como puede suceder en superficies de aviones y helicópteros.

3.4 TREN DE NARIZ

Es el conjunto de ruedas, soportes, amortiguadores y otros equipos que un avión utiliza para aterrizar o maniobrar sobre una superficie. Aunque por su denominación, el tren de aterrizaje parece sugerir una única función a este sistema, realmente cumple varias funciones: sirve de soporte al aeroplano, posibilita el movimiento del avión en superficie (incluyendo despegues y aterrizajes) y amortigua el impacto del aterrizaje. Las operaciones en superficie exigen del tren de aterrizaje capacidades de direccionamiento, frenado y para amortiguar el aterrizaje debe ser capaz de absorber impactos de cierta magnitud. Se clasifican en tren fijo y tren retráctil:

Los trenes fijos son los que, durante el vuelo se encuentran permanentemente expuestos a la corriente de aire. Se usan solamente en aviones livianos y ultralivianos de baja velocidad donde el aumento de peso por la instalación de un sistema de retracción influirá desfavorablemente sobre el peso total y la ganancia en velocidad no mejoraría mucho las prestaciones.

Los trenes retráctiles son los que no están expuestos al aire sino que están guardados en la parte estructural del avión. El piloto desde la cabina de mando con un mando hace posible que el tren de aterrizaje pueda contraerse escondiéndose en el interior de la aeronave, así cuando el avión tiene que aterrizar el piloto con el mismo mando hace posible que el tren de aterrizaje se extienda y así la aeronave pueda aterrizar.

En algunas ocasiones el tren de aterrizaje de nariz tiene dos o más ruedas y el principal puede tener de dos ruedas en adelante, ya que es el que soporta grandes fuerzas en el momento del aterrizaje. Debido a que el tren de aterrizaje utiliza

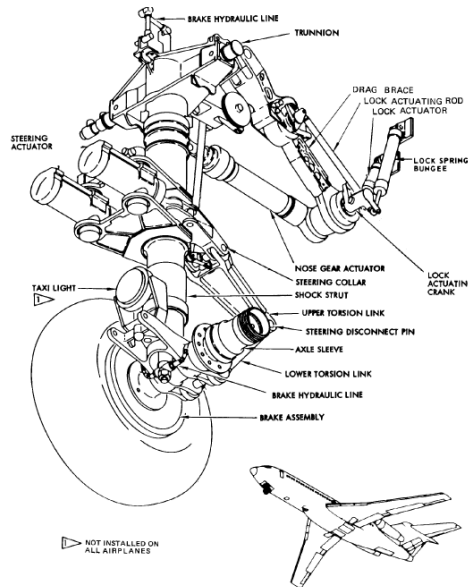
componentes pesados, los sistemas retráctiles de operación manual ya no se utilizan, ya son asistidos de manera eléctrica o hidráulica. Los sistemas hidráulicos son más utilizados y un actuador puede mover grandes masas, aunque estos sistemas son más complicados ya que contienen muchos tubos, mangueras, uniones, válvulas, reguladores, bombas hidráulicas, sensores eléctricos, etc.

Los trenes de aterrizaje retráctiles siempre tienen un sistema de respaldo en caso de que falle el principal, con lo que siguiendo una secuencia de operaciones se puede liberar la presión hidráulica y los ganchos que mantienen al tren de aterrizaje arriba, y ya puede bajar por gravedad en algunos casos, en otros se bombea manualmente para bajarlo o en otros hay otro sistema hidráulico de respaldo que puede suministrar la presión necesaria para bajarlo; algunos aviones están equipados con nitrógeno para en una emergencia, éste puede mover los actuadores y bajar el tren de aterrizaje

El tren de nariz es el que da dirección al avión en tierra por medio de mecanismos de este, tanto internos como externos y el shimmy damper que es una unidad hidráulica individual, que resiste repentinas cargas de torsión aplicadas a la rueda frontal durante las operaciones en tierra, accionando y permitiendo un giro suave de la misma. Por esto podemos catalogar el tren de nariz como un conjunto entre mecanismos, cilindros y estructura

El tren de nariz cuenta con un drag brace, un shock strut y un torsion link el drag brace sostiene al tren de nariz en la posición de arriba o abajo. El shock strut del tren de nariz es el miembro del soporte principal contiene un cilindro interno y uno externo, el torsión link del tren de nariz previene la rotación no controlada entre el cilindro interno y el cilindro externo del shock strut el enlace superior esta añadido al collar de dirección y el enlace inferior es atornillado en el cilindro interior.

Figura 12. Tren de nariz



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/37163153/Sistema-Equipo-Tren-de-Aterrizaje>

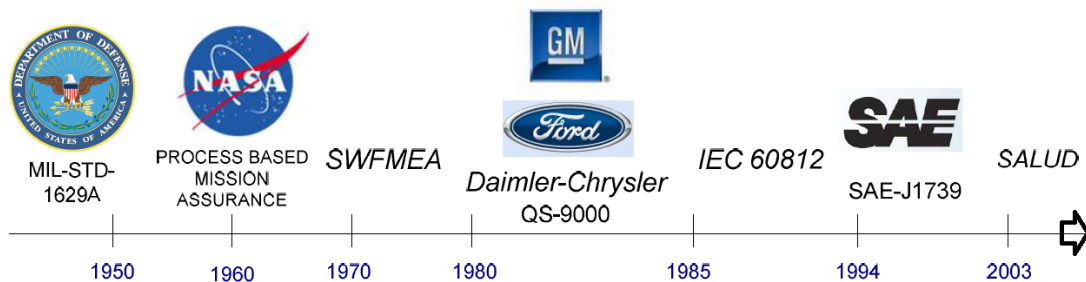
La retracción del tren de nariz y las puertas del poso de la rueda principal son manejadas hidráulicamente es suministrado por el sistema, gracias a una bomba hidráulica. La extensión y retracción del tren de nariz es controlada por la válvula selectora. Actuadores con acción de rechazo para prevenir cargas de impacto al final del ciclo de retracción en conjunto con vigas para levantar, en el tren de nariz hay una válvula bypass para prevenir que pase presión de hidráulico antes de que el tren sea desasegurado por un actuador. La retracción y extensión del tren, y el mecanismo de cierre de las compuertas del tren de aterrizaje están controlados por la palanca de control del tren de aterrizaje. Un sistema de energía hidráulica acciona el tren, las trabas de puertas, actuadores hidráulicos, frenos y el sistema direccional de la rueda frontal.

4. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS (FMEA)

4.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA Y NORMAS DESARROLLADAS

El FMEA fue desarrollado originalmente por el ejército de Estados Unidos, a través del procedimiento o normativa militar MIL-P-1629, titulado “Procedimiento para la ejecución del Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad”, citado un noviembre de 1949. El método fue usado como técnica de evaluación de confiabilidad para determinar los efectos de las fallas de equipos y sistemas. Las fallas fueron clasificadas según su impacto en el éxito de las misiones militares, seguridad del personal y equipo. El procedimiento militar MIL-P-1629 ha funcionado como un modelo para las últimas normas militares MIL-STD-1629 y MIL-STD-1629A que ilustran los procedimientos de FMEA ampliamente usados.

Figura 13. Evolución histórica de normativas desarrolladas del FMEA



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

Fuera del ejército la aplicación formal del FMEA adoptó primero la Administración Nacional de Espacio y Aeronáutica NASA, dónde el FMEA se usó durante las misiones Apolo en 1960. Hasta este día la NASA utiliza esta herramienta en su proceso basado en aseguramiento de misión denominado “Técnica tabular que

explora los modos en los cuales elementos de sistema pueden fallar y evaluando consecuencia de estas fallas”. A finales de 1960 e inicios de 1970 varias sociedades profesionales publicaron procedimientos formales para la ejecución del análisis. La naturaleza genérica del método asistió la rápida expansión del FMEA a diferentes áreas de aplicación. Junto con la revolución digital, el FMEA fue aplicado en el análisis de sistemas basados en software, apareciendo al respecto el análisis de modos de falla y efectos de software SWFMEA.

En 1980, las compañías automotrices de los Estados Unidos empezaron a incorporar formalmente al FMEA en su proceso de desarrollo del producto. Un grupo de trabajo representando a la Corporación de Chrysler, Ford y General Motors desarrolló la norma QS-9000 en un esfuerzo por estandarizar los sistemas de calidad de proveedores.

Aun cuando no existe una normativa explícita para SWFMEA, el estándar publicado por la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 60812 publicada en 1985 es principalmente una guía para análisis de riesgo y es a menudo referencia cuando se ejecuta un FMEA para sistemas basados en software.

La QS-9000 es una analogía automotriz de la norma ISO 9000. La QS 9000 adaptable para proveedores automotrices debe utilizar el FMEA en procesos avanzados de planificación y control de calidad. El esfuerzo hecho por el grupo de trabajo dirigió a un estándar amplio de FMEA, la norma SAE J-1739 publicada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices SAE en 1994.

Desde el año 2003, la industria de la salud ha adoptado el FMEA como una herramienta de mejora de procesos en el diseño de facilidades del cuidado de salud aspirando a reducir las fatalidades causadas por prevenibles errores médicos.

4.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL FMEA

4.2.1 Definición del análisis de modos de falla y efectos. El FMEA es una de las técnicas de trabajo en equipo, estandarizado, cualitativo, de metodología inductiva más beneficiosa y productiva en la adecuada estructuración de programas de predicción de confiabilidad, de implementación de mantenimiento, de aseguramiento de calidad y de evaluación de riesgo mejor adaptada para sistemas mecánicos y eléctricos. El Análisis de del Modo y Efectos de Falla es un grupo sistematizado de actividades para:

- Reconocer y evaluar fallas potenciales y sus efectos.
- Identificar acciones que reduzcan o eliminen las probabilidades de falla.
- Documentar los hallazgos del análisis.

4.2.2 Propósitos del método FMEA. Mediante un análisis lógico, sistemático y estructurado los principales propósitos del FMEA son:

- a) Examinar cada elemento o parte constitutiva de un sistema identificando, listando y evaluando posibles fuentes indeseadas de falla de componentes
- b) Determinar y evaluar el grado de severidad de los efectos o consecuencias locales y sobre la operación del sistema completo.
- c) Determinar las causas o mecanismos que originen la falla.
- d) Identificar acciones correctivas que podrían prevenir, eliminar o mitigar posibles fallas potenciales, es decir aquellas fallas que tienen una muy considerable probabilidad de ocurrencia.
- e) Identificar controles que mejoren la posibilidad de detectar fallas tempranas.
- f) Documentar todo el proceso desarrollado. Una parte importante del FMEA también incluye analizar la criticidad, involucrando cuán perjudicial son los efectos

de los modos de falla sobre la operación del sistema, la cual se estima con niveles de ocurrencia y severidad de los diferentes efectos de falla.

Cuando la criticidad es considerada en un FMEA, el nombre es cambiado a Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) y una sección adicional es añadida en el procedimiento y en el formato tabular del FMEA.

Hoy en día, el FMEA es a menudo usado intercambiamente con el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad FMECA, la distinción entre los dos términos ha sido empañada. En este documento, el término FMEA es usado en un sentido general donde se incluye tanto FMEA como FMECA.

4.3. BENEFICIOS DESTACABLES DEL FMEA

El Análisis de Modos de Falla y Efectos FMEA dará importancia a fallas en puntos individuales que requieran acciones correctivas, ayudará en el desarrollo de métodos de prueba y técnicas de resolución de problemas, proveerá un fundamento para análisis de confiabilidad, mantenibilidad y seguridad, proveerá estimaciones de tasas de falla de sistemas críticos, proveerá un ordenamiento cuantitativo de los modos de falla de un sistema o subsistema relativos a la importancia de la misión.

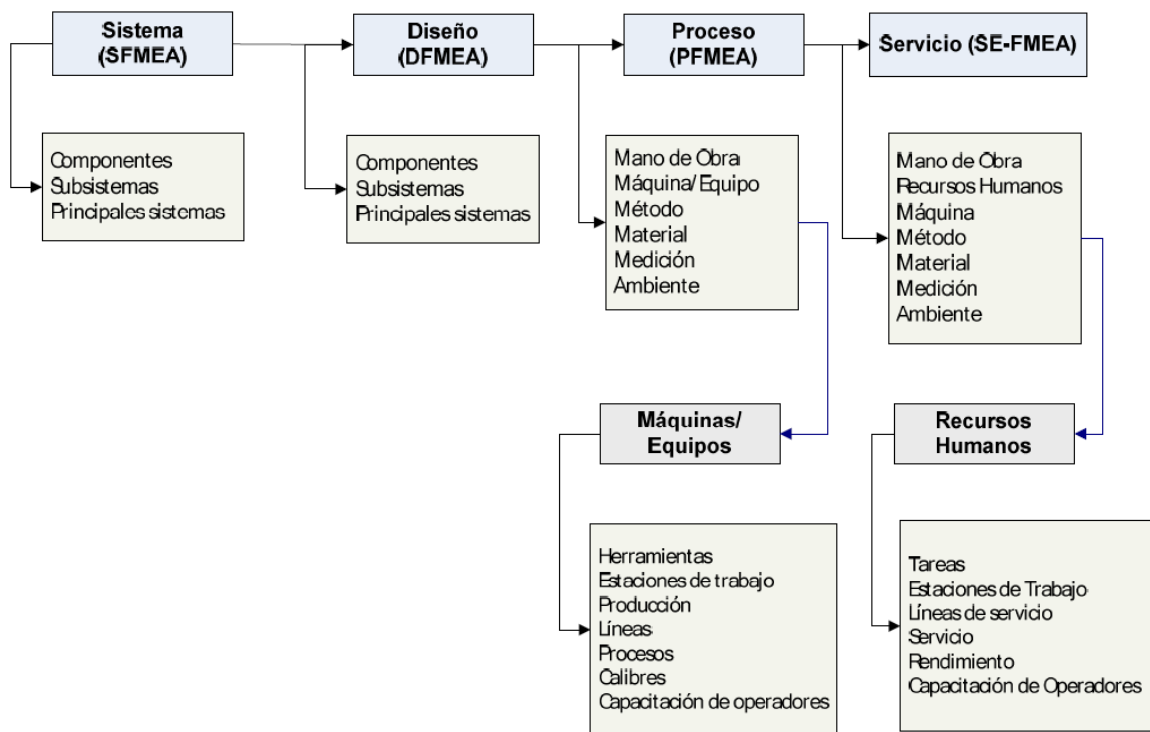
4.4 TIPOS DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS

Un Análisis de Modos de Falla y Efectos FMEA puede básicamente ser clasificada en uno de cuatro tipos posibles: a nivel de diseño (DFMEA), a nivel de proceso (PFMEA), a nivel de sistema (SFMEA) y a nivel de servicio (SE-FMEA).

Todos los cuatro tipos de FMEA evalúan el impacto de fallas sobre el rendimiento, operación y seguridad de un sistema para determinar cuáles modos de falla requieren esfuerzos para prevenir, mitigar o detectar la ocurrencia.

Para estar en la capacidad de escoger el apropiado FMEA, se necesita de una completa diferenciación entre FMEAs y el objetivo principal que cada uno persigue.

Figura 14. Relación de los cuatro tipos de FMEA



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

4.4.1 FMEA de sistema. El FMEA a nivel de sistema es el de más alto nivel que puede ser ejecutado y puede analizar un sistema a cualquier nivel desde una parte o elemento mínimo de un sistema hasta el sistema global. Es usado para identificar y prevenir fallas que están relacionadas con sistemas y subsistemas en las fases tempranas de diseño. Es también ejecutado para validar que las especificaciones de diseño del sistema minimicen el riesgo de una falla funcional durante la operación.

Al nivel más bajo, un SFMEA puede ser ejecutado examinando cada componente del sistema determinando las maneras de cómo podría fallar y cómo estas fallas afectarían el sistema. El SFMEA necesita descender solo hasta nivel deseado detallado.

El objetivo principal del SFMEA es maximizar la calidad, confiabilidad, costo y mantenibilidad de un determinado sistema. El cual será modelo a seguir en el desarrollo del presente proyecto y direccionado específicamente para identificación y prevención de fallos.

4.4.2 FMEA de diseño. El FMEA a nivel de diseño, también conocido como FMEA de Producto, es usado como una herramienta técnica usada principalmente por un equipo de diseño para asegurar los modos potenciales de falla y que las causas asociadas sean identificadas, consideradas y direccionadas. El mejor tiempo para ensayar este análisis es durante las fases de diseño del producto antes que las operaciones de manufactura sean iniciadas.

El concepto de diseño por mantenibilidad está relacionado con la construcción del producto considerando aquellas características que eliminan, reducen y simplifican necesidades y procedimientos de mantenimiento.

El objetivo principal del DFMEA es maximizar la calidad, confiabilidad, costos y mantenibilidad del diseño de productos.

Es resaltable para el desarrollo del presente proyecto, que el DFMEA también es útil para identificar fallas potenciales con equipo o maquinaria existente, el cual puede garantizar modificaciones de diseño sobre actuales o futuras generaciones.

4.4.3 FMEA de proceso. El FMEA a nivel de proceso, es iniciado antes de la fase de producción y toma en consideración todos los requerimientos relacionados con operaciones de manufactura o montaje desde componentes individuales hasta el ensamble. Este enfoca sobre modos de falla causados por deficiencias en el proceso. El PFMEA asume un adecuado diseño del producto y no es responsable con fallas relacionadas.

El objetivo principal es maximizar la calidad, confiabilidad, costos, mantenibilidad y productividad del proceso total.

4.5.4 FMEA de servicio. El FMEA a nivel de servicio, como su nombre lo indica, pretende identificar modos de falla potenciales de actividades de servicio. Es usado para analizar servicios antes que alcancen los clientes. Este enfoca sobre tareas, errores, fallas causadas por deficiencias en el proceso o sistema. Su objetivo principal es asegurar al máximo la satisfacción del cliente a través de servicios confiables y de calidad.

Finalmente, si se considera la ejecución del mantenimiento como actividades de servicio, donde siempre estarán involucrados posibles procesos de manufactura o fabricación de cierto producto, se ve que el FMEA a nivel de sistema contemplará los demás tipos como lo muestra la figura 14. El cual será modelo a seguir en el desarrollo del presente proyecto y direccionado específicamente para identificación y prevención de fallos.

4.6 IMPLANTACIÓN DEL FMEA

Como requisito previo necesario para implantar el FMEA en una empresa hay que contar con el apoyo de la gerencia. Conseguir el apoyo de la gerencia es muy importante, ya que la elaboración del FMEA:

- Se realiza en horas de trabajo
- Implica cambios (los cambios cuestan dinero y no son fáciles de hacer)
- Se llega a conclusiones que requieren el apoyo de la dirección

La gerencia tiene que conocer el método, apoyar su aplicación y animar al equipo de trabajo, ya que la persistencia en el esfuerzo es uno de los factores de éxito.

