

**ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CONFIABILIDAD EN INTERCAMBIADORES DE
CALOR TIPO AES EN LA REFINERÍA DE PETRÓLEO ECOPETROL EN
BARRANCABERMEJA**

GUSTAVO JULIO DAVILA HERNANDEZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

MEDELLÍN - COLOMBIA

2019

**ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CONFIABILIDAD EN INTERCAMBIADORES DE
CALOR TIPO AES EN LA REFINERÍA DE PETRÓLEO ECOPETROL EN
BARRANCABERMEJA**

GUSTAVO JULIO DÁVILA HERNÁNDEZ

c.c.

**TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGISTER EN
INGENIERÍA**

DIRECTOR

DOCTOR LUIS ALBERTO MORA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERIA

MAESTRIA EN INGENIERIA

MEDELLIN-COLOMBIA

2019

CONTENIDO

CONTENIDO	4
ILUSTRACIONES	7
ECUACIONES	11
0 PRÓLOGO	12
0.1 INTRODUCCION	¡Error! Marcador no definido.
0.2 JUSTIFICACION	13
0.3 ANTECEDENTES	14
0.4 OBJETIVOS	16
0.4.1 Objetivo general.	17
0.4.2 Objetivos específicos.	17
0.5 CONCLUSION	18
1 CRITERIOS	19
1.1 OBJETIVO 1	19
1.2 INTRODUCCIÓN	19
1.3 TACTICAS DE MANTENIMIENTO	19
1.3.1 El Sistema Kantiano y Su Enfoque.	20
1.3.2 Niveles de Mantenimiento	22
1.3.3 TPM. Mantenimiento Productivo Total.	25
1.3.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	27
1.3.5 El Mantenimiento Productivo Total y El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	30
1.3.6 RCM - RPM. Reparar, Mantener y Prevenir	33
1.4 CLASES DE MANTENIMIENTO	34
1.4.1 Mantenimiento Proactivo.	35
1.4.2 Mantenimiento Reactivo.	36
1.4.3 Mantenimiento Orientado a Resultado	36
1.4.4 Mantenimiento de Clase Mundial	37

1.4.5	Mantenimiento Basado en Habilidades y Competencias.	38
1.4.6	PMO: Planned Maintenance	39
1.4.7	CMD.	43
1.5	CONCLUSION	56
2	INTERCAMBIADOR DE CALOR	57
2.1	OBJETIVO.2	57
2.2	INTRODUCCIÓN.	57
2.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.	58
2.4	DESEMPEÑO TERMICO	58
2.5	COMPONENTES DEL SISTEMA DE INTERCAMBIADOR DE CALOR. .	60
2.5.1	Carcaza o Casco.	60
2.5.2	Haz de Tubos.	60
2.5.3	Tubos.	62
2.5.4	Deflectores.	64
2.5.5	Varillas Tensoras.	65
2.5.6	Cabezal Flotante.	66
2.5.7	Canal y Tapa Canal.	66
2.5.8	Bridas de Salida y Entrada.	68
2.5.9	Tapa Casco.	68
2.5.10	Tornillos o Espárragos	69
2.6	CARACTERÍSTICA TÉCNICA DE DISEÑO	69
2.7	CONCLUSION.	71
3	IRCMS	72
3.1	OBJETIVO.3	72
3.2	APLICACIÓN DEL SOFTWARE	72
3.2.1	Riesgo es Severidad por Ocurrencia en el IRCMS-ALADON.....	80
3.2.2	Toma de Decisiones	85
3.2.3	Tareas que acepta el iRCM de Mantenimiento	89
3.2.4	Desarrollo de las Funciones - Fallas y Modos de Falla	96
3.3	REPORTE FMECA	99
3.3.1	Carga de características en el software.	106

3.4	CONCLUSIONES DEL CAPITULO 3.....	110
4	TÓPICOS RELEVANTES.....	111
4.1	OBJETIVO 4	111
4.2	DESARROLLO	111
4.3	ANALYSIS SUMMARY REPORT.....	112
4.4	INFORMES FMECA.....	137
4.5	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4.....	143
5	CONCLUSIONES.....	144
	BIBLIOGRAFÍA.....	147

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Secuencia Lógica de Objetivos	16
Ilustración 2. Componentes de Ingeniería de Fábricas según enfoque sistémico kantiano	20
Ilustración 3. Sistema Integral de Mantenimiento y Operación	21
Ilustración 4. Elementos Estructurales de Ingeniería de Fábricas.	22
Ilustración 5. Niveles Estructurales de Mantenimiento e Ingeniería	23
Ilustración 6. Pilares del TPM.....	26
Ilustración 7. Mejora Continua.....	28
Ilustración 8. Confiabilidad operacional.	30
Ilustración 9. Estructura del TPM.	32
Ilustración 10. Clases de Mantenimiento.....	35
Ilustración 11. Evolución del PMO.....	40
Ilustración 12. Pasos del PMO.	41
Ilustración 13. Circulo Vicioso de Mantenimiento	42
Ilustración 14. Tasa de Falla en un Tiempo “t”	46
Ilustración 15. Índice de Fallos	47
Ilustración 16. Bañera de Davies.....	48
Ilustración 17. Calculo de los Parámetros de CMD	54

Ilustración 18. Calculo de los Parámetros de CMD

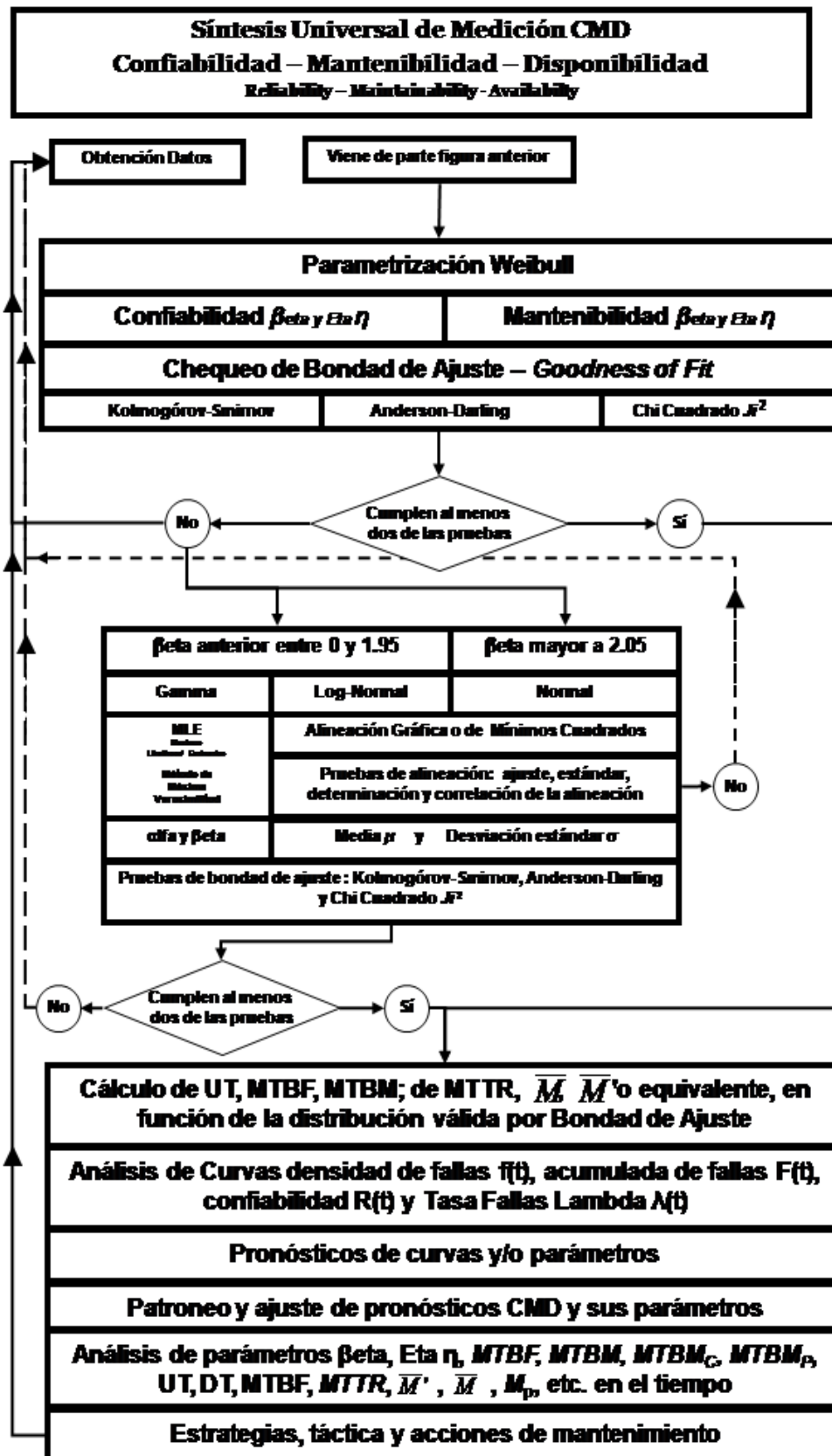


Ilustración 19. Intercambiadores de Calor	59
Ilustración 20. Componentes del intercambiador.....	61
Ilustración 21. Casco y Haz de Tubos.....	62
Ilustración 22. Tubos.....	63
Ilustración 23. Deflectores.....	65
Ilustración 24. Varillas tensoras.....	66
Ilustración 25. Cabezal Flotante.....	67
Ilustración 26. Canal y Tapa Canal.	67
Ilustración 27. Bridas de Entrada y Salida de Flujo. Tapa Casco.	68
Ilustración 28. Tapa Casco.....	69
Ilustración 29. Ficha técnica del Sistema Intercambiador de Calor.....	70
Ilustración 30. Setup	72
Ilustración 31. Sistema Intercambiadores de Calor E2905A/B/C/D/E/F.....	73
Ilustración 32 - Función Principal del Sistema E2905ABCDEF	74
Ilustración 33 - Falla y Modo de Falla de la Función Principal	75
Ilustración 34 - Tarea de Mantenimiento de la Función Principal	76
Ilustración 35 - Valoración del Riesgo	76
Ilustración 36 - Función Principal del Subdivisión Casco del E2905A	77
Ilustración 37 - Falla y Modo de Falla de la Subdivisión Casco del E2905A.....	78
Ilustración 38 - Tarea de Mantenimiento del Casco del E2905A	79
Ilustración 39 - Valoración del Riesgo	79
Ilustración 40 - Diagrama de Flujo de la Toma de Decisiones.....	86
Ilustración 41 - Funciones, Fallas y Modos de Falla del sistema en el iRCM.....	97
Ilustración 42 - Función de la Subdivisión Canal del E2905A.....	98
Ilustración 43 - Logo-Enlace hacia la Aplicación	99
Ilustración 44 - Reporte FMECA página 2 de 20	100
Ilustración 45 - Reporte FMECA página 3 de 20	101
Ilustración 46 - Reporte FMECA página 4 de 20	102
Ilustración 47 - Reporte FMECA página 5 de 20	103
Ilustración 48 - Reporte FMECA página 6 de 20	104
Ilustración 49 - Reporte FMECA página 7 de 20	105

Ilustración 50 – Función	106
Ilustración 51 - Falla Funcional	107
Ilustración 52 - Modos de Falla	108
Ilustración 53 - Trabajos de mantenimiento.....	109
Ilustración 54 Reportes	111
Ilustración 55 Resumen Estadístico del Proyecto.....	112
Ilustración 56 Informe de Tareas de Mantenimiento a Desarrollar	125
Ilustración 57 Informe de Habilidades, Competencias y Costos	130
Ilustración 58 FMECA del Proyecto.....	137
Ilustración 59 Tabla de Riesgo, con Severidad y Ocurrencia en el IRCMS	141
Ilustración 60 Costos, RCM y ciclo de vida LCC	145

ECUACIONES

Ecuación 1. Mantenimiento Orientado a Resultados	37
--	----

0 PRÓLOGO

0.1 INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX durante la revolución industrial con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación y de igual manera los conceptos de competitividad, costos entre otros; surge el término de falla y que estos producían paradas imprevistas de las máquinas y por ende en la producción.

Se puede concluir que la historia del mantenimiento va de la mano con el desarrollo técnico industrial. Ya con la aparición de las maquinas se tiene la necesidad de las primeras reparaciones.

Con el advenimiento de la primera guerra mundial y de la implementación de la producción en serie empezaron a tener programas de producción, empezaron a crear grupos de trabajo que se dedicaran al mantenimiento de las máquinas y que pudieran hacerlo en el tiempo menor posible.

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipo acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos. Esta nueva forma o tendencia de mantenimiento se llamó mantenimiento preventivo.

Se da el comienzo del mantenimiento como órgano subordinado de producción. Diez años, tomó lugar la globalización del mercado (El proceso de globalización que se dio entre los siglos XVII y XIX, como resultado de la expansión de los imperios europeos, se explica en buena medida por desarrollos industriales tecnológicos en materia de transporte y comunicaciones).

Creando nuevos modelos de mantenimiento para así lograr una mejor organización en la ejecución y la administración del mantenimiento en una forma sistemática

lógica y coherente que redunde en la calidad y una mejor excelencia. Estos modelos son: TPM (Mantenimiento Productivo Total), 5S, KAISEN y RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). TPM & RCM combinados generan el PMO (Planned Maintenance Optimization).

En la medida que se tomen y ejecuten acciones que permitan un desarrollo eficiente de las actividades de mantenimiento, de esa misma forma permite integrar la cadena logística y todas las operaciones inherentes en ellas que impactan en los objetivos corporativos y a su vez del sector.

0.2 JUSTIFICACION

El mantenimiento es el área encargada de la conservación de la función de equipos mediante los recursos que disponen. Las empresas para poder realizar sus funciones básicas requieren de maquinarias, las cuales con el uso y el transcurrir de los años requieren mayor mantenimiento para lograr la misión para la que fueron diseñadas; por lo tanto, el mantenimiento es pieza fundamental en las industrias, por lo que debe ser sólido, fuerte y efectivo.

En la actualidad la toma de decisiones respecto al desempeño de los sistemas de mantenimiento, constituye indiscutiblemente un aspecto de primer orden a resolver, ya que mediante la garantía del mismo se propicia, no solo la adecuada evaluación y control de la gestión del mantenimiento con vistas a lograr su mejoramiento continuado, sino, además, el logro de una mayor disponibilidad de las capacidades productivas instaladas en la entidad bajo estudio.

En la práctica el proceso de toma de decisiones en esta área se dificulta por el hecho de disponerse de una amplia gama de indicadores propuestos al respecto, sin una definición clara del grado de importancia de cada uno de ellos a la hora de valorar la influencia de la actividad de mantenimiento en la meta de la organización.

El conocimiento de los costos de mantenimiento tiene como fin precisar de manera objetiva y realista lo que cuesta la función de mantenimiento para reducir los costos globales del mismo a un nivel mínimo o mantenerlos, respaldados por una buena producción, alta calidad, y un buen estado de las instalaciones, además de generar información que facilite al personal la toma de decisiones.

Los objetivos pueden ser enfocados de manera particular o general, sea a una pieza, una máquina, un grupo de máquinas, equipos auxiliares, instalaciones, áreas, y se expresan en valor monetario de mano de obra o material cargado a lo anteriormente mencionado.

La elaboración de los mismos requiere el análisis de la información de los costos pasados los cuales deben ser exactos, de lo contrario no se puede confiar en ellos, esta información además de las cifras contables adecuadas, debe contener los cargos de mano de obra y del material de mantenimiento.

Después de implantar el sistema de mantenimiento este se debe ir perfeccionando a través de auditorías sistemáticas, que permitan elevar paulatinamente el nivel de gestión y enriquecer la experiencia. La implantación de modernas técnicas de administración del mantenimiento; es la vía para el mejoramiento constante de la metodología a implementar.

0.3 ANTECEDENTES

El avance tecnológico de los últimos tiempos ha traído consigo innumerables retos exigiendo un mayor esfuerzo en las industrias de la actualidad para adaptarse a este contexto, las cuales deben cumplir a cabalidad los estándares de calidad, producción, seguridad y ambiental con el fin de demostrar su competitividad en el mercado internacional.

El negocio de refinación de petróleo, está inmerso en diversas situaciones que requieren una constante retroalimentación para el mejoramiento de su rentabilidad,

valiéndose de las diversas estrategias, que garanticen confiabilidad, mantenibilidad, operatividad y disponibilidad de las plantas, que es el objetivo supremo de este proyecto.

La refinería de ECOPETROL S.A. en Barrancabermeja es la encargada de transformar la energía contenida en el crudo extraído de los pozos en productos combustibles que generan valor al negocio de refinación. Estos procesos físico-químicos realizados en las diferentes plantas de la refinería cumplen funciones específicas que en conjunto producen combustibles como gasolina, diésel, gases como el GLP¹, solventes aromáticos como el benceno y el tolueno, ceras parafínicas, bases lubricantes y polímeros como el polietileno de baja densidad.

Cada proceso debe llevarse a cabo con confiabilidad a fin de satisfacer a los clientes evitar accidentes y llevar a niveles nacionales la posible contaminación que pudiera generarse, y cumplir con altos estándares de calidad.

El Departamento de Refinación de Fondos al que pertenece la U-2500 es un eslabón intermedio del proceso de producción y ocupa un lugar estratégico en el complejo industrial de ECOPETROL S.A. en Barrancabermeja. Como materia prima tiene los fondos de vacío de las Plantas Topping², este subproducto es bastante viscoso a temperatura ambiente y contiene gran cantidad de metales.

El sistema de intercambiadores de calor E-2509 interviene en el proceso enfriando un solvente altamente inflamable, esto convierte a estos equipos en activos críticos para la planta, por tal motivo son foco de esfuerzos para garantizar su disponibilidad y confiabilidad.

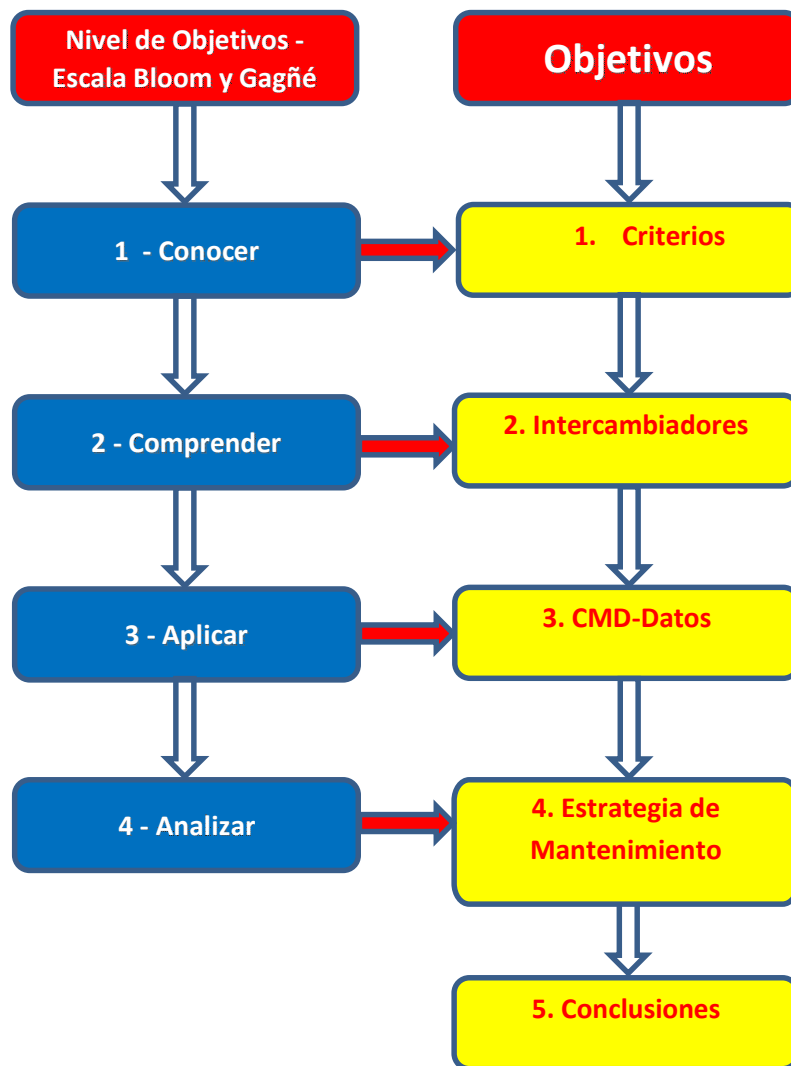
¹ GLP: Gas Licuado del Petróleo. Comprende una mezcla de gases alcanos que se comercializan de forma líquida.

² Unidades Topping: Son las plantas de donde se efectúa la destilación atmosférica y destilación al vacío del petróleo que carga la refinería.

0.4 OBJETIVOS

Los objetivos se formulan con base en la teoría de Bloom y Gagné de la taxonomía de los objetivos en la educación donde el nivel de avance en el aprendizaje es análogo a la acción propuesta en cada objetivo.

Ilustración 1. Secuencia Lógica de Objetivos



0.4.1 Objetivo general.

Plantear estrategias de mejora de mantenimiento a través del análisis y prospección de los datos de confiabilidad de los intercambiadores de calor AES de ECOPETROL S.A. en Barrancabermeja, mediante el análisis a fondo del CMD.

0.4.2 Objetivos específicos.

Los diferentes pasos que se cubren con los objetivos particulares se describen a continuación.

0.4.2.1 Uno-Criterios.

Identificar los criterios básicos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad a través de las metodologías CMD, y de las estrategias de mantenimiento TPM³³, RCM⁴, TPM & RCM, Mantenimiento Proactivo, Mantenimiento Reactivo, Habilidades y Competencias, entre otras; con el fin de compararlas y encontrar los principales criterios de Mantenimiento basado en CMD a utilizar en los intercambiadores de calor en el proceso de refinación de petróleo en las refinerías. Nivel 1-Conocer.

0.4.2.2 Dos-Intercambiador de Calor.

Describir los principales componentes de los intercambiadores de calor en aras de entender sus funciones, principios generales de operación. Nivel 2-Comprender.

0.4.2.3 Tres-IRCMS.

Aplicar el software IRCMS a las tareas más relevantes del mantenimiento. Nivel 3-Aplicar.

³³ TPM: Total Productive Management

⁴ RCM: Reliability Centered Maintenance

0.4.2.4 Cuatro-Estrategia de Mantenimiento.

Establecer estrategias, táctica, técnicas, y tareas de mantenimiento a partir del pronóstico de los parámetros y de la interpretación de los valores futuros de las curvas de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad, para mejorar el mantenimiento del sistema de intercambiadores de calor en cuestión. Nivel 4-Analizar.

0.4.2.5 Cinco-Conclusiones.

Describir los principales y más relevantes resultados y del proyecto.

0.5 CONCLUSION

El contenido del capítulo cero, brinda la dimensión y estructura deseada en el proyecto y la forma con la metodología en que se logra, en cada una de sus partes individuales y la colectiva del objetivo general.

1 CRITERIOS

1.1 OBJETIVO 1

Identificar los criterios básicos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad a través de las metodologías CMD, y de las estrategias de mantenimiento TPM, RCM, TPM & RCM, Mantenimiento Proactivo, Mantenimiento Reactivo, Habilidades y Competencias, entre otras; con el fin de compararlas y encontrar los principales criterios de Mantenimiento basado en CMD a utilizar en los intercambiadores de calor en el proceso de refinación de petróleo en las refinerías. Nivel 1-Conocer.

1.2 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizan los conceptos básicos e importantes del nivel táctico de mantenimiento para el desarrollo de esta investigación, en aras de definir los principales términos de uso y aplicación de las diferentes técnicas CMD, sobretodo basadas en distribuciones y las mejores tácticas de mantenimiento aplicables a un sistema de intercambiadores de calor.

1.3 TACTICAS DE MANTENIMIENTO.

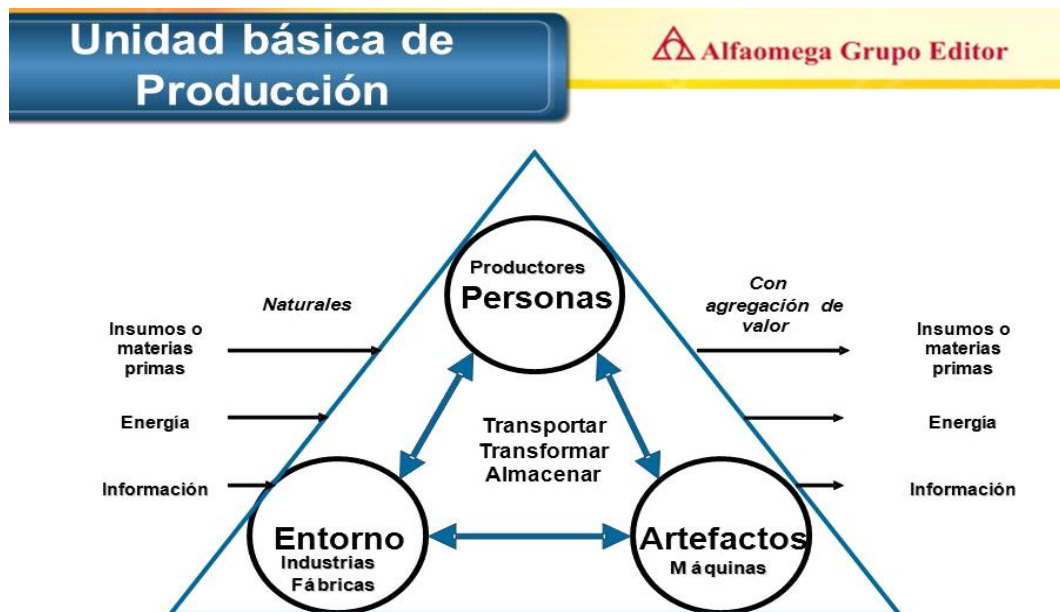
La Real Academia Española de la lengua define como táctica al conjunto de artes que enseñan a poner en orden las cosas con el fin de tener un método o sistema para ejecutar o conseguir algo. El nivel táctico de mantenimiento contempla el conjunto de acciones que se aplican a un equipo. La implementación de las tácticas exige unas normas, leyes y reglas tales como Icontec, TPM, RCM, PMO, entre otros. (Mora, 2008) (Smith, 1998).

Las tácticas de mantenimiento tienen sus ventajas y desventajas, su implementación se acomoda de acuerdo a las diferentes clases de empresa dependiendo de varios factores tales como: económicos, financieros, técnicos y tecnológicos.

1.3.1 El Sistema Kantiano y Su Enfoque.

El sistema kantiano permite visualizar y probar las relaciones entre diferentes elementos de un sistema real o mental, para el caso de mantenimiento se reconoce la existencia de diferentes elementos que se entrelazan. Entre ellos se pueden nombrar personas, que son directos usuarios o explotadores de los equipos de fabricación, los productores y los mantenedores son el primer elemento. Como segundo elemento los artefactos, en este grupo se incluyen todos los equipos o elementos productivos directos o indirectos.