5. METODOLOGÍA DEL FMEA ORIENTADO EN LA IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE FALLOS EN LOS COMPONENTES HIDRAULICOS QUE SE PRUEBAN EN LOS BANCOS JG001 Y JG002

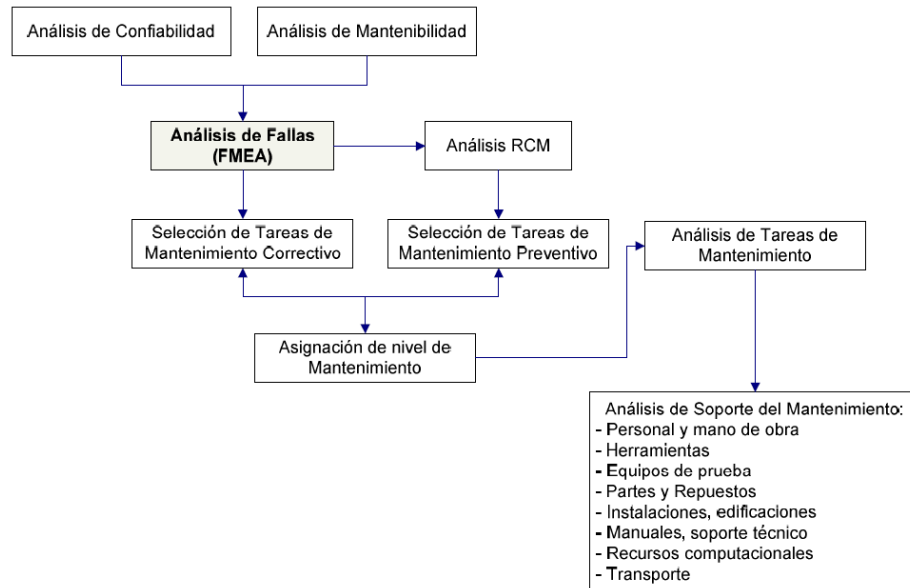
Como se mencionó anteriormente, aun cuando el FMEA es una herramienta esencial de confiabilidad, ésta respalda y complementa otras tareas de ingeniería a través de la identificación de áreas en las cuáles existe la probabilidad de potenciales fallas de un sistema y el mantenimiento es una de estas tareas.

Los resultados del FMEA no son sólo usados para proveer una orientación al diseño, ya que son usados favorablemente como parte del análisis de planificación de mantenimiento, evaluación de vulnerabilidad y sobrevivencia, análisis de riesgo y seguridad.

Dependiendo el alcance y la orientación dada al análisis FMEA, para el presente informe, se enfoca específicamente: la identificación, prevención y riesgos de fallas en sistemas mecánicos, los resultados generados involucrarán los siguientes usos:

- Mejora de sistemas: Los resultados de este definido FMEA generalmente presentan un número específico y práctico de sugerencias para la reducción de riesgos en sistemas, involucrando cambios en la configuración de diseños y especificaciones de equipos para mejores prácticas de operación y mantenimiento.
- Planificación de tareas de mantenimiento: A excepción de algunas tareas de servicio y calibración, los requerimientos de mantenimiento son fáciles de encontrar con el FMEA. Junto con análisis de confiabilidad y mantenibilidad, el FMEA es el punto de inicio del análisis requerido para desarrollar tareas y requerimientos de mantenimiento como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Soporte del FMEA en la aplicación de tareas de mantenimiento



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

Su uso notable en la planificación de tareas de mantenimiento de una determinada planta, convierte al FMEA en una interface y base principal para el establecimiento de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM.

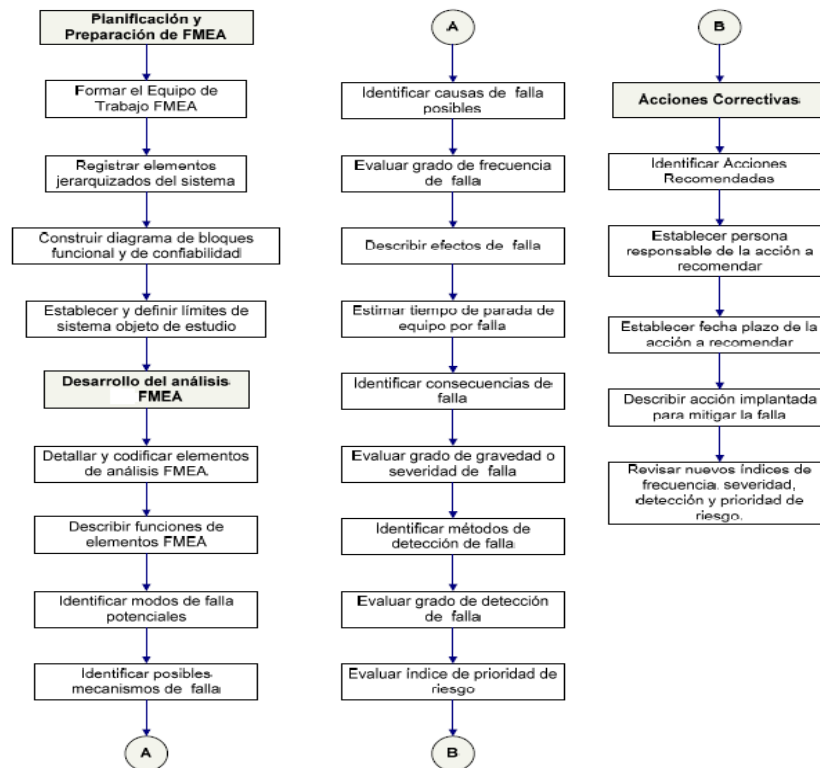
□

- Líneas guía para resolución de problemas: Los FMEAs que dirigen indicaciones y aislamiento de fallas contienen la información necesaria para desarrollar líneas guía de resolución de problemas altamente efectivos. De ahí que el resultado del presente proyecto es generar un método FMEA aplicable exclusivamente para identificar y prevenir fallas en sistemas, que sea soporte para efectivos planes de mantenimiento y punto de inicio del RCM para que pueda ser aplicado e implementado por departamentos de confiabilidad o mantenimiento.

5.1 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA DESARROLLAR UN FMEA

El análisis FMEA se entiende como un proceso sistematizado y como tal debe tener una secuencia lógica y justificada. No es simplemente un caso en que se realiza el llenado de un formulario, por lo que es preferible un claro entendimiento del proceso FMEA con el objeto de eliminar riesgos, controles y resultados indeseados. A fin de ejecutar un adecuado análisis FMEA de sistemas con enfoque al mantenimiento se muestra en la figura 16. El diagrama de flujo con los principales pasos a seguir en el proceso. El procedimiento a desarrollar para el FMEA personalizado que se está generando puede descomponerse en tres secciones principales: preparación y planificación, desarrollo del análisis y acciones a implementar.

Figura 16. Procedimiento general realización FMEA



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

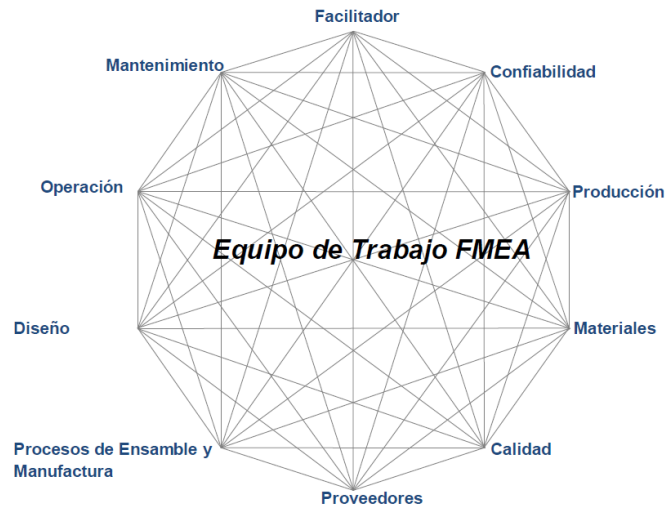
5.2 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL FMEA

Enfocando el FMEA en sistemas, a continuación se pretende demostrar y relacionar estrategias y herramientas aplicadas para iniciar el desarrollo de la información para el FMEA. Involucrando aquella responsabilidad que es asignada individualmente para la elaboración de un documento FMEA, responsabilidad que debería ser encargada a un equipo de trabajo, el cual definirá y limitará el sistema de acuerdo al alcance a obtener.

5.2.1 Formación del equipo de trabajo FMEA. El proceso FMEA enmarca varias preguntas al igual que un proceso RCM, en la práctica, una persona en la identificación y prevención de fallos en un sistema objeto de estudio no puede ejecutar por sí solo esta tarea, será necesario que aparte de la persona encargada del proceso FMEA el cual generalmente es parte del personal de mantenimiento o confiabilidad, también se necesite el apoyo del personal de producción, de operación, y hasta de diseño. Por esta razón la revisión de sistemas debería ser llevada a cabo en pequeños grupos, lo que permite a los miembros compartir importantes conocimientos sobre el sistema, desde el punto de vista de diseño, materiales, procesos involucrados, operación del sistema, entre otros tipos de información relevante.

Por otra parte, los equipos FMEA son los encargados de analizar el rendimiento del sistema y son generalmente la mejor y la más completa fuente de información de posibles modos de falla y sus efectos sobre el sistema. Usando el conocimiento colectivo del equipo se ayuda a asegurar resultados que ayuden a estimar y mejorar la confiabilidad de sistemas.

Figura 17. Personal implicado como posible grupo de trabajo FMEA



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

Como todo equipo de trabajo, se necesita que exista una persona que guíe a los especialistas involucrados, denominados facilitadores. Entre sus principales funciones son: llevar cabo el análisis en el nivel correcto, que los límites sean claramente definidos, los resultados sean debidamente registrados, además que el FMEA se claramente comprendido y correctamente aplicado por parte de los miembros del grupo. El personal que se involucrara para este proyecto será:

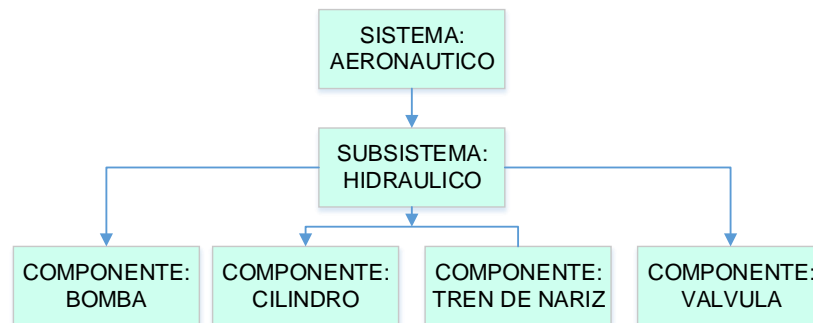
- Gerente de mantenimiento
- Jefe de mantenimiento
- Inspectores AIT
- Técnico Especialista en sistema hidráulicos (TESH)

5.2.2 Registro del sistema y jerarquía de elementos. La mayoría de sistemas tienen o usan cientos y hasta miles de activos físicos. Pueden ser desde una bomba o transmisión reductora hasta plantas hidroeléctricas completas o portaviones.

Pudiendo estar concentrado en un lugar pequeño o dispersos en miles de kilómetros cuadrados. Algunos activos serán estáticos y otros serán móviles. Cualquiera que sea el caso antes de iniciar y aplicar un proceso FMEA, será necesario realizar un listado de todos los subsistemas, equipos, instalaciones, componentes y hasta partes que requieran el análisis del sistema. Esta lista se le denomina registro de elementos del sistema y a nivel industrial se le denomina registro de planta. El registro debe ser diseñado de manera tal que haga posible realizar un seguimiento de los activos que hayan sido analizados usando FMEA. Este registro se recomienda preparar y diseñar acompañado de una codificación numérica de tal manera que pueda usarse para futuros propósitos.

Para nuestro propósito de nombra a continuación el sistema y la jerarquización que será codificado según la figura 20.

Figura 18. Registro del sistema y jerarquía de elementos



Fuente. Autor

5.2.3 Taxonomía en plantas industriales. La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems (partes, componentes, dispositivos, subsistemas, unidades funcionales, equipos o sistemas que pueden ser considerados individualmente) dentro de grupos genéricos basados posiblemente sobre factores comunes entre varios ítems.

Los niveles 1 a 5 son una categorización de alto nivel que relaciona la aplicación de plantas con industrias sin importar las unidades de equipamiento que están implicadas. Esto porque una unidad de equipamiento (por ejemplo una bomba) se puede utilizar en muchas diversas industrias y configuraciones de planta, y para analizar la confiabilidad de equipos similares el contexto operacional es necesario.

Los niveles 6 a 9 están relacionados con la unidad de equipo (inventario) con la subdivisión de niveles más bajos como una relación hijo-padre. El número de los niveles de subdivisión dependerá de la complejidad de la unidad del equipo y del uso de los datos. Un solo elemento o parte no puede necesitar ningún otro subnivel, mientras que varios niveles se requieren para un compresor. Dicha taxonomía se encuentra en el anexo B. El presente proyecto se referirá específicamente y enfocará el análisis FMEA en elementos desde el nivel 8 al 9.


5.3 ENCABEZADO DEL REPORTE FMEA

El formato del reporte de FMEA, difiere levemente de acuerdo al nivel del elemento que se analiza, como se describirá más adelante, en el cual se detallan todos los datos involucrados en el desarrollo del análisis. Entre los principales datos que se requieren generalmente en el encabezado, se destaca:

- Logo
- Número de FMEA
- Sistema, subsistema, equipo, unidad, componente o parte involucrada en el análisis y característica que indica el alcance y nivel de análisis
- Información de personal involucrado en preparación y revisión
- Fechas de inicio y finalización de análisis
- Número de página

Figura 19. Formato de reporte FMEA

Sistema : _____
 Subsistema: _____
 Componente: _____
 Código Componente: _____



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA _____
 Elaborado por _____
 Fecha FMEA _____
 Fecha de Revisión _____
 Pagina _____ de _____

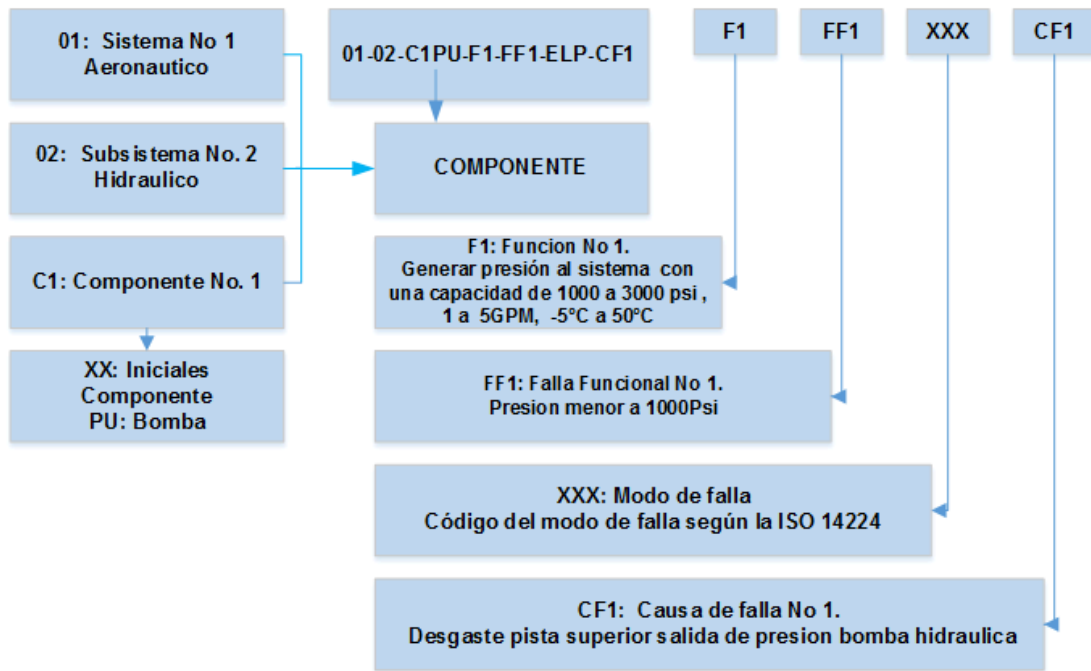
Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Estados de las acciones			
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Occ	Nuevo RPN

Fuente. Autor

5.4 DETALLE Y CODIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES A ANÁLIZAR

Para nuestro análisis es primordial la codificación de cada elemento que componen el FMEA, ya que una vez evaluado en índice de prioridad de riesgo analizaremos los códigos críticos los cuales se evaluarán nuevamente una vez se allá mitigado este riesgo. Cada número y nombre de sistema, subsistema, componente, bajo análisis puede ser incorporado en la hoja de FMEA como inicio antes de describir las funciones de los mismos. Es importante recomendar que el FMEA debe ser llenado de columna en columna y no a través de la hoja, ya que lo único que se consigue es confundir. De tal manera que al llenar todos los números y nombres de los elementos componentes del sistema antes de identificar los modos de falla permite al equipo permanecer centrado y coherente cuando se asigna entradas en cada categoría del análisis. Se establece la codificación de todos los elementos componentes del sistema en el análisis se establece a continuación, ahora para cada función, falla funcional, modo de fallo y causa será codificado.

Figura 20. Sistema de codificación componentes a analizar en el FMEA



Fuente. Autor

A continuación en la tabla No 1. Se clasifica y codifica cada componente a los cuales se les realizara el estudio de FMEA. Según lo descrito anteriormente.

Tabla 1. Codificación componentes a analizar

Clase de componente	
Descripcion	Codigo
Bomba (Pump)	PU
Cilindro (Cylinder)	CY
Valvula (Valve)	VA
Tren de Nariz (Nose Landing Gear)	NLG

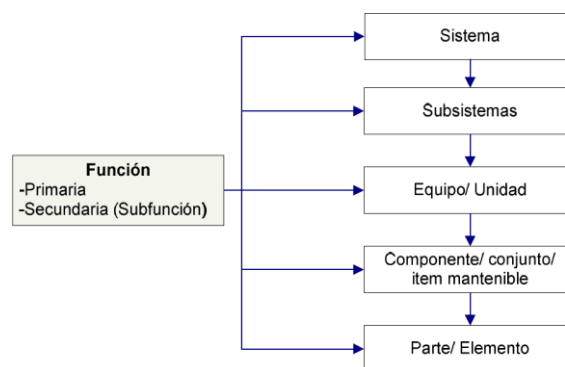
5.5 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES

Luego de tener claro el registro de elementos a considerar en los diferentes niveles que ha sido dividido el sistema, el siguiente paso será definir las funciones de cada uno de los elementos dentro de la jerarquía establecida, resaltando que los principales elementos objetos de estudio son aquellos que establece la norma ISO 14224 entre los niveles 8 y 9.

Es posible definir la función en cada nivel en la jerarquía establecida. Para nuestro propósito de análisis FMEA los niveles generales más utilizados serán sistema, subsistema, equipo, componente/conjunto/ítem, tal y como se muestra en la figura 20.

La definición de la jerarquía y de las funciones es importante para conseguir un análisis satisfactorio. Si el grado de detalle es bajo (pocas funciones), entonces el número de modos de fallo por función será elevado y el programa de mantenimiento será difícil de manejar. Por el contrario, si el nivel de detalle es elevado (muchas funciones diferentes), entonces el esfuerzo necesario para desarrollar el análisis FMEA será grande y el resultado del análisis será muy detallado.

Figura 21. Relación funcional con el desglose jerárquico de sistemas



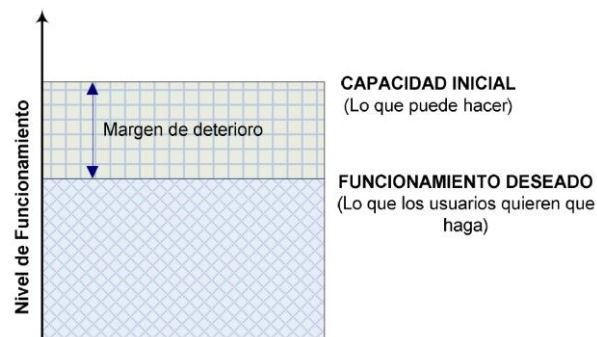
Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

Finalmente se resalta, que una definición completa de una función consiste de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado por el usuario. Cuando cierto elemento debe funcionar bajo ciertas condiciones, es útil describir las condiciones como parámetros ambientales o requerimientos de ingeniería.

5.5.1 Parámetros de funcionamiento. Para asegurarse que cualquier elemento haga lo que el usuario desea, es necesario definir un parámetro de funcionamiento mínimo. El mundo real muestra que cualquier elemento sometido al funcionamiento cotidiano en cierto tiempo se deteriorará causando la mala operación del sistema.

Esto significa que cuando cualquier elemento de un sistema es puesto en funcionamiento debe ser capaz de rendir más (capacidad inicial o confiabilidad inherente) que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Figura 22. Relación capacidad inicial y funcionamiento deseado



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

De esta relación se debe resaltar dos conclusiones puntuales: para que un elemento sea mantenible, el funcionamiento deseado debe caer dentro del margen de su capacidad inicial y para determinar esto no sólo debemos conocer la capacidad

inicial del activo físico, sino también cuál es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario está preparado a aceptar dentro del contexto en que va ser utilizado.

Existen algunos tipos de parámetros de funcionamiento que se puede detallar:

- Múltiple
- Cuantitativos
- Cualitativos
- Absolutos
- Variables
- Límites de especificación superior e inferior

5.5.2 Tipos de funciones. Si el objetivo del mantenimiento es asegurarse de que todo elemento mantenible continúe realizando sus funciones, es necesario que todas las funciones deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados actuales.

Las funciones se dividen en dos categorías principales:

- Funciones primarias

Se conocen como funciones primarias por ser la principal razón por las cuales existe el elemento, son generalmente fáciles de reconocer, de hecho el nombre de la mayoría de elementos se basa en su función primaria.

- Funciones secundarias

Son aquellas funciones adicionales a la primaria que la mayoría de elementos posee. Para asegurar que ninguna de estas funciones sea pasada por alta se las divide en siete categorías:

- Ecología, integridad ambiental

- Seguridad
- Control/ confort/ contención
- Apariencia
- Protección
- Eficiencia/ economía/ integridad estructural
- Funciones superfluas

Debe tenerse especial cuidado para identificar las funciones de los dispositivos de protección.

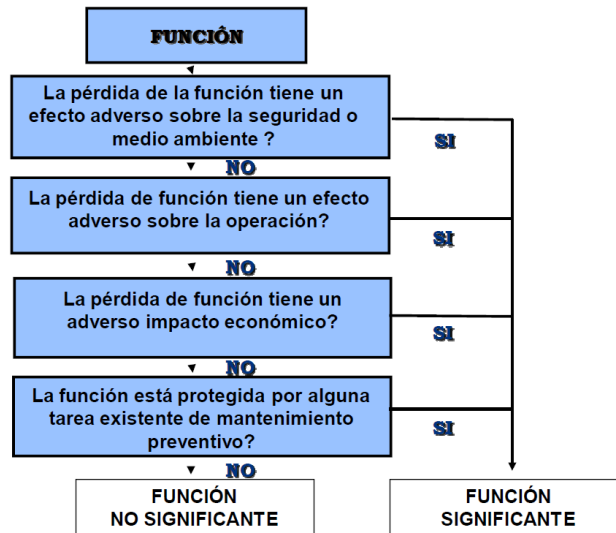
Tabla 2. Ejemplos de funciones de varios elementos

Elemento	COMPRESOR	EJE	TANQUE
Verbo	Generar	Transmitir	Almacenar
Objeto	aire comprimido	torque	agua
Parámetro de funcionamiento	120 cfm (cubic feet per minute)	180 Nm de un punto A a un punto B	no menos de 1000 m ³
Función primaria	Generar aire comprimido a 120 cfm	Transmitir torque de 180 Nm del punto A al punto B	Almacenar agua a no menos de 1000 m ³
Funciones secundarias	-Distribuir aire a 120 psi puntos de conexión.	-Transmitir velocidad de 3600 rpm -Incorporar alojamientos para lengüetas.	-No existe

Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

Manuales y normas añaden ciertas ayudas para determinar y principalmente priorizar las funciones, una de ellas destaca un proceso para determinar funciones significantes, considerando una función significativa aquella cuya falla funcional o modo de falla tendrá efectos adversos con respecto a seguridad, medio ambiente, operación y economía del elemento en cuestión.

Figura 23. Diagrama de decisión de funciones significantes



Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

5.6 IDENTIFICACION FALLA FUNCIONAL

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento hayan sido definidos, el paso siguiente es definir cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema.

Tipos de Falla Funcional:

- Pérdida total de la función
- Pérdida parcial de la función
- Funcionamiento erróneo
- Durante la operación

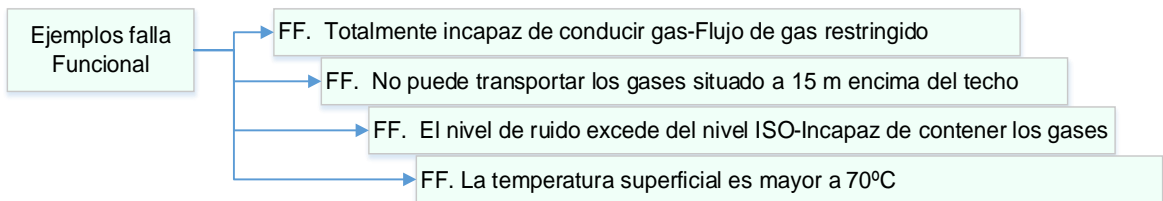
- Para operar en un momento determinado
- Para detener la operación en un momento determinado

Reglas para establecer una Falla Funcional:

- Debe describir cómo falla un equipo, no el porqué
- Debe ser razonablemente probable para ocurrir al no dar mantenimiento
- Nunca contiene la descripción de un componente o una parte de una pieza
- Usualmente hasta 10 palabras o menos
- Describe si hace más, hace menos u otra cosa, siempre sobre la base de la definición de función

A continuación en la figura 24, se describen algunos ejemplos de falla funcional como guía para el desarrollo de nuestro FMEA.

Figura 24. Ejemplo falla funcional



Fuente. Autor

5.7 IDENTIFICACIÓN MODOS DE FALLA

Una vez que se ha realizado el desglose jerárquico de componentes de todo el sistema y que las funciones de cada elemento de nivel de análisis han sido definidas, se deben identificar los modos de fallo.

Un modo de fallo es cualquier estado por el cual un elemento del nivel de análisis involucrado (parte, conjunto, unidad, equipo, subsistema, sistema) podría fallar potencialmente en el desarrollo su función asignada. El término potencial nos indica la suposición de que la falla podría ocurrir, pero puede no necesariamente ocurrir. Una misma función podría tener uno o varios modos de fallo. Si la jerarquía y las funciones han sido bien elegidas resultará sencillo listar los modos de fallo.

Un punto de inicio recomendado para listar los modos de falla es una revisión de registros históricos de mantenimiento (historial, bitácora), reportes de tiempos de parada, reportes de servicio, documentos de garantía, y las infaltables lluvias de ideas además hay que tener en cuenta que ciertos modos de falla sólo podrían ocurrir bajo ciertas condiciones ambientales y operativas.

Para cada categoría principal de equipo los modos de falla recopilados de datos de confiabilidad y mantenimiento por parte de la norma ISO 14224 son mostrados en el anexo C. Cuyo código aplicaremos a nuestro análisis.

Tabla 3. Ejemplos de modos de falla en análisis de equipos

Elemento de análisis	VÁLVULA	MOTOR DE COMBUSTIÓN	TUBERÍA
Modos de falla potenciales	<ul style="list-style-type: none"> -Falla al funcionar en demanda -No se abre en demanda -No se cierra en demanda -Operación retrasada -Obturación/Estrangulación -Fuga externa -Fuga interna -Fuga en posición normalmente cerrada 	<ul style="list-style-type: none"> -No arranca en funcionamiento -No se apaga en funcionamiento -Apagado inesperado -Fuga interna -Sobrecalentamiento -Fuga externa de combustible 	<ul style="list-style-type: none"> -Fuga externa -Obturación/Estrangulación -Vibración -Sobrecalentamiento

Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

5.8 IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS DE FALLA

El objetivo de estos datos es identificar los eventos primarios (causa raíz) en la secuencia principal al desatarse la falla de un elemento del análisis FMEA. Cinco categorías de causas de fallas son identificadas en el anexo D, conjuntamente con las sub divisiones relacionados a ser usados en el análisis de FMEA.

Las causas de falla son clasificadas en las siguientes categorías:

- a) Causas relacionadas al diseño.
- b) Causas relacionadas fabricación/instalación.
- c) Fallas relacionadas a mantenimiento/operación.
- d) Fallas relacionadas a la administración.
- e) Misceláneos.

Las causas de fallas son comúnmente desconocidas en profundidad cuando es observada la falla, y para revelar la causa raíz de la falla, un análisis específico de causa raíz debe ser conveniente. Esto es un detalle relevante para fallas de naturaleza más compleja y dónde es importante evitar debido a sus consecuencias. Ejemplos de estos son aquellas fallas con serias consecuencias en cuanto a seguridad y/o el ambiente, al alto porcentaje anormal de fallas comparado al promedio y fallas con alto costo de reparación. Se requiere el debido cuidado para no confundir el mecanismo de falla (describiendo la aparente, causa observada de falla) con la causa de falla (describiendo la fundamental causa raíz de la falla).

5.9 DESCRIPCION DE EFECTOS DE FALLA

El siguiente paso en el proceso FMEA consiste en hacer una lista de hechos que suceden al producirse la falla. Estos se denominan efectos de falla. Un efecto de

falla es el hecho que sucede al producirse una falla y es realizado sobre cada elemento de análisis del diagrama de bloques de confiabilidad.

Se debe resaltar que efectos de falla no es lo mismo que consecuencias de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

La falla bajo consideración puede afectar varios niveles superiores al del análisis y también bajo el análisis. Por lo tanto son analizados el efecto local, de nivel superior y final. Los efectos de falla deben también considerar los objetivos de la misión, requerimientos del mantenimiento y seguridad del personal/sistema he aquí la importancia de la diferencia entre efecto y consecuencia.

Los niveles de efectos de fallas son definidos:

- Efecto local. son aquellos efectos que resultan específicamente del modo de falla del elemento en el nivel de análisis bajo consideración. Los efectos locales son descritos para proveer una base para las provisiones compensando, evaluando y recomendando acciones correctivas. El efecto local puede ser el modo de fallo mismo.
- Efecto intermedio. son aquellos los que se concentran sobre el efecto de un modo de falla en particular tiene sobre la operación y función de los elementos en el nivel superior de análisis.
- Efecto global. Son los efectos de falla asumidas sobre la operación, función y/o estado del sistema.

El Efecto global o de sistema generalmente está dentro de una de las siguientes categorías. Fallo del sistema donde el ítem fallado tiene un efecto

catastrófico en la operación del sistema. La operación degradada donde el ítem fallado tiene un efecto en la operación del sistema pero la misión del sistema se puede lograr todavía. Ningún efecto inmediato donde el ítem fallo, no causa ningún efecto inmediato sobre la operación del sistema. La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla.
- En qué forma (si la hay) la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla Qué debe hacerse para reparar la falla.

Se debe tener en cuenta que uno de los principales objetivos de la descripción de efectos es establecer si es necesario el mantenimiento proactivo. Si esto se quiere realizar correctamente, no se puede empezar suponiendo que se está realizando ya algún tipo de mantenimiento proactivo; por ello los efectos de las fallas deben describirse como si no se estuviera haciendo nada para impedirlos.

5.10 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SEVERIDAD, FRECUENCIA Y DETECTABILIDAD EN EL FMEA A ANALIZAR

5.10.1 Evaluación del grado de frecuencia (ocurrencia) de falla. Una vez que todos los posibles mecanismos y causas de falla sobre el sistema han sido documentados y sobre todo se logre establecer una secuencia de falla, que inicia desde el elemento FMEA hasta la causa de falla identificada, se necesita asignar un rango de evaluación de frecuencia u ocurrencia de la causa sobre la misión por

cada modo de fallo.

La evaluación de frecuencia es un método usado para asignar subjetivamente una tasa de fallos a un elemento de un conjunto o equipo. Cada paso en la evaluación corresponderá a una tasa de fallos estimado basado en la experiencia del analista con el equipo similar usado en ambientes similares.

Según lo mencionado previamente, una tasa de fallos conocida puede ser una referencia cruzada a una evaluación de la ocurrencia de tal modo que permite un análisis completo de un sistema que no tenga información de tasas y modo de fallo sobre cada artículo o componente.

Cuando los datos de tasa de fallos conocidos se utilizan en este tipo de análisis, agregan no sólo mérito a la evaluación para el equipo con datos de falla, sino que además agregan mérito a las evaluaciones de la frecuencia del equipo desconocido proporcionando patrones de referencia dentro de la escala de la evaluación. Estos valores establecerán el nivel cualitativo de la probabilidad de falla para la entrada en un formato de la hoja de trabajo FMEA. Ajustar las tasas de fallas para que haya su uso particular: horas, días, ciclos, años.

Este índice de frecuencia puede ser estimado usando la tabla 4, como una directriz, según sea el caso.

Tabla 4. Criterio de evaluación de frecuencia para sistemas en general

VALOR	CRITERIO DE EVALUACION FRECUENCIA DE FALLA
10	1/10 Tasa muy alta de falla. Casi seguro de causar problemas.
9	1/20 Tasa muy alta de falla. Casi seguro de causar problemas.
8	1/50 Tasa alta de falla. Similar al último diseño teniendo fallas frecuentes que causaron problemas.
7	1/100 Tasa alta de falla. Similar al último diseño teniendo fallas frecuentes que causaron problemas.
6	1/200 Tasa de fallas alta a moderada. Similar al último diseño teniendo tasas moderadas de fallas para determinado volumen/cargas.
5	1/500 Tasa moderada de fallas. Similar al último diseño teniendo tasas moderadas de fallas para determinado volumen/cargas.
4	1/1000 Tasa ocasional de fallas. Similar al último diseño que ha tenido tasa de fallas similares para determinado volumen/cargas.
3	1/2000 Tasa baja de fallas basada sobre diseños similares para determinado volumen/cargas.
2	1/5000 Tasa muy baja de fallas. Similar al último diseño que ha tenido tasas bajas de fallas para determinado volumen/cargas.
1	1/10000 Probabilidad remota de ocurrencia; Irrazonable contar con la ocurrencia de fallas.

Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

5.10.2 Evaluación del grado de severidad de efectos de falla. Después de que todos los modos, causas de falla, sus correspondientes efectos sobre el sistema hayan sido documentados, ahora el equipo FMEA necesita asignar un rango de evaluación de severidad del efecto sobre la misión por cada modo de fallo.

Una clasificación de la severidad debe ser asignada a cada efecto del nivel de sistema. Una evaluación más baja indica un efecto menos severo de la falla. Una graduación más alta indica un efecto más severo de la falla.

Las clasificaciones de la severidad proporcionan una medida cualitativa de las peores consecuencias potenciales resultado de la falla de un elemento.

Una clasificación de la severidad se asigna a cada artículo y a cada modo de fallo identificado. Este índice de severidad puede ser estimado usando la tabla 5, como una directriz, según sea el caso.

Tabla 5. Criterio de evaluación de severidad para sistemas en general

VALOR	CRITERIOS DE EVALUACION SEVERIDAD EFECTO DE FALLA
10	Peligro Potencial de seguridad, salud o cuestión ambiental. La falla podría ocurrir sin advertencia.
9	Peligro Potencial de seguridad, salud o cuestión ambiental. La falla podría ocurrir con advertencia.
8	Muy alto Alta interrupción a la capacidad de la función. Toda la misión se pierde. Atraso significativo en restaurar la función.
7	Alto Alta interrupción a la capacidad de la función. Alguna parte de la función se pierde. Atraso significativo en restaurar la función.
6	Moderado o Alto Moderada interrupción a la capacidad de la función. Alguna parte de la misión se pierde. Atraso moderado en restaurar la función.
5	Moderado Moderada interrupción a la capacidad de la función. 100% de la misión puede necesitar adaptarse o proceso retrasado.
4	Bajo o moderado Moderada interrupción a la capacidad de la función. Alguna parte de la misión podría necesitar adaptarse o proceso retrasado.
3	Bajo Menor interrupción a la capacidad de la función. La reparación de la falla puede ser más larga que el reporte del problema pero no retrasa la misión.
2	Muy bajo Menor interrupción a la capacidad de la función. La reparación de la falla puede ser acabada durante el reporte del problema.
1	Ninguno No hay razón para prever que la falla tenga cualquier efecto sobre la seguridad, salud, el ambiente o la misión.

Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

5.10.3 Evaluación del grado de detección de falla. Este concepto es esencial en el FMEA, aunque como se ha dicho es novedoso en los sistemas simplificados de evaluación de riesgos de accidente.

Si durante el proceso se produce un fallo o cualquier “output” defectuoso, se trata de averiguar cuan probable es que no lo “detectemos”, pasando a etapas posteriores, generando los consiguientes problemas y llegando en último término a afectar al cliente – usuario final. Cuanto más difícil sea detectar el fallo existente y más se tarde en detectarlo más importantes pueden ser las consecuencias del mismo.

Se hace necesario aquí puntualizar que la detección no significa control, pues puede haber controles muy eficaces pero si finalmente la pieza defectuosa llega al cliente, ya sea por un error, etc., la detección tendrá un valor alto. Aunque está claro que para reducir este índice sólo se tienen dos opciones:

- Aumentar los controles. Esto supone aumentar el coste con lo que es una regla no prioritaria en los métodos de Calidad ni de Prevención
- Cambiar el diseño para facilitar la detección

Una vez que todos los métodos de detección han sido documentados en el FMEA, se necesita asignar un rango de evaluación de detectabilidad por cada modo de fallo, la tabla 6, brinda un direccionamiento para tal evaluación.