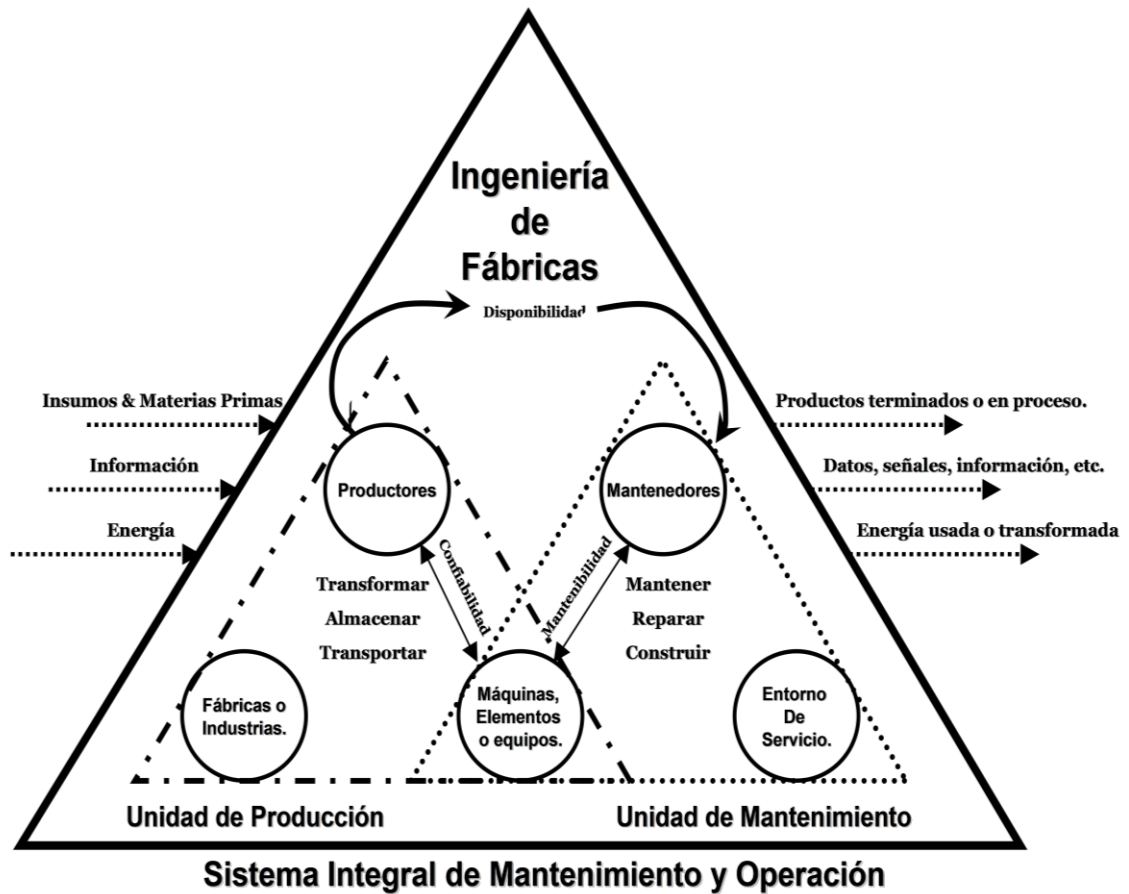
Ilustración 2. Componentes de Ingeniería de Fábricas según enfoque sistémico kantiano



(Mora, 2007b)

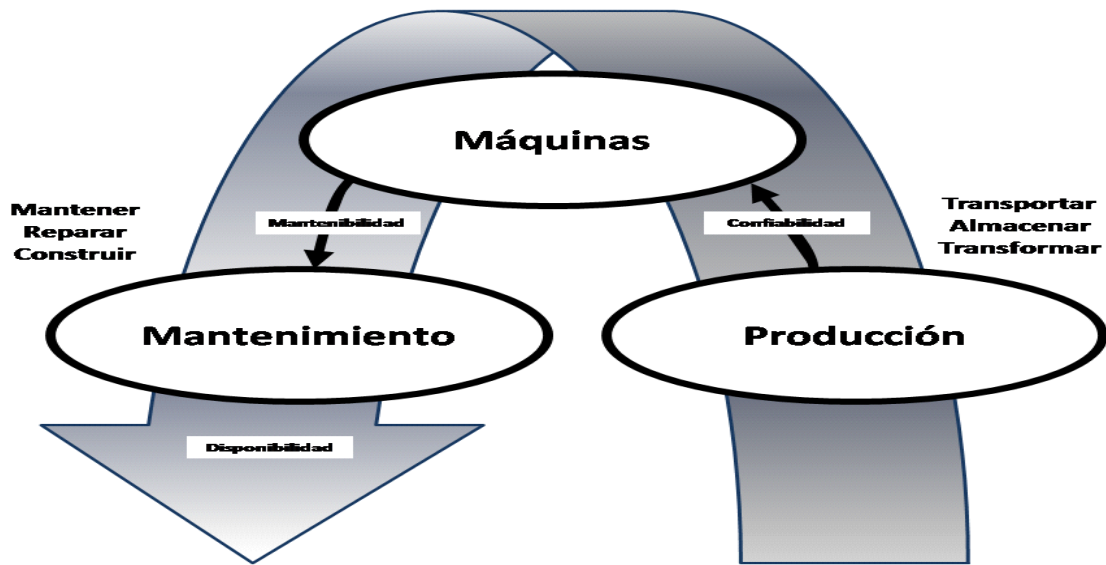
Como tercer elemento el entorno en todo sistema es fundamental la participación de las personas, ya que ellas son las que hacen que los sistemas existan, y son las que le dan ese carácter real, en forma contextual de forma mental. Indudablemente, el mantenimiento es un sistema mental que se constituye intelectual por el ser humano.

Ilustración 3. Sistema Integral de Mantenimiento y Operación



Las reglas del CMD, se construyen a partir de la simplificación del gráfico anterior, así.

Ilustración 4. Elementos Estructurales de Ingeniería de Fábricas.



1.3.2 Niveles de Mantenimiento

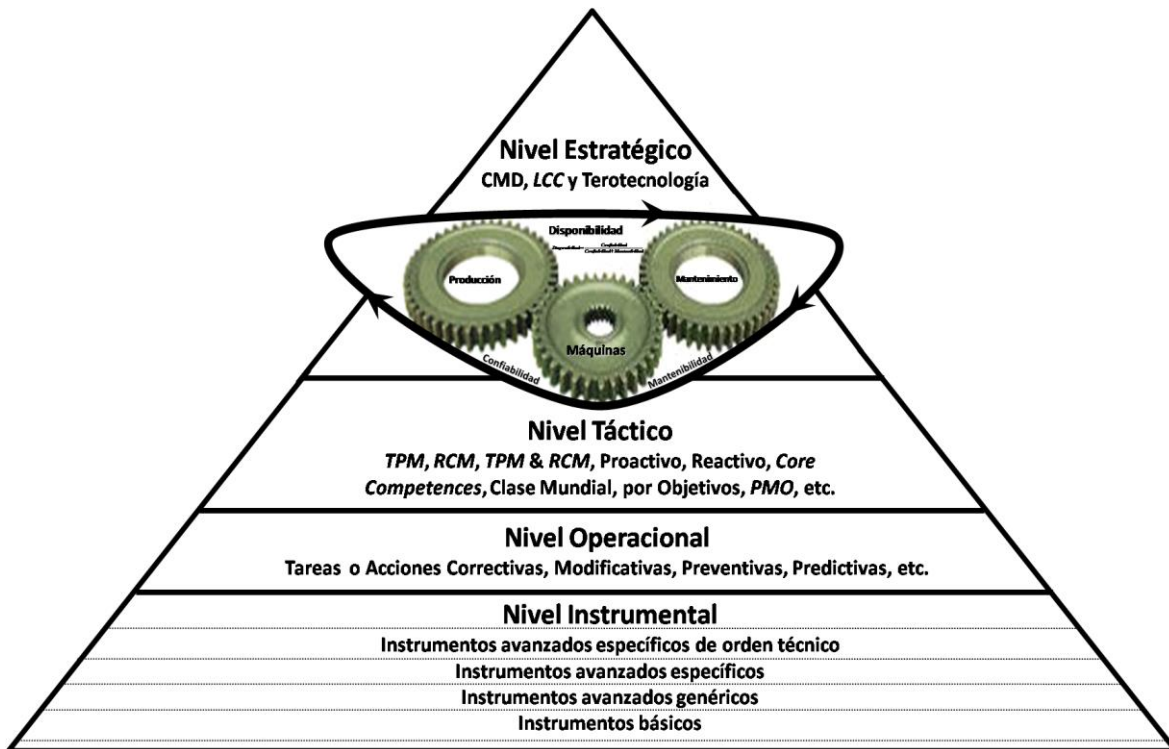
1.3.2.1 Nivel 1: Nivel instrumental.

El nivel instrumental está conformado por todos los elementos reales requeridos para el área de mantenimiento que opere en condiciones óptimas, estos instrumentos de mantenimiento se conforman de la siguiente manera:

- Sistema de información.
- Talento del Recurso Humano.
- Herramientas.
- Repuestos.
- Insumos.
- Capital de trabajo
- Espacio Físico
- Tecnología
- Maquinaria.
- Recursos naturales.

- Poder de negociación.
- Carga laboral.
- Planeación.
- Proveedores.
- Terceros y su contratación.

Ilustración 5. Niveles Estructurales de Mantenimiento e Ingeniería.



Instrumentos básicos son los factores productivos que se utilizan en forma habitual en mantenimiento para realizar a cabo las tareas básicas de mantenimiento, los cuales es mantener la funcionalidad de los equipos que se usan para la producción o para la prestación de los diferentes servicios en las empresas, ya sea en las reparaciones o mediante las tareas proactivas con mantenimiento planeado. En cada una ellas existen muchos aspectos relevantes que inciden de alguna manera en los niveles superiores, es decir, se requieren ciertas características de manejo y

operación de cada elemento para que se adecuen a las necesidades de los niveles superiores como tal en el entrenamiento de grupos reactivos de recursos humanos de mantenimiento en el nivel dos de mantenimiento requiere de cierta selección, determinado, entrenamiento y un especial manejo de personal apropiado para ello. (Mora. Luis. 2008 pág. 215).

1.3.2.2 Nivel. 2: Nivel Operacional de Mantenimiento.

Es el conjunto de actividades simples y específicas de mantenimiento que busca un impacto mental sobre el personal de operación que puedan desarrollar en los equipos entregados a la explotación, a indicación de los especialistas según sea (correctivo, modificativo, preventivo o predictivo) encargados de su mantenimiento a fin de mantener su continuidad operacional. El objetivo de la acción de mantenimiento es garantizar la operatividad del equipo para las condiciones mínimas requeridas en cuanto a eficiencia, seguridad e integridad.

1.3.2.3 Nivel. 3: Nivel Táctico de Mantenimiento.

Contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico (a un equipo o conjunto de ellos); es el grupo de tareas de mantenimiento que se realizan de con el objetivo de alcanzar un fin; siguiendo las normas, procedimientos para ello establecidas, ejecutando un control y sobre todo la gestión de mantenimiento. Aparecen en este nivel el TPM, RCM, mantenimiento reactivo, mantenimiento proactivo, clase mundial, entre otros. (Mora. Luis. 2008, pág. 75)

Para que las empresas u organizaciones alcancen el nivel tres, debe tener muy claro los instrumentos básicos genéricos, específicos del mantenimiento, deben entender y comprender las diferentes acciones factibles a realizar.

Las empresas para poder seleccionar una táctica de mantenimiento deben analizar cómo se encuentran con respecto a los indicadores CMD.

1.3.2.4 Nivel 4: Nivel. Estratégico de Mantenimiento.

Está compuesto por todas las metodologías que se desarrollan a través de los tres niveles, evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas y establecer índices de rendimientos e indicadores (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad) que le permitan medirse con respecto a otras empresas de acuerdo a las normas internacionales.

1.3.3 TPM. Mantenimiento Productivo Total.

Es un sistema que garantiza la efectividad de los sistemas productivos (5M) cuya meta es tener cero pérdidas a nivel de todos los departamentos con la participación de todo el personal en pequeños grupos.

Es el producto de varios sistemas y filosofías de control de calidad y calidad total llevadas a su punto más alto de evolución hasta ahora, por lo que para hacerlo funcionar requiere de un cambio en la filosofía del común denominador del personal de las empresas del nuestro país. Para hacer que el TPM funcione hay que lograr hacer realidad el significado de las siglas en la forma que se muestra a continuación:

- TPM:
 - Total People Motivation.
 - Total Productive Maintenance.
 - Total Production Management.
 - Total Productive Manufacturan.
 - Total Profit Manufacturan.

Es importante destacar que la implantación del TPM contribuye a la reducción de los costos, a realizar las entregas a tiempo, a que el empleado trabaje con mayor seguridad y a elevar la moral del trabajador ya que este participa activamente en un trabajo en equipo y aporta sugerencias.

1.3.3.1 Pilares del TPM.

- Mantenimiento autónomo - Jishu Hozen.
- Mantenimiento planificado.
- Gerencia de la calidad.
- Mantenimiento temprano, mantenimiento preventivo.
- Áreas administrativas.
- Entrenamiento, educación, capacitación y crecimiento.
- Seguridad, higiene y medio ambiente.

Ilustración 6. Pilares del TPM.



1.3.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

RCM (Reliability Centred Maintenance) es una técnica que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y prácticamente todos los países industrializados del mundo. (info@renovetec.com)

RCM se define como un proceso usado para determinar lo que se debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual. (Mora, 2008).

El objetivo fundamental de la implantación de un RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.

Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.

Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

La técnica del RCM pone énfasis en las consecuencias de las fallas como características técnicas de las mismas, poniendo en práctica principalmente dos hechos:

Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

Manteniendo atención en las tareas del mantenimiento que más incidencia tenga en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a contribuir. (Guide, 2009).

El RCM se inscribe, dentro de los procesos de mejora continua, como una herramienta de ciclo proactivo: las mejoras no se producen solamente a partir del aprendizaje de las fallas que ocurren, sino que se generan a la velocidad deseada por la organización, utilizando todo el conocimiento de sus integrantes. El RCM es un procedimiento para identificar fallas potenciales y definir acciones de mejora de mantenimiento, operación y diseño de máquinas y equipos (Sainz, 2008).

Ilustración 7. Mejora Continua



1.3.4.1 Filosofía del RCM.

- Se fundamenta en la evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Chequeo en sitios y operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante revisión y análisis.
- Identificación de los componentes críticos.

El RCM tiene numerosas ventajas en cuanto al aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria, siendo las más importantes:

- Identificar fallas potenciales.
- Definir acciones de mejora continuas de mantenimientos.
- Operación y diseño de máquinas y equipos.
- Efectividad y eficiencia del mantenimiento.
- Alta confiabilidad y disponibilidad.
- Optimización de los costos de mantenimiento.
- Protección integral de la seguridad y el medio ambiente.
- Identificación y eliminación de fallas crónicas.
- Calidad del producto.
- El trabajo en equipo aumenta.

El efecto a los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones involucra a todo el personal que tiene que ver con el mantenimiento en la organización (desde la alta gerencia hasta los trabajadores de planta). Facilita el proceso de normalización a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y de registro (Mora, 2008).

1.3.5 El Mantenimiento Productivo Total y El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Es una de las uniones más poderosas que se pueda implementar en cualquier empresa o industria, dicha combinación de estos dos procedimientos tácticos optimiza los procesos y logra que las organizaciones trabajen como un sistema, dado el caso entre mantenimiento y producción aumenta la confiabilidad de los activos, los tiempos productivos de los equipos de trabajo a un menor costo.

El TPM tiende enfocarse en la prevención del mantenimiento y en el cuidado del ejercicio del operador.

El RCM se enfoca en los modos de fallos y en la consecución de la función del sistema, son dos buenas metodologías y van bien de la mano. La utilización conjunta de ambas tácticas permite alcanzar un manejo intensivo y exitoso de los instrumentos básicos y avanzados de mantenimientos, en especial del recurso humano (TPM) y tecnología (RCM). (Mora, 2008).

Ilustración 8. Confiabilidad operacional.



Esta integración debe hacerse bajo análisis profundo de la organización.

Facilita las asesorías de especialista en el tema.

TPM mejora las habilidades de los equipos de trabajo y el RCM está en función de las mejoras.

El TPM aumenta el mantenimiento preventivo y RCM intensifica el mantenimiento predictivo. Es decir, mejorar las prácticas proactivas.

El TPM se define como el conjunto de disposiciones técnicas-medias y actuaciones que permiten garantizar que las máquinas-instalaciones y organización que conforman un proceso básico o línea de producción, puedan desarrollar el trabajo que tienen previsto en un plan de producción en constante evolución por la aplicación de la mejora continua (Rey, 2003).

Son tácticas que tienen bases relacionadas, que facilitan sus convivencias al interior de la organización, entre cuales se destacan:

El TPM busca devolver el equipo su estado funcional, mientras que el RCM erradica o controla las fallas.

Involucra al operario en la labor de mantenimiento, sin embargo, cuando el problema no puede ser identificado y/o controlado por el usuario, se hace necesaria la intervención de un especialista, que basado en RCM busca analizar los modos de falla y sus efectos.

Las dos tácticas buscan el aumento de la eficiencia.

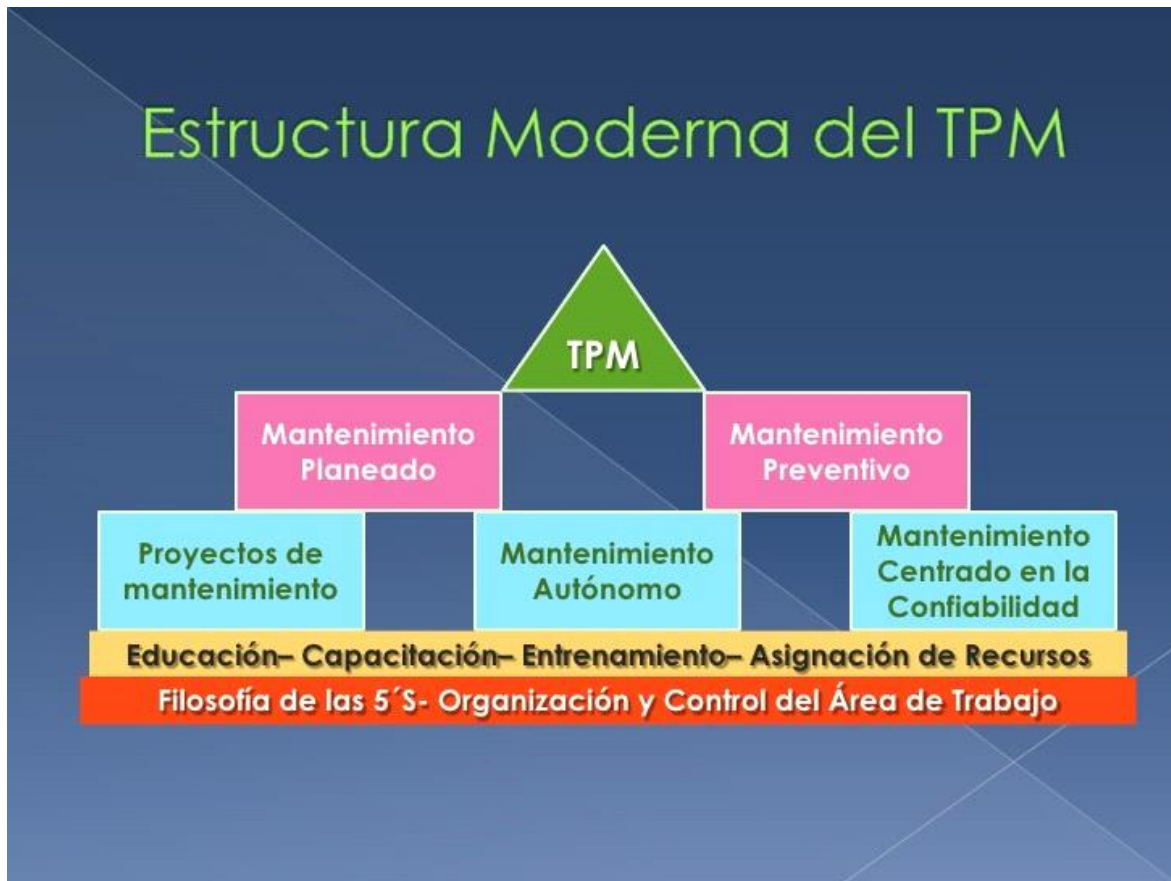
El TPM necesita mejorar las habilidades del equipo de trabajo, mientras el RCM donde debe hacerse esa mejora.

El TPM aumenta el mantenimiento preventivo y el RCM intensifica el mantenimiento predictivo, es decir, mejoran las prácticas proactivas.

La utilización conjunta de ambas tácticas permite alcanzar un manejo intensivo y exitoso de los instrumentos básicos y avanzados de mantenimientos, en especial del recurso humano (TPM.) y la tecnología (RCM). (Mora, 2008.)

Los objetivos fundamentales del TPM son: satisfacción del cliente, dominio de los procesos y sistemas de producción, implicar a personas a través del mantenimiento autónomo y el aprendizaje y la mejora continua (Smith, 1998).

Ilustración 9. Estructura del TPM.



1.3.6 RCM - RPM. Reparar, Mantener y Prevenir.

El método RPM y RCM = CONFIABILIDAD. Son dos técnicas de confiabilidad comprobadas para mejorar el desempeño de una planta. El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una metodología estructurada desarrollada para revisar el diseño, operación y mantenimiento de un sistema y el equipamiento asociado. Esta técnica es usada para localizar fallas conocidas y desconocidas que ponen en riesgo la seguridad confiabilidad de un sistema.

El procedimiento básico usa siete preguntas para identificar la función del equipamiento, fallas, consecuencias de las fallas y tareas para prevenir las fallas. Las respuestas a las preguntas son generadas por la comunicación de los operadores, personal de mantenimiento, ingenieros de planta, ingenieros de diseño de equipamiento u otros usuarios finales del equipo.

A pesar de que algunas personas en la industria consideren que este proceso consume mucho tiempo, los beneficios siempre tendrán más peso que el tiempo invertido. Este proceso lo fuerza a indagar profundamente en cada aspecto del equipamiento y así encontrar la falla oculta que podría poner en riesgo la seguridad de la planta y la confiabilidad del equipamiento.

Un sistema de prioridad de trabajo es requerido para priorizar el trabajo y tener a todos en la misma sintonía. El método RPM está basado en la definición actual de la palabra mantenimiento en el diccionario, la cual es *mantener; reparar o preservar*.

1.3.6.1 “R” (Reparar).

Clasificado como cualquier trabajo requerido para poner una pieza de equipamiento existente en su condición de funcionamiento original mientras se cumplen todos los requisitos de seguridad y ambientales. Ejemplos de trabajo de reparación pueden incluir una válvula que gotea, una bomba que golpea o una cinta transportadora que no arranca.

1.3.6.2 “P” (Prevenir).

Considerado la carga mínima de trabajo necesario para mantener el equipamiento seguro, confiable y ambientalmente amigable. Ejemplos de trabajo preventivo incluyen ajustar una configuración, monitorear vibraciones, lubricar una bomba o calibrar un transmisor. El trabajo preventivo/predictivo debería ser una tarea programada y/o definida por el fabricante del equipo, el personal de mantenimiento o de ingeniería diseñada para mantener el equipamiento funcionando en forma segura.

1.3.6.3 “M” (Mantener).

Cualquier tarea laxamente considerada como de no-mantenimiento. Ejemplos de esto incluyen instalar una nueva máquina de soldar en el taller o rediseñar un sistema de tuberías de agua de servicio existente. En pocas palabras, si no es una orden de trabajo de tipo “R” o “P”, debe ser de tipo “M”.

1.4 CLASES DE MANTENIMIENTO

Cómo una función post-RCM, el método RPM chequea los beneficios del análisis RCM. Desde la perspectiva de mantenimiento, el análisis RCM se considera exitoso si mantenimiento no tiene que arreglar la misma pieza de equipo una y otra vez.

Otro hecho conocido para mejorar la confiabilidad de una planta es tener a mantenimiento e ingeniería trabajando en la misma dirección. Por lo tanto, “Mantenimiento + Ingeniería = Confiabilidad.” (Weber Fred j.)

Ilustración 10. Clases de Mantenimiento



1.4.1 Mantenimiento Proactivo.

El mantenimiento proactivo está basado en los métodos de diagnóstico y de las tecnologías predictivas, pero, para identificar y corregir las causas de los fallos en las máquinas, es necesaria una implicación del personal de mantenimiento.

Estos sistemas sólo son viables si existe detrás una organización adecuada de los recursos disponibles, una planificación de las tareas a realizar durante un periodo de tiempo, un control exhaustivo del funcionamiento de los equipos que permita acotar sus paradas programadas y el coste a él inherente, y una motivación de los recursos humanos destinados a esta función, acordes al sostenimiento de la actividad industrial actual.

Un programa de mantenimiento proactivo exitoso gradualmente eliminará los problemas de la máquina a través de un periodo de tiempo. Esto resultará en una prolongación importante de la vida útil de la máquina, una reducción del tiempo de inmovilización y una capacidad de producción extendida. Una de las mejoras características de la política es que sus técnicas son extensiones naturales de las

que se usan en un programa predictivo y que se pueden agregar fácilmente a programas existentes.

Metodología que se encarga del diagnóstico y de las tecnologías predictivas con el fin de lograr aumentos significativos de la vida útil de los equipos, disminuyendo las fallas antes de que estas ocurran. Esta táctica, es la evolución del departamento de mantenimiento, puesto que aplica planes de mantenimiento basados en estudios estadísticos y técnicas predictivas (Oiltech, 1995).

1.4.2 Mantenimiento Reactivo.

Popularmente conocido como, reparar cuando falle. Se refiere a las acciones realizadas al reparar o reemplazar equipos cuando han tenido una falla. En algunas empresas este tipo de mantenimiento es seleccionado intencionalmente destinando fuertes inversiones; Adquiriendo equipos de respaldo, mano de obra en espera de la falla, servicios externos para cubrir la falta de mano de obra interna, altos niveles de existencia de refacciones, adquisiciones de emergencia de refacciones y materiales no inventariados para soportar este tipo de mantenimiento.

No obstante que esto aparenta ser una negligencia en la elección de este tipo de mantenimiento por los altos costos, es común encontrarlo como parte de la estrategia de soporte de la planta operativa. A primera vista es una táctica que podría considerarse como la más económico, pero las empresas pueden tener grandes dificultades a la hora de sustituir o reparar un equipo sin ninguna previsión. Es aquí donde toma importancia asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para implementar el mantenimiento. (Rius@, 2006).