Tabla 6. Criterio de evaluación de detección para sistemas en general

VALOR	CRITERIO DE EVALUACION DETECCION DE FALLA
10	Casi imposible Ningún control(s) conocido disponible para detectar el modo de falla.
9	Muy remoto Probabilidad muy alejada del control(s) actual detectará el modo de falla.
8	Remoto Probabilidad alejada del control(s) actual detectará el modo de falla.
7	Muy bajo Probabilidad muy baja del control(s) actual detectará el modo de falla.
6	Bajo Probabilidad baja del control(s) actual detectará el modo de falla.
5	Moderado Probabilidad moderada del control(s) actual detectará el modo de falla.
4	Moderadamente alto Probabilidad moderadamente alta del control(s) actual detectará el modo de fallo.
3	Alta Probabilidad alta del control(s) actual detectará el modo de fallo.
2	Muy alta Probabilidad muy alta del control(s) actual detectará el modo de fallo.
1	Casi seguro Casi seguro que el control actual detecta el modo de fallo. Controles confiables son conocidos con procesos similares.

Fuente. [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

5.11 IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN

Este es el método o actividad por el cual una falla es descubierta. Esta información es vitalmente importante cuando se evalúa el efecto del mantenimiento, por ejemplo, para distinguir entre fallas descubiertas por acciones planificadas (inspección, mantenimiento preventivo) o por acciones casuales.

Cinco categorías de métodos de detección son identificados en la tabla 7.

Tabla 7. Métodos de detección

No.	Notación	Descripción	Actividad
1	Mantenimiento periódico	Falla descubierta durante servicio preventivo, reemplazo u overhaul de un elemento cuando se ejecuta el programa de mantenimiento preventivo	Programada
2	Prueba funcional periódica	Falla descubierta de una función prevista durante la activación y comparación de la respuesta en base a parámetros predefinidos. Este uno de los métodos típicos para detectar fallas ocultas	Programada
3	Inspección	Falla descubierta durante inspección planificada. Entre estas: Inspección Visual, Pruebas no destructivas END	Programada
4	Monitoreo periódico de condiciones	Fallas reveladas durante un monitoreo planificado y programado de modos de falla predefinidos, bien sea manual o automáticamente. Entre estas: Termografía, análisis de vibraciones, análisis de aceites, revisión de calibraciones y muestreos	Programada
5	Monitoreo continuo de condiciones	Fallas reveladas durante un monitoreo continuo de condiciones de un modo de fallo definido previamente.	Monitoreo continuo
6	Interferencia de producción	Falla descubierta por alteración en la producción, reducción, etc.	Monitoreo continuo
7	Mantenimiento correctivo	Falla observada durante el mantenimiento correctivo.	Frecuencia casual
8	En tiempo real de funcionamiento	Falla descubierta durante un intento de funcionamiento en tiempo real para activar una unidad de equipo	Frecuencia casual




Fuente. ISO/DIS 14224: 2004 Petroleum and Natural Gas Industries- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment

5.12 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)

Es un valor que establece una *jerarquización* de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos.

$$\text{NPR} = \text{Grado de Ocurrencia} * \text{Severidad} * \text{Detección}.$$

Tabla 8. Criterios Prioridad de NPR

VALOR	DESCRIPCION	COLOR DE IDENTIFICACION	IDENTIFICACION NIVEL DE CRITICIDAD
300 – 1000	Alto riesgo de falla		ALTA
81– 299	Riesgo de falla medio		MEDIA
1 – 80	Riesgo de falla bajo		BAJA

Fuente. Autor – QS 9000 ISO/ST 16940

Se deben atacar los problemas con NPR alto y crítico, así como aquellos que tengan un alto grado de ocurrencia no importando si el NPR es alto o bajo.

5.13 ACCIONES A IMPLEMENTAR

5.13.1 Acciones Recomendadas. Son acciones propuestas para reducir el NPR de los modos de fallo seleccionados.

Evaluaciones de ingeniería para acciones correctivas deben ser directamente direccionadas.

En general cuando se tiene un índice de gravedad “9” o “10”, se debe dar especial atención para asegurar que el riesgo es dirigido a través de controles existentes del diseño o de acciones correctivas, sin importar el NPR. En todos los casos donde el efecto de un modo de falla potencial identificado podría ser un peligro al personal de manufactura/ensamble, acciones correctivas/preventivas se deben tomar para evitar el modo de falla eliminando o controlando la causa(s) o la apropiada protección para el operador debe ser especificada.

Solo una revisión de diseño puede dar lugar a una reducción en la graduación en el índice de gravedad. Una reducción en el índice de ocurrencia solamente quitando o controlando una o más causas/mecanismos del modo de fallo a través de una revisión de diseño. Un incremento en acciones de validación/verificación de diseño dará lugar a una reducción en el índice de detección, pero esta acción es menos deseable de ingeniería puesto que no trata la gravedad o la ocurrencia del modo de fallo. Para las acciones correctoras es conveniente seguir un cierto orden de prioridad en su elección. El orden de preferencia en general será el siguiente:

- Cambio en el diseño del producto, servicio o proceso general
- Cambio en el proceso de fabricación
- Incremento del control o de la inspección

5.13.2 Acciones implantadas. Son las acciones reales implantadas que a veces pueden o no coincidir con las acciones recomendadas/correctivas, debido a esto el casillero destinado para dichas acciones puede ser o no llenado, es de gran utilidad recogerlo para facilitar el seguimiento y control de las soluciones adoptadas.

5.14 RESPONSABLE

Se indica la organización o persona responsables de las acciones propuestas de preferencia dar fecha previstas de implantación de las mismas.

5.15 ÍNDICES REVISADOS

Son los que resultan después de haber sido aplicadas las acciones preventivas/correctivas, se estima y se registra los nuevos índices de severidad, frecuencia y detección, con estos nuevos índices se calcula el NPR. Estos nuevos índices deben ser revisados si fuera necesario. El objetivo debe ser siempre la mejora continua.

6. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CON LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Teniendo los tiempos entre fallos (TBF) y los tiempos para reparar (TTR), se procedió con el cálculo de los parámetros de Weibull. Para el cálculo de estos se usó el software isograph Availability Workbench will run in demonstration.

Isograph Workbench es un paquete de software potente e integrado que combina con RCM Simulación disponibilidad, LifeCycle Cálculo del costo, la fiabilidad del proceso, análisis de datos y se integra con SAP y Máximo CMMS a través de un portal de análisis. Compatible con Windows 7 y 8.

Para nuestro análisis tomaremos la versión demostración para los cálculos.

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.

A causa de su mayor complejidad sólo se usa cuando se sabe de antemano que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple. En general es de gran aplicación en el campo de la mecánica. Aunque existen dos tipos de soluciones analíticas de la distribución de Weibull (método de los momentos y método de máxima verosimilitud), ninguno de los dos se suele aplicar por su complejidad. En su lugar se utiliza la resolución gráfica a base de determinar un parámetro de origen (t_0). Un papel especial para gráficos, ver anexo E, llamado papel de Weibull, hace esto

posible. El procedimiento gráfico, aunque exige varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo y requiere, a lo sumo, álgebra sencilla.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. Esta metodología es útil para aquellas empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones o equipos.

En el análisis de vida de los componentes.

- La función de distribución Weibull:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$$

- Donde:

La pendiente de la gráfica Weibull, β (beta) se define como:

- $\beta < 1.0$ indica mortalidad infantil
 - $\beta = 1.0$ significa falla aleatoria
 - $\beta > 1.0$ indica falla por desgaste
- La η (**eta**) y β (**beta**) Los parámetros β & η de la distribución weibull son los valores usados

La η (**eta**) y β (**beta**)

Los parámetros β & η de la distribución weibull son los valores usados

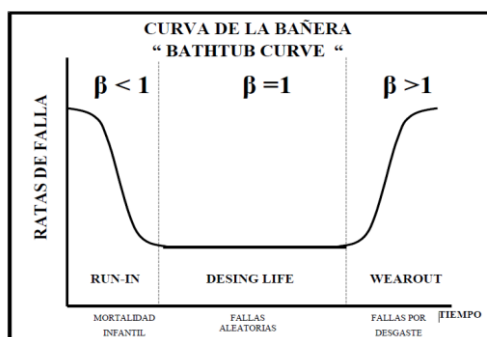
- $F(t)$ = Cumulative Distribution Function (CDF)
- t = Tiempo de falla
- η = Característica de vida parámetro escala
- β = parámetro forma o pendiente.
- $e = 2.718281828$, base del logaritmo natural.

- β muestra la clase de falla como son mortalidad infantil, aleatoria, o desgaste, también es llamado el parámetro forma porque determina la familia o el tipo de distribución.
- η es el parámetro vida y es igual al tiempo promedio para la falla (Mean Time To Failure MTTF) cuando β es igual a 1. la relación entre η y el MTTF es la función gamma de β .
- β (Beta) nos dice si son necesarias las inspecciones programadas.
 - $\beta < 1$ las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo.
 - $\beta > 1$ programa de inspección son leídos directamente desde el gráfico, calculando la probabilidad aceptable de las fallas.
 - $\beta > 4.0$ Implica deterioro rápido por edad de uso, β muestra la clase de falla

6.1 INTERPRETACIÓN DEL GRÁFICO WEIBULL

- La curva de la bañera puede ayudar a entender la relación entre β y los mecanismos de falla a través de la vida de un componente.
- Weibull provee una pista acerca de los mecanismos de falla, con las diferentes pendientes o parámetro forma, implicando en las diferentes formas de falla.

Figura 25. Curva de la Bañera



Fuente. Ing. J. Gpe. Octavio Cabrera Lazarini M.C. Gestión del mantenimiento

7. ANALISIS Y DESARROLLO FMEA PARA LOS COMPONENTES QUE SE PRUEBAN EN LOS BANCOS JG-001 Y JG-002

A continuación se realizó el FMEA para cada uno de los componentes descritos anteriormente; describiendo, evaluando, priorizando cada modo de falla, con acciones recomendadas y acciones tomadas para los RPN críticos, y efectuando la nueva evaluación de los RPN una vez analizadas las acciones.

Tabla 9. Desarrollo y análisis del FMEA bomba hidráulica

Sistema : Aeronáutico Subsistema: Hidráulico Componente: Bomba Hidráulica Código Componente: PU		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) AEROHIDRAULICOS LTDA										Numero FMEA 01 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ Fecha FMEA 18/04/2016 Fecha de Revisión 30/05/2016 Pagina 1 de 4								
Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v u	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada (s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F1	Generar presión al sistema con una capacidad de 1000 a 3000 psi , 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF1	Se prende la luz de advertencia de bajo nivel de fluido hidráulico en el tanque menor a 3 galones	ELP	Fuga externa	CF1	Desgaste o deterioro de empaquetadura	Goteo hidráulico la bomba puede quedar inoperativa por pérdida de hidráulico, bajo nivel de hidráulico en el tanque	7	8	Mantenimiento periódico	6	336	Analisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 3482 Hrs como tiempo de Overhaul.	6	5	5	150
						CF2	Fisura en la bomba o partes	Goteo hidráulico la bomba puede quedar inoperativa por pérdida de hidráulico, bajo nivel de hidráulico en el tanque	8	4	Inspección	5	160	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF3	Fractura escobilla carbón eje	Goteo hidráulico la bomba puede quedar inoperativa por pérdida de hidráulico, bajo nivel de hidráulico en el tanque	8	3	Mantenimiento periódico	7	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Bomba Hidráulica
 Código Componente: PU



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 01
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 30/05/2016
 Pagina 2 de 4

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v u	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F1	Generar presión al sistema con una capacidad de 1000 a 3000 psi, 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF2	temperatura mayor a 60°C	OHE	Temperatura excesiva	CF4	Desgaste de rodamientos	Se prende luz de alta temperatura fluido hidráulico recalentamiento la bomba puede quedar inoperativa	8	8	Inspección	5	320	mantenimiento predictivo CMB, analisis de Weibull cambio de frecuencias de Manto	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 3482Hrs como tiempo de Overhaul. (analís weibull). Se implementa análisis cbm en el plan de Manto	7	4	5	140
						CF5	Desgaste de pistones o tambor de pistones	Se prende luz de alta temperatura fluido hidráulico recalentamiento la bomba puede quedar inoperativa	6	6	Inspección	5	180	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
F1	Generar presión al sistema con una presión de 1000 a 3000 psi, 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF3	Presión mayor a 3000 psi	HIO	Salida de presión por encima de la especificada	CF6	desregulación válvula reguladora de presión	sobrepresión al sistema actuado la válvula de alivio quedando el sistema con bypass de la bomba	5	4	En tiempo real de funcionamiento	2	40	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Bomba Hidráulica
 Código Componente: PU



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 01
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 30/05/2016
 Pagina 3 de 4

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v u	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada (s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F1	Generar presión al sistema con una presión de 1000 a 3000 psi, 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF4	presion menor a 1000 psi	LOO	Salida de presión por debajo de la especificada	CF7	Desgaste pista superior salida de presión bomba hidráulica	falla durante la operación, luz de emergencia presión sistema encendida	8	7	Inspección	3	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF8	Desgaste en el tambor de los pistones	falla durante la operación, luz de emergencia presión sistema encendida	8	7	Inspección	3	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
				INL	Fuga interna	CF7	Desgaste pista superior salida de presión bomba hidráulica	falla durante la operación, luz de emergencia presión sistema encendida	8	6	Inspección	3	144	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF5	desgaste pistones o tambor de pistones	falla durante la operación, luz de emergencia presión sistema encendida	8	5	Inspección	3	120	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
				SER	Contaminación del fluido hidráulico roycó 5606	CF9	filtro roto, no se cambio en el mantenimiento programado el filtro y/o el fluido hidráulico	picado y rayado de pistas que ocasiona una baja presión	8	2	Monitoreo periódico de condiciones	3	48	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Bomba Hidráulica
 Código Componente: PU



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 01
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 30/05/2016
 Pagina 4 de 4

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e c u	O	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones			
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det
F1	Generar presión al sistema con una presión de 1000 a 3000 psi, 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF5	No opera la bomba	FTS	Falla de arranque ante demanda	CF10	Fractura del eje fusible	no hay presión al sistema no se pueden operara los subsistemas	8	7	Prueba funcional periódica	3	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***			
F1	Generar presión al sistema con una presión de 1000 a 3000 psi, 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF6	oscilación de presión entre 1000psi a 3000psi	VIB	vibración	CF11	eje torcido	desajuste del anillo de sujeción que puede causar la fractura del eje quedando inoperativa la bomba	5	6	Prueba funcional periódica	5	150	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***			
F1	Generar presión al sistema con una presión de 1000 a 3000 psi, 1 a 5GPM, -5°C a 60°C	FF7	los parámetros de indicación son variables	AIR	lectura anormal de instrumento de presión	CF12	descalibracion indicador de presión	error en lectura de medición presión, el sistema opera con valores falsos	4	3	Monitoreo periódico de condiciones	5	60	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***			
				AIR	lectura anormal del instrumento de temperatura	CF13	descalibracion indicador de temperatura	error en lectura de medición presión, el sistema opera con valores falsos	4	3	Monitoreo periódico de condiciones	5	60	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***			

Tabla 10. Desarrollo y análisis del FMEA Cilindro

Sistema : Aeronáutico Subsistema: Hidráulico Componente: Cilindro Hidráulico Código Componente: CY													ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) AEROHIDRAULICOS LTDA				Numero FMEA: 02 Elaborado por: ING. CARLOS GOMEZ Fecha FMEA: 18/04/2016 Fecha de Revisión: 23/05/2016 Pagina: 1 de 4			
Cód.. Func.	Función	Cód.. FF	Falla funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Cód.. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Occ	Nueva Det	Nuevo RPN
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 3000psi	FF8	Al aplicar una presión de 1000 psi el cilindro no se desplaza	INL	Fuga interna mayor	CF1	Desgaste o deterioro de empaquetadura	no opera el cilindro hay un bypass interno	7	7	En tiempo real de funcionamiento	6	294	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF14	rayado interno en el cilindro que ocasiona que el sello deje escapar fluido hidráulico	No opera el cilindro hay un bypass interno	7	5	Inspección	7	245	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
				PLU	Restricción total de flujo	CF15	Taponamiento parcial racor restrictor de presión	intermitencia en la operación del cilindro	8	2	Prueba funcional periódica	6	96	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 3000psi	FF9	Al aplicar una presión de 2000 psi el cilindro no se desplaza	INL	Fuga interna mayor	CF1	Desgaste de empaquetadura	no opera el cilindro hay un bypass interno	7	7	En tiempo real de funcionamiento	6	294	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF14	rayado interno en el cilindro que ocasiona que el sello deje escapar fluido hidráulico	No opera el cilindro hay un bypass interno	7	5	Inspección	7	245	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
				PLU	Restricción total de flujo	CF15	Taponamiento parcial racor restrictor de presión	intermitencia en la operación del cilindro	8	2	En tiempo real de funcionamiento	6	96	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Cilindro Hidráulico
 Código Componente: CY



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 02
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 2 de 4

Cód.. Func.	Función	Cód.. FF	Falla funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Cód.. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 2800psi	FF10	Al aplicar una presión de 3000 psi el cilindro no se desplaza	INL	Fuga interna mayor	CF1	Desgaste de empaquetadura	no opera el cilindro hay un bypass interno	7	7	En tiempo real de funcionamiento	5	245	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF14	rayado o grietas internas en el cilindro que ocasiona que le sello deje escapar fluido hidráulico	no opera el cilindro hay un bypass interno	7	5	Inspección	7	245	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						PLU	Restricción total de flujo	CF15	Taponamiento racor restrictor de presión por partículas	intermitencia en la operación del cilindro	8	2	En tiempo real de funcionamiento	6	96	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***		
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 3000psi	FF11	Al aplicar una presión de 1000 psi el cilindro se desplaza por intervalos	INL	Fuga interna menor	CF1	Desgaste de empaquetadura	el cilindro opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	7	8	Prueba funcional periódica	5	280	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
		FF12	Al aplicar una presión de 2000 psi el cilindro se desplaza por intervalos	INL	Fuga interna menor	CF1	Desgaste de empaquetadura	el cilindro opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	7	8	Prueba funcional periódica	5	280	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
		FF13	Al aplicar una presión de 3000 psi el cilindro se desplaza por intervalos	INL	Fuga interna menor	CF1	Desgaste o deterioro de empaquetadura	el cilindro opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	7	8	Prueba funcional periódica	5	280	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Cilindro Hidráulico
 Código Componente: CY



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 02
 Elaborado por ING. CARLOS GÓMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 3 de 4

Cód.. Func.	Función	Cód.. FF	Falla funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Cód.. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 3000psi	FF14	al aplicar presión hidráulica requerida el cilindro no opera	ELU	fuga externa	CF16	manguera rota	nivel de fluido hidráulico del tanque empieza a bajar quedando el sistema en riesgo	8	4	Prueba funcional periódica	7	224	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
						CF1	Desgaste o deterioro de empaquetadura	goteo y pérdida de hidráulico, ocasionando un bajo nivel en el tanque	7	8	Prueba funcional periódica	6	336	análisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 6445Hrs como tiempo de Overhaul	6	4	5	120
						CF17	racor acople manguera picado	fuga hidráulica, bajo nivel tanque	6	3	Mantenimiento periódico	5	90	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
		FF14	al aplicar presión hidráulica requerida el cilindro no opera	ELU	fuga externa	CF18	pistón con ralladuras, golpes, picaduras por piedras golpes, suciedad o condiciones de trabajo	goteo y pérdida de hidráulico, ocasionando un bajo nivel en el tanque	8	7	Inspección	7	392	mantenimiento predictivo CBM	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 6445 Hrs como tiempo de Overhaul. Se implementa análisis CBM e inspeccion periódica	7	4	5	140
FF15	al aplicar la presión requerida el cilindro opera por intervalos	ELU	fuga externa	CF20	Tapas sueltas	goteo y pérdida de hidráulico, ocasionando un bajo nivel en el tanque	8	4	Inspección	5	160	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***						