1.4.3 Mantenimiento Orientado a Resultado.

El mantenimiento orientado a resultados es comúnmente utilizado por las personas de mejores habilidades dentro de la empresa, utilizando la intuición con el fin de

generar soluciones comunes para problemas recurrentes. La inversión que se realiza en esta táctica se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Mantenimiento Orientado a Resultados

$$R = A * Q$$

- R: Resultado o Producto
- Q: Calidad de la idea
- A: Nivel de aceptación. (Mora 2007 pág. 368).

La ventaja que representa es que centra la atención en las necesidades finales del cliente. Plan y cronograma, Base de datos, Detección anticipada, Analizar Mejora continua Plan y cronograma, Registro Mercadeo Producción, Definición de metas y resultados esperados Método de logro.

1.4.4 Mantenimiento de Clase Mundial

Conjunto de ideas dirigidas a reorientar la estrategia de mantención hacia un enfoque de mantenimiento proactivo, disciplinado en prácticas estandarizadas, gestión autónoma, competitivo y con índices de desempeño clase mundial.

La clínica de fallas en el MCM, selecciona vulnerabilidades, sintomatología y productividad, estandariza actividades, cierra brechas con los mejores. Para su implementación se requiere capacitación ideológica del personal, identificar líderes y grupos autónomos, introducir presupuesto por actividades, implantar roles y responsabilidades, participación operadores en mantenimiento, gestión asistida por indicadores.

Los pasos fundamentales para la implementar una táctica de clase mundial son planeación, programación, prevención, anticipación fiabilidad, análisis de pérdida de producción y respuesta, información técnica y cubrimiento de los turnos de

operación, todo ello soportado en una organización adecuada y soportada por sistema de información computarizada con un cambio de cultura y actitud hacia el cliente ya sea interno o externo (Mora Luis pág. 370. Libro Mantenimiento estratégico empresarial.)

Las diez mejoras prácticas del mantenimiento de clase mundial.

- Contratista orientado a la productividad.
- Integración con proveedores de materiales y servicio.
- Apoyo y visión de la gerencia.
- Planificación y programación proactiva.
- Procesos orientados al mejoramiento continuo.
- Gestión disciplina de procura de materiales.
- Integración de sistema.
- Gerencia disciplinada de paradas de plantas:
- Paradas de plantas con visión de Gerencia de Proyectos con una gestión rígida y disciplinada, liderada por profesionales. Se debe realizar adiestramiento intensivo en paradas tanto a los custodios como a los contratistas y proveedores, y la planificación de las Paradas de Planta deben realizarse con 12 a 18 meses de anticipación al inicio de la ejecución física involucrando a todos los actores bajo procedimientos y prácticas de trabajo documentadas y practicadas.
- Producción basada en la confiabilidad.

1.4.5 Mantenimiento Basado en Habilidades y Competencias.

El mantenimiento basado en habilidades y competencias (Core Competences Maintenance) en las organizaciones busca que el talento humano de la empresa se prepare en habilidades y competencias de tal forma que puedan demostrar sus habilidades en los departamentos y así mismo adquieren las bases para liderar,

crear y desempeñarse adecuadamente y las empresas ganan y logran avances significativos en mantenimiento por ende redundando en la producción.

Las organizaciones desarrollan habilidades y competencias esenciales en mantenimiento, que se les traducen en ventajas competitivas, en la capacidad de la dirección para trasladar a todos los niveles de la organización los conocimientos, las metodologías, y la tecnologías para generar competencias profesionales que le permitan adaptarse fácil y rápidamente a cada una de las nuevas situaciones del entorno industrial mundial, de los mercados y de la sociedad empresarial en que se está. (Mora Luis pag.373 Mantenimiento Estratégico Industrial).

1.4.6 PMO: Planned Maintenance

El PMO es una táctica de mantenimiento que aparece como opción en empresas donde no se ha implementado muy bien el RCM, ya que es ideal para equipos y máquinas que están en funcionamiento.

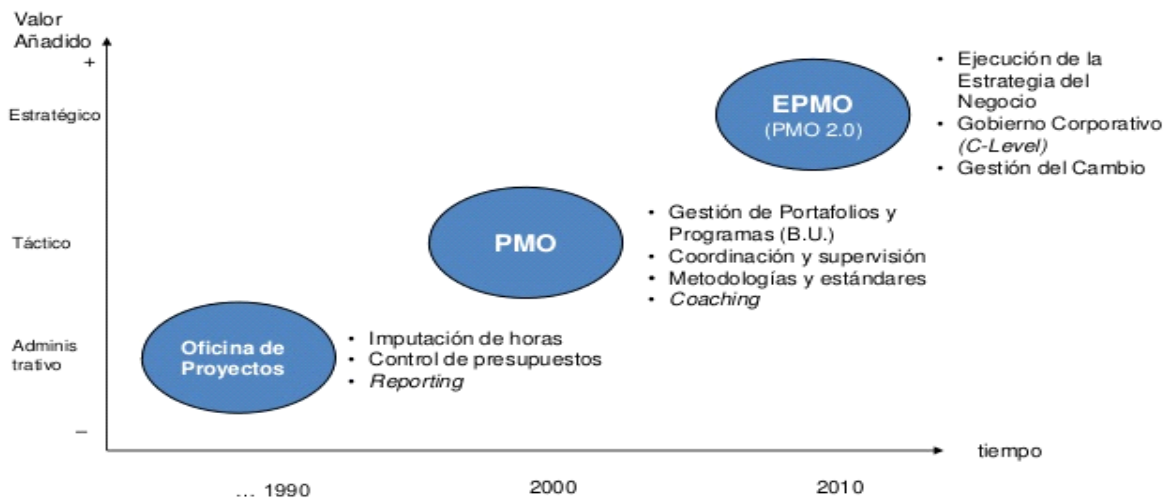
EL PMO está basado en la criticidad del equipo, ésta se obtiene al revisar la priorización de los planes de mantenimiento, filtrando la información por sistemas y/o equipos para su análisis, una vez determinados los equipos críticos, se dirige el enfoque hacia el cumplimiento de los objetivos. En este caso los recursos de mantenimiento son racionados y las fallas los consumen.

Adicionalmente, a la pérdida de la productividad debido a un mantenimiento no planificado la mentalidad de reparar rápidamente promueve un mantenimiento apaga incendio o mantenimiento temporal, que comúnmente agrava la situación. Las reparaciones temporales requieren de trabajo adicional para su corrección definitiva, o en peor de los casos, fallan antes de ser corregidas.

El problema más común con los programas de mantenimiento de las plantas maduras que no fueron diseñadas sólidamente desde un principio, es que entre el

40% y 60% de las tareas de mantenimiento preventivo hacen poco por el desempeño de las plantas. (Moubray1997).

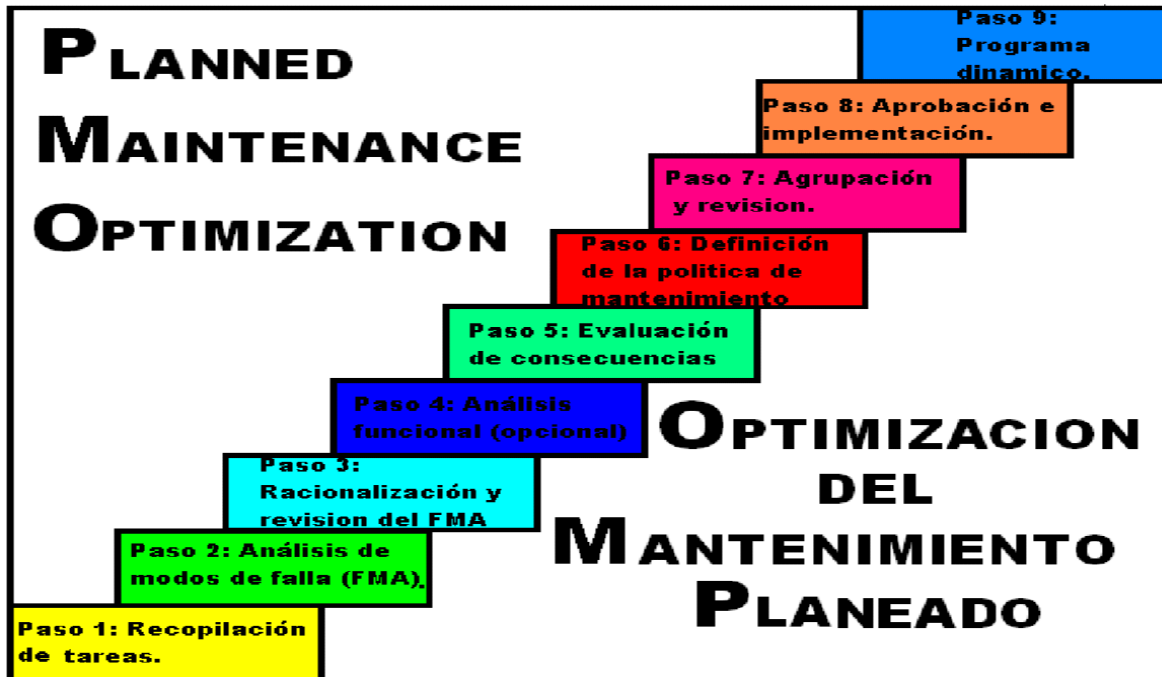
Ilustración 11. Evolución del PMO.



1.4.6.1 Pasos para Aplicación del PMO.

- Paso 1 - Recopilación de Tareas
- Paso 2 - Análisis de Modos de Falla (FMA)
- Paso 3 - Racionalización y Revisión del FMA
- Paso 4 - Análisis Funcional (Opcional)
- Paso 5 - Evaluación de Consecuencias
- Paso 7 - Agrupación y Revisión.
- Paso 8 - Aprobación e Implementación.
- Paso 9 - Programa Dinámico

Ilustración 12. Pasos del PMO.



1.4.6.2 1.13.2. Las Conclusiones de Varios Estudios de PMO.

- Existen tareas duplicadas.
- Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy distantes.
- Algunas tareas no generan beneficios más bien acumulan gastos.
- Algunas tareas son intrusivas o basadas en overhauls, cuando deberían ser basadas en condición.
- Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente han podido ser prevenibles.

En conclusión, se puede considerar el PMO como opción seria e interesante frente a la robustez del RCM, dado que el PMO es más efectivo porque solo analiza las fallas y modos de fallas relevantes (y no los insignificantes o indiferenciados), trabaja con equipos en funcionamiento y es mucho más fácil de implementar. (Gulati, 2009)

La eficacia del PMO se fundamenta en los sistemas de gestión y operación del mantenimiento, bajo un enfoque de proceso, lo cual garantiza que no haya: dualidad de funciones en los departamentos, metas comunes, grupos poco efectivos de trabajo, demasiado roles y funciones en el personal de mantenimiento y producción, demasiada especialización en la realización de los análisis, control y eliminación de fallas (donde la mayoría del recurso humano, practica estas metodologías), bases de datos independientes para cada uno de los departamentos (administración, recursos humanos contabilidad, finanzas, inventarios, almacenes, compras, mantenimiento, producción, etc.); sino que todo esté en una misma plataforma de información (Mora, 2008).

Ilustración 13. Circulo Vicioso de Mantenimiento



Gracias a lo anterior, las organizaciones entran en el Ciclo Vicioso de Mantenimiento Reactivo, esto genera un dilema para el mejoramiento de la productividad, ya que por más que la planeación y la programación sean perfectas, no ayudaran a mejorar un programa de mantenimiento que por sí mismo es ineficiente.

Los estudios indican que se debe implementar un proceso que: Pueda definir la mezcla apropiada entre mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Pueda generar un programa de mantenimiento en donde las tareas y sus frecuencias sean sólidas y aporten valor agregado. Ofrezca diferentes opciones para la minimización o eliminación de fallas.

La recomendación, para implementar todas las estrategias es asegurar que las decisiones se toman basadas en un análisis de RCM, realizado en la fase de diseño de una planta nueva y para la planta en funcionamiento, PMO es el medio para racionalizar todo el Mantenimiento Preventivo (PM) y así asegurar que existe valor agregado.

Una forma de evitar el círculo vicioso de mantenimiento y la optimización o racionalización de las tareas de mantenimiento es enfocarse en las áreas del mantenimiento preventivo y la eliminación de fallas. Para mejorar el mantenimiento preventivo, debe existir un cambio radical de las organizaciones, a un ambiente en donde no exista la duplicación del esfuerzo en el plan de PMO, donde toda tarea tenga un propósito específico, en donde todas las tareas de PMO se cumplan adecuadas y que exista un balance adecuado se cumplan en las frecuencias adecuadas y que exista un balance adecuado entre mantenimiento basado en condición y overhaul (OMCS2000 International Latinamerica).

1.4.7 CMD.

1.4.7.1 Fundamentos y Criterios del Modelo CMD.

Para conocer la metodología CMD y su aplicación en la definición de estrategias y tácticas de mantenimiento, es necesario revisar los conceptos que involucra un sistema de este tipo, así como el enfoque que integra todas las áreas entorno al objeto que las ocupa, es decir, las máquinas y/o sistemas productivos en general.

La fiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad. Son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentales en cálculos matemáticos estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis de que un equipo o sistema productivo funcione sin fallas durante un periodo definido de tiempo operando en condiciones normales. (Mora 2007).

Es decir que tanto la confiabilidad como la mantenibilidad se calculan a partir de parámetros y procedimientos internacionales con base en los datos históricos y recientes de tiempo de funcionamiento y de reparaciones o de tareas programadas, mientras la que la disponibilidad se obtiene por cálculo de los dos anteriores. (Knezevic, 1996) (Modarres, 1993).

Es curioso como la mayoría de las tácticas de mantenimiento más conocidas como TPM, RCM, PMO, centradas en objetivos en riesgo, terotecnología, se fundamentan a partir de los indicadores CMD; los cuales proveen los principios básicos estadísticos proyectivos de las dos manifestaciones magnas de mantenimiento: fallas y reparaciones. La mejor forma de controlar el mantenimiento y sus implicaciones a través del componente confiabilidad y parámetros asociados. (Barringer, 2005).

1.4.7.2 La Probabilidad.

La probabilidad es la característica de un evento que describe las posibilidades de que este se realice.

La probabilidad p de que suceda un evento s de un total de n casos posibles igualmente probables es igual a la razón entre el número de ocurrencias h de dicho evento (casos favorables) y el número de total de casos posibles n .

La probabilidad es un número que varía entre 0 y 1. Cuando el evento es imposible se dice que su probabilidad es 0, si el evento es cierto y siempre ocurre su probabilidad es 1.

1.4.7.3 Desempeño Satisfactorio.

Identifica los criterios con los cuales se define la operación satisfactoria de nuestros componentes. Es una combinación de variables cualitativas y cuantitativas que definen las funciones que el sistema debe lograr y que usualmente son las condiciones del sistema. Como las variables presión temperatura en los procesos son críticas ya que cualquier desviación generan a la producción o producir productos fuera de las especificaciones, incrementando tiempo en el proceso y altos costos de producción.

1.4.7.4 Periodo

Esta variable define el tiempo en que el sistema se encuentra en funcionamiento es decir en su ciclo de vida. El análisis de esta variable aleatoria, implica el uso de las distribuciones de probabilidad, que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida. (Nachlas, 1995)

1.4.7.5 Condiciones Específicas.

Son las condiciones a las cuales se encuentra el sistema durante su operación regular. Entre ellas se encuentran: Temperatura ambiente, humedad relativa, condiciones ambientales.

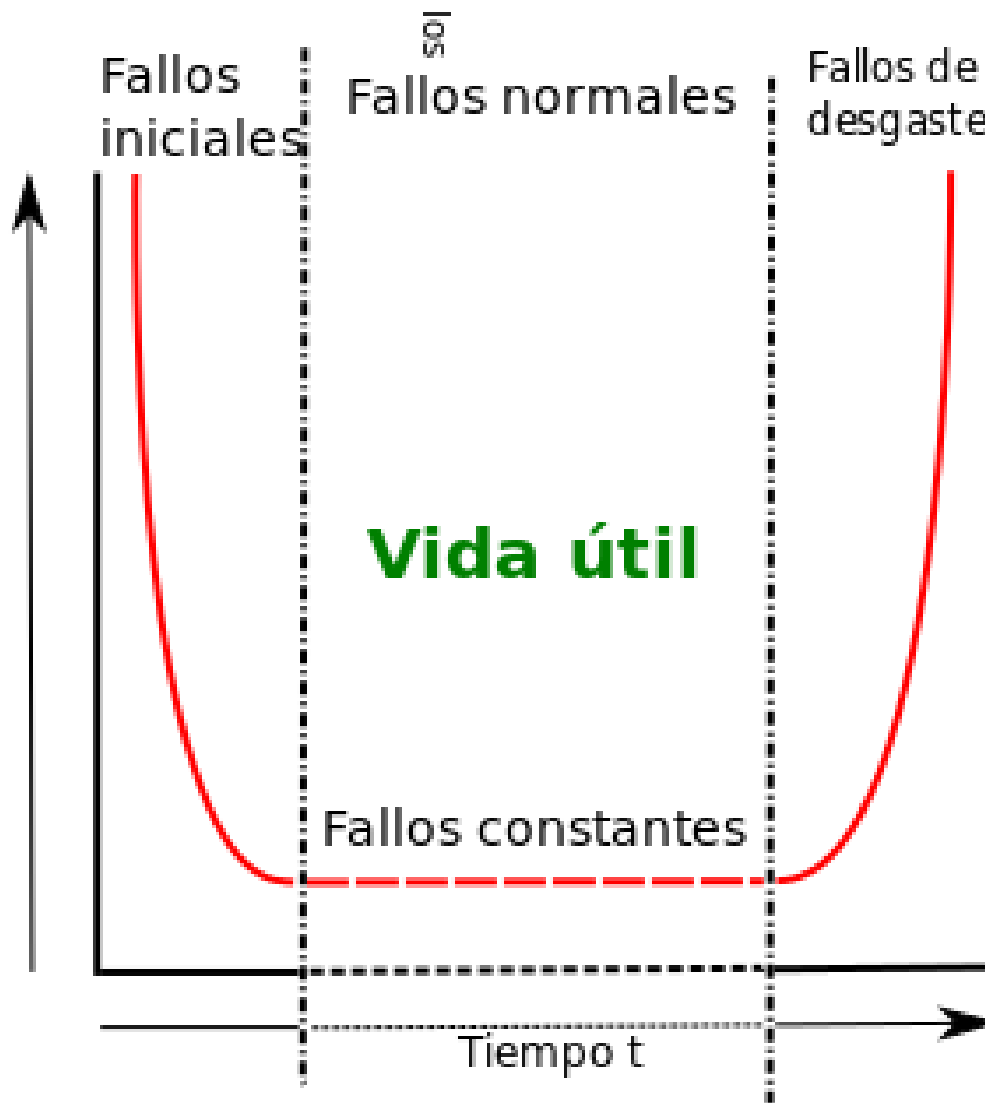
Definen los objetivos, acciones y metas propuestos. Estos indicadores deben mostrar el resultado real del comportamiento del sistema, sin exceder en número de indicadores, se deben definir los más relevantes para la operación y mantenimiento, los cuales deben arrojar los resultados esperados. Entre las ventajas del estudio científico y matemático del CMD, resalta que pretende buscar una metodología adecuada para medirla y evaluarlas eficazmente, con el fin de brindar una herramienta fácil de usar para controlar la gestión y operación integral del

mantenimiento a la vez permite predecir el comportamiento futuro de corto plazo de los equipos, en cuanto a fallas, reparaciones y tiempo útiles.

1.4.7.6 Curva de Davies.

El índice o tasa de fallos define la fracción de elementos sin fallar en un tiempo t y se calcula como:

Ilustración 14. Tasa de Falla en un Tiempo "t"



Se puede ver que el índice de fallas relaciona la velocidad de fallo de equipos con el número de componentes sin fallar en cada instante.

Si se muestra el valor de la tasa de fallas en el tiempo y el valor del parámetro de forma β de un equipo o componente, se obtiene la curva de la bañera o de Davies, que sirve como base para establecer el estado de deterioro de un equipo y la etapa de su vida útil en que se encuentra, esta información es la que se toma como base para definir las acciones y/o estrategias de mantenimiento a implementar para mejorar el rendimiento de un sistema. (Navarro, y otros 1997)

Ilustración 15. Índice de Fallos

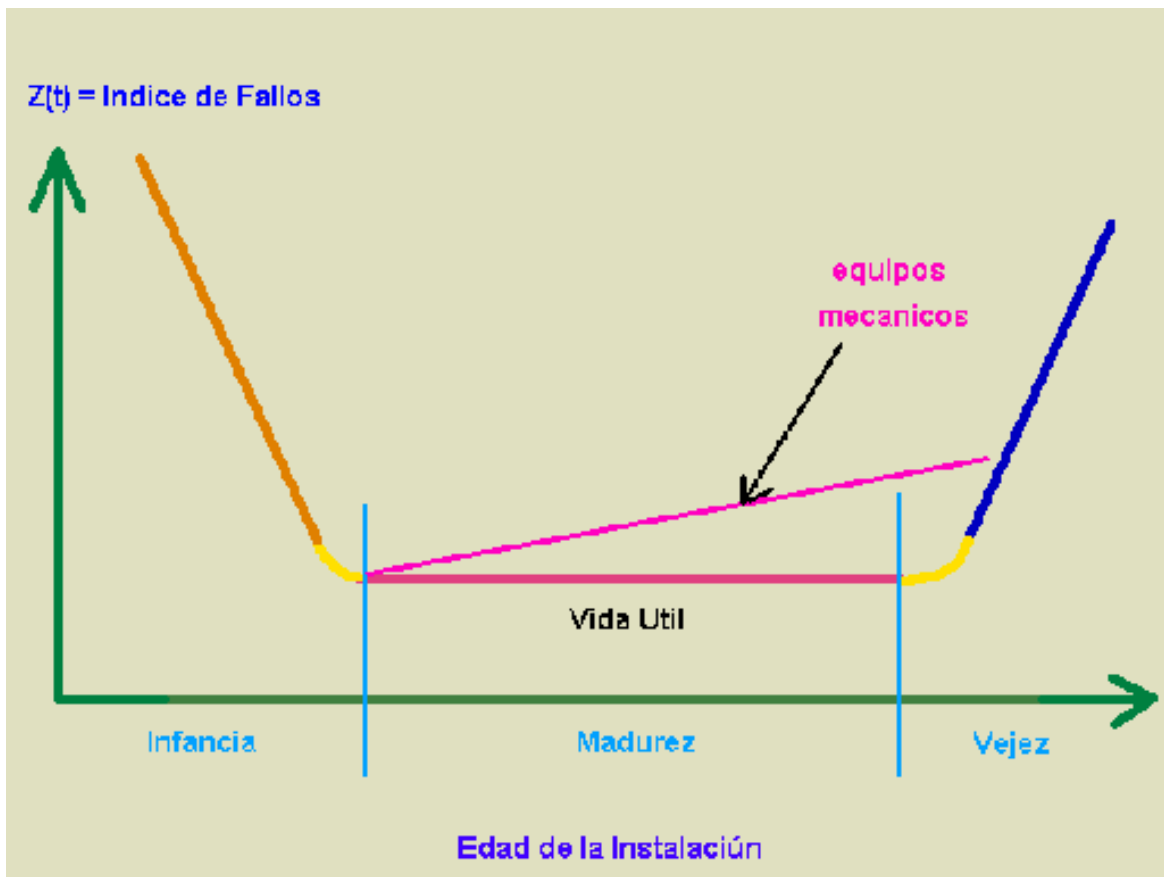
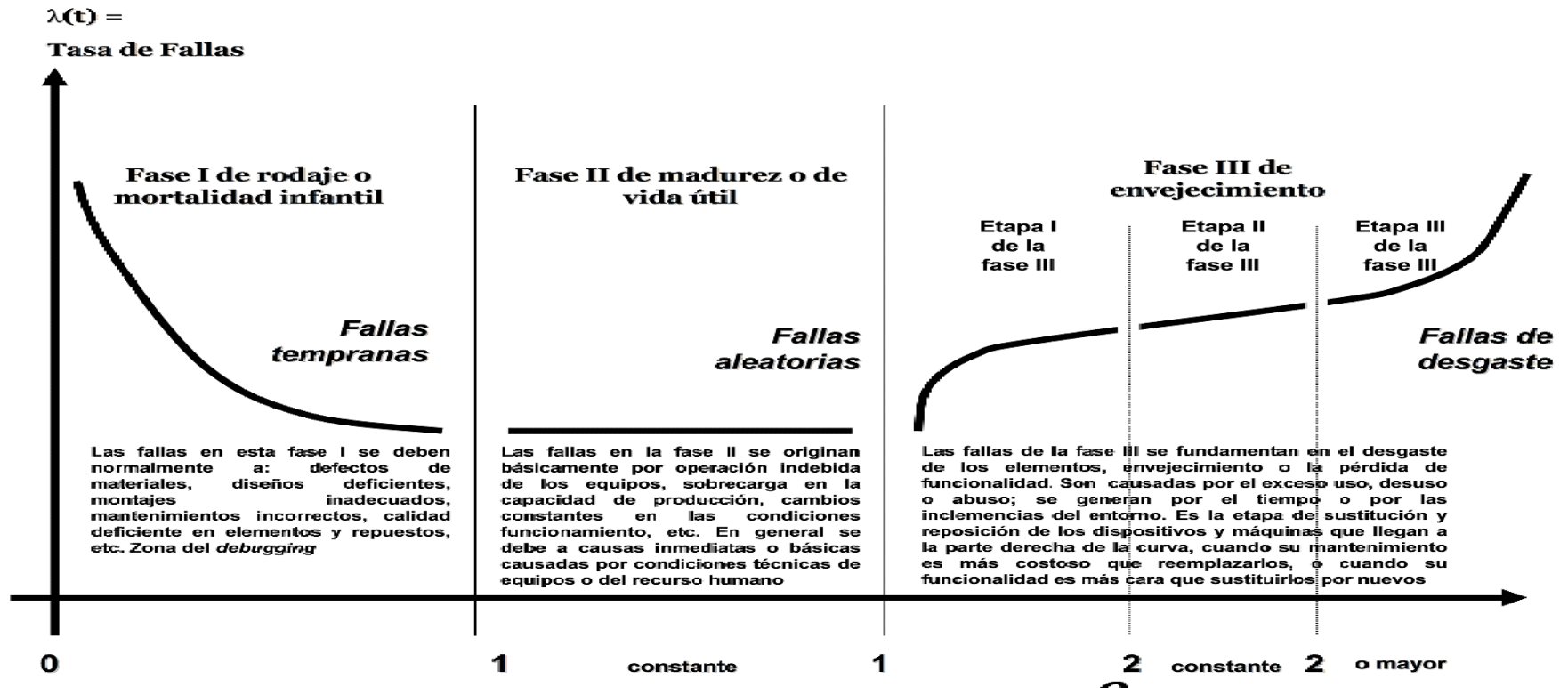


Ilustración 16. Bañera de Davies.



En la Fase I o mortalidad infantil, el índice de fallas es decreciente, lo que significa que el número de equipos que fallan en relación a los que quedan con vida disminuye con el tiempo. En esta etapa predominan las acciones correctivas y modificativas, las metodologías a aplicar en este punto se enfocan en encontrar la causa raíz de las fallas, la más utilizada es la matriz FMECA.

En la Fase II o de madurez, la tasa de fallas permanece constante con el tiempo, es decir, cualquier equipo tiene la misma probabilidad de fallar con respecto a los otros similares. Las fallas son aleatorias y ocurren generalmente por errores de operación o variación de parámetros, se requieren acciones modificativas para controlar los parámetros fuera del estándar, se utiliza también el FMECA.

En la Fase III, también conocida como envejecimiento, la tasa de fallas vuelve a crecer debido al desgaste natural de los componentes, aunque la razón de cambio varía y se encuentran tres divisiones dentro de esta etapa.

En la primera zona el incremento es suave y empiezan a fallar elementos cuando se espera que empiecen a fallar, las acciones que se ejecutan son preventivas.

Luego se llega a un ciclo de crecimiento constante en el porcentaje de equipos que fallan con respecto a los que sobreviven, se inician las acciones predictivas debido a que se aumenta el grado de deterioro de los componentes.

Por último, se acelera el crecimiento de equipos con falla debido a que están llegando al final de su vida útil, en esta zona las acciones son predictivas, con algunas preventivas y correctivas para reemplazar componentes que la razón de cambio varía y se encuentran tres divisiones dentro de esta etapa.

1.4.7.7 Métodos Estandarizados y Utilizados a Nivel Mundial. CMD.

Genérico: se utiliza cuando no se desglosan los tiempos de no funcionabilidad, se trabaja en bloques la no funcionabilidad.

Inherente: Es útil cuando se desean controlar los tiempos de tareas correctivas, reparaciones o modificaciones implicadas por tareas no planeadas que no funcionan.

Alcanzado: Su uso es pertinente cuando se desea tener control especial sobre las tareas planeadas y las correctivas.

Operacional: Sirve mucho cuando un problema mayor de la empresa son demoras por causas administrativas o física, que impiden la realización de tareas planeadas o no de mantenimiento.

Operacional Generalizada: Se utiliza en aquellos casos donde los equipos se miden con el CMD, funcionan, pero no operan todo el tiempo, es decir funcionan mas no producen todo tiempo. (Esreda - Industrial, 1998.).

1.4.7.8 Análisis de Falla y su Influencia en el CMD.

Análisis de falla es una actividad destinada a descubrir y eliminar la causa raíz de la misma. Es una tarea que requiere varias etapas.

Agentes y metodologías. Para hacer correctamente un análisis de fallas se debe tener en cuenta los siguientes:

Análisis de causa raíz de las fallas para mejorar la mantenibilidad.

Desaparecer o disminuir las paradas imprevistas que son costosas.

Mejorar los procesos de mantenimiento planeados, en sustitución de los correctivos que generan paradas imprevistas.

Aumento de las frecuencias entre mantenimiento planeados, para obtener mejores tiempos medios planeados y que por ende mejoran la mantenibilidad, esto se debe realizar con cautela, procurando que este aumento de los periodos no conlleve a la

aparición de fallas ya que se habían controlado, se puede lograr observando y monitoreando constantemente el factor Beta de Weibull.

Disminución de los costos financieros de inventarios y de duplicidad de equipos por confiabilidad, al mejorar los procesos de manejo de insumo y respuestas de mantenimiento. (Blanchar y otros, 1994).

En el caso de los dos primeros mejoran inmediatamente la mantenibilidad, si esos tiempos que se reducen las tareas mantenimiento, se logra convertir directamente en mayores tiempos útiles de producción, se puede esperar un doble impacto en la mejor de disponibilidad.

1.4.7.9 Cálculo de los Parámetros de CMD.

El proceso de cálculo de los parámetros universales CMD sigue un diagrama de decisión donde se esbozan los diferentes pasos para caracterizar una población de datos que definen el estado actual y futuro de un equipo. Consta de seis pasos y su objetivo es calcular los parámetros CMD actuales y futuros de un equipo.

Paso 1. Trata sobre las actividades para obtener, tabular, manipular y manejar los datos, de tal manera que estos sean compatibles en su forma, estilo y configuración, básicos para poder hacer los cálculos en los métodos puntuales y de distribuciones. Es importante que los datos sean reales, que tengan coherencia cronológica, que sean de los equipos que entran en el análisis y se usen las mismas unidades de tiempo para la comparación.

Paso 2. Decidir cuál es la disponibilidad más adecuada con las expectativas de la empresa, de acuerdo al nivel de mantenimiento en donde se encuentre y a la clase de datos disponibles.

Paso 3. Decidir el uso del MLE10 que es el método de máxima verosimilitud (Este método no hace alineación), o aplicar el método de alineación con sus dos aspectos:

estimación de parámetros $F(t)$ (Función de no confiabilidad) y de $M(t)$ (Función de mantenibilidad), con las diferentes alternativas de estimación como:

i-kaésimo, rango de medianas con tabla, de Benard o Kaplan y Meyer.

Realizar la alineación para la función de Weibull en la forma gráfica o numérica de mínimos cuadrados para calcular los parámetros beta y eta.

Obtener el grado de ajuste de los datos mediante la valoración de los índices de bondad.

Paso 4. Realizar los cálculos de los parámetros de Weibull y validar las pruebas de bondad de ajuste, estas se realizan con tres pruebas Kolmogórov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado Ji^2 . Realizar la validación de bondad y ajuste para comprobar si los datos que se observan corresponden a la distribución escogida. Un aporte de este método universal es usar la metodología de Weibull porque sirve para las tres etapas de la curva de Davies ilustración 8, en caso de que no aplique, se va directamente a la función específica que más se adecua al valor de Beta (β) que se obtiene en esa etapa de Weibull. Las funciones específicas son: Gamma, Log-normal, Normal, Rayleigh.

Paso 5. Parametrizar y realizar alineación o MLE que se requiere con otra función específica diferente a Weibull para estimar sus bondades de ajuste a partir del dato de Beta (β) resultado del cálculo en el paso cuatro; definir cuál distribución aplica de acuerdo al parámetro.

El objetivo de la alineación es estimar los parámetros de una línea recta que son el intercepto y la pendiente para minimizar el error (Mora, 2009).

Las pruebas de bondades de ajuste son: Kolmogórov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado Ji^2 . Los datos deben pasar al menos dos pruebas de bondad; se considera aceptable cuando el coeficiente de determinación muestra r^2 se encuentra en el rango 0,9 y 1,0 y el coeficiente de correlación r está en el rango 0,95 y 1,0.

Paso 6. Calcular los parámetros CMD acorde a la función seleccionada por el alineamiento, estos son: UT, MTBF, MTBM, MTBMc, MTTR, M, M' o su equivalente. Analizar las curvas de densidad de falla $f(t)$, acumulada de fallas $F(t)$, confiabilidad $R(t)$ y tasa de falla $\lambda(t)$. Realizar los pronósticos de curvas y parámetros. Patronar y ajustar pronósticos CMD. Analizar los parámetros Beta, Eta, MTBF, MTBM, MTBMc, M_p , etc. en el tiempo. Definir una estrategia de mantenimiento acorde a los parámetros.

Ilustración 17. Calculo de los Parámetros de CMD

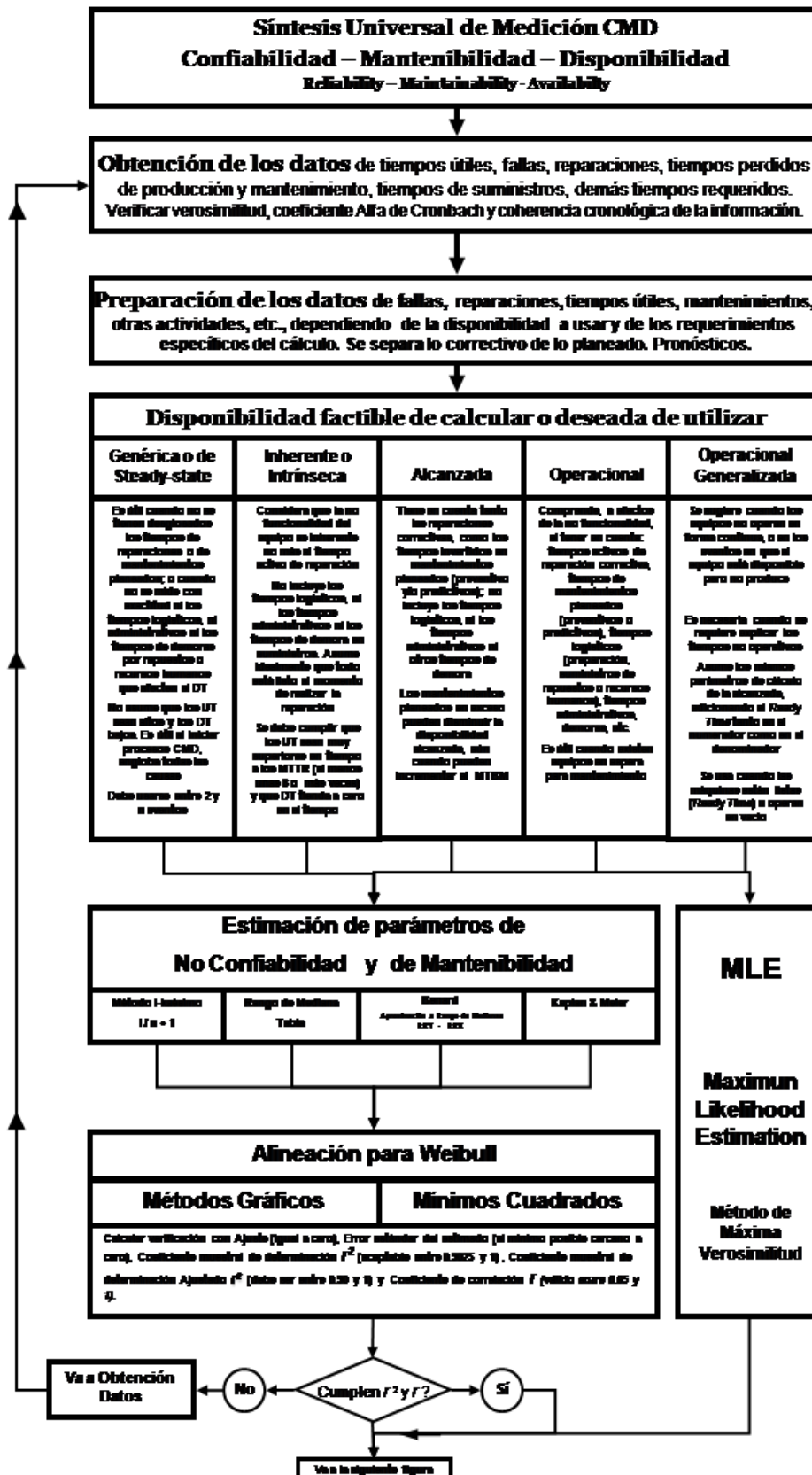
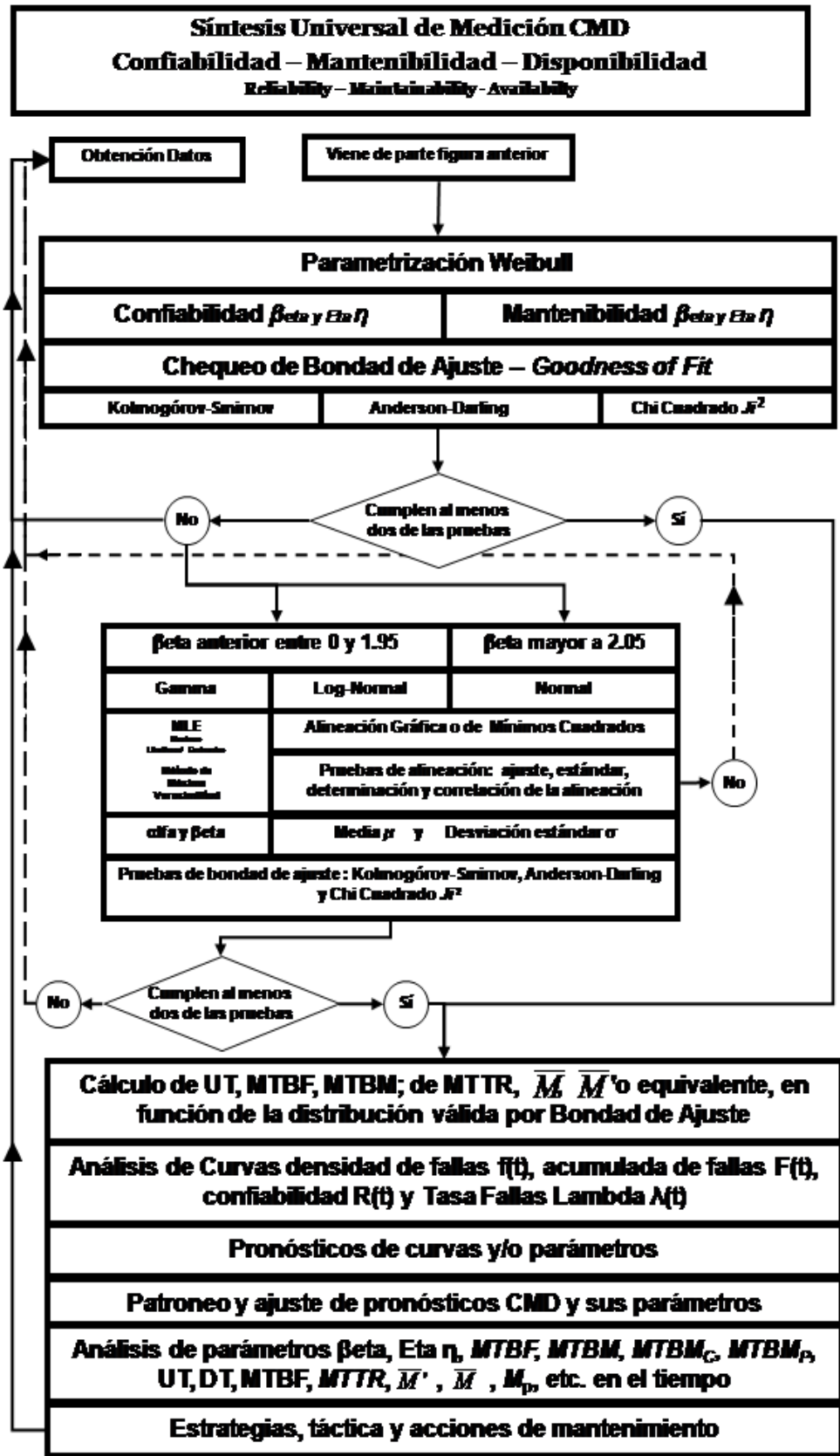


Ilustración 18. Cálculo de los Parámetros de CMD



1.5 CONCLUSION

A lo largo del desarrollo de este capítulo, se definen los componentes y variables relevantes en análisis de las técnicas o metodologías los cuales permiten estructurar fundamentos acertados y dirigir la investigación.

Los análisis de CMD, permiten pronosticar el comportamiento probable de un sistema o componente, como se comportó en tiempo y cuáles fueron sus desviaciones en el área de mantenimiento que más impactaron el proceso. De esta forma es posible optimizar los recursos de la compañía o empresa, y tener un sistema confiable, mantenerle y disponible cuando sea requerido.

Disminución de los costos financieros de inventarios y de duplicidad de equipos por confiabilidad, al mejorar los procesos de manejo de insumos y repuestos de mantenimiento (Blanchard y otros, 1998).

La decisión del tipo de CMD a usar, más que basarse en el deseo de los empresarios depende del tipo y sistema de información que se posee las más usadas, son la genérica y la inherente, algo la alcanzada y muy poco la operacional y la generalizada, por lo altos costos que implica la recolección de la información para los cálculos (Barringer@, 2005).

La metodología de análisis de fallas se apoya en procesos sólidos de medición y predicciones de fallas y tiempo útiles que otorgan los métodos estandarizados de CMD combinado con herramientas futurística de última generación como redes neuronales, CMD distribuciones o series temporales.

2 INTERCAMBIADOR DE CALOR

2.1 OBJETIVO.2

Describir el sistema intercambiador de calor. sus componentes principales y subcomponentes, parámetros técnicos y sus funciones dentro del contexto operativo de un equipo estático.

2.2 INTRODUCCIÓN.

Esta sección explica integral y específicamente los principales componentes del equipo, aporta los elementos que generan los tiempos de reparaciones y requerimientos planeados; como también la información pertinente de los tiempos de paradas imprevistas en sus fechas para el posterior cálculo de los parámetros de alineación de la disponibilidad alcanzada, su confiabilidad y su mantenibilidad, con todos los algoritmos usuales a nivel internacional.

Un intercambiador de calor es un dispositivo que tiene como función principal enfriar o calentar un fluido. Por los tubos circula el fluido caliente y por fuera de estos circula el fluido frío, de tal forma que un fluido se enfría y el otro se calienta, (aire, gas o líquido).

El mecanismo de funcionamiento es lograr una separación total entre los dos fluidos sin que se produzca ningún almacenamiento intermedio de calor, es por esto que se le llama intercambiador de calor. Se diseña en base a la cantidad de fluido que se desea enfriar y a las temperaturas de entrada y salida, así como el material de fabricación.

Su uso depende de la actividad, ya sea farmacéuticos, químicos, petroquímicos, etc. El presente estudio describe las funciones durante la operación haciendo

énfasis mayor en la cantidad de fallos y paros que ocurren durante el proceso de transferencia calor.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

En la Refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja se encuentra la Planta Demex⁵ designada internamente como U-2500. Esta planta es el primer eslabón del tren de refinación de los fondos de vacío provenientes de las unidades Topping⁶ como materia prima para producir DMO.

El proceso de la planta consiste en mezclar los fondos (carga pesada) con un fluido solvente (para este caso el propano), a través de altas presiones y temperatura para extraer los productos livianos presentes en los fondos de vacío convirtiéndolos en DMO, después de realizarse este proceso se recupera el solvente para eventualmente ser reutilizado.

La recuperación del solvente se realiza a través de procesos a alta presión y temperatura baja. Este último se lleva a cabo utilizando agua industrial que circula por lado tubos del sistema de intercambiadores de calor que retira su calor latente denominados E-2505A/B; C/D; E/F, posteriormente en el tambor D-2505 de alta presión se acumula el solvente para seguir con el proceso.

2.4 DESEMPEÑO TERMICO

El primer paso para establecer el requerimiento del intercambiador es especificar las temperaturas de entrada y salidas; cuando se está en operación con rangos de

⁵ Demex: El nombre de esta planta se debe a su producto principal llamado Aceite Des-metalizado o DMO (De-metalized Oil) de su sigla en inglés.

⁶ Unidades Topping: Son las plantas de donde se efectúa la destilación atmosférica y destilación al vacío del petróleo que carga la refinería.

temperaturas deben indicarse los incentivos para alcanzar el fin deseado de cada rango.

Una vez definida la temperatura se puede definir la efectividad del intercambiador. Esto es muy importante porque da una buena indicación de las relaciones de flujo longitud y diámetro, y la viabilidad de utilizar unidades de flujo paralelo o cruzado en oposición a unidades de contraflujo.

Para servicios que generan sedimentos debe estimarse la extensión y espesor de este depósito, así como efecto en el coeficiente transferencia de calor y en el factor de fricción del fluido. Estas pueden influir en el tamaño del intercambiador porque si se acelera la formación de estos sedimentos pueden exigir que se requiera flujos de calor bastantes altos para evitar caída de temperatura excesiva.

Ilustración 19. Intercambiadores de Calor



Cada uno de los intercambiadores del sistema E-2505A/B; C/D; E/F, están diseñados para un flujo de agua por el lado casco de 22.400gpm a una presión de 250psig, y un flujo de solvente por el lado tubos a una temperatura de 280°F y presión 500psig que debe ser enfriado hasta 150°F.

2.5 COMPONENTES DEL SISTEMA DE INTERCAMBIADOR DE CALOR.

2.5.1 Carcaza o Casco.

Generalmente es la forma cilíndrica que comprende un tubo, a cuyos extremos van soldadas las bridas para permitir el montaje de las tapas o cabezales y las boquillas para permitir la entrada y salida del fluido del lado casco.

El tubo cilíndrico es fabricado en tubería para diámetro menor a 23in, y de placa rolada para diámetros mayor a 23in.

El número de boquillas o bridas depende del tipo de configuración del casco del intercambiador por lo general son dos y van soldada al casco.

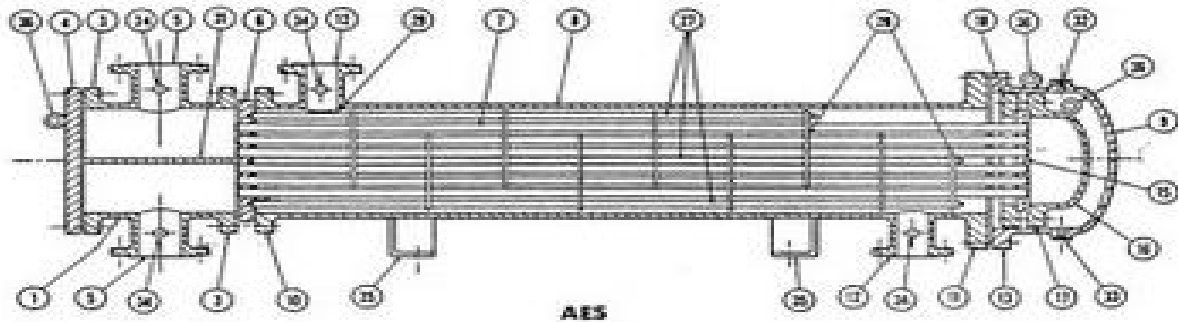
El diseño y forma del casco depende de las necesidades del proceso.

Es simplemente el recipiente para el fluido externo. Es de sección transversal circular, generalmente de acero de bajo carbono, aunque pueden construirse de otras aleaciones, especialmente, cuando se debe cumplir con requerimientos de altas temperaturas o corrosión.

2.5.2 Haz de Tubos.

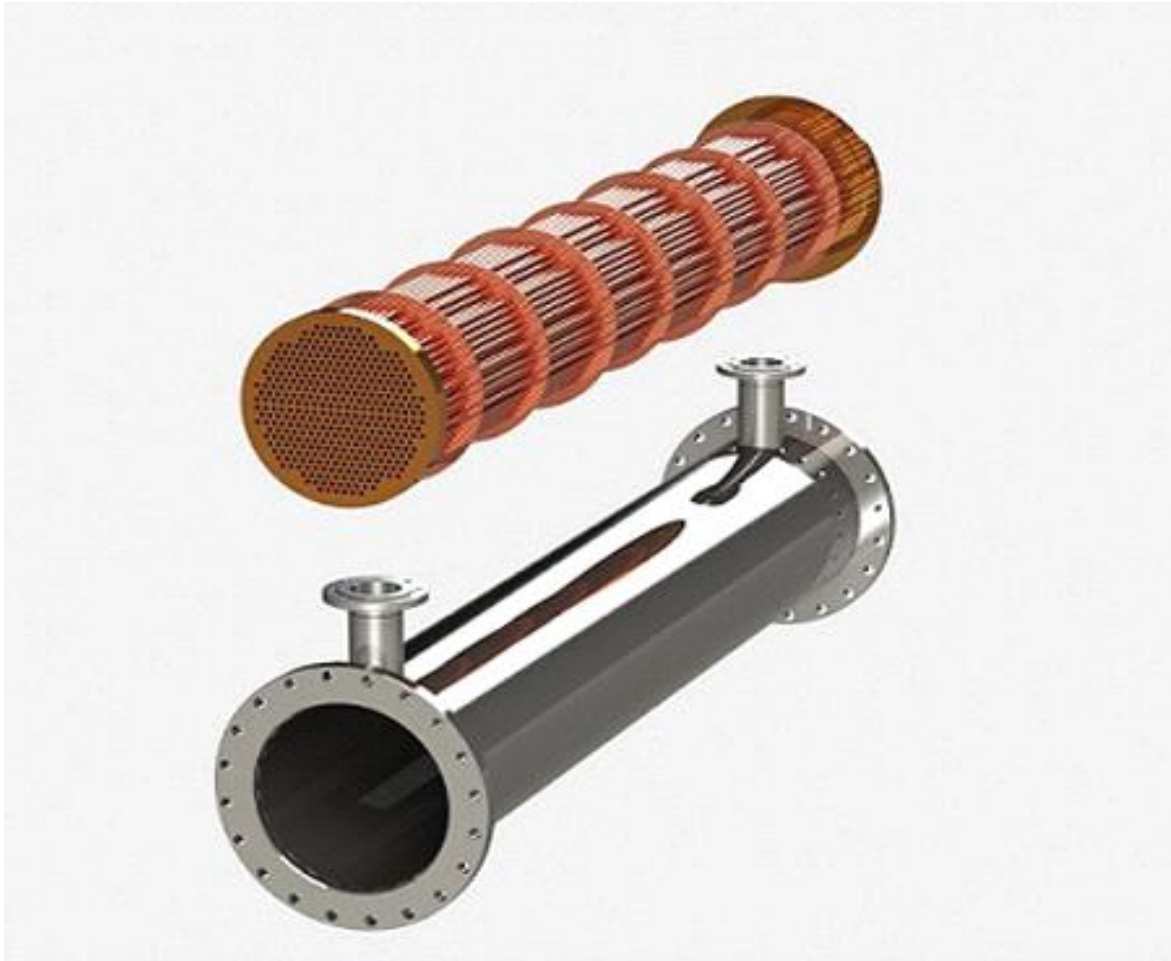
Consiste en una serie de tubos soportados en sus extremos por dos cabezales, por los tubos circula el fluido que ingresa al intercambiador por el cabezal estacionario y necesita ser enfriado.

Ilustración 20. Componentes del intercambiador



- | | | |
|--|---|---|
| 1. Casco. | 2. Cabezal estacionario. Canal. | 3. Cabezal estacionario. Casquete. |
| 4. Pestaña de cabezal estacionaria. | 5. Canal. | 6. Cubierta de canal. |
| 7. Tobera de cabezal estacionaria | 8. Lamina estacionaria de tubo | 9. Tubo |
| 10. Cubierta del casco. | 11. Brida del casco extremo del cabezal estacionario. | 12. Brida del casco extremo del cabezal posterior. |
| 13. Tobera del casco. | 14. Brida cubierta del casco | 15. Junta de expansión. |
| 16. Lamina de cierre tubular. | 17. Cubierta del cabezal flotador. | 18. Brida cabezal flotador |
| 19. Dispositivo de apoyo del cabezal flotador. | 20. Anillo de cizalla dividida | 21. Brida de apoyo dividida. |
| 22. Cubierta del cabezal flotador exterior. | 23. Faldón de lámina, exterior. | 24. Brida prensaestopas. |
| 25. Empaque. | 26. Anillo seguidor de empaque. | 27. Anillo de cierre hidráulico Bielvas y espaciadores. |
| 28. Desviadores transversales o placas de apoyo. | 29. Platina de impacto. | 30. Desviador longitudinal. |
| 31. Separaciones de paso o platina divisoria. | 32. Conexión de ventilación | 33. Conexión de drenaje |
| 34. Conexión de instrumentación | 35. Soportes de fijación. | 36. Ojo de elevación. |

Ilustración 21. Casco y Haz de Tubos.