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Cilindro Hidráulico
 Código Componente: CY



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 02
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 4 de 4

Cód.. Func.	Función	Cód.. FF	Falla funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Cód.. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 3000psi	FF16	al aplicar la presión requerida el cilindro opera pero queda atascado	ELU	fuga externa	CF21	embolo curvado por sobrefuerzos o fatiga de material	fuga hidráulica, cilindro queda inoperativo, daño a partes adyacentes	8	3	En tiempo real de funcionamiento	5	120	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
		FF15	al aplicar la presión requerida el cilindro opera por intervalos	ELU	fuga externa	CF22	fisuras embolo	fuga hidráulica	7	3	Monitoreo periódico de condiciones	8	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
		FF16	al aplicar presión el embolo golpetea las esquinas del centro	STD	Deficiencia estructural	CF23	cavitación fatiga de material	vibración que tiene como efecto desajuste de partes	6	5	Monitoreo periódico de condiciones	5	150	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				
F2	Accionar los diferentes componentes transmitiendo fuerza y movimiento operando con un rango de presión de 1000psi a 3000psi	FF17	Al aplicar presión requerida al cilindro opera pero el pistón de devuelve con la fuerza	INL	Fuga interna	CF24	Desgaste de empaquetadura	al operar los subsistemas el cilindro no mantiene presión atrapada debido a su fuga interna	7	4	Prueba funcional periódica	3	84	Continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	***				

Tabla 11. Desarrollo y análisis del FMEA tren de nariz

Sistema : Aeronáutico Subsistema: Hidráulico Componente: Tren de nariz Código Componente: NLG													ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) AEROHIDRAULICOS LTDA				Numero FMEA 03 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ Fecha FMEA 18/04/2016 Fecha de Revisión 23/05/2016 Pagina 1 de 6			
Cód. Func.	Función	Cód. FF	Falla funcional	sz	Modo de Falla	Cód. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Occ	Nueva Def	Nuevo RPN
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF18	perdida parcial de la función degradación de partes	VIB	vibración	CF25	torcedura brazo acople llanta por aterrizaje fuerte	desalineación en el rodaje del avión, zigzaguo	10	3	En tiempo real de funcionamiento	5	150	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
						CF26	desgaste pista de bronce	al aterrizar se siente un golpeo fuerte en la cabina de los pilotos	5	9	Mantenimiento Periódico	7	315	mantenimiento predictivo CMB, analisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 5649 Hrs como tiempo de Overhaul. (analisis weibull)Se implementa analisis CBM en el plan de Manto	5	5	6	150
						CF27	desgaste de pistas metálicas	al aterrizar se siente un golpeo fuerte en la cabina de los pilotos, afectando el brazo principal de movimiento	5	6	Mantenimiento Periódico	7	210	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF18	perdida parcial de la función degradación de partes	VIB	Vibración	CF28	Desgaste de agujas anillos	abrasión al cilindro principal	8	8	Mantenimiento Periódico	8	512	mantenimiento predictivo CMB, analisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 5649 Hrs como tiempo de Overhaul. (analisis weibull) Se implementa analisis CBM en el plan de Manto	7	5	6	210
						CF29	desgaste de tornillos de ajuste	golpeteo al aterrizar	5	9	Mantenimiento Periódico	6	270	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
						CF30	falta de lubricación	desgaste de piezas al haber contacto excesivo metal con metal	4	5	Monitoreo periódico en condiciones	6	120	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Tren de nariz
 Código Componente: NLG



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA: 03
 Elaborado por: ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA: 18/04/2016
 Fecha de Revisión: 23/05/2016
 Pagina: 2 de 6

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Falla funcional	sz	Modo de Falla	Cód. CF	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Occ	Nueva Det	Nuevo RPN
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF18	perdida parcial de la función degradación de partes	VIB	Vibración	CF31	desgaste de rodamientos	golpeteo al aterrizar y afectación a partes subyacentes	6	8	Mantenimiento Periódico	7	336	mantenimiento predictivo CMB, analisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	Se interviene el componente cada 5649 Hrs como tiempo de Overhaul. (analisis weibull) Se implementa analisis CBM en el plan de Manto	6	5	6	180
						CF32	desgaste perno sujetador brazo giro	golpeteo al aterrizar y afectación a partes subyacentes	5	9	Inspección	4	180	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	****				
						CF33	fractura del braket	deteriora partes anexas a este produciéndose un golpeteo	5	7	Inspección	7	245	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	****				
						CF34	desgaste de bujes en bronce	al aterrizar se siente un golpeteo fuerte en la cabina de los pilotos	5	8	Inspección	5	200	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	****				
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF19	perdida de fluido hidráulico	ELP	Fuga externa hidráulica	CF35	empaquete desgastado o defectuosa de válvula de llenado fluido hidráulico	goteo, el tren no amortigua generando golpeteo en su estructura por perdida de fluido	7	5	Prueba funcional periódica	5	175	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	****				
						CF36	arandela en bronce de sello defectuosa de válvula de llenado	goteo, el tren no amortigua generando golpeteo en su estructura por perdida de fluido	7	4	Mantenimiento Periódico	5	140	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	****				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Tren de nariz
 Código Componente: NLG



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 03
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 3 de 6

Cód.. Func.	Función	Cód. . FF	Falla funcional	sz	Modo de Falla	Cód.. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF19	perdida de fluido hidráulico	ELP	Fuga externa hidráulica	CF37	desgaste de empaques cilindro	goteo, el tren no amortigua generando golpeteo en su estructura	7	5	Mantenimiento Periódico	5	175	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
						CF38	empaques defectuosos o deteriorados tapa cilindro	el tren no amortigua generando golpeteo en su estructura	7	3	Mantenimiento Periódico	5	105	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
						CF16	manguera de presión rota sistema de giro	al operar la dirección no se puede realizar el giro tanto para derecha como para	6	3	En tiempo real de funcionamiento	6	108	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF20	presión de nitrógeno menor a 283psi	INL	fuga de nitrógeno	CF39	desgaste empaque válvula de nitrógeno con fuga	el tren no amortigua y presenta golpeteo	7	5	Prueba funcional periódica	4	140	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
F3	perdida parcial de la función degradación de partes	FF21	perdida parcial de la función degradación de partes	ELU	Deficiencia estructural	CF40	anillos sujetadores desgastados	el tren no asegura arriba queda inoperativo arriba quedando asegurado abajo se tiene que retornar al aeropuerto	8	3	Inspección	7	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Tren de nariz
 Código Componente: NLG



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 03
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 4 de 6

Cód.. Func.	Función	Cód. FF	Falla funcional	sz	Modo de Falla	Cód.. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e e u	O e c u	Método de detección	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF22	Giro mayor a 45°	ELU	ruptura	CF41	en el carreteo el operario giro el tren mas del ángulo permitido	sumidura a topes del tren , que puede encadenar en vibración	5	8	Inspección	3	120	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
		FF18	perdida parcial de la función degradación de partes	ELU	Deficiencia estructural	CF42	fatiga de material estructura por golpeo excesivo	queda el tren con vibración	8	6	Inspección	2	96	continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
		FF23	perdida de fluido hidráulico		Deficiencia estructural	CF43	humedad corrosión o fricción	goteo en pistón cilindro	6	5	Inspección	3	90	continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
		FF19	perdida de fluido hidráulico	ELU	Deficiencia estructural	CF44	piedras, suciedad, golpes	goteo hidráulico	8	6	Inspección	4	192	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF19	perdida de fluido hidráulico	ELU	fuga externa	CF45	fisuras cilindro	fuga hidráulica y de nitrógeno, el cilindro presenta golpeo	7	3	Prueba funcional periódica	8	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
		FF19		ELU	fuga externa	CF46	corrosión cilindro	fuga hidráulica y de nitrógeno, el cilindro presenta golpeo	7	5	Prueba funcional periódica	5	175	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
		FF24	no asegura	AIR	lectura anormal de instrumentos	CF47	intermitencia de micro sin señal tren arriba	luz roja encendida de tren sin asegurar	8	6	Prueba funcional periódica	3	144	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: Tren de nariz
 Código Componente: NLG



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA: 03
 Elaborado por: ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA: 18/04/2016
 Fecha de Revisión: 23/05/2016
 Pagina: 5,6 de 6

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Falla funcional	sz	Modo de Falla	Cód. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones																							
																Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN																			
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right,	FF24	no asegura	AIR	lectura anormal de instrumentos	CF48	intermitencia de micro o sin señal tren abajo	luz roja encendida de tren sin asegurar	8	6	Prueba funcional periódica	3	144	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****																							
		FF19	perdida de fluido hidráulico	AIR	lectura anormal de instrumentos	CF49	fuga manguera o tubo hidráulico	luz roja encendida de tren sin asegurar	8	4	Prueba funcional periódica	3	96	continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****																							
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right,	FF24	no asegura	AIR	lectura anormal de instrumentos	CF50	cilindro tren abajo o tren arriba no funciona	luz roja encendida de tren sin asegurar	8	6	Prueba funcional periódica	3	144	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****																							
																					STD	Deficiencia estructural	CF51	desgaste gancho sujetador tren arriba suelto	no asegura tren arriba no se puede subir tren	7	3	Prueba funcional periódica	7	147	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****						
F3	Absorber la energía cinética producida por el impacto, dar dirección al avión. capacidad 283psi de nitrógeno, 3000 a 5000kf , rango de giro 45° left y right, 500cm3 de hidráulico.	FF19	perdida de fluido hidráulico	FRO	falla al rotar	CF16	manguera rota	fuga hidráulico perdida de la función	8	3	En tiempo real de funcionamiento	3	72	continuar con los protocolos actuales	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****																							
																					FF25	No gira ni en left y right	FRO	falla al rotar	CF52	no funciona el sistema de giro	no se puede realizar el giro en el avión quedando inoperativo	7	5	En tiempo real de funcionamiento	3	105	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
																									CF53	guaya suelta accionamiento giro	no se puede realizar el giro en el avión quedando inoperativo	7	4	En tiempo real de funcionamiento	5	140	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				
																									CF54	mecanismo de accionamiento de giro desajustado	no se puede realizar el giro en el avión quedando inoperativo	7	4	En tiempo real de funcionamiento	5	140	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	****				

Tabla 12. Desarrollo y análisis del FMEA válvula

Sistema : Aeronáutico Subsistema: Hidráulico Componente: válvula Código Componente: VA		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) AEROHIDRAULICOS LTDA										Elaborado por: ING. CARLOS GÓMEZ Fecha FMEA: 18/04/2016 Fecha de Revisión: 23/05/2016 Página: 1 de 4								
Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Occu	Nueva Det	Nuevo RPN
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF26	No hay envío de presión	FTO	Falla de apertura ante demanda	CF55	corrosión partes internas válvula atascada	la unidad queda inoperativa y no hay accionamiento de los subsistemas que opera esta válvula	8	5	Prueba funcional periódica	5	200	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	...				
		FF27	Enviar presión constante sin control	FTC	Falla al cierre	CF55	corrosión partes internas	sobredemanda de presión activación de apagado de presión los subsistemas quedan inoperativos	8	4	Mantenimiento Periódico	8	256	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	...				
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF28	no opera en el tiempo establecido según su rango	DOP	retardo en la operación	CF56	Destencionamiento de resortes	los subsistemas operan con un retraso en su tiempo programado	7	6	Prueba funcional periódica	8	336	Analisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	Se interviene el componente cada 4589 Hrs como tiempo de Overhaul. (analisis weibull)	7	5	5	175
				DOP	retardo en la operación	CF55	corrosión partes internas	los subsistemas operan con un retraso en su tiempo programado	7	5	Inspección	8	280	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	...				
				DOP	retardo en la operación	CF57	señal de accionamiento intermitente	los subsistemas operan con un retraso en su tiempo programado	7	6	En tiempo real de funcionamiento	6	252	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez. 05/16	...				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: válvula
 Código Componente: VA



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 04
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 2 de 4

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF28	no opera en el tiempo establecido según su rango	DOP	retardo en la operación	CF1	desgaste o deterioro empaquetadura	fuga interna los subsistemas operan con un retraso en su tiempo programado	7	6	Mantenimiento Periódico	8	336	Analisis de Weibull cambio de frecuencias de Mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	Se interviene el componente cada 4589 Hrs como tiempo de Overhaul. (analisis weibull)	7	5	5	175
				DOP	retardo en la operación	CF58	desregulación válvula (tuerca de ajuste floja)	los subsistemas operan con un retraso en su tiempo programado	7	3	Prueba funcional periódica	8	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				DOP	retardo en la operación	CF59	desgaste de balines de sello fuga intermitente	los subsistemas operan con un retraso en su tiempo programado	7	4	Mantenimiento Periódico	8	224	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF29	Funcionamiento erróneo	SPO	operación inesperada	CF60	señal de accionamiento intermitente	el sistema desconecta la válvula	7	4	En tiempo real de funcionamiento	7	196	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
		FF30	la presión sobrepasa el rango de operación	HIO	salida por alta	CF61	desregulación válvula	el sistema queda desprotegido accionando el sistema de sobrepresión	8	5	Prueba funcional periódica	6	240	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				LOO	salida por baja	CF61	desregulación de válvulas	no operan los subsistemas debido a la baja presión	8	4	Prueba funcional periódica	6	192	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				LOO	salida por baja	CF62	deterioro o desgaste de empaquetadura	no operan los subsistemas debido a la baja presión	8	4	Mantenimiento Periódico	8	256	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: válvula
 Código Componente: VA



ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)
 AEROHIDRAULICOS LTDA

Numero FMEA 04
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 3 de 4

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF31	Restricción total de flujo	PLU	atascado/taponamiento	CF55	corrosión partes internas	No operan los subsistemas al no haber entrada de presión por taponamiento generando un fallo en el sistema	8	4	Inspección	8	256	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				PLU	atascado/taponamiento	CF63	contaminación por partículas	No operan los subsistemas al no haber entrada de presión por taponamiento generando un fallo en el sistema	8	3	Monitoreo periódico de condiciones	8	192	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF32	indicación de bajo nivel en tanque	ELP	fuga externa	CF1	deterioro o desgaste de empaquetadura	fuga hidráulica y bajo nivel del tanque	7	4	Mantenimiento Periódico	8	224	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				ELP	fuga externa	CF64	fisura externa	fuga hidráulica y bajo nivel del tanque	7	3	Inspección	8	168	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
		FF33	operación por intervalos	INL	Fuga interna	CF1	deterioro o desgaste de empaquetadura	fuga hidráulica y bajo nivel del tanque	7	4	Mantenimiento Periódico	8	224	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				INL	Fuga interna	CF62	desgaste de partes internas	fuga hidráulica y bajo nivel del tanque	7	3	Mantenimiento Periódico	9	189	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				

Sistema : Aeronáutico
 Subsistema: Hidráulico
 Componente: válvula
 Código Componente: VA



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) AEROHIDRAULICOS
 LTDA

Numero FMEA 04
 Elaborado por ING. CARLOS GOMEZ
 Fecha FMEA 18/04/2016
 Fecha de Revisión 23/05/2016
 Pagina 4 de 4

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Falla funcional	Cod. MF	Modo de Falla	Cod. CF.	Causas de falla	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	O c u	Método de detección	D e t	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de las acciones				
																Acción(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
F4	Controlar el funcionamiento de los actuadores, regular la presión, el caudal, enviar señales y para decidir por donde va el aceite. Rangos de operación de 100psi a 3000psi	FF34	incapaz de contener el fluido hidráulico	LCP	fuga en posición cerrada	CF1	deterioro o desgaste de empaquetadura	opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	6	7	Mantenimiento Periódico	7	294	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				LCP	fuga en posición cerrada	CF65	mecanismo metálico de sello interno desgastado	opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	6	5	Mantenimiento Periódico	8	240	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				LCP	fuga en posición cerrada	CF66	destencionamiento de resortes	el opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	6	6	Mantenimiento Periódico	8	288	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
				LCP	fuga en posición cerrada	CF67	desgaste o fatiga de material interno	el cilindro opera por intervalos ocasionando fallo en los sistemas que actúa	6	4	Inspección	8	192	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
		FF35	se presenta una alarma de falla válvula	AIR	lectura anormal de instrumentos	CF12	descalibracion de indicadores de señal (presión, temperatura)	el sistema desconecta la válvula	4	3	Monitoreo periódico de condiciones	5	60	continuar con los controles actuales	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				
		FF36	perdida de presión	STD	deficiencia estructural	CF23	fatiga o grietas de material	fuga hidráulica	7	3	Inspección	7	147	Revisión periódica planes de mantenimiento	Ing. Carlos Gomez 05/16	...				

7.1 RESULTADOS DE FMEA CON NPR CRÍTICO

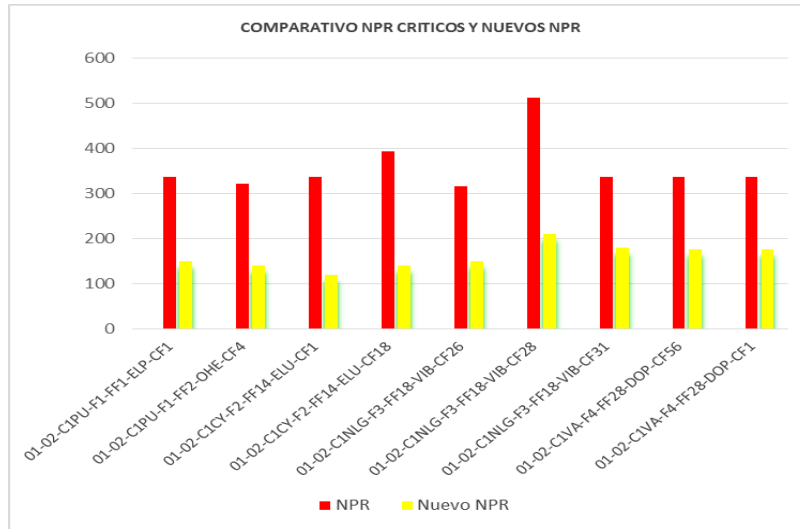
A continuación se tabularon los resultados de los NPR críticos, en los cuales hay que plantear acciones para disminuir el RPN y su nueva evaluación. Este análisis se efectúa a continuación teniendo en cuenta criterios de Análisis Weibull y mantenimiento predictivo estos criterios serán la base de análisis para implementar las acciones para la disminución del NPR. En la tabla 13 se muestran los resultados de los NPR críticos de nuestro FMEA para los componentes de trabajo.

La codificación de los FMEA se realizó teniendo en cuenta la figura 19 y la tabla 1 codificación componentes y FMEA de la página 57.