2.5.3 Tubos.

La tubería utilizada para la fabricación de los ases de tubos facilita la transferencia de temperatura, ésta posee diferentes características de acuerdo al metal y especificaciones como: diámetro, calibre y longitud. Los metales más utilizados son: acero de bajo carbono, cobre, aluminio, admiralty⁷ 70-30 cobre, níquel, aluminio, bronce, aceros inoxidables.

⁷ Admiralty Industries: Industria especializada en la fabricación de tuberías con aleaciones de cobre.

Se pueden obtener en diferentes gruesos de pared definidos por el calibrador Birmingham para alambre, que en la práctica se denomina BGW del tubo. Los tubos de 3/4in y 1in de diámetro son los más comunes en el diseño de intercambiadores de calor.

Ilustración 22. Tubos.



2.5.4 Deflectores.

Usualmente se instalan deflectores (placas) del lado de la carcasa, bien sea transversal o longitudinalmente. Los deflectores longitudinales se usan cuando se requieren dos o más pasos por la carcasa o para sustituir a dos carcasas tipo E en serie. Estos deflectores son denominados también divisores de pasos.

El espaciado centro a centro entre deflectores se llama espaciado de deflectores. La distancia mínima es el 20% o 1/5 del diámetro interno de la carcasa o 2in, el que resulte mayor, el máximo no debe exceder el diámetro interno de la carcasa. Este parámetro es vital en el diseño.

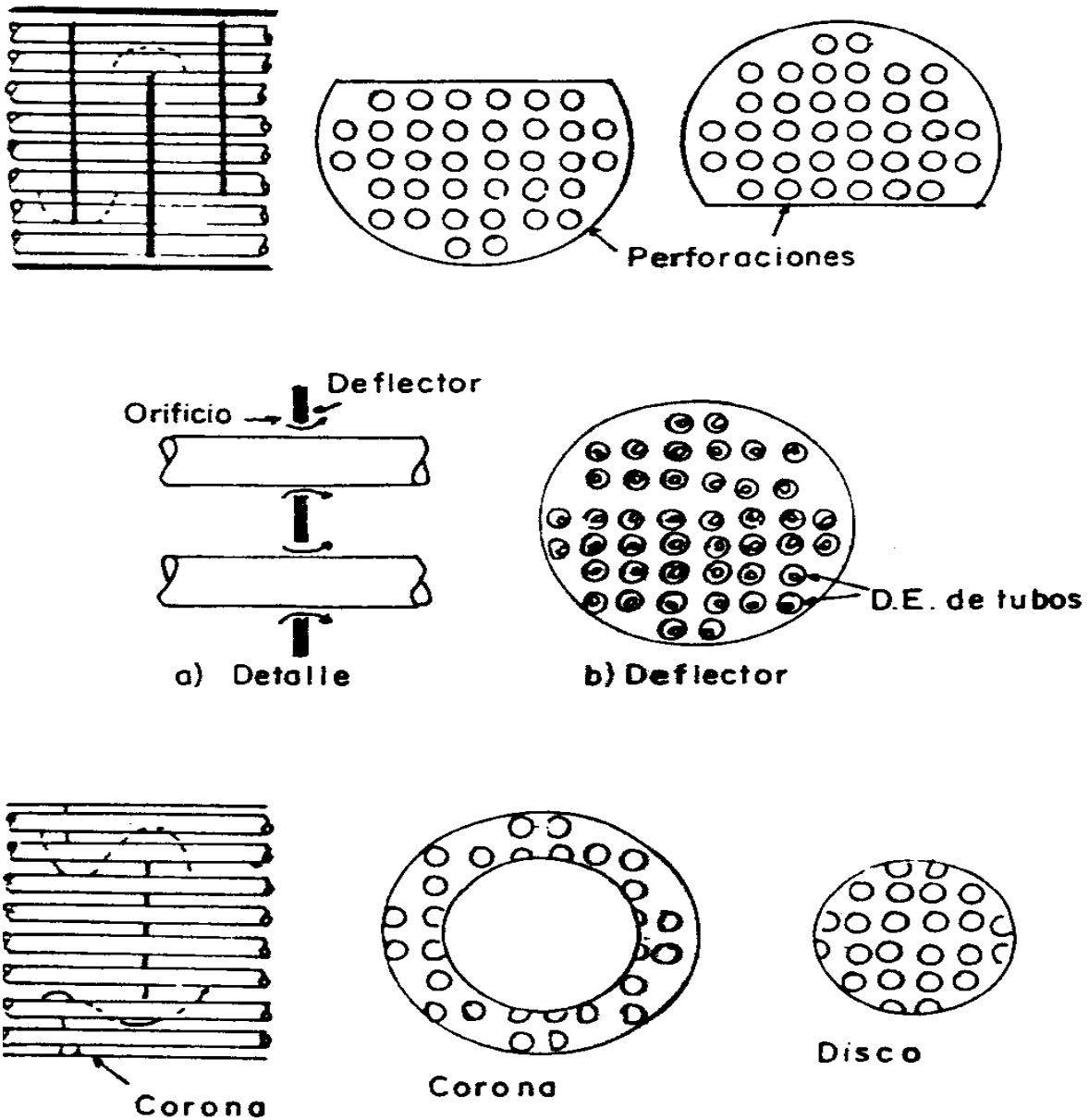
El arreglo de los divisores de paso en un intercambiador de pasos múltiples es aleatorio, aunque se trata de colocar un número aproximadamente igual de tubos por paso para minimizar la diferencia de presión, complejidad de fabricación y costo.

El divisor de pasos debe ajustar perfectamente en los surcos de la placa de tubos y en el cabezal para minimizar la posibilidad de derrame de una división a otra, lo que traería como consecuencia un serio deterioro en el funcionamiento del intercambiador. Los deflectores longitudinales pueden ser de diseño removible o soldado. Los primeros se emplean con cabezales flotantes y requieren de bandas o varillas tensoras.

Las funciones de los deflectores son las siguientes:

- Soportar haz de tubos.
- Restringir la vibración de los tubos debido a los choques térmicos efectuados por el contacto de los fluidos.
- Canalizar el flujo por la carcasa originando turbulencia para lograr mayores efectos de transferencia de calor.

Ilustración 23. Deflectores.



2.5.5 Varillas Tensoras.

Son varillas circulares que se atornillan en los cabezales y se extienden a lo largo del intercambiador normalmente se pone varilla metálica con rosca y se fijan con tuercas de fijación y sobre separadores se colocan los tubos.

Ilustración 24. Varillas tensoras.



2.5.6 Cabezal Flotante.

Se caracterizan por tener una hoja de tubos fija, mientras que la otra flota libremente permitiendo el movimiento diferencial entre la carcasa y los tubos, se puede extraer todo el haz de tubo para la limpieza.

2.5.7 Canal y Tapa Canal.

Las cubiertas de canal son placas redondas que están atornilladas a los bordes del canal y pueden ser removidos para inspeccionar los tubos sin perturbar el arreglo de los tubos. En pequeños intercambiadores suelen ser usados cabezales con boquillas laterales en lugar de canales y cubiertas de canales.

Ilustración 25. Cabezal Flotante.



Ilustración 26. Canal y Tapa Canal.



2.5.8 Bridas de Salida y Entrada.

Las bridas o boquillas simplemente dirigen el flujo del fluido del lado de los tubos hacia el interior o exterior de los tubos del intercambiador. Como el fluido del lado de los tubos es generalmente el más corrosivo, estos canales y boquillas suelen ser hechos de materiales aleados (compatibles con la placa tubular). Deben ser revestidos en lugar de aleaciones sólidas. Además, sirven para acoplar parte del intercambiador y unir el equipo al sistema de proceso.

Ilustración 27. Bridas de Entrada y Salida de Flujo. Tapa Casco.



2.5.9 Tapa Casco.

Esta tapa casco va ubicada al otro lado contrario de la canal sellando la carcasa del intercambiador.

Ilustración 28. Tapa Casco



2.5.10 Tornillos o Espárragos

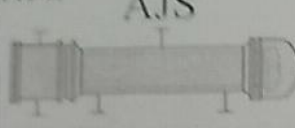
Son elementos que sirven para ajustar o sellar, son de diferente tamaño y grosor dependiendo del tamaño del intercambiador, de la presión del sistema, etc.

2.6 CARACTERÍSTICA TÉCNICA DE DISEÑO.

El sistema de intercambiadores de calor E-2509 enfría de solvente que utiliza para su proceso la Planta Demex U-2500. Por el lado casco fluye agua a una presión de 100psig y por el lado tubos pasa solvente a una presión de 300psig, según el diseño, consta de 1581ft de tubería de 3/4in de diámetro, el material de fabricación es el ASTM⁸ B111-443 Admiralty.

⁸ ASTM International: Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (American Society for Testing and Materials)

Ilustración 29. Ficha técnica del Sistema Intercambiador de Calor.

HOJA DE CARACTERISTICAS DE INTERCAMBIADORES						
EQUIPO:		E-2505 H		PLANTA:	DEMEX	
SERVICIO:		ENRIADOR CONDENSADOR SOLVENTE				
DESCRIPCION HAZ DE TUBOS						
TIPO 	FLUIDOS	TUBOS:	AGUA DE ENRIAMIENTO			
		CASCO:	100LV%MIC4			
	CIEGOS	LADO CANAL:	2 DE 14" x 150#			
		LADO CASCO:	1 DE 14" Y 1 DE 10" x 300#			
HAZ DE TUBOS:		PESO DEL HAZ:		KG		
		PESO TOTAL:		KG		
N° DE TUBOS	DIMENSIONES		MATERIAL	CALIBRE	CODIGO	
1581	34" x 20"		ASTM B111 - 443 ADMIRALTY	16	609362	
ESPARRAGOS						
PARTES	CANTIDAD	DIMENSIONES	MATERIAL	ROSCA	CODIGO	
CANAL	52	1" x 12-1/2"	ASTM A193 GR B7	ORD	134262	
TAPA CANAL	44	7/8" x 10"	ASTM A193 GR B7	ORD	679258	
TAPA FLOTANTE	36	7/8" x 15-1/2"	ASTM A193 GR B7	ORD	134106	
TAPA CASCO	60	1" x 12"	ASTM A193 GR B7	ORD	134262	
EMPAQUES						
NUMERO	DIMENSIONES*		MATERIAL	FORMA	CODIGO	
1	51-9/16" x 50-9/16"		METAL DOUBLE JACKETED, CARBON S.	R	1040328	
2	47-3/8" x 46-3/8"		METAL DOUBLE JACKETED, CARBON S.	R	1040336	
3	43-3/8" x 42-3/8"		METAL DOUBLE JACKETED, CARBON S.	R	1040344	
4	47-3/8" x 46-3/8"		METAL DOUBLE JACKETED, CARBON S.	CI	1040526	
5	47" x 46"		METAL DOUBLE JACKETED, COPPER	CI	1041201	
6						
*MEDIDAS EN						
TEMPERATURAS (°F)			PRESIONES (PSIG)			
LADO	OPERACION	DISENO	LADO	OPERACION	DISENO	PRUEBA
TUBOS		250	TUBOS		100	130
CASCO		505	CASCO		325	422,5
EMPAQUES DE BRIDAS				ANILLO DE PRUEBA		
DIMENSIONES	CANTIDAD	COD. DURABLE	COD. ESPROT.	EXISTE?	SI	NO
14" x 150#	2	139444	139444	LOCALIZACION:	GRUPO VII	
14" x 300#	1	138578	139451	DIAM. INTERIOR:	43-5/8"	
10" x 300#	1	138511	139394	DIAM. EXTERIOR:	56"	
APL	THAZ00000583	C THAZ	M001	No AGUJEROS:	60	
APL	TINT00000642	C TINT	M001	DIAM. AGUJEROS:	1-1/8"	
PROCEDIMIENTOS	2096	MTO. GRAL.		OBSERVACIONES:		
	2093	RENTUBE				
	2095	REP. PARCIAL				

2.7 CONCLUSION.

En este capítulo se enunciaron las partes del Sistema Intercambiador de Calor de la Planta de Demex, los E-2509A/B C/D E/F, así como las características y función de los mismos dentro del proceso del proceso de producción.

3 IRCMS

3.1 OBJETIVO.3

Aplicar el software IRCMS a las tareas más relevantes del mantenimiento. Nivel 3-Aplicar.

3.2 APLICACIÓN DEL SOFTWARE

En las gráficas siguientes se ilustran el setup, la función principal, funciones secundarias, las fallas funcionales, los modos de falla y las tareas de mantenimiento que se llevaran a cabo en el sistema analizado.

Ilustración 30. Setup

The screenshot shows the 'Setup' window with the 'Users' tab selected. The window has a menu bar with options: General, Default, Level of Maintenance, Publications, Packages, Operating Phases, Users, CF (Operating Hour/Unit), Severity Classes, Failure Frequencies, and HRI Matrix. The 'Users' tab is active, displaying a table with one user entry: 'Davila, Gustavo' with 'User ID' 1. Below the table is a section for 'Edit or Add User' with fields for First Name (Gustavo), Last Name (Davila), User Name (1), Password, and Verify Password. The 'Access Level' is set to 'SignOff' and the 'Active' checkbox is checked. There are buttons for 'Help', 'Delete', 'Save', 'Continue', 'Print', and 'Cancel'.

Multiple users can be defined with different access rights.

Last Name, First Name	User ID
Davila, Gustavo	1

Access Levels:
View Only = Records cannot be edited
Analyst = View, Edit and Review Rights
Signoff = View, Edit and Admin Rights

An Active status indicates that the user is a current user for this project.

Ilustración 31. Sistema Intercambiadores de Calor E2905A/B/C/D/E/F

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\USUASRIO\Documents\Gustavo\TesisGustavo.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Add Item Add Func Add FF Add FM Current User: Davila Access Level: Approver

Hardware Breakdown

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

- [-] E2509A Intercambiador de calor
 - 1 Casco
 - 2 Canal
 - 3 Tapa Canal
 - 4 Tapa Casco
 - 5 Haz de Tubos
 - 6 Bridas
 - 7 Empaquetaduras
 - 8 Conexiones roscadas
- [-] E2509B Intercambiador de calor
 - 1 Casco
 - 2 Canal
 - 3 Tapa Canal
 - 4 Tapa Casco
 - 5 Haz de Tubos
 - 6 Bridas
 - 7 Empaquetaduras
 - 8 Conexiones roscadas
- [-] E2509C Intercambiador de calor
 - 1 Casco
 - 2 Canal
 - 3 Tapa Canal
 - 4 Tapa Casco
 - 5 Haz de Tubos
 - 6 Bridas
 - 7 Empaquetaduras
 - 8 Conexiones roscadas
- [-] E2509D Intercambiador de calor
 - 1 Casco
 - 2 Canal
 - 3 Tapa Canal
 - 4 Tapa Casco
 - 5 Haz de Tubos
 - 6 Bridas
 - 7 Empaquetaduras
 - 8 Conexiones roscadas
- [-] E2509E Intercambiador de calor

FMECA & RCM Information

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

To do list

Needs Update Awaiting Review

In Work

- 1 Casco
- 1 Casco
- 1 Casco
- 1 Casco
- 1 Casco
- 1 Casco
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.
- 1 - 01A Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del intercambiador.

Ilustración 32 - Función Principal del Sistema E2905ABCDEF

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\USUASRIO\Documents\Gustavo\TesisGustavo.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Add Item Add Func Add FF Add FM Current User: Davila Access Level: Approver

Hardware Breakdown

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item - E2905A B C D E F

Item ID: E2905A B C D E F

Item Name: Sistema de Intercambiadores

Item Description: Sistema de intercambiadores para enfriar el solvente de la planta

Item ID Code: Part Number: Number of Items in operation: 1

Item Design Life: 5 G - Years

Alternate Application: Status: In process

Effectivity: E2905A B C E D F G

Analyst: Davila, Gustavo

Approved by: Davila, Gustavo

Reviewed by: Davila, Gustavo

Save Continue Cancel Memo

FMECA & RCM Information

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

01 Enfría el solvente de la planta de producción

- A El sistema de intercambiadores no enfría el solvente
 - 01 No hay flujo de solvente frío dentro de la ventana

Function - E2905A B C D E F - 01

Item ID: E2905A B C D E F

Function ID: 01

Function Description: Enfría el solvente de la planta de producción

Functional Significance Determination

	Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Effectivity: Todos los intercambiadores

Analyst: Davila, Gustavo Status: In process

Approved by: Davila, Gustavo

Reviewed by: Davila, Gustavo

Print Save Continue Cancel Memo

Ilustración 33 - Falla y Modo de Falla de la Función Principal

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\USUASRIO\Documents\Gustavo\TesisGustavo.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Add Item Add Func Add FF Add FM Current User: Davila Access Level: Approver

Hardware Breakdown

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

Functional Failure - E2905A B C D E F - 01A

Item ID: E2905A B C D E F

Function ID: 01

Function Description: Enfriar el solvente de la planta de produccion

Functional Failure ID: A

Functional Failure Description: El sistema de intercambiadores no enfria el solvente

Compensating Provisions: Bloquear el intercambiador que no enfria el solvente y sacar a mantenimiento

Effectivity: Todos los intercambiadores

Analyst: Davila, Gustavo Status: In process

Approved by: Davila, Gustavo

Reviewed by: Davila, Gustavo

Save Continue Cancel

FMECA & RCM Information

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

- 01 Enfriar el solvente de la planta de produccion
 - A El sistema de intercambiadores no enfria el solvente
 - 01 No hay flujo de solvente frio dentro de la ventana

Failure Mode - E2905A B C D E F - 01A01

Item ID: E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description: No hay flujo de solvente frio dentro de la ventana operativa

Local Effects: Bloqueo del intercambiador

Next Higher Effects: Sacar a mantenimiento

End Effects: Parada de planta

Detection Method: Visual mediante instrumentos

Severity Class: 2 - Critical Item ID code of failed item:

Effectivity: Todos los intercambiadores Part No of failed item:

MTBF: 5 G - Years Operating Phase: Phase I

Windows taskbar: 21:16 02/01/2019

Ilustración 34 - Tarea de Mantenimiento de la Función Principal

Failure Mode - E2905A B C D E F - 01A01
 Item ID: E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores FMI: 01 - A - 01 Rev:

Task ID: 0011 #

Potential Failure Condition:
 Perdida del flujo de solvente frio

Functional Failure Condition:
 Flujo de solvente por debajo de 100BPH

Potential to Functional Failure Interval: 5 G - Years

Task Description:
 Hacer seguimiento a la ventana operativa

Preliminary Task Interval: 1 G - Years
 Preliminary Initial Inspection: 1 G - Years
 Preliminary LDM: Ingeniero de Cor

Packaged Task Interval: 1 G - Years
 Packaged Initial Inspection: 1 G - Years
 Packaged LDM: Ingeniero de Cor

MTBCA: 5 G - Years
 Detection Probability: 99 (Percent in one inspection)

Inspection Manhours: 2
 Inspection Material Cost: 0,00 €
 Non Recurring Cost: 0,00 €
 Inspect EMT: 2 (hours)
 Average Repair Cost: 10.000.000,00 €
 Average Repair EMT: 24 (hours)

Cost of One On Condition Task:
 Preliminary: 600.000,00 € -> 600.000,00 €
 Packaged: 600.000,00 € -> 600.000,00 €





Task Accepted

Failure Mode* Failure Consequences Service/Lube On-condition*
 Hard-time Failure Finding Age Exploration* Other Action / No PM
 Cost/Downtime Analysis* Package / Summary* HRI Matrix

Ilustración 35 - Valoración del Riesgo

Failure Mode - M3301C - 01A01
 Item ID: M3301C Sistema Motor electrico FMI: 01 - A - 01 Rev:

HRI Matrix

	Frequent	Probable	Occasional	Remote	Improbable	
Catastrophic	1A	1B	1C	1D	1E	HIGH  MEDIUM  LOW  ACCEPTABLE 
Critical	2A	2B	2C	2D	2E	
Major	3A	3B	3C	3D	3E	
Minor	4A	4B	4C	4D	4E	

HRI Matrix Controls:
 Unmitigated MTBF: 48000 Flight Hours Severity Class: 2 - Critical
 Mitigated MTBF: 0 Severity Class:

Cost/Downtime Analysis* Package / Summary* HRI Matrix
 Failure Mode* Failure Consequences Service/Lube* On-condition*
 Hard-time* Failure Finding Age Exploration Other Action / No PM

Ilustración 36 - Función Principal del Subdivisión Casco del E2905A

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\USUASRIO\Documents\Gustavo\TesisGustavo.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Current User: Davila
Access Level: Approver

Item - 1

Item ID: 1
Item Name: Casco
Item Description: Carcaza del intercambiador

Item ID Code: Number of Items in operation: 1
Part Number: Item Design Life: 20 G - Years
Alternate Application: Status: In process
Effectivity: Todos los intercambiadores

Analyst: Davila, Gustavo
Approved by: Davila, Gustavo
Reviewed by: Davila, Gustavo

Save Continue Cancel Memo

FMECA & RCM Information

Casco

- 01 Es la carcaza del intercambiador y contiene el agu
 - A La casco no es capas de mantener el fluido de enfr
 - 01 Perforacion en el casco debido a desgaste del mate

Function - 1 - 01

Item ID: 1
Function ID: 01
Function Description: Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

Functional Significance Determination

	Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Effectivity: Todos los intercambiadores
Analyst: Davila, Gustavo Status: In process
Approved by: Davila, Gustavo
Reviewed by: Davila, Gustavo

Print Save Continue Cancel Memo

18:17
03/01/2019

Ilustración 37 - Falla y Modo de Falla de la Subdivisión Casco del E2905A

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\USUASRIO\Documents\Gustavo\TesisGustavo.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Add Item Add Func Add FF Add FM Current User: Davila Access Level: Approver

Hardware Breakdown

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

E2509A Intercambiador de calor

1 Casco

Functional Failure - 1 - 01A

Item ID: 1

Function ID: 01

Function Description: Es la carcasa del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

Functional Failure ID: A

Functional Failure Description: La carcasa no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador

Compensating Provisions: Reapretar los esparragos

Effectivity: Todos los intercambiadores

Analyst: Davila, Gustavo Status: In process

Approved by: Davila, Gustavo

Reviewed by: Davila, Gustavo

Save Continue Cancel

Failure Mode - 1 - 01A01

Item ID: 1 Casco FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description:
Perforacion en el casco debido a desgaste del material

Local Effects:
Perdida de capacidad de enfriamiento

Next Higher Effects:
Perdida de presion en el agua de enfriamiento

End Effects:

Detection Method:
Visual

Severity Class: 4 - Minor Item ID code of failed item:

Effectivity: Todos los intercambiadores Part No of failed item: Operating Phase: Phase I

MTBF: 10 G - Years

Failure Mode*	Failure Consequences	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM
Cost/Downtime Analysis*	Package / Summary*	HRI Matrix	

Windows taskbar: 18:22 03/01/2019

Ilustración 38 - Tarea de Mantenimiento del Casco del E2905A

Failure Mode - 1 - 01A01
 Item ID: 1 Casco FMI: 01 - A - 01 Rev:

Task ID: 0002 #

Potential Failure Condition:
 Perdida de agua de enfriamiento por una perforacion en el casco

Functional Failure Condition:
 Escape de agua a la atmosfera

Potential to Functional Failure Interval: 10 G - Years

Task Description:
 verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa

Preliminary Task Interval: 5 G - Years
 Preliminary Initial Inspection: 5 G - Years
 Preliminary LDM: Planificador

Inspection Manhours: 1
 Inspection Material Cost: 1.000.000,00 €
 Non Recuring Cost: 1.000.000,00 €
 Inspect EMT: 1 (hours)

Packaged Task Interval: 5 G - Years
 Packaged Initial Inspection: 5 G - Years
 Packaged LDM: Planificador

Average Repair Cost: 5.000.000,00 €
 Average Repair EMT: 8 (hours)

Cost of One On Condition Task:
 Preliminary: 300.000,00 € -> 300.000,00 €
 Packaged: 300.000,00 € -> 300.000,00 €

MTBCA: 10 G - Years
 Detection Probability: 90 (Percent in one inspection)

Task Accepted





Failure Mode* Failure Consequences Service/Lube* On-condition*
 Hard-time* Failure Finding Age Exploration* Other Action / No PM
 Cost/Downtime Analysis* Package / Summary* HRI Matrix

Print Save Continue Cancel Memo

Ilustración 39 - Valoración del Riesgo

Failure Mode - 1 - 01A01
 Item ID: 1 Casco FMI: 01 - A - 01 Rev:

HRI Matrix

	Catastrophic	Critical	Major	Minor	
Frequent	1A	2A	3A	4A	HIGH  MEDIUM  LOW  ACCEPTABLE 
Probable	1B	2B	3B	4B	
Occasional	1C	2C	3C	4C	
Remote	1D	2D	3D	4D	
Improbable	1E	2E	3E	4E	

HRI Matrix Controls

Unmitigated MTBF: 10 Years Severity Class: 4 - Minor
 Mitigated MTBF: 0 Severity Class:

Cost/Downtime Analysis* Package / Summary* HRI Matrix On-condition*
 Failure Mode* Failure Consequences Service/Lube* Other Action / No PM
 Hard-time* Failure Finding Age Exploration*

Print Save Continue Cancel Memo

3.2.1 Riesgo es Severidad por Ocurrencia en el IRCMS-ALADON

Desarrollo temático RCM

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: SISTEMA QUEMADO CARBON TEG_VAP_Usuario VAPRCM_Clave 123.rcm

Hardware Breakdown: SISTEMA QUEMADO CARBON VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO

- A AVP-0001 Ventilador
 - A MOT-0001 Motor Electrico
 - B CAC-0001 Compuerta de aire caliente
 - B DUCD-0001 Ducto de descarga del ventilador
 - Item retired

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | **Failure Frequencies** | HRI Matrix

Select a Failure Frequency:

- Frequency
- Probable
- Occasional
- Remota

A Failure Frequency indicates how often a particular failure occurs.

Failure Frequencies are defined by the user to establish time intervals within which a failure may occur.

Failure frequency categories are required to create the Hazard Risk Matrix.

Edit or Add Failure Frequency:

Frequency Description: Frequent

One Occurrence Per: 10 Units: A - Operating Hours

Buttons: Delete, Save, Continue, Print, Cancel

La ocurrencia es cuantitativa

Probabilidad de Ocurrencia

To do list: Needs Update, Awaiting Review

MARID: rotos del eje del ventilador

comente eléctrica),
compuerta de aire caliente no modula.
a estructura de la compuerta impiden su correcto funcionamiento.
n del ducto de descarga.

Desarrollo temático RCM

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | **Failure Frequencies** | HRI Matrix

Select a Failure Frequency:

- Frequency
- Probable
- Occasional
- Remota

A Failure Frequency indicates how often a particular failure occurs.