Tabla 13. Resultado FMEA – NPR critico

Dato	Códigos críticos del FMEA	NPR	Nuevo NPR
1	01-02-C1PU-F1-FF1-ELP-CF1	336	150
2	01-02-C1PU-F1-FF2-OHE-CF4	320	140
3	01-02-C1CY-F2-FF14-ELU-CF1	336	120
4	01-02-C1CY-F2-FF14-ELU-CF18	392	140
5	01-02-C1NLG-F3-FF18-VIB-CF26	315	150
6	01-02-C1NLG-F3-FF18-VIB-CF28	512	210
7	01-02-C1NLG-F3-FF18-VIB-CF31	336	180
8	01-02-C1VA-F4-FF28-DOP-CF56	336	175
9	01-02-C1VA-F4-FF28-DOP-CF1	336	175

Figura 26. Grafico Comparativo NPR críticos y nuevos NPR evaluados



Fuente. Autor

7.2 DESARROLLO DE ESTUDIO DE CONFIABILIDAD

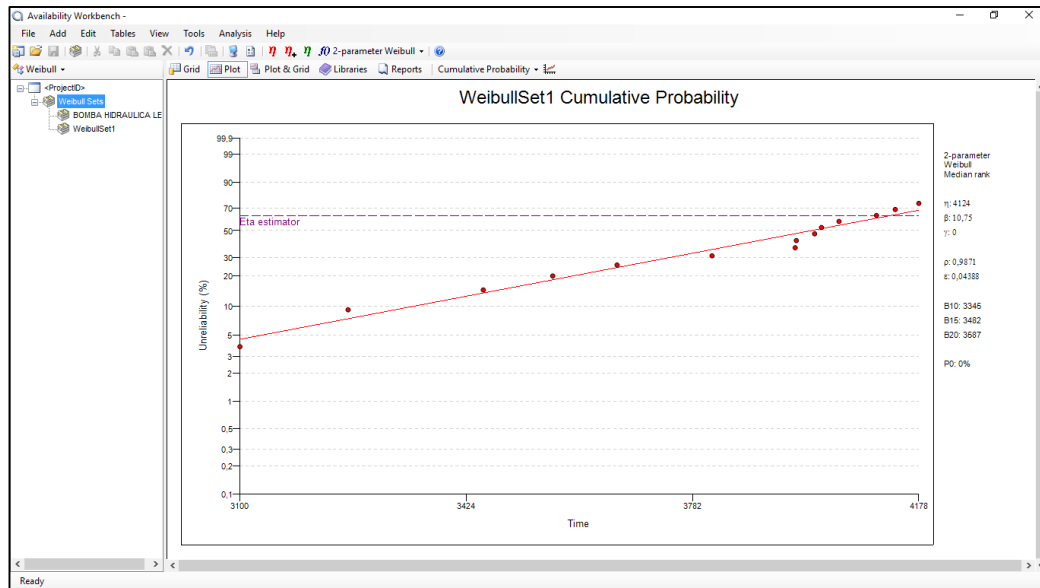
Para los datos FMEA críticos, se realizó el análisis y la conclusión correspondiente que se describe a continuación.

7.2.1. Análisis de los Datos. Se recolectaron los MTBF Y las MTTR con su reporte respectivo para cada dato, teniendo en cuenta en tiempo de Overhaul de cada componente; que se describe y grafica a continuación con la ayuda del software isograph Availability Workbench will run in demonstration. Se efectúa el análisis de Weibull tomando los MTBF. Con el fin de disminuir los NPR críticos y toma de acciones teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el siguiente análisis para cada componente. Las tablas 14, 15 ,16 17 muestran los datos obtenidos del área de mantenimiento por componente para su análisis.

Tabla 14. MTBF Y MTTR Bomba hidráulica

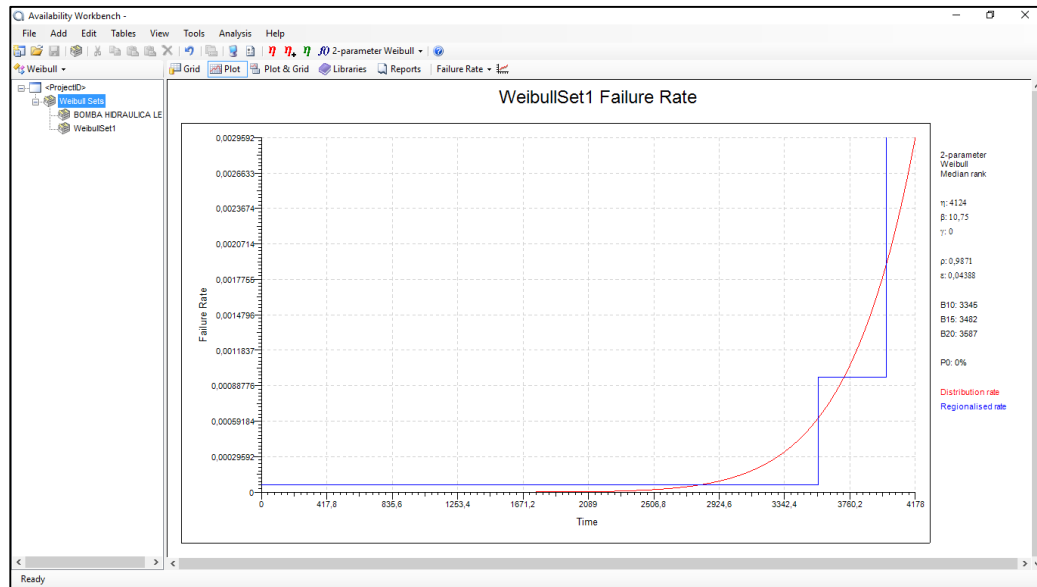
EMPRESA: AEROHIDRAULICOS LTDA		COMPONENTE: BOMBA HIDRAULICA LET			
		PARTE NUMERO	LUN6102.01-8		T.O/H: 4500HRS
DATO No.	FECHA SOLICITUD	FECHA DE CUMPLIMIENTO	TBF (hrs)	TTR (hrs)	REPORTE
1	10/01/2006	14/01/2006	3251	39	Alta temperatura
2	10/03/2007	14/03/2007	3957	39	Fuga Externa
3	3/04/2007	7/04/2007	3815	39	Alta temperatura
4	9/09/2007	13/09/2007	4500	39	Tiempo Overhaul
5	20/03/2008	24/03/2008	4500	39	Tiempo Overhaul
6	6/05/2009	10/05/2009	4178	39	Alta temperatura
7	5/02/2010	9/02/2010	3991	39	Fuga Externa
8	15/02/2010	19/02/2010	4101	39	Fuga Externa
9	13/02/2011	17/02/2011	4500	39	Tiempo Overhaul
10	12/12/2011	16/12/2011	4003	39	Alta temperatura
11	4/06/2012	9/06/2012	4034	39	Fuga Externa
12	4/08/2012	10/08/2012	4135	39	Fuga Externa
13	6/12/2012	11/12/2012	3659	39	Fuga Externa
14	20/07/2013	24/07/2013	3100	39	Fuga Externa
15	30/07/2013	4/08/2013	3557	39	Fuga Externa
16	27/12/2013	10/01/2014	3959	39	Fuga Externa
17	27/03/2016	1/04/2016	3450	39	Fuga Externa
18	12/04/2016	16/04/2016	4500	39	Tiempo Overhaul

Figura 27. Curva de weibull probabilidad acumulada bomba hidráulica



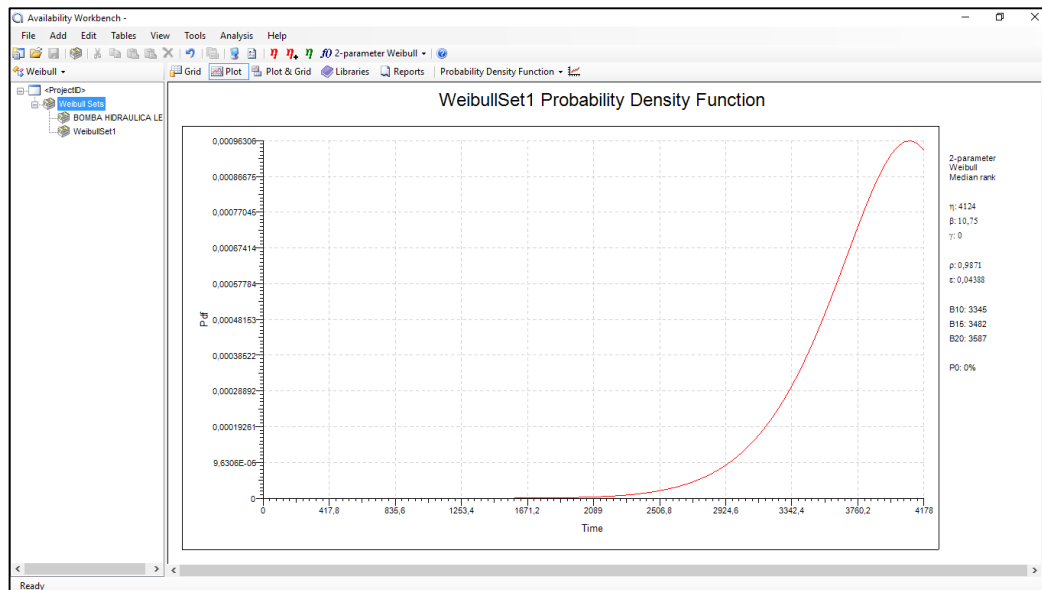
Fuente. Autor

Figura 28. Curva de weibull tasa de falla bomba hidráulica



Fuente. Autor

Figura 29. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad bomba hidráulica



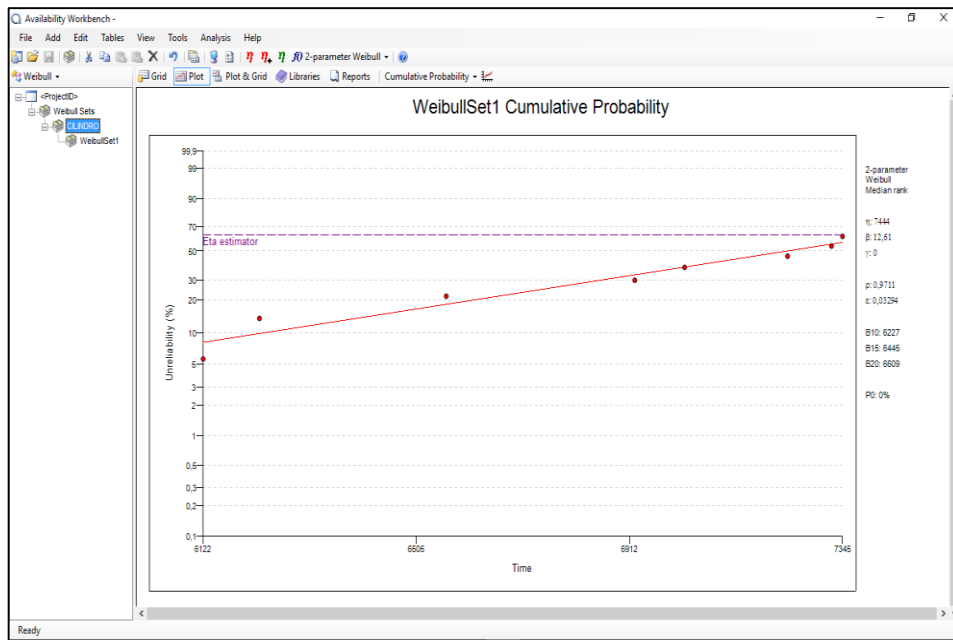
Fuente. Autor

Teniendo en cuenta los datos recolectados en la tabla 14 y realizado los cálculos mediante el programa y con los resultados obtenidos se puede observar que con el beta (β) obtenido en confiabilidad se determina en qué lugar de la curva de la bañera se encuentra el componente. Al ser el parámetro $\beta=10,75$ implica falla por desgaste, etapa caracterizada por deterioro rápido por edad de uso, $\eta=4124$ es el parámetro vida y es igual al tiempo promedio para la falla. Para reducir el NPR del FMEA se decidió tomar como probabilidad de falla $B=15\%$, esto quiere decir que debemos intervenir el componente cada 3482hrs como tiempo de Overhaul o intervención por tiempo, con el fin de reducir la ocurrencia severidad y detectabilidad. Este dato será colocado como acción tomada en el FMEA.

Tabla 15. MTBF Y MTTR cilindro hidráulico

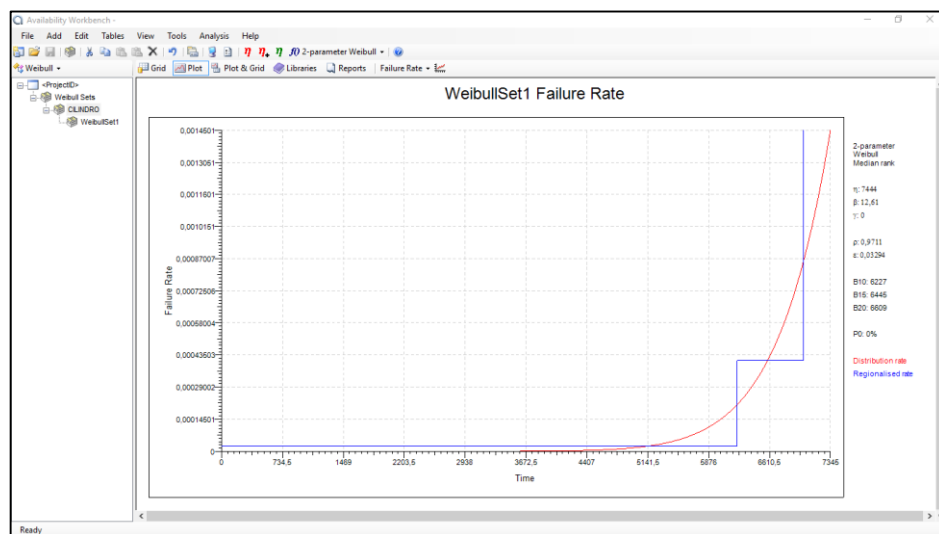
EMPRESA: AEROHIDRAULICOS LTDA			COMPONENTE: CILINDRO HIDRAULICO LET		
		PARTE NUMERO	3259912-5		T.O/H: 8000HRS
DATO No.	FECHA SOLICITUD	FECHA DE CUMPLIMIENTO	TBF (hrs)	TTR (hrs)	REPORTE
1	3/07/2006	6/07/2006	6221	20	Fuga Externa
2	3/09/2006	6/09/2006	6561	20	Fuga Externa
3	10/09/2008	13/09/2008	6112	20	Fuga Externa
4	4/03/2009	7/03/2009	7231	20	Fuga Externa
5	2/09/2010	5/09/2010	8000	20	Tiempo Overhaul
6	1/11/2010	5/11/2010	7022	20	Fuga Externa
7	10/11/2011	15/11/2011	7322	20	Fuga Externa
8	15/02/2013	18/02/2013	6923	20	Fuga Externa
9	25/02/2013	28/02/2013	8000	20	Tiempo Overhaul
10	20/02/2015	24/02/2015	8000	20	Tiempo Overhaul
11	11/03/2015	14/02/2015	7345	20	Fuga Externa
12	25/02/2015	28/02/2015	8000	20	Tiempo Overhaul

Figura 30. Curva de weibull probabilidad acumulada cilindro hidráulico



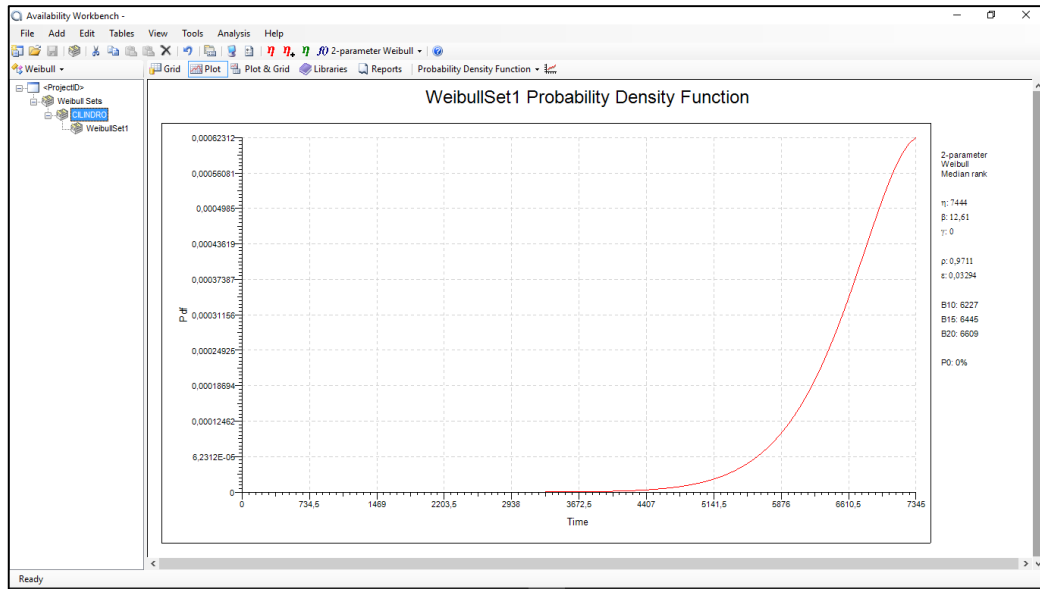
Fuente. Autor

Figura 31. Curva de weibull tasa de falla cilindro hidráulico



Fuente. Autor

Figura 32. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad cilindro hidráulico



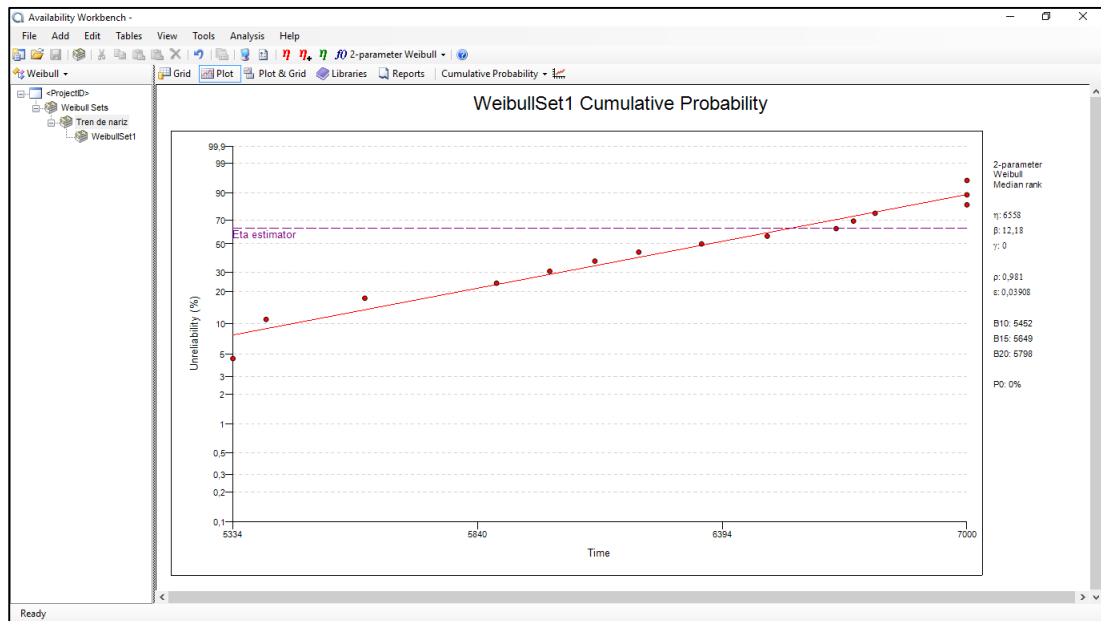
Fuente. Autor

Teniendo en cuenta los datos recolectados en la tabla 15 y realizado los cálculos mediante el programa y con los resultados obtenidos se puede observar que con el beta (β) obtenido en confiabilidad se determina en qué lugar de la curva de la bañera se encuentra el componente. Al ser el parámetro $\beta=12,61$ implica falla por desgaste, etapa caracterizada por deterioro rápido por edad de uso, $\eta=7444$ es el parámetro de vida y es igual al tiempo promedio para la falla. Para reducir el NPR crítico del FMEA, se decidió tomar como probabilidad de falla $B=15\%$, esto quiere decir que debemos intervenir el componente cada 6445hrs como tiempo de Overhaul o intervención por tiempo, con el fin de reducir la ocurrencia, severidad y detectabilidad. Este dato será colocado como acción tomada en el FMEA.