Failure Frequencies are defined by the user to establish time intervals within which a failure may occur.

Failure frequency categories are required to create the Hazard Risk Matrix.

Edit or Add Failure Frequency:

Frequency Description: Frequent

One Occurrence Per: 10 Units: A - Operating Hours

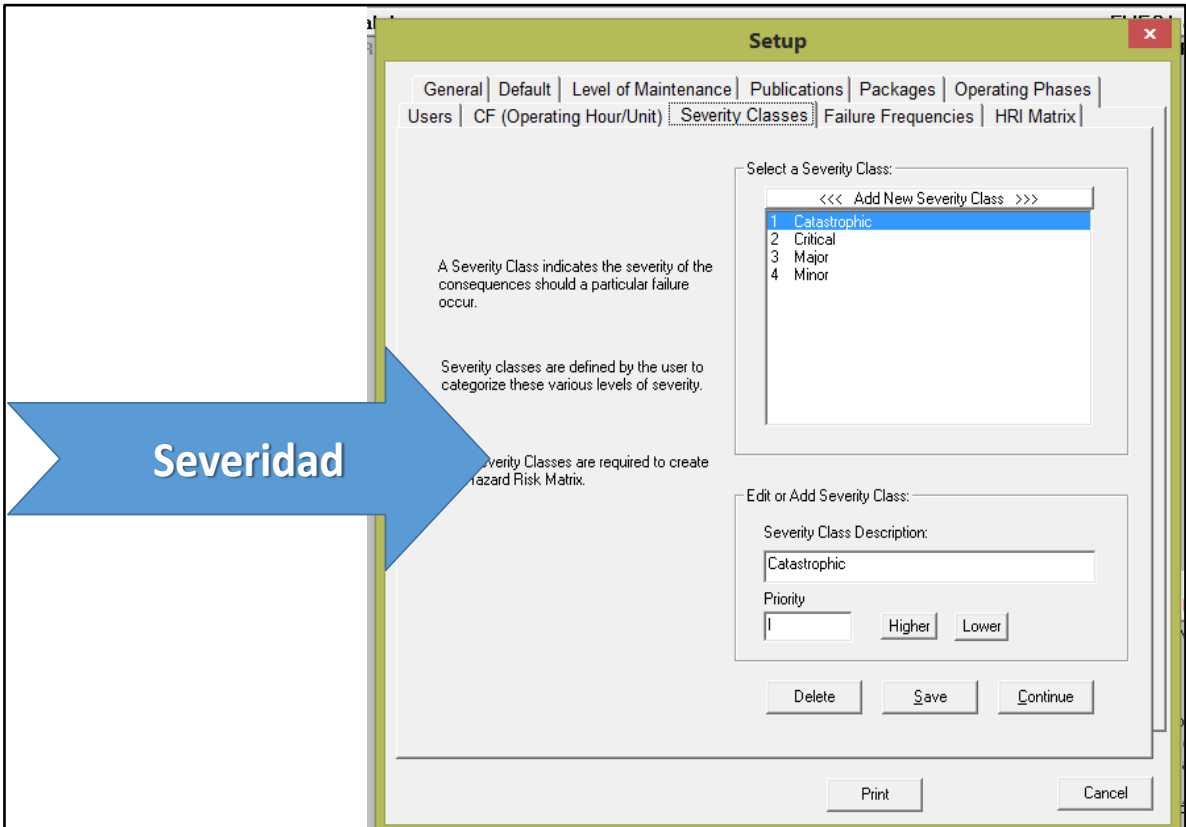
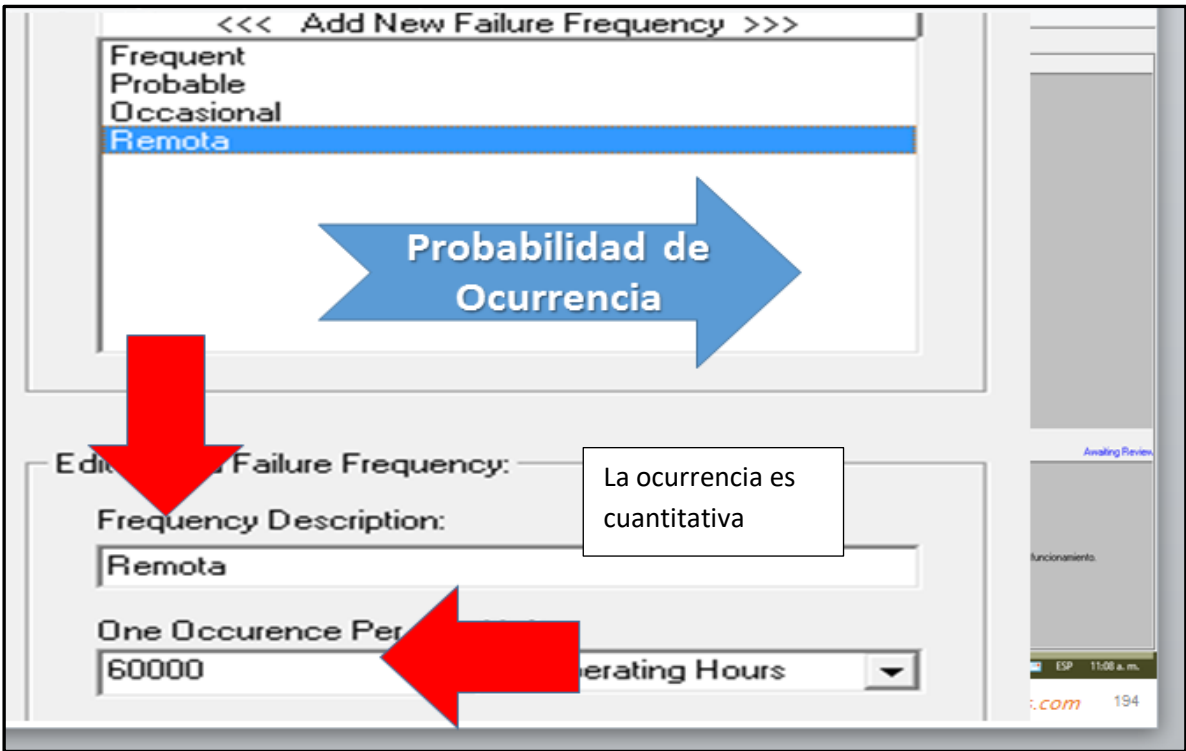
Buttons: Delete, Save, Continue, Print, Cancel

La ocurrencia es cuantitativa

Probabilidad de Ocurrencia

Trabaja la Frecuencia de Falla por rangos numéricos, es decir entre

- Frecuente entre 0 y 10 horas**
- Probable entre 10 y 100 horas**
- Ocasional entre 100 y 1000 horas**
- Remota entre 1000 y 60000 horas**



FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

SEVERITY CATEGORY

FMECA Terms:

FMECA

Category I	Catastrophic
Category II	Critical
Category III	Marginal
Category IV	Minor

• Aircraft example: “Damage less than \$1K, Unscheduled Maintenance or Repair”

• Equipment example: “Damage less than \$1K, Down-time less than 8 hours”

Setup

Publications | Packages | Operating Phases |
 Classes | Failure Frequencies | HRI Matrix |

Severidad

<< Add New Severity Class >>

- 1 Catastrophic
- 2 Critical
- 3 Major
- 4 Minor

Es cualitativa la Severidad en software i RCM

PMM BUSINESS SCHOOL
 Your International Business School
 Asset & Project Management
 Talent Development Center

Desarrollo temático Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Severidad

Copyright © PMMBusiness School www.pmm-bs.com

Desarrollo temático RCM

Probabilidad de Ocurrencia → **Es cuantitativa por rangos en software i RCM y en ALADON**

Severidad → **Es cualitativa la Severidad en software i RCM y en ALADON**

Desarrollo temático RCM

Probabilidad de Ocurrencia

Es cuantitativa por rangos en software i RCM y en ALADON

Severidad

Es cualitativa la Severidad en software i RCM y en ALADON

- | | |
|---|--------------|
| 1 | Catastrophic |
| 2 | Critical |
| 3 | Major |
| 4 | Minor |

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: SISTEMA QUEMADO CARBON TEG_VAP_Usuario VAPRCM_Clave 123.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Hardware Breakdown

SISTEMA QUEMADO CARBON VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO

- A. AVP-0001 Ventilador
- A. MOT-0001 Motor Electrico
- B. CAC-0001 Compuerta de aire caliente
- B. DUCD-0001 Ducto de descarga del ventilador

Item retrat

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | Failure Frequencies | HRI Matrix

Select a Severity Class:

<<< Add New Severity Class >>>

- 1 Catastrophic
- 2 Critical
- 3 Major
- 4 Minor

A Severity Class indicates the severity of the consequences should a particular failure occur.

Severity classes are defined by the user to categorize these various levels of severity.

The Severity Classes are required to create the Hazard Risk Matrix.

Edit or Add Severity Class:

Severity Class Description: Catastrophic

Priority: 1 Higher Lower

Delete Save Continue

Print Cancel

To do list

Needs Update Awaiting Review

WARIO

rotos del eje del ventilador

te corriente eléctrica)

compuerta de aire caliente no modula

a estructura de la compuerta impiden su correcto funcionamiento.

Sn del ducto de descarga.

Severidad es catastrófica

Severidad

Ocurrencia es remota pues es de 38880 en el rango de 1000 a 60000

Probabilidad de Ocurrencia

3.2.2 Toma de Decisiones

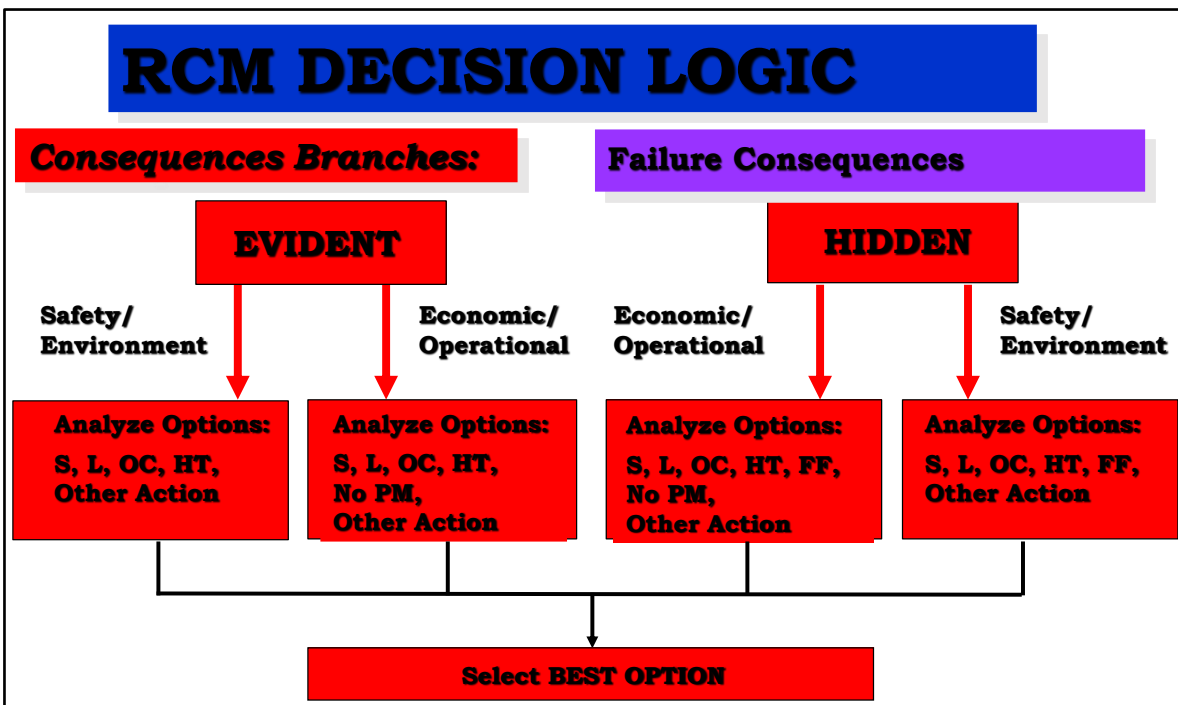
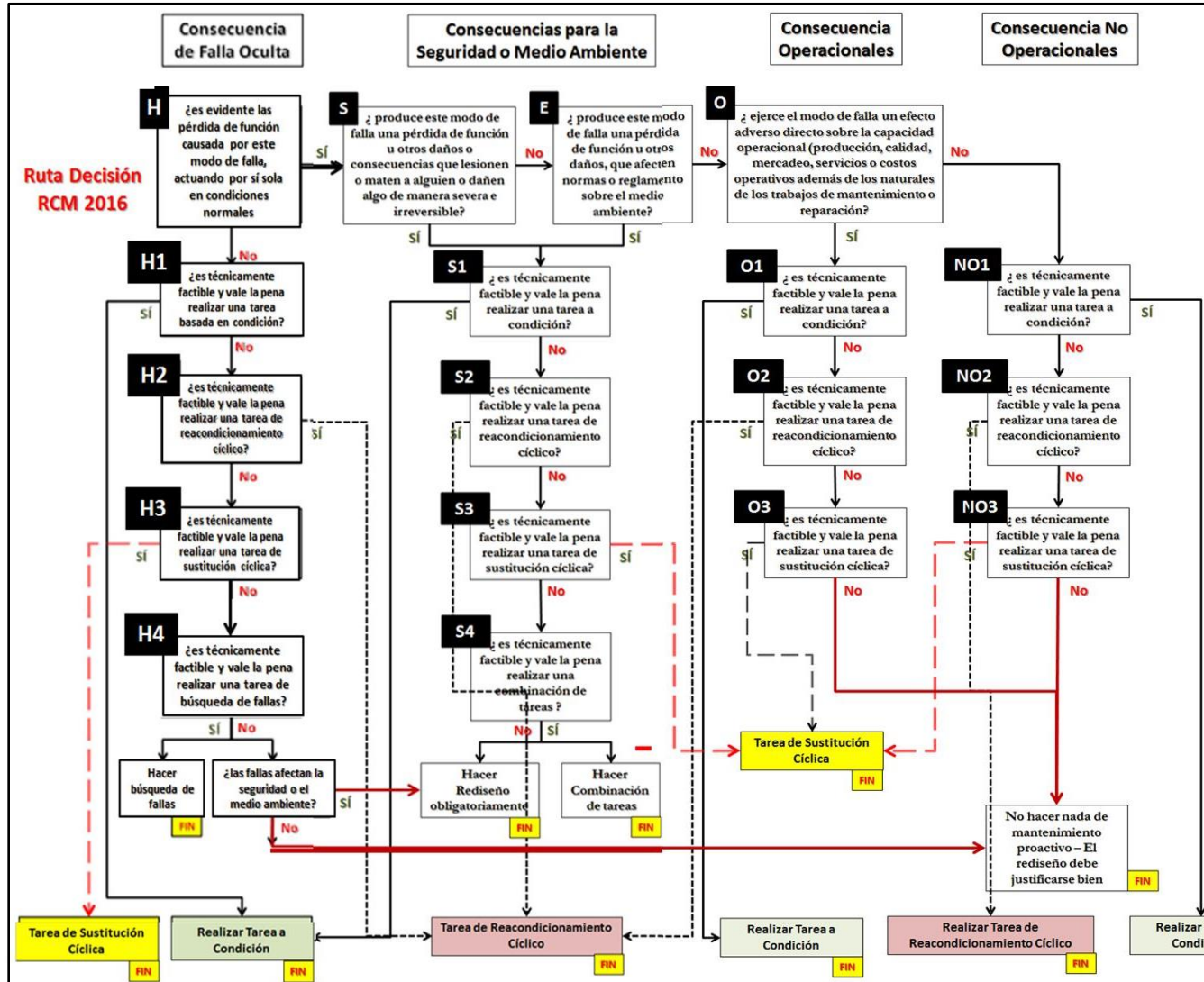
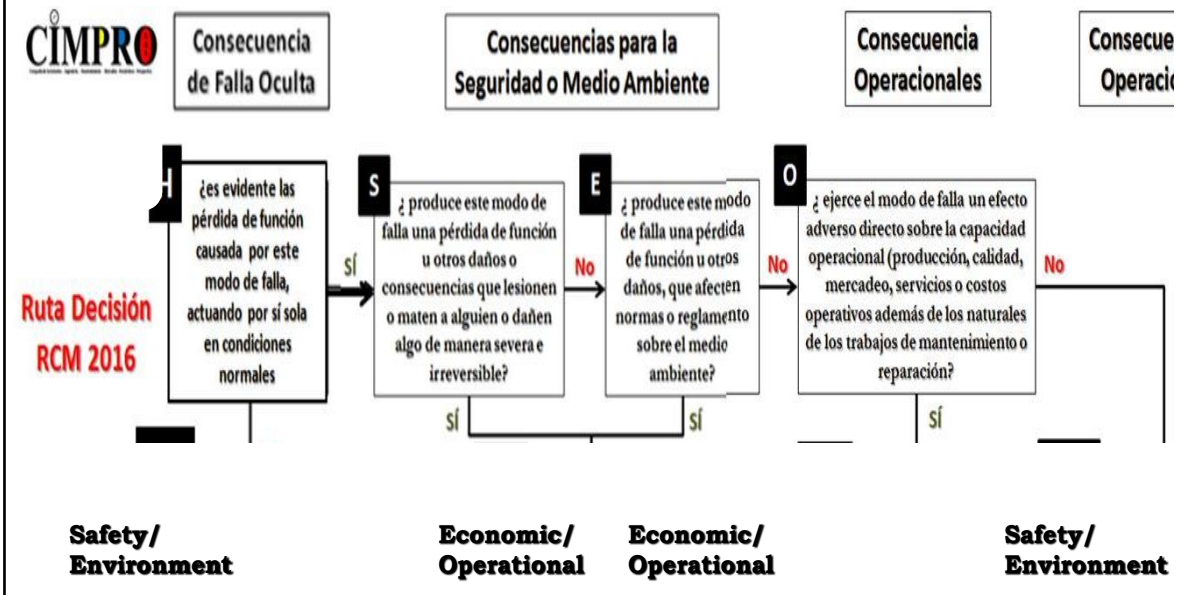


Ilustración 40 - Diagrama de Flujo de la Toma de Decisiones



Desarrollo temático Mantenimiento Centrado en Confiabilidad



Failure Mode*	Failure Consequences	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM*
Cost/Downtime Analysis*	Package / Summary*	HRI Matrix	

Print Save Continue Cancel Memo

Trabajos de mantenimiento

Failure Mode - A. AVP-0001 - 00A01

Item ID: A. AVP-0001 Ventilador FMI: 00 - A - 01 Rev:

Information from A. AVP-0001 - 00

Function Description:
 Suministrar aire caliente seco transportado con un flujo másico de 535 kg/min mas o menos el 5%, con un motor de 402 HP a 6900 V, a una velocidad de 3600 RPM

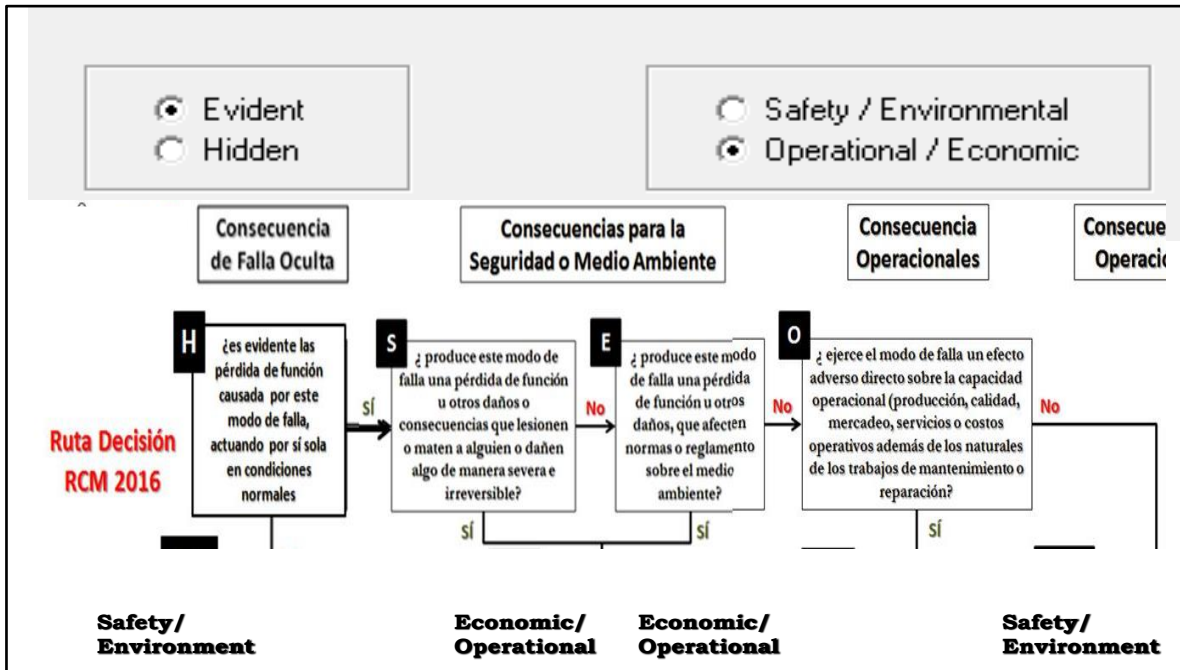
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment? No
 2. Does loss of the function have an adverse effect on operations? Yes
 3. Does loss of the function have an adverse economical impact? n/a
 4. Is this function protected by an existing PM task? n/a

Failure Mode
 Perdida del flujo masico por rodamientos rotos del eje del ventilador

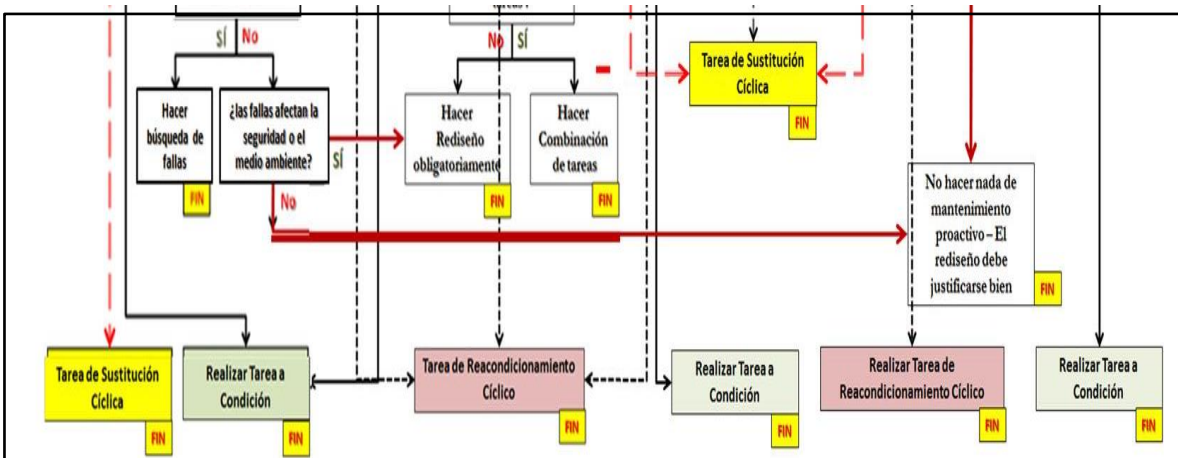
Evident Hidden Safety / Environmental Operational / Economic

Failure Mode*	Failure Consequences	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM*
Cost/Downtime Analysis*	Package / Summary*	HRI Matrix	

Print Save Continue Cancel Memo



3.2.3 Tareas que acepta el iRCM de Mantenimiento



Trabajos factibles de mantenimiento según Hoja Decisional ALADON

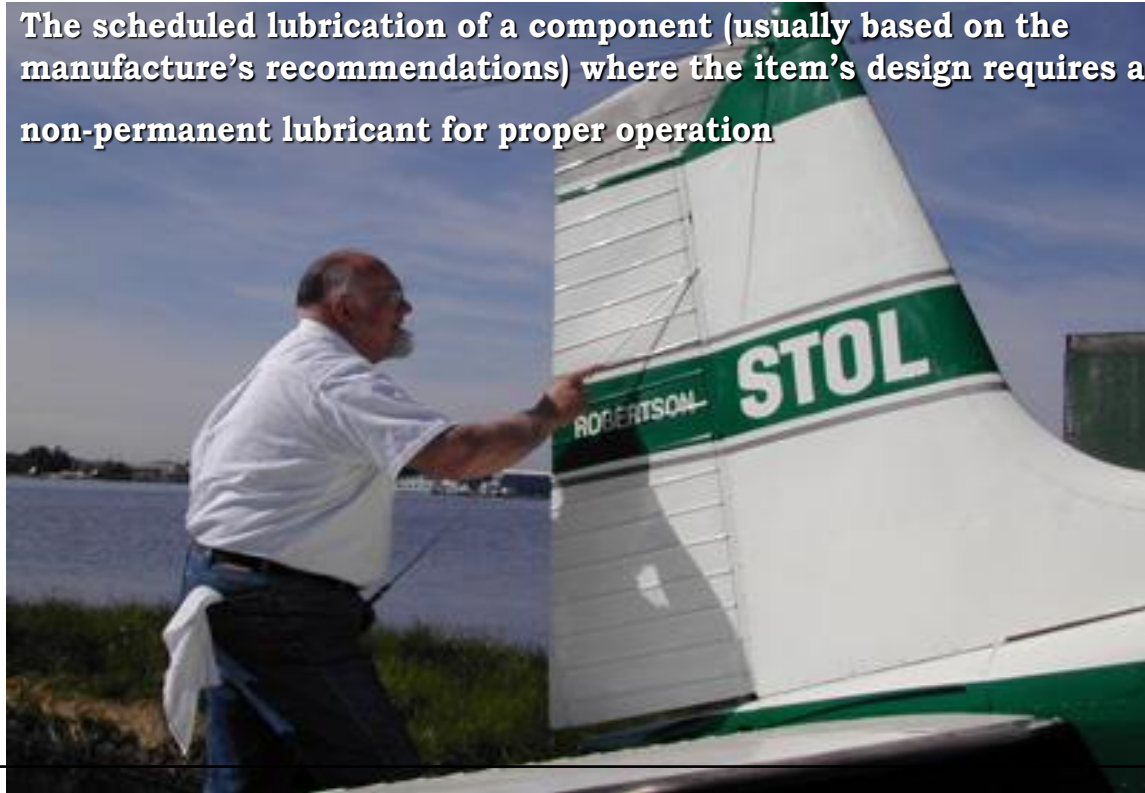
RCM DECISION LOGIC



Lubrication:

Task Evaluation

The scheduled lubrication of a component (usually based on the manufacture's recommendations) where the item's design requires a non-permanent lubricant for proper operation



On-Condition

Task Evaluation

Periodic or continuous inspection designed to detect a potential failure condition prior to functional failure.