Tabla 16. MTBF Y MTTR tren de nariz

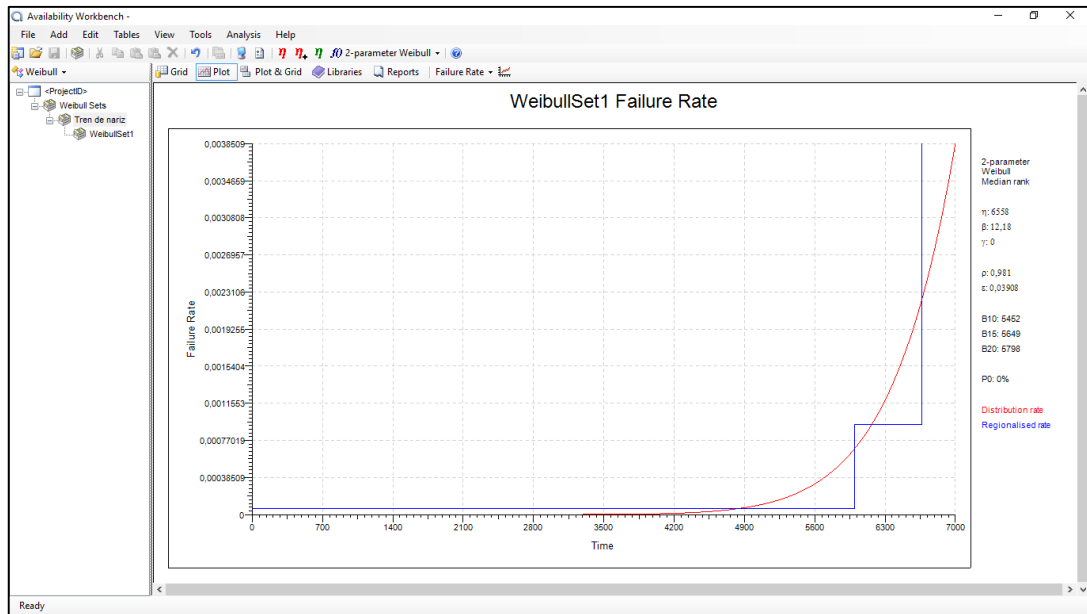
EMPRESA: AEROHIDRAULICOS LTDA		COMPONENTE: TREN DE NARIZ LET			
		PARTE NUMERO	3259911-7		T.O/H: 7000HRS
DATO No.	FECHA SOLICITUD	FECHA DE CUMPLIMIENTO	TBF (hrs)	TTR (hrs)	REPORTE
1	15/10/2006	8/11/2006	5998	50	Vibración
2	5/12/2006	29/12/2006	5601	50	Vibración
3	10/01/2008	2/02/2008	5881	50	Vibración
4	15/02/2009	19/02/2009	7000	50	Tiempo Overhaul
5	4/06/2009	25/06/2009	6712	50	Vibración
6	28/02/2010	17/03/2010	6099	50	Vibración
7	15/05/2010	30/05/2010	5400	50	Vibración
8	4/05/2011	18/05/2011	6766	50	Vibración
9	5/07/2011	27/07/2011	7000	50	Tiempo Overhaul
10	4/02/2012	22/02/2012	7000	50	Tiempo Overhaul
11	30/07/2013	21/08/2013	5334	50	Vibración
12	1/07/2013	23/07/2013	6345	50	Vibración
13	6/06/2014	24/06/2014	6501	50	Vibración
14	17/07/2014	4/08/2014	6199	50	Vibración
15	27/03/2016	11/04/2016	6669	50	Vibración

Figura 33. Curva de weibull probabilidad acumulada tren de nariz



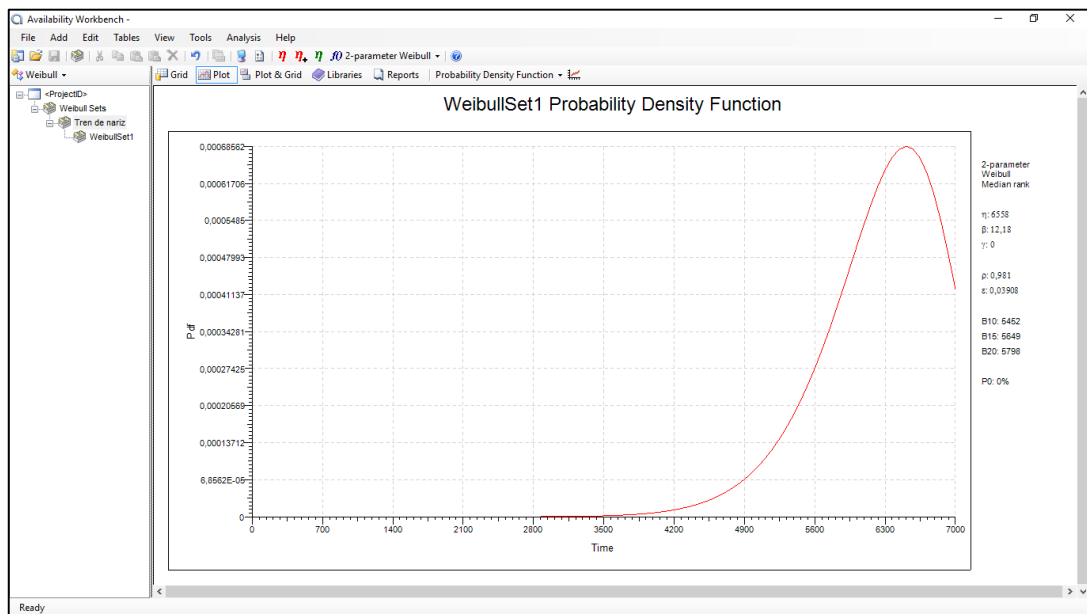
Fuente. Autor

Figura 34. Curva de weibull tasa de falla tren de nariz



Fuente. Autor

Figura 35. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad tren de nariz



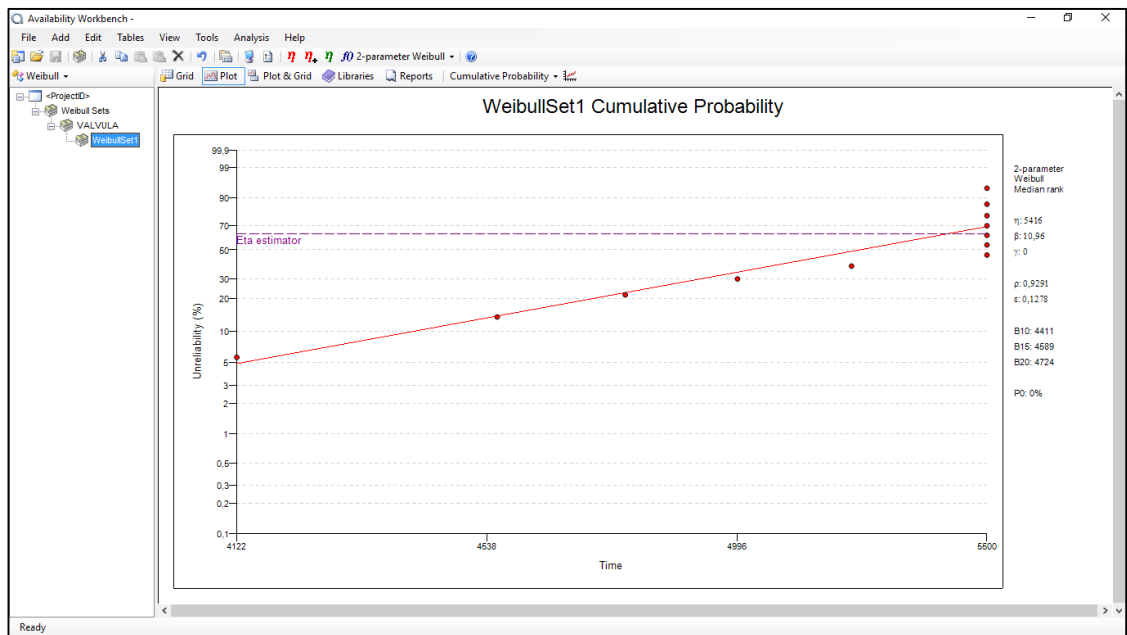
Fuente. Autor

Teniendo en cuenta los datos recolectados en la tabla 16 y realizado los cálculos mediante el programa y con los resultados obtenidos se puede observar que con el beta (β) obtenido en confiabilidad se determina en qué lugar de la curva de la bañera se encuentra el componente. Al ser el parámetro $\beta=12,61$ implica falla por desgaste, etapa caracterizada por deterioro rápido por edad de uso, $\eta=6558$ es el parámetro de vida y es igual al tiempo promedio para la falla. Para reducir el NPR se decidió tomar como probabilidad de falla $B=15\%$, esto quiere decir que debemos intervenir el componente cada 5649hrs como tiempo de Overhaul o intervención por tiempo, con el fin de reducir la ocurrencia, severidad y detectabilidad. Este dato será colocado como acción tomada en el FMEA.

Tabla 17. MTBF Y MTTR válvula

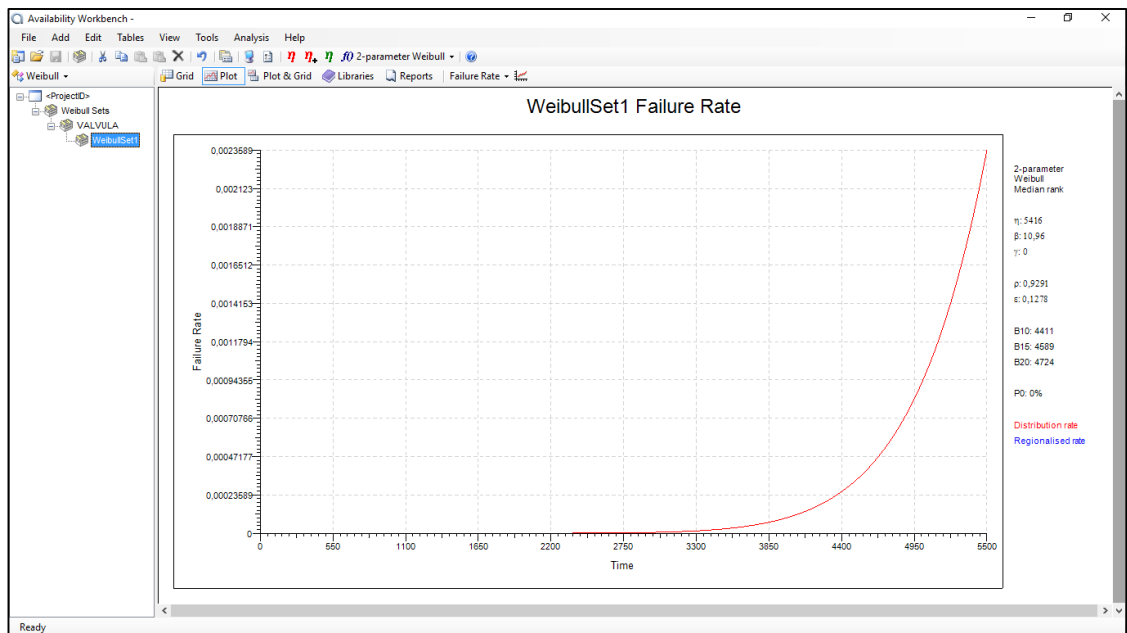
EMPRESA: AEROHIDRAULICOS LTDA			COMPONENTE: VALVULA SELECTORA		
		PARTE NUMERO	6620A		T.O/H: 5500HRS
DATO No.	FECHA SOLICITUD	FECHA DE CUMPLIMIENTO	TBF (hrs)	TTR (hrs)	REPORTE
1	13/07/2007	15/07/2007	5500	12	Tiempo Overhaul
2	15/09/2007	18/09/2007	4556	12	Retardo en la operación
3	10/03/2008	14/03/2008	5500	10	Tiempo Overhaul
4	1/03/2009	3/03/2009	5500	12	Tiempo Overhaul
5	23/03/2011	25/03/2011	4786	12	Retardo en la operación
6	6/03/2011	9/03/2011	5500	12	Tiempo Overhaul
7	26/03/2013	29/03/2013	4122	12	Retardo en la operación
8	27/03/2013	1/04/2013	5221	10	Retardo en la operación
9	30/07/2013	4/08/2013	5500	12	Tiempo Overhaul
10	12/12/2014	12/15/2014	5500	12	Tiempo Overhaul
11	6/05/2015	9/05/2015	4997	12	Retardo en la operación
12	7/03/2016	6/04/2016	5500	10	Tiempo Overhaul

Figura 36. Curva de weibull probabilidad válvula



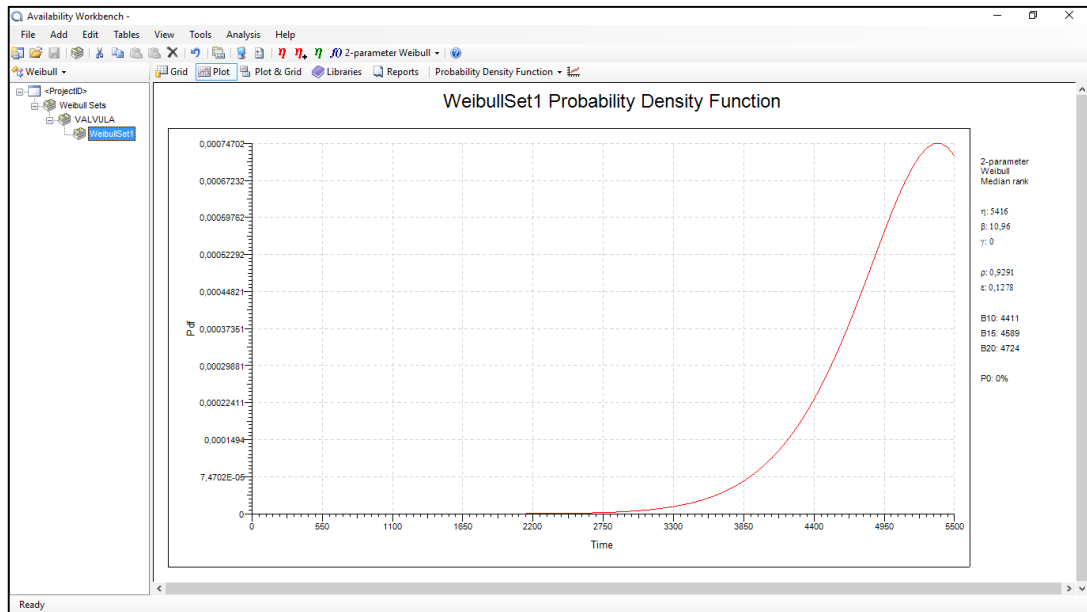
Fuente. Autor

Figura 37. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad válvula



Fuente. Autor

Figura 38. Curva de Weibull función de densidad de probabilidad válvula



Fuente. Autor

Teniendo en cuenta los datos recolectados en la tabla 17 y realizado los cálculos mediante el programa y con los resultados obtenidos se puede observar que con el beta (β) obtenido en confiabilidad se determina en qué lugar de la curva de la bañera se encuentra el componente. Al ser el parámetro $\beta=12,61$ implica falla por desgaste, etapa caracterizada por deterioro rápido por edad de uso, $\eta=5416$ es el parámetro de vida y es igual al tiempo promedio para la falla. Para reducir el NPR se decidió tomar como probabilidad de falla $B=15\%$, esto quiere decir que debemos intervenir el componente cada 4589hrs como tiempo de Overhaul o intervención por tiempo, con el fin de reducir la ocurrencia, severidad y detectabilidad. Este dato será colocado como acción tomada en el FMEA.

8. CONCLUSIONES

Luego de aplicar la metodología FMEA se observó que es adecuada como estrategia para la optimización de los modos de fallo de los componentes analizados dentro de esta monografía, aportando a la Empresa mayor confiabilidad para el mantenimiento de los componentes y su posterior prueba en los bancos hidráulicos.

Una vez concluida esta monografía, se lograron establecer las frecuencias de mantenimiento reales para los componentes analizados, lo que ayuda a la disminución de la severidad, ocurrencia y detectabilidad como resultado de un nuevo número de prioridad de riesgo no crítico.

La aplicación de acciones de mejora para disminuir la criticidad de los modos de fallo, condujo a la reducción de tiempo de paro de equipo y recursos requeridos para la realización de los mantenimientos.

La metodología aplicada para determinar la criticidad de los fallos, es posible utilizarla en otros componentes no hidráulicos, que afecten la confiabilidad al presentar una tasa de falla frecuente.

El Análisis de modos y efectos de falla realizada permitió documentar la experiencia del personal de mantenimiento y los operarios, logrando una mejor comprensión del comportamiento de los equipos y su mantenimiento.

9. RECOMENDACIONES

Hacer revisiones periódicas del FMEA para verificar que las condiciones se mantienen o si por el contrario se deben implementar nuevas acciones como medida de optimización de los mantenimientos.

Se recomienda la adquisición de un software para futuros análisis FMEA, que se encuentre integrado con el plan de mantenimiento de la Empresa.

Efectuar mediciones periódicas del comportamiento de los tiempos medios entre fallas, para verificar si se cumple con lo establecido en el FMEA de los tiempos de intervención de cada componente o si se debe reducir el porcentaje de la tasa de fallo y aplicar nuevas acciones de mejora continua para el mantenimiento.

Divulgar a los involucrados dentro del proceso de mantenimiento, los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología FMEA para que los operadores puedan establecer efectivas medidas de mantenimiento e intervención de los componentes.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR REYES, Primitivo. Análisis del Modo y Efecto de Falla (PFMEA) Febrero 2007. 21 p. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/290659905/Amef-Terminado>.

AEROHIDRAULICOS. Manual de procedimientos de inspección MPI, Colombia: 2010, 250 p.

BESTRATÉN BELLOVÍ, Manuel. Ingeniero Industrial, NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. España: NTP. 2004. 8 p.