RCM DECISION LOGIC



Hard Time Task:

Task Evaluation

RCM DECISION LOGIC

Scheduled removal of an item or a restorative action at some specified age limit to prevent its functional failure.



Failure Finding:

Task Evaluation



A preventive maintenance task performed at a specified interval to determine whether a hidden functional failure has occurred.

Preventive Maintenance Tasks:

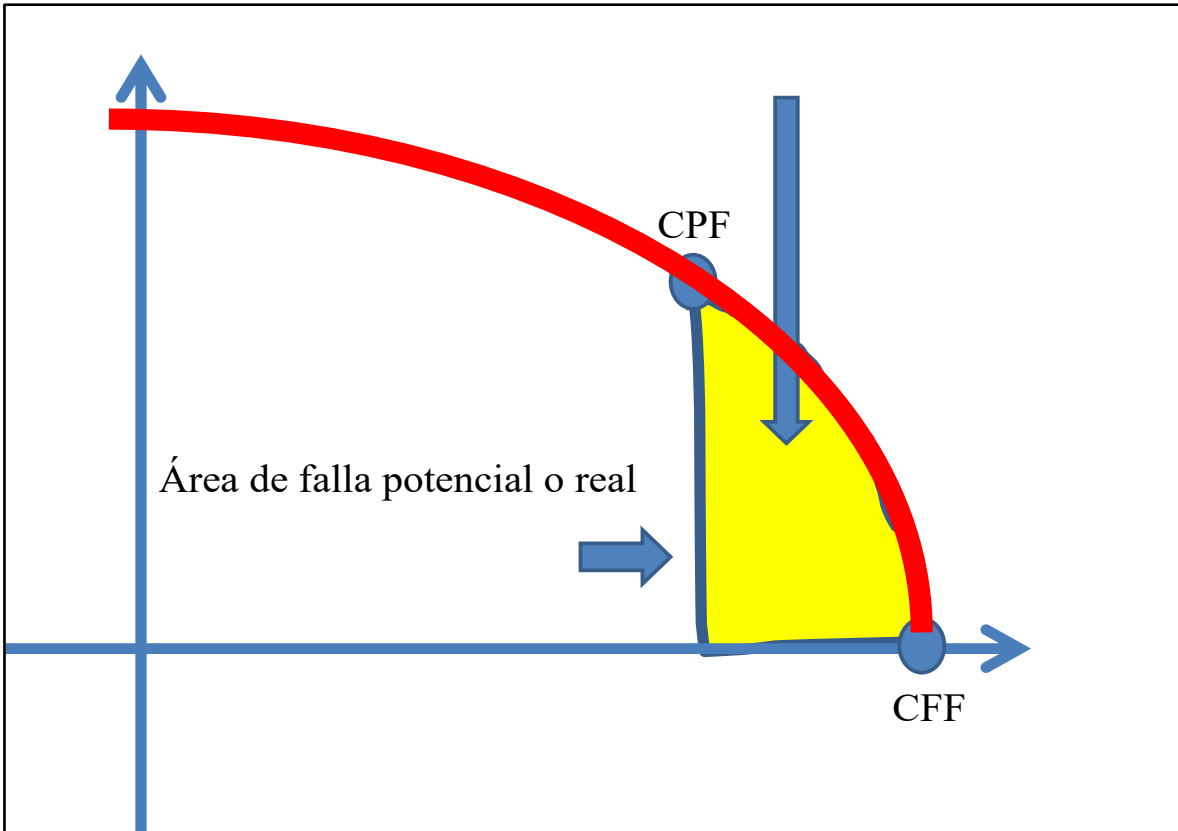
Task Evaluation

- **S (Servicing Task)** - Replenishment of consumable materials depleted during normal operations
- **L (Lubrication Task)** - Replacement of a lubricant based on manufacturer's predicted or measured life of the lubricant
- **OC (On Condition Task)** - Periodic or continuous inspection designed to detect a potential failure condition prior to functional failure
- **HT (Hard Time Task)** - Scheduled removal of an item or a restorative action at some specified age limit to prevent its functional failure
- **FF (Failure Finding Task)** - A preventive maintenance task performed at a specified interval to determine whether a hidden functional failure has occurred.

Preventive Maintenance Tasks:

Task Evaluation

- **S (Servicing Task)** - Replenishment of consumable materials depleted during normal operations **Reacondimiento cíclico**
Consiste en completar al nivel correcto el material que se consume durante la operación normal
- **L (Lubrication Task)** - Replacement of a lubricant based on manufacturer's predicted or measured life of the lubricant **Sustitucion cíclica**
Es el reemplazo del lubricante o grasa, a un tiempo definido por el fabricante o basado en el análisis del laboratorio de los mismos
- **OC (On Condition Task)** - Periodic or continuous inspection designed to detect a potential failure condition prior to functional failure
Es un mantenimiento planeado, que se basa en inspecciones continuas o periódicas para detectar el inicio de la presencia de una falla relevante, al conocer la Condicion de Falla Potencial, antes de que ocurra la condición de Falla Funcional



RCM DECISION LOGIC

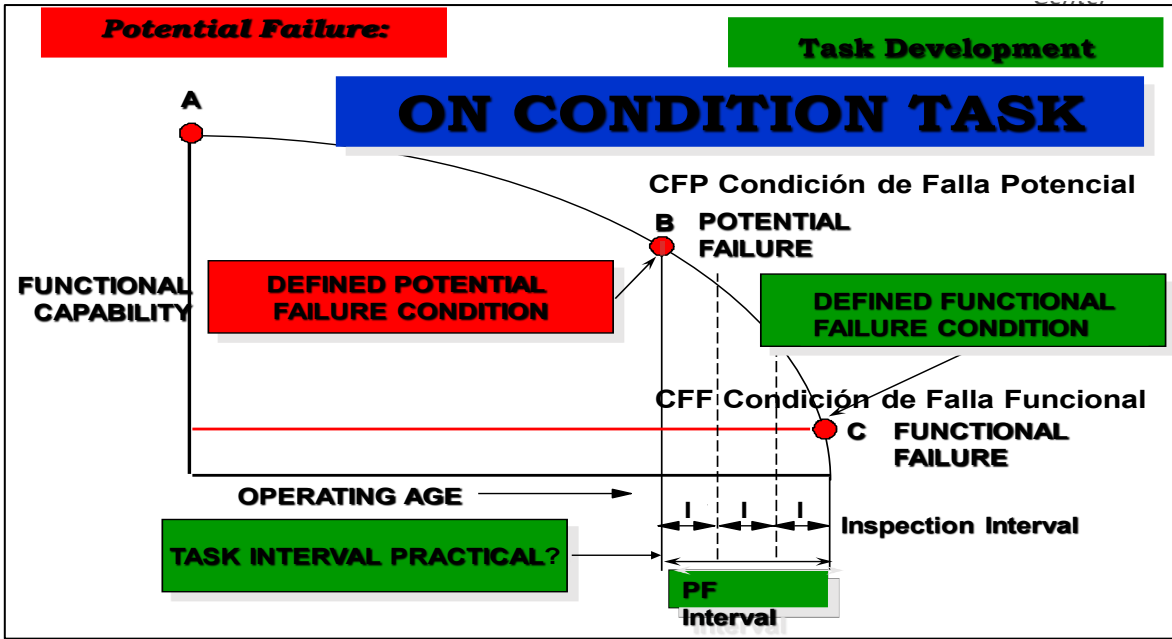
Other Action Warranted:

Task Evaluation

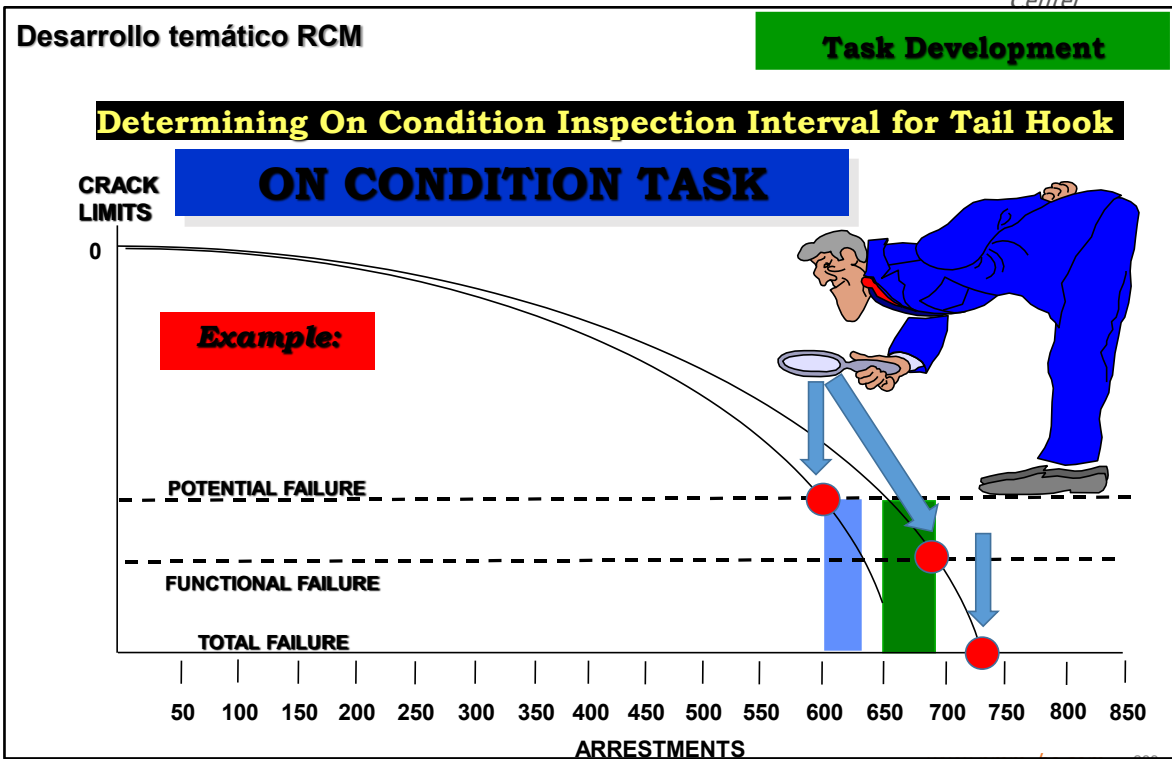
En other actions aplica trabajos correctivos no preventivos ni predictivos

Consider when

- **No acceptable PM task can be found for safety/environmental consequence failures**
- **Other Action is preferable to PM and run to failure**
- **Other action, in combination with PM, will beneficially reduce consequences or frequency of failure**



Copyrights © PMM Business School | www.pmm-bs.com | 282



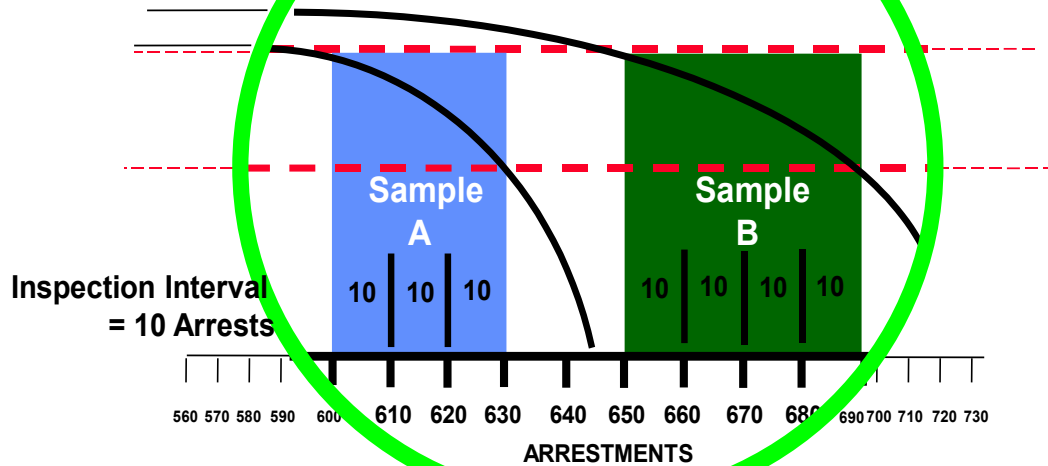
Copyrights © PMM Business School | www.pmm-bs.com | 283

Example: Tico RCM

Task Development

Determining On Condition Inspection Interval for **Tail Hook**

ON CONDITION TASK



Copyrights © PMM Business School

www.pmm-bs.com 234

Failure Mode - A. AVP-0001 - 00A01

Item ID: A. AVP-0001 Ventilador FMI: 00 - A - 01 Rev: #

Task ID: 0010 #

Potential Failure Condition: Hay ruido, hay altas temperaturas, hay vibracion e inicia el proceso de deterioro de rodamientos y/o cojinetes.

Functional Failure Condition: Rotura de rodamientos y/o cojinetes

Potential to Functional Failure Interval: 680 A - Operating Hours

Task Description: Desconexion y retiro del motor, retiro de acople y posterior retiro del rodamiento para su respectivo cambio, cuando de dana un rodamiento se cambia el otro, and vice versa, cuando se cambia el deteriorado y se mide el otro, para cambio o no.

Preliminary Task Interval: 1 A - Operating Hours Inspection Manhours: 8

Preliminary LOM: Tecnologo Mec. Inspection Material Cost: \$0.00

Preliminary Inspect Interval: 3 A - Operating Hours Non Recurring Cost: \$0.00

Packaged Initial Inspection: 1 A - Operating Hours Inspect EMT: 9 (hours)

MTBCA: 39000 A - Operating Hours Average Repair Cost: \$30,000,000.00

Percent in one inspection: 46 Average Repair EMT: 16 (hours)

Cost of One On Condition Task: Preliminary: \$64,000.00 --> \$96,000.00

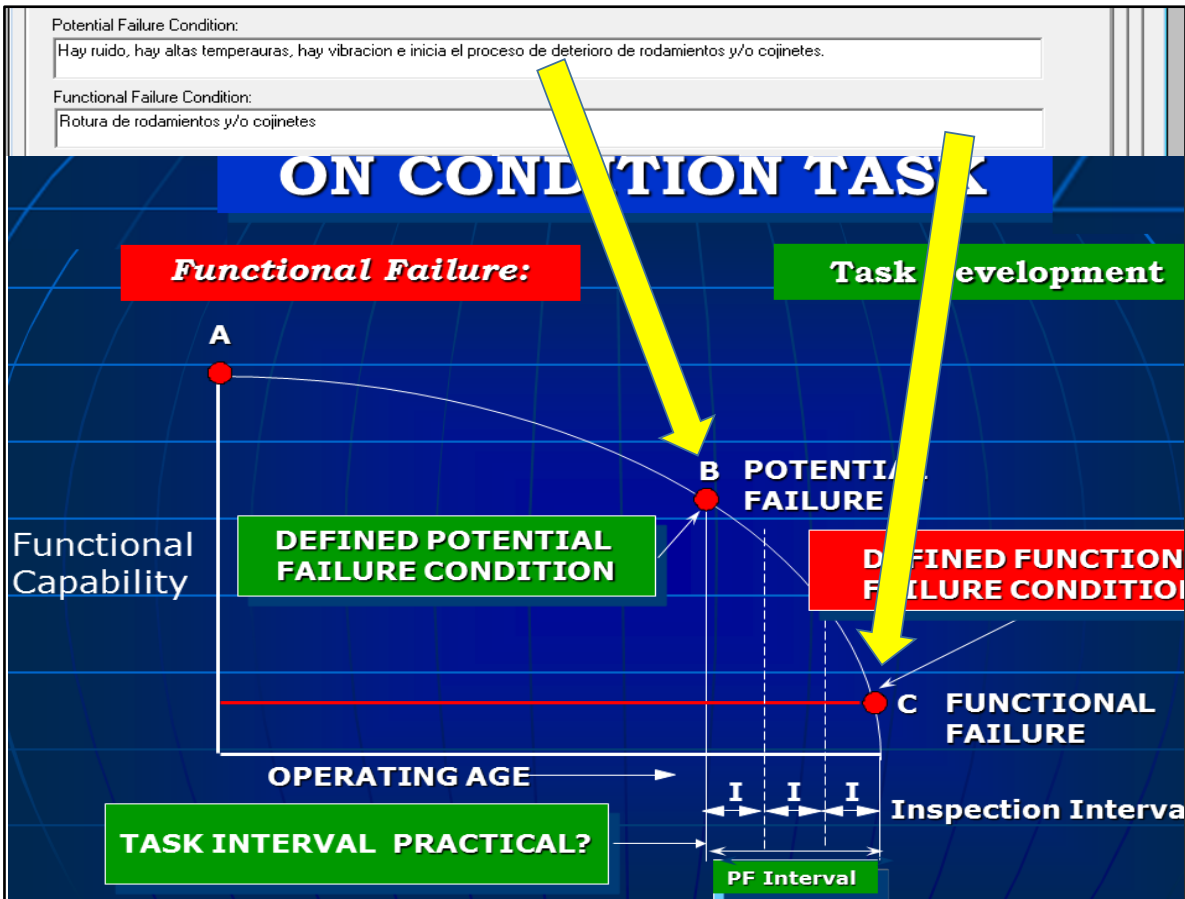
Packaged: \$96,000.00 --> \$96,000.00

Task Accepted

Failure Mode*	Failure Consequences	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM*
Cost/Downtime Analysis*	Package / Summary*	HRI Matrix	

Print Save Continue Cancel Memo

En este caso en particular se decide un trabajo de mantenimiento basado en ON CONDITION



3.2.4 Desarrollo de las Funciones - Fallas y Modos de Falla

El proceso técnico se lleva a cabo en tres grandes etapas, en la primera de ellas se definen la Función Primaria, cuyo dígito es cero, luego se desarrollan las Funciones Secundarias importantes, posteriormente las Fallas, enunciándolas con letras y por últimos los Modos de Falla de cada una de las Fallas, es bueno recordar que las Fallas son referidas a las Funciones, de ahí su nombre de Fallas Funcionales.

A continuación, se muestran todas las Funciones, Fallas y Modos de Fallas desarrollados en el ejercicio de los Activos del Sistema de Bombeo, en el IRCMS.

Ilustración 41 - Funciones, Fallas y Modos de Falla del sistema en el iRCM

The figure consists of four screenshots of the 'Integrated Reliability-Centered Maintenance System' software, showing the 'Hardware Breakdown' and 'FMECA & RCM Information' for a solvent cooling system. The user is 'Davila' with 'Approver' access level.

Screenshot 1: Shows the 'Hardware Breakdown' for 'E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores'. Under 'E2509A Intercambiador de calor', '1 Casco' and '2 Canal' are listed. The 'FMECA & RCM Information' shows a function '01 Enfriar el solvente de la planta de produccion' with a failure mode 'A El sistema de intercambiadores no enfría el solvente' and a failure effect '01 No hay flujo de solvente frio dentro de la ventana'.

Screenshot 2: Shows the 'Hardware Breakdown' with 'E2509A Intercambiador de calor' selected. The 'FMECA & RCM Information' shows a function '01 Enfriar el solvente del proceso' with a failure mode 'A No enfría el solvente del proceso'.

Screenshot 3: Shows the 'Hardware Breakdown' with '1 Casco' selected. The 'FMECA & RCM Information' shows a function '01 Es la carcasa del intercambiador y contiene el agu' with a failure mode 'A La carcasa no es capas de mantener el fluido de enfr' and a failure effect '01 Perforacion en el casco debido a desgaste del mate'.

Screenshot 4: Shows the 'Hardware Breakdown' with '2 Canal' selected. The 'FMECA & RCM Information' shows a function '01 Unir de manera segura las tomas de proceso del flu' with failure modes 'A No une de manera segura las tomas de proceso al in' (effect '01 Perforacion de la canal debido a desgaste del mate') and '02 Pernos flojos'.

Ilustración 42 - Función de la Subdivisión Canal del E2905A

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\USUASRIO\Documents\Gustavo\TesisGustavo.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Add Item Add Func Add FF Add FM Current User: Davila Access Level: Approver

Hardware Breakdown

E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

- [-] E2509A Intercambiador de calor
 - 1 Casco
 - 2 Canal
 - 3 Tapa Canal
 - 4 Tapa Casco
 - 5 Haz de Tubos
 - 6 Bidas
 - 7 Empaquetaduras
 - 8 Conexiones roscadas
- [+] E2509B Intercambiador de calor
- [+] E2509C Intercambiador de calor
- [+] E2509D Intercambiador de calor
- [+] E2509E Intercambiador de calor
- [+] E2509F Intercambiador de calor

FMECA & RCM Information

2 Canal

- [-] 01 Unir de manera segura las tomas de proceso del flu
 - A No une de manera segura las tomas de proceso al in
 - 01 Perforacion de la canal debido a desgaste del mate
 - 02 Pernos flojos

Function - 2 - 01

Item ID: 2

Function ID: 01

Function Description: Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.

Functional Significance Determination		Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Effectivity: Todos los intercambiadores

Analyst: Davila, Gustavo Status: In process

Approved by: Davila, Gustavo

Reviewed by: Davila, Gustavo

Print Save Continue Cancel Memo

To do list

Needs Update Awaiting Review

1 - 01 Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

1 - 01 Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

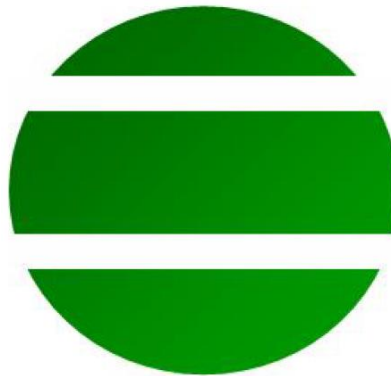
1 - 01 Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

1 - 01 Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

1 - 01 Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.

Las demás funciones, así como sus fallas, modos de falla y las tareas de mantenimiento propuestas se puede evidenciar en el archivo anexo llamado RCM TesisGustavo.rcm creado usando el software IRCMS.

Ilustración 43 - Logo-Enlace hacia la Aplicación



[RCM TesisGustavo.rcm](#)

3.3 REPORTE FMECA

A continuación, se expone parte del reporte generado por el software IRCM acerca del análisis FMECA.

Ilustración 44 - Reporte FMECA página 2 de 20

FMECA Report

Print Date: 13/01/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
1	Casco	01	Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La casco no es capas de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La casco no es capas de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La casco no es capas de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La casco no es capas de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La casco no es capas de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La casco no es capas de mantener el fluido de enfriamiento dentro del intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G

Ilustración 45 - Reporte FMECA página 3 de 20

FMECA Report

Print Date: 13/01/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G

Ilustración 46 - Reporte FMECA página 4 de 20

FMECA Report

Print Date: 13/01/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	02	Pernos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	02	Pernos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	02	Pernos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	02	Pernos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	02	Pernos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al intercambiador	02	Pernos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G

Ilustración 47 - Reporte FMECA página 5 de 20

FMECA Report

Print Date: 13/01/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Inoendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Inoendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Inoendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Inoendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Inoendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Inoendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	inoendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	inoendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	inoendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	inoendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G

Ilustración 48 - Reporte FMECA página 6 de 20

FMECA Report

Print Date: 13/01/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el intercambiador en el canal	A	No sella la canal del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G

Ilustración 49 - Reporte FMECA página 7 de 20

FMECA Report

Print Date: 13/01/2019

IRCMS

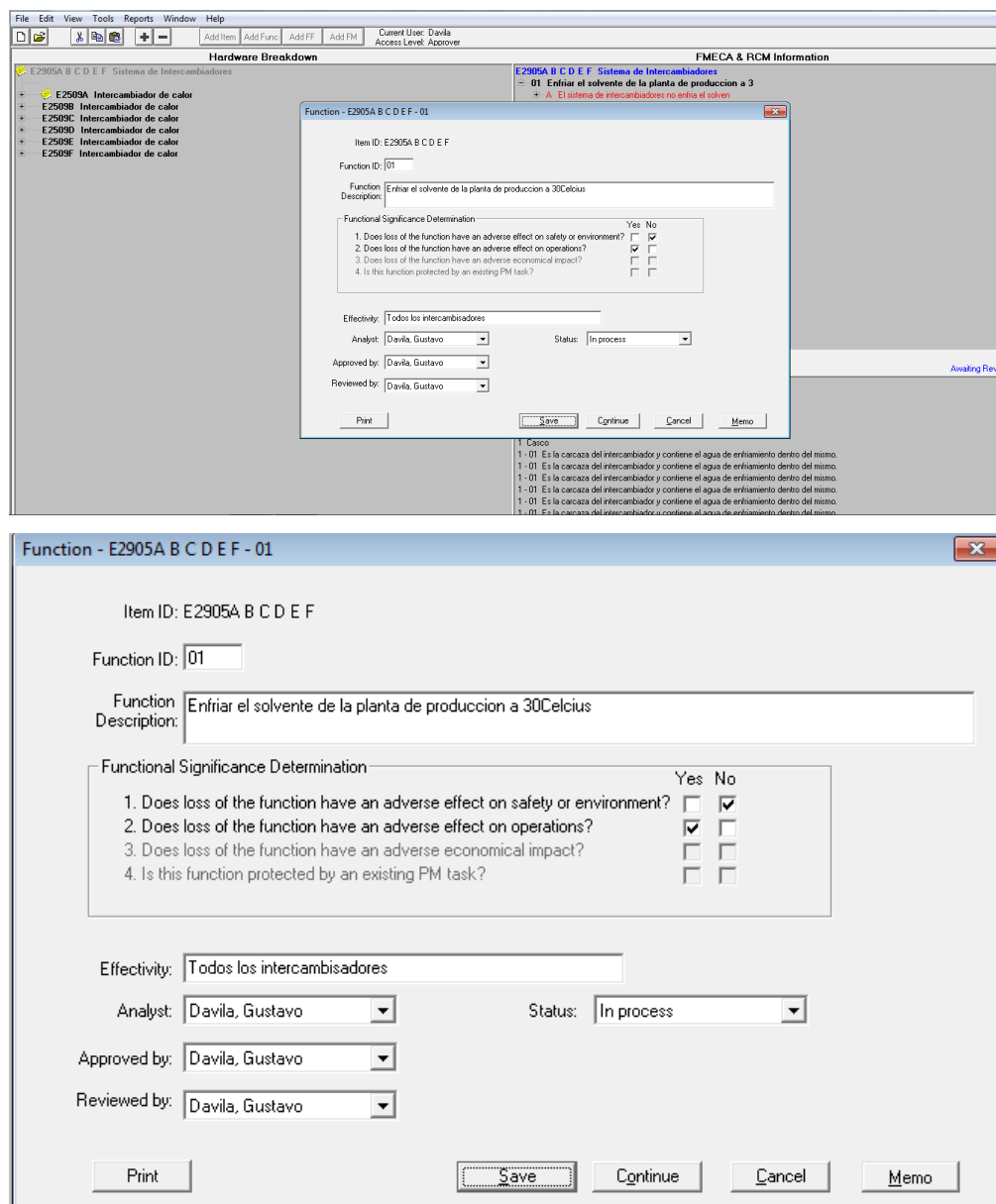
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	01	Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material	Phase I	Escape de agua de enfriamiento la atmosfera	Perdida de contension	Perdida de eficiencia	Visual	4	10,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	01	Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material	Phase I	Escape de agua de enfriamiento la atmosfera	Perdida de contension	Perdida de eficiencia	Visual	4	10,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	01	Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material	Phase I	Escape de agua de enfriamiento la atmosfera	Perdida de contension	Perdida de eficiencia	Visual	4	10,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	01	Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material	Phase I	Escape de agua de enfriamiento la atmosfera	Perdida de contension	Perdida de eficiencia	Visual	4	10,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	01	Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material	Phase I	Escape de agua de enfriamiento la atmosfera	Perdida de contension	Perdida de eficiencia	Visual	4	10,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	01	Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material	Phase I	Escape de agua de enfriamiento la atmosfera	Perdida de contension	Perdida de eficiencia	Visual	4	10,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de agua por la empaquetadura	perdida de contension	Perdida de eficiencia	visual	4	5,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de agua por la empaquetadura	perdida de contension	Perdida de eficiencia	visual	4	5,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de agua por la empaquetadura	perdida de contension	Perdida de eficiencia	visual	4	5,00/G
4	Tapa Casco	01	Sella el intercambiador en el lado casco	A	No sella el casco del intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de agua por la empaquetadura	perdida de contension	Perdida de eficiencia	visual	4	5,00/G

Para cada caso en particular una vez definido el sistema y subsistema, se determinan las características en el software, mediante la logística definida.