BOHORQUEZ ENRIQUE ARIZA, Maquinaria y equipos, Bogotá agosto de 2011. 30 p. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/unidad_1.html

DIAZ CHRISTIAN Y QUIMBIURCO MIGUEL. Automatización del análisis de modos de falla y efectos FMEA en la ingeniería de mantenimiento aplicado para la industria ecuatoriana. Quito 2008. 297P. Disponible en: [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771\(2008-11-05-11-33-01\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771(2008-11-05-11-33-01).pdf)

ESTÁNDAR INTERNACIONAL ISO 14224. Industrias del Petróleo y del gas natural – Recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo 1era. Edición 1999-07-1. 87 p.

ESTÁNDAR INTERNACIONAL ISO16949- QS9000, Sistemas de Administración de Calidad, Suiza. 2009. 50 p.

GPE. J. ING. Cabrera Octavio Lazarini. Gestión del mantenimiento m.c.confiable y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, riesgo, costo y

garantías de los equipos. 27 p. Disponible en:
<https://gestionmantenimientomentefactusupq.wikispaces.com/file/view/Weibull.pptx>

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC-IEC 60812. Sistemas de gestión. Técnicas de análisis para confiabilidad de sistemas. Procedimiento para análisis de modo de falla y efectos (AMFE). Bogotá: ICONTEC. 2007. 30 p.

PASCUAL, Rodrigo. Gestión moderna del mantenimiento. Universidad de Chile. Departamento de ingeniería mecánica. [En línea]. Santiago, 2002. 281 p. Disponible en: <http://mett-con.com/manual%20del%20ingeniero%20de%20mantenimiento.pdf>

PASCUAL SANTIAGO, Rodrigo. Gestión Moderna del Mantenimiento Chile versión 2.0, julio 2002. 291 p.

PINO TAMBORERO, José M. NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull, España: 1994. 10 p. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_331.pdf

ANEXO A. Especificaciones Aceite hidráulico MIL-H-5006 (Royco)



ROYCO® 756 & ROYCO 756A

HYDRAULIC FLUID, AIRCRAFT,
MISSILE, AND ORDINANCE PETROLEUM BASE

Description

ROYCO 756 is a red-dyed, mineral oil based hydraulic fluid developed for the severe duty demands of aerospace and industrial service. ROYCO 756 contains additives that provide excellent low temperature fluidity as well as exceptional anti-wear, oxidation / corrosion inhibition, and shear stability. In addition, metal deactivators and foam inhibitors are provided in this high viscosity index fluid to enhance performance in many general purpose hydraulic applications

Applications

ROYCO 756 is designed for use in aircraft, missiles, autopilots, shock absorbers, cherry pickers, boom trucks, robotics, and auto wreckers requiring all-weather performance. ROYCO 756 is particularly recommended for use in systems where a "super clean" fluid can contribute to improved component life and reliability. ROYCO 756 can be used in unpressurized systems operating at temperature ranges from -54 to 90°C (-65 to 195°F) and in pressurized systems from -54 to 135°C (-65 to 275°F) at pressures up to 3000 psi. ROYCO 756A may be used in systems not requiring a "super clean" ID and where the convenience of a re-sealable container can provide cost savings.

Features and Benefits

- Wide operating temperature range
- Low temperature fluidity
- Exceptional anti-wear performance
- "Super Clean" Fluid to improve equipment life
- Excellent oxidation and corrosion inhibition

Approvals and Specifications

ROYCO 756 meets all requirements and is qualified under MIL-SPEC: MIL-PRF-5606H(3) that supersedes Mil-H-5606G, Mil-O-5606, AN-O-336, AN-VV-O-336, and AAF-3580.

ROYCO 756A meets the technical requirements of Mil-H-5606A.

TYPICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ROYCO® 756
Kinematic Viscosity, cSt		
@ 100°C	ASTM D445	5.28
@ 40°C	ASTM D445	14.30
@ -40°C	ASTM D445	473
@ -54°C	ASTM D445	2028
Low Temperature Stability, -54°C, 72 hours	FTM 3458	pass
Pour Point, °C	ASTM D97	-62
Flash Point, COC, °F	ASTM D92	231
Acid Number, mq KOH/g	ASTM D664	.04
Density, pounds per gallon	ASTM D287	7.261
Copper Corrosion, 135°C, 72 hours, ASTM color	ASTM D130	1B
Water Content, ppm	ASTM D6304	44.9
4-Ball Wear, 75°C, 40 kg, 1200 rpm, 1 hour, mm	ASTM D4172	.58
Evaporation, 71°C, 8 hours, %wt loss	ASTM D972A	10.4
Gravimetric Filtration mg/100 ml, 0.45µ @ 25°C	Para 4.4.3	
Barium Content, ppm	ASTM D5185	1
Foam Resistance, 75°F	ASTM D892	
foam volume, ml		32
foam stability		none
API Gravity	ASTM D4052	30.8
Micron Size, count / mL		
5-15 µ	FTM 3012	963
16-25 µ	FTM 3012	120
26-50 µ	FTM 3012	36
51-100 µ	FTM 3012	5
100+ µ	FTM 3012	1
Water, Coulometric KF Titration, ppm	ASTM D6304	45

The information contained herein relates to a specific Chemtura product and its use, and is based on information available as of the date hereof. Additional information relating to the product can be obtained from the pertinent Material Safety Data Sheets. Nothing in this Technical Data Sheet constitutes a term or condition of sale nor shall it take precedence over, supersede or modify or be construed to take precedence over, supersede or modify, any of Chemtura's standard or other terms and conditions of sale under which the product is sold by Chemtura. NOTHING IN THIS TECHNICAL DATA SHEET CONSTITUTES, NOR SHALL IT BE CONSTRUED TO CONSTITUTE, A REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING THE PRODUCT'S CHARACTERISTICS, USE, QUALITY, SAFETY, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Nothing contained herein shall constitute permission or recommendation to practice any intellectual property without the permission of the owner. This product is sold only under terms and conditions agreed in writing by Chemtura and the respective buyer and the terms and conditions of such agreements shall in all cases prevail. ANDEROL, ROYCO, AOSyn and PQ and their corresponding logos are trademarks of Chemtura Corporation or one of its subsidiaries. Copyright (c) 2010 Chemtura Corporation. All rights reserved.



Anderol Specialty Lubricants
a division of Chemtura Corporation
215 Merry Lane
East Hanover, New Jersey 07936
Technical Service +1.973.887.7410
Customer Service +1.203.573.4595
Fax +1.203.573.2324
Info-anderol@chemtura.com
www.anderol.com

TYPICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ROYCO® 756A
Pour Point, °C	ASTM D97	- 63
Flash Point, COC, °F	ASTM D93	231
Acid Number, mq KOH/g	ASTM D864	.04
Density, pounds per gallon	ASTM D287	7.26
Kinematic Viscosity, cSt		
@ 130°F	ASTM D445	10.6
@ -40°F	ASTM D445	467

Packaging

ROYCO 756 is available in 55-gallon drum, 5-gallon pail, 24 x 1-Qt case and 6 x 1-gallon case.

ROYCO 756A is available in 6 x 1 gallon cases. Other package sizes may be available on special request.

Limitations

ROYCO 756 should not be used in systems using natural rubber elastomers.

The information contained herein relates to a specific Chemtura product and its use, and is based on information available as of the date hereof. Additional information relating to the product can be obtained from the pertinent Material Safety Data Sheets. Nothing in this Technical Data Sheet constitutes a term or condition of sale nor shall it take precedence over, supersede or modify or be construed to take precedence over, supersede or modify, any of Chemtura's standard or other terms and conditions of sale under which the product is sold by Chemtura. NOTHING IN THIS TECHNICAL DATA SHEET CONSTITUTES, NOR SHALL IT BE CONSTRUED TO CONSTITUTE, A REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING THE PRODUCT'S CHARACTERISTICS, USE, QUALITY, SAFETY, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Nothing contained herein shall constitute permission or recommendation to practice any intellectual property without the permission of the owner. This product is sold only under terms and conditions agreed in writing by Chemtura and the respective buyer and the terms and conditions of such agreements shall in all cases prevail. ANDEROL, ROYCO, AOŚyn and PQ and their corresponding logos are trademarks of Chemtura Corporation or one of its subsidiaries. Copyright (c) 2010 Chemtura Corporation. All rights reserved.



Anderol Specialty Lubricants
a division of Chemtura Corporation
215 Merry Lane
East Hanover, New Jersey 07936
Technical Service +1.973.887.7410
Customer Service +1.203.573.4595
Fax +1.203.573.2324
Info-anderol@chemtura.com
www.anderol.com

ANEXO B. Taxonomía de Equipos

Categoría Principal	Nivel de Taxonomía	Jerarquía de Taxonomía	Definición	Ejemplos
Datos de Uso/ Locación	1	Industria	Tipo de industria principal	Petróleo, Gas Natural, Petroquímica
	2	Categoría de comercio	Tipo de comercio o flujo de procesamiento	Exploración y Producción, Refinación, Petroquímica.
	3	Categoría de Instalación	Tipo de instalación	Producción petróleo/ gas, Transportación, Perforación, Gas Natural Líquido LNG, Refinería.
	4	Categoría de Planta/ Unidad	Tipo de Planta/ unidad	Plataforma, Semi- sumergible, planta de metanol
	5	Sección/ Sistema	Principal sección/ sistema de la planta	Compresión, Gas Natural, Licuefacción, Sección de destilación.
Subdivisión de equipamiento	6	Equipamiento (Clase/ Unidad)	Clases de unidades de equipo similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipo iguales (ej. compresores)	Intercambiador de calor, compresor, tubería, bomba, caldera, turbina, agitador, incinerador.
	7	Subunidad	Subsistema necesario para el funcionamiento de un equipo.	Subunidad de lubricación, subunidad de enfriamiento, control y monitoreo, subunidad de calentamiento.
	8	Componente/ Ítem mantenible	Grupo de partes de la unidad de equipamiento que son comúnmente mantenidos (reparados/ restaurados) como un conjunto.	Enfriador, acoplamiento, caja de cambios, bomba de aceite de lubricación, motor, válvula, filtros, sensor de presión, circuito eléctrico.
	9	Un elemento o pieza simple de equipo	Elemento simple de un equipo	Sello, tubo, impeller, empaque, placa de filtro, perno,

ANEXO C. Modos de falla ISO 14224

Equipment class (see Table A.4) ^a									Failure modes			
Combustion engine	Compressor	Electric generator	Electric motor	Gas turbine	Pump	Steam turbine	Turbo expander	Description	Examples	Code ^b	Type ^c	
X	X	X	X	X	X	X	X	Fail to start on demand	Doesn't start on demand	FTS	1	
X	X	X	X					Fail to stop on demand	Doesn't stop on demand	STP	1	
X	X	X	X	X	X	X	X	Spurious stop	Unexpected shutdown	UST	2	
X	X	X	X	X	X	X	X	Breakdown	Serious damage (seizure, breakage)	BRD	3	
X	X		X	X	X	X	X	High output	Overspeed/output above acceptance	HIO	2	
X	X	X	X	X	X	X	X	Low output	Delivery/output below acceptance	LOO	2	
X	X		X	X	X	X	X	Erratic output	Oscillating, hunting, instability	ERO	2	
X				X		X		External leakage - fuel	External leakage of supplied fuel/gas	ELF	3	
	X			X	X	X	X	External leakage process medium	Oil, gas, condensate, water	ELP	3	
X	X	X	X	X	X	X	X	External leakage utility medium	Lubricant, cooling water	ELU	3	
X	X			X	X	X	X	Internal leakage	Leakage internally process or utility fluids	INL	3	
X	X	X	X	X	X	X	X	Vibration	Abnormal vibration	VIB	3	
X	X	X	X	X	X	X	X	Noise	Abnormal noise	NOI	3	
X	X	X	X	X	X	X	X	Overheating	Machine parts, exhaust, cooling water	OHE	3	
	X			X	X	X	X	Plugged/choked	Flow restriction(s)	PLU	3 (2)	
X	X	X	X	X	X	X	X	Parameter deviation	Monitored parameter exceeding limits, e.g. High/Low alarm	PDE	2 (3)	
X	X	X	X	X	X	X	X	Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication	AIR	2 (3)	
X	X	X	X	X	X	X	X	Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)	STD	3	
X	X	X	X	X	X	X	X	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt	SER	3	
X	X	X	X	X	X	X	X	Other	Failure modes not covered above	OTH	-	
X	X	X	X	X	X	X	X	Unknown	Too little information to define a failure mode	UNK	-	

^a The codes shown apply to equipment classes marked with X

^b A proposed abbreviated code for the failure mode.

Equipment class (see Table A.4) ^a									Failure modes			
Combustion engine	Compressor	Electric generator	Electric motor	Gas turbine	Pump	Steam turbine	Turbo expander	Description	Examples	Code ^b	Type ^c	

^c Three types of failure modes are shown as follows:

1. desired function is not obtained (e.g. fail to start);
2. specified function lost or outside accepted operational limits (e.g. spurious stop, high output);
3. failure indication is observed, but there is no immediate and critical impact on equipment unit function. These are typical non-critical failures related to some degradation or incipient fault condition

Equipment class (see Table A.4) ^a									Failure modes			
Cranes	Heat Exchangers	Heaters and boilers	Piping	Vessels	Winches	Turrets	Swivels	Description of failure mode	Examples	Code ^b	Type ^c	
X	X	X	X	X	X			Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication	AIR	2 (3)	
X			X		X			Breakdown	Breakdown	BRD	3 (1)	
	X			X				Insufficient heat transfer	Cooling/heating below acceptance	IHT	2	
	X	X	X	X			X	External leakage process medium	Oil, gas, condensate, water	ELP	3	
X	X	X		X			X	External leakage utility medium	Lubricant, cooling water, barrier oil	ELU	3	
						X	X	Fail to connect	Fail to connect	FCO	1	
X						X	X	Fail to function as intended	General operation failure	FTI	1(2)	
X					X	X	X	Fail to rotate	Failure to rotate	FRO	1	
X					X			Fail to start on demand	Fail to start on demand	FTS	1	
					X			Fail to stop on demand	Fail to stop on demand	STP	1	

Equipment class (see Table A.4) ^a									Failure modes			
Cranes	Heat Exchangers	Heaters and boilers	Piping	Vessels	Winches	Turrets	Swivels		Description of failure mode	Examples	Code ^b	Type ^c
						X			Fail to disconnect	Fail to disconnect when demanded	FDC	2
		X							Inefficient hot transfer	Missing, or too low, heat transfer	IHT	2
X	X	X	X				X		Internal leakage	Leakage internally process or utility fluids	INL	3
							X		Low oil supply pressure	Low oil supply pressure	LBP	2
					X				Low output	Performance below specifications	LOO	2
X					X				Load drop	Load drop	LOA	2
						X			Loss of buoyancy	Loss of buoyancy in idle position	LOB	2
						X			Mooring failure	Mooring failure	MOF	2
X					X	X			Noise	Excessive noise	NOI	3
X		X	X		X				Overheating	Overheating	OHE	3
	X	X	X	X			X		Plugged/choked	Flow restriction due to contamination, objects, wax etc.	PLU	3
			X				X		Power/signal transmission failure	Power/signal transmission failure	PTF	2
X					X				Slippage	Wire slippage	SLP	2
X					X				Spurious operation	Unexpected operation	SPO	2
X	X	X	X	X	X	X	X		Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)	STD	3
X	X	X	X	X	X	X	X		Parameter deviation	Monitored parameter exceeding limits, e.g. High/Low alarm	PDE	2 (3)
X			X		X				Vibration	Excessive vibration	VIB	3
X	X	X	X	X	X	X	X		Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt	SER	3
X	X	X	X	X	X	X	X		Other	Failure modes not covered above	OTH	-
X	X	X	X	X	X	X	X		Unknown	Too little information to define a failure mode	UNK	-

Equipment class (see table A.4) ^a					Failures modes			
Fire and Gas detectors	Input devices	Control Logic Units	Valves	Nozzles	Description of failure mode	Examples of failure modes	Code ^b	Type ^c
X	X	X			Fail to function on demand	Fail to respond on signal/activation	FTF	1
			X		Fail to open on demand	Doesn't open on demand	FTO	1
			X		Fail to close on demand	Doesn't close on demand	FTC	1
			X	X	Delayed operation	Opening/closing time below sepc.	DOP	2
	X	X	x	X	Spurious operation	E.g. false alarm	SPO	2
X	X	X	X		High output	Overspeed/output above acceptance	HIO	2
X	X	X	X		Low output	Delivery/output below acceptance	LOO	2
X	X	X			Erratic output	Oscillating, hunting, instability	ERO	2
X	X				No output	No output	NCO	1
X					Spurious high alarm level	E.g. 60% LEL	SHH	2
X					Spurious low alarm level	E.g. 20% LEL	SLL	2
			X	X	Plugged/choked	Partly or fully flow restriction	PLU	1
	X		X		External leakage process medium	Oil, gas, condensate, water	ELP	3
	X		X		External leakage utility medium	Lubricant, cooling water	ELU	3
			X		Internal leakage	Leakage internally process or utility fluids	INL	3
			X		Leakage in closed position	Leak through valve in closed position	LCP	
			X		Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication	AIR	2 (3)
			X	X	Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)	STD	3
X	X	X	X	X	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt	SER	3
X	X		X	X	Other	Failure modes not covered above	OTH	-
X	X	X	X	X	Unknown	Too little information to define a failure mode	UNK	-

ANEXO D. Categorías y división de causas de falla ISO 14224

Número de código	Notación	No. código de subdivisión	Sub-división de la causa de falla	Descripción de la causa de falla
1	Causas relacionadas de diseño	1.0	General	Falla relacionada con diseños inadecuados para la operación y/o mantenimiento, pero no se tiene mayor detalle.
		1.1	Capacidad inapropiada	Capacidad y dimensiones incorrectas
		1.2	Material inapropiado	Selección de material incorrecto
		1.3	Diseño inapropiado	Diseño o configuración(forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad) de equipos inadecuados
2	Causas relacionadas con la fabricación e instalación	2.0	General	Falla relacionada con eventos de fabricación o instalación, pero no se tiene mayor detalle.
		2.1	Error de fabricación	Falla en manufactura o procesado
		2.2	Error de instalación	Falla en instalación o ensamblado
3	Falla relacionada con operación y mantenimiento	3.0	General	Falla relacionada con el uso o mantenimiento de un equipo, pero no se tiene mayor detalle
		3.1	Servicio fuera de diseño	Condiciones de servicio no intencionado o fuera de diseño
		3.2	Error operativo	Equivocación, abuso, negligencia, descuido durante operación
		3.3	Error de mantenimiento	Equivocación, abuso, negligencia, descuido durante mantenimiento
4	Falla relacionada con administración	4.0	General	Falla relacionada con asuntos administrativos, pero no se tiene mayor detalle
		4.1	Error de documentación	Falla relacionada con procedimientos, especificaciones, planos, reportes
		4.2	Error de administración	Falla relacionada con planificación, organización, aseguramiento de la calidad
5	Misceláneos	5.0	General	Causas que no se encuentran listadas
		5.1	Desconocida	No existe información disponible relacionada a la causa de la falla

ANEXO E. Gráficos weibull