3.3.1 Carga de características en el software.

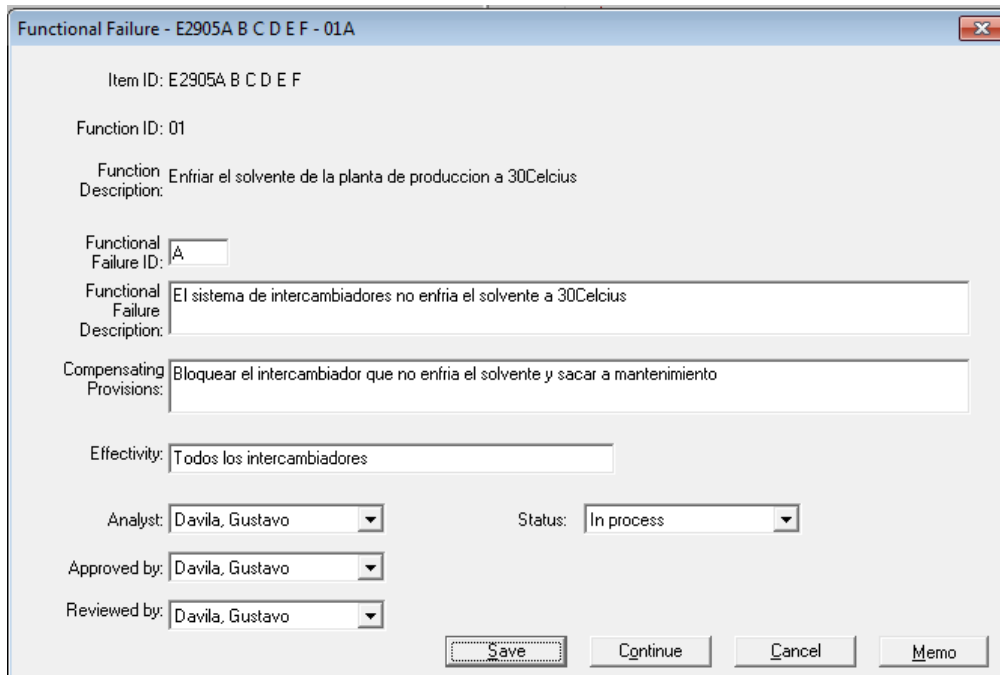
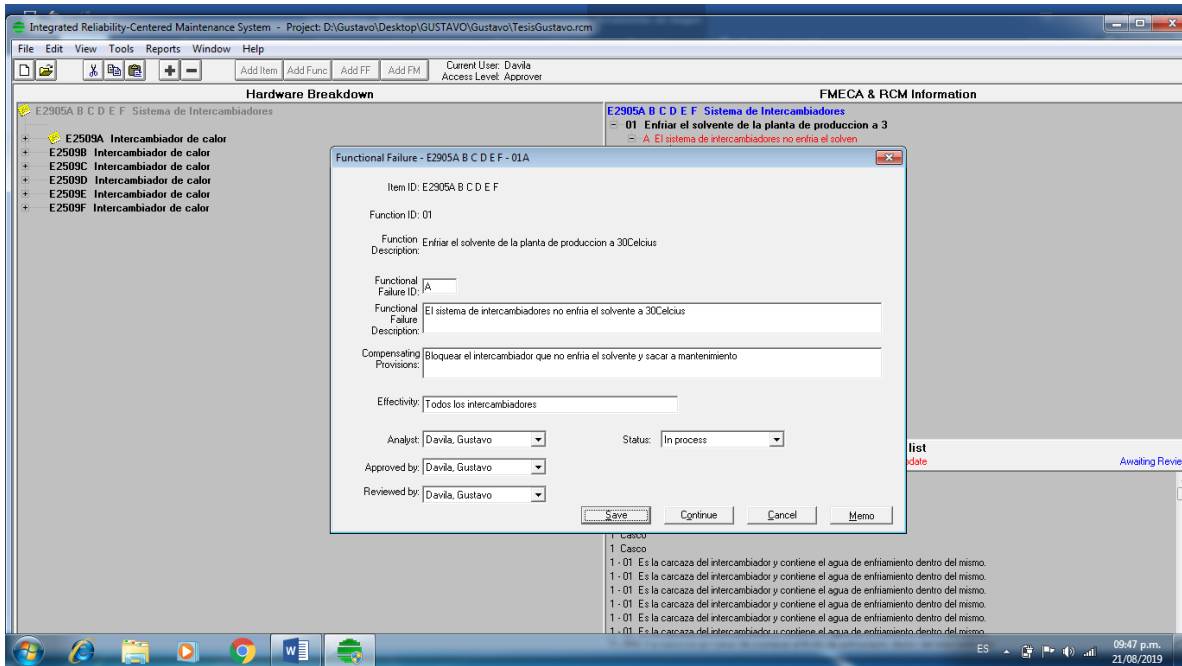
El proceso que se lleva a cabo en cada caso de los sistemas definidos es primero definir la función, la cual se muestra en la siguiente figura.

Ilustración 50 – Función



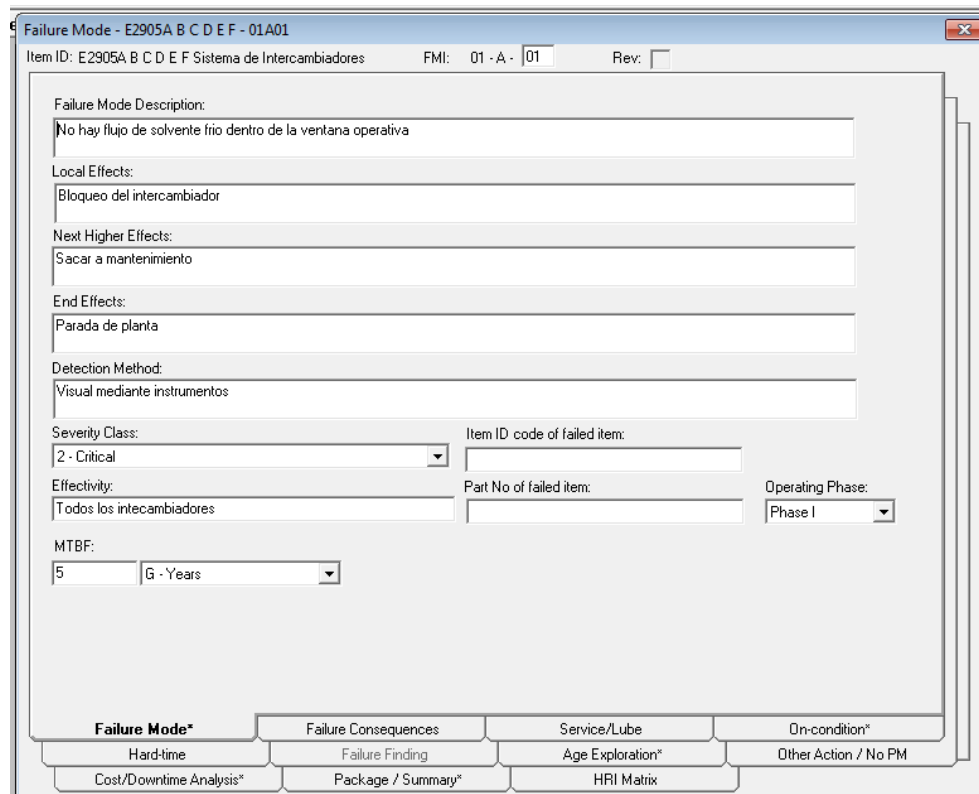
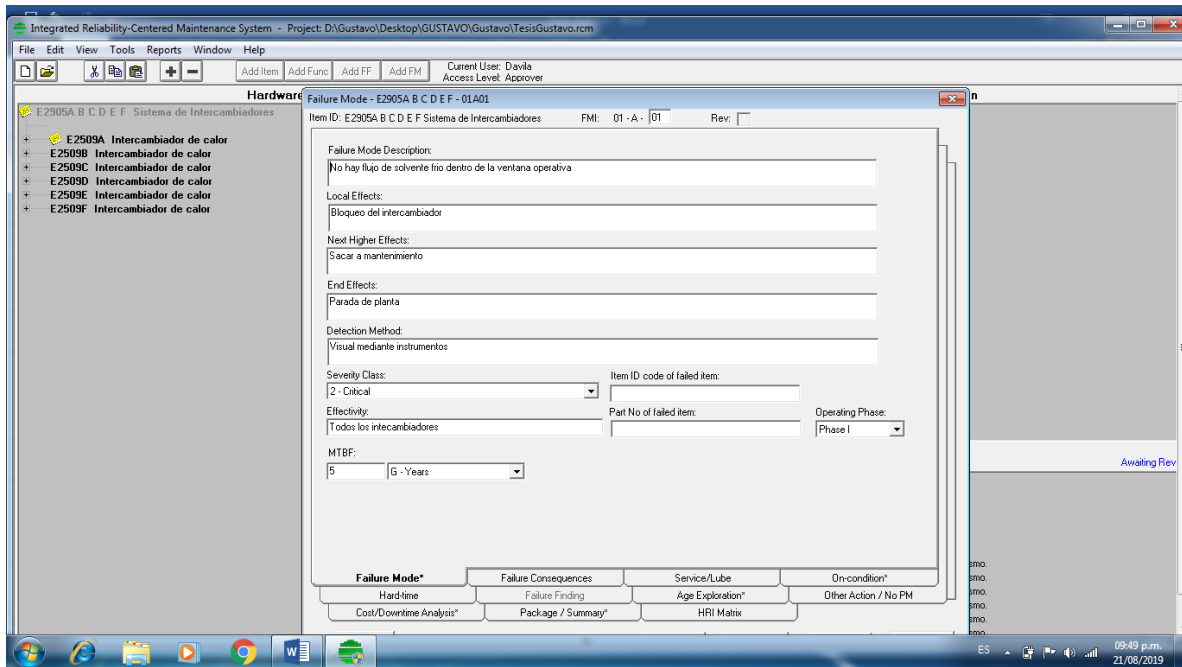
El siguiente paso consiste en desarrollar las diferentes fallas que corresponden a esa Función descrita.

Ilustración 51 - Falla Funcional



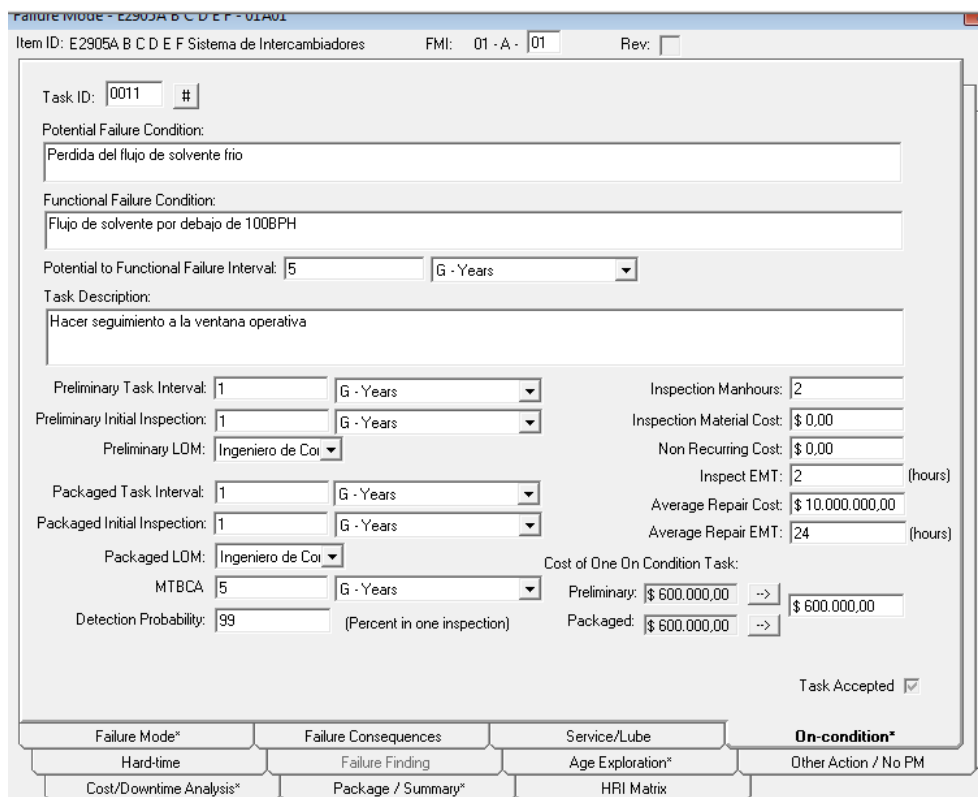
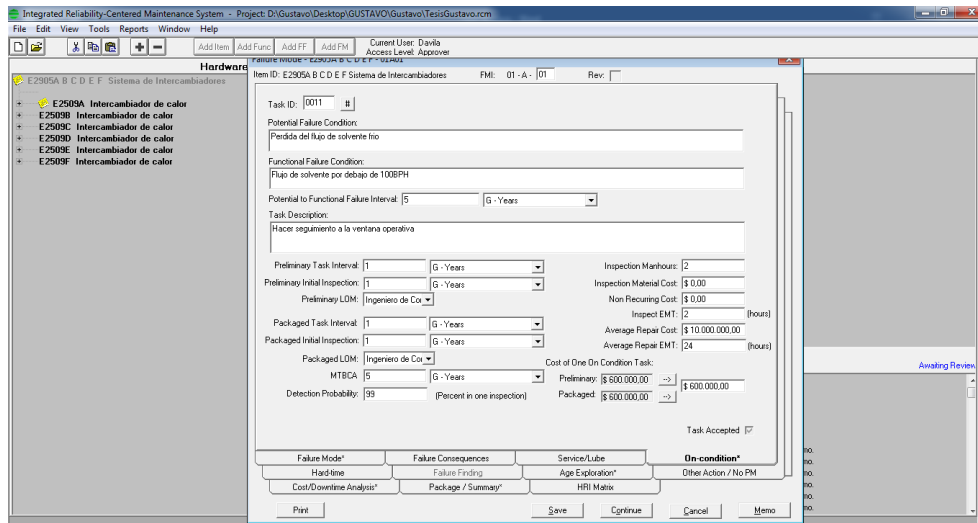
Para posteriormente definir los diferentes modos de falla de esa falla.

Ilustración 52 - Modos de Falla



Por último, se define en cada caso las tareas de mantenimiento. En el caso particular se realizan tareas basadas en la condición del equipo. Completando de esta forma el ciclo de RCM: Función - Falla - Modo de Falla - Tarea de mantenimiento.

Ilustración 53 - Trabajos de mantenimiento



3.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO 3

Una gran facilidad al momento de ingresar los datos en la herramienta es evidente, así mismo, en la medida que se avanza en el análisis de los sistemas de estudio, se logra cubrir todos los aspectos del mantenimiento desde lo macro hasta lo micro del equipo, maquina hasta planta de proceso.

Así quedan incorporados los datos requeridos al sistema de funciones, fallas, modos de falla y tareas de mantenimiento en todos los puntos y elementos requeridos.

4 TÓPICOS RELEVANTES

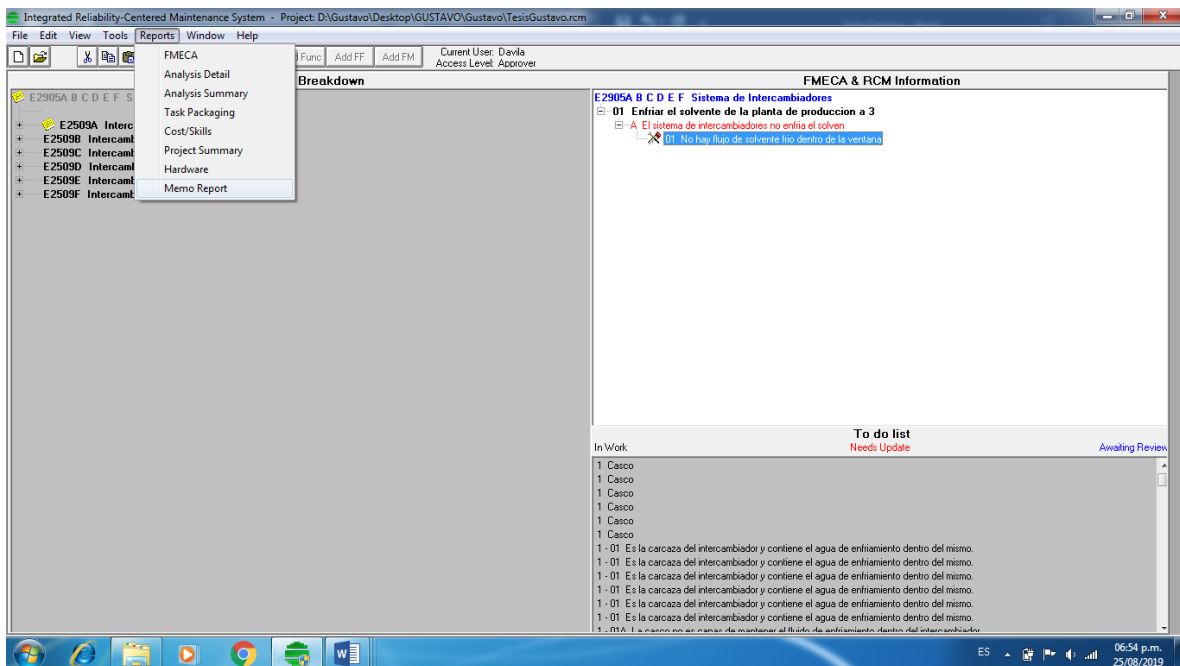
4.1 OBJETIVO 4

Contrastar las acciones de mantenimiento a partir de los resultados obtenidos con el software IRCMS. Nivel 4 - Analizar.

4.2 DESARROLLO

El análisis y manejo de la información se realiza de forma ágil por medio de la herramienta de reportes que posee el software, y así mismo es posible identificar en donde existen factibilidades de mejora en las tareas de mantenimiento.

Ilustración 54 - Reportes



4.3 ANALYSIS SUMMARY REPORT

A continuación, se muestra uno de los análisis de reporte para la interpretación, estudio y mejora por parte del personal de mantenimiento.

Ilustración - 55 Resumen Estadístico del Proyecto

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 1
Casco

Failure Mode: 01A01

Perforacion en el casco debido a desgaste del material

MTBF: 10,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: IV

End Effects:

Failure Detection Method:

Visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Package Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
->	0002	OC	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5,00/G	5,00/G	/G	1,00/G
->	0003	RT	Cambio de la tapa	5,00/G	5,00/G	/G	7,58/G
		FF		/	/	/G	/G
		QA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A.B.C.D.E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 2
Canal

Failure Mode: D1A01

Perforacion de la canal debido a desgaste del material

MTBF: 10,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: 1

End Effects:

Incendio debido a punto caliente

Failure Detection Method:

Visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
>	0002	OC	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5,00/G	5,00/G	/G	/G
		HT		/	/	/G	/G
		FF		/	/	/G	/G
		OA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A.B.C.D.E.F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 2

Canal

Failure Mode: 01A02

Pernos flojos

MTBF: 5,00 Years

Safety: 0

Hidden/Evident: E

Severity: 1

End Effects:

Incendio por encontrar punto caliente

Failure Detection Method:

visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
↳	0008	OC	Reapretar pernos	2,00/G	2,00/G	/G	5,80/G
		HT		/	/	/G	/G
		PF		/	/	/G	/G
		QA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A.B.C.D.E.F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 3

Tapa Canal

Failure Mode: 01A01

Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material

MTBF: 10,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: 1

End Effects:

Incendio debido a punto caliente

Failure Detection Method:

Visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
✓	0002	OC	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5,000/G	5,000/G	/G	2,40/G
		HT		/	/	/G	/G
		FF		/	/	/G	/G
		OA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A.B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 3
Tapa Canal

Failure Mode: 01A02

Pernos flojos

MTBF: 5,00 Years

Safety: 0

Hidden/Evident: E

Severity: 1

End Effects:

Incendio por encontrar punto caliente

Failure Detection Method:

visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
2>	0006	OC	Respirador permeo	2,00/G	2,00/G	/G	5,00/G
		HT		/	/	/G	/G
		FF		/	/	/G	/G
		OA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A,B,C,D,E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 4

Tapa Casco

Failure Mode: D1A01

Perforacion de la tapa casco debido a desgaste del material

MTBF: 10,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: IV

End Effects:

Perdida de eficiencia

Failure Detection Method:

Visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Package Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	IG	/G
↳	0002	OC	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5,00/G	5,00/G	IG	2,40/G
		HT		/	/	IG	/G
		FF		/	/	IG	/G
		OA				IG	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			IG	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A.B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 4

Tapa Casco

Failure Mode: 01A02

Pernos flojos

MTBF: 5,00 Years

Safety: NS

Hidden/Evident: E

Severity: IV

End Effects:

Perdida de eficiencia

Failure Detection Method:

visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	KG	/G
2	0008	OC	Reajustar pernos	2,00/G	2,00/G	KG	5,80/G
		HT		/	/	KG	/G
		FF		/	/	KG	/G
		OA				KG	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			KG	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 5
Haz de Tubos

Failure Mode: 01A01
Taponamiento en los tubos del haz de tubos.

MTBF: 5,00 Years **Safety:** **Hidden/Evident:** **Severity:** II

End Effects:

Failure Detection Method:
Verificación de la indicación de la instrumentación

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
✓	0007	OC	Reemplazo de las tuberías obstruidas	5,00/G	5,00/G	/G	8,18/G
		HT		/	/	/G	/G
		FP		/	/	/G	/G
		OA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 5
Haz de Tubos

Failure Mode: 02A01
Se presenta rotura de los tubos

MTBF: 5,00 Years **Safety:** **Hidden/Evident:** **Severity:** II

End Effects:

Failure Detection Method:
Balance de masas y energias en el circuito del solvente.

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
>	0008	OC	Realizar un balance de masas y energias donde se evaluen las perdidas del solvente	1,000H	5,000G	/G	7,000G
		HT		/	/	/G	/G
		FF		/	/	/G	/G
		QA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 6
Bridas

Failure Mode: D1A01

Fuga de fluidos entre las bridas de proceso y las del intercambiador

MTBF: 2,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: 1

End Effects:

Incendio

Failure Detection Method:

Visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	KG	/ G
→	0000	OC	reaprebar los espereagos	5,000G	5,000G	KG	8,990 G
		HT		/	/	KG	/ G
		FF		/	/	KG	/ G
		OA				KG	/ G
		NO PM	No Preventive Maintenance			KG	/ G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A.B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 7
Empaquetaduras

Failure Mode: 01A01
Cristalización de la empaquetadura

MTBF: 5,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Failure Detection Method:

destapando el intercambiador

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
		OC		/	/	/G	/G
		HT		/	/	/G	/G
		PF		/	/	/G	/G
	0010	OA	Se cambian la empaquetadura cada vez que se desarme el intercambiador sin importar la razón.			/G	0,00/ G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	3,60/ G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A,B,C,D,E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: 8
Conexiones roscadas

Failure Mode: D1A01
Presencia de fluidos a la atmosfera

MTBF: 15,00 Years **Safety:** **Hidden/Evident:** **Severity:** III

End Effects:

Failure Detection Method:
visual

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
☑	0010	OC	Revisión del estado de las roscas y correaje con mechuelo y/o limpiador	5,000G	5,000G	/G	0,200G
		HT		/	/	/G	/G
		PF		/	/	/G	/G
		OA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 25/08/2019

End Item: E2905A,B C D E F Sistema de Intercambiadores

Item ID: E2905A,B C D E F

Sistema de Intercambiadores

Failure Mode: 01A01

No hay flujo de solvente frío dentro de la ventana operativa

MTBF: 5,00 Years

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Parada de planta

Failure Detection Method:

Visual mediante Instrumentos

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Gustavo Davila

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/G	/G
->	0011	OC	Hacer seguimiento a la ventana operativa	1,00/G	1,00/G	\$ 2.800.00	6,80/G
		IIT		/	/	/G	/G
		FF		/	/	/G	/G
		QA				/G	/G
		NO PM	No Preventive Maintenance			/G	/G

El Analysis Summary Report nos muestra las tareas que se llevan a cabo en el proceso de mantenimiento.

Ilustración - 56 Informe de Tareas de Mantenimiento a Desarrollar

Task Package Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					1st Insp /Units	Intrl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM					
1	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					
1	01A01	0003		Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					
1	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					
1	01A01	0003		Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					
1	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					
1	01A01	0003		Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					
1	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					
1	01A01	0003		Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					
1	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					
1	01A01	0003		Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					
1	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					
1	01A01	0003		Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					
2	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
2	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
2	01A01	0002		verificación con instrumentos de medición del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					

Task Package Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					1st Insp /Units	Intrvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrvl/Units	LOM					
2	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
2	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
2	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
2	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
2	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
2	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
2	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
2	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
2	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
3	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
3	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
3	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
3	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
3	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
3	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					

Task Package Report

Print Date: 26/08/2019

IRCMS

Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					1st Insp /Units	Intrvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrvl/Units	LOM					
3	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
3	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
3	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
3	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
3	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
3	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A01	0002		verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					
4	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
4	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
4	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
4	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
4	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
4	01A02	0006		Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5					
5	01A01	0007		Reemplazo del las tuberias obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5					

Task Package Report

Print Date: 26/08/2019

IRCMS

Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					1st Insp /Units	Intrl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM					
5	01A01	0007		Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5					
5	01A01	0007		Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5					
5	01A01	0007		Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5					
5	01A01	0007		Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5					
5	01A01	0007		Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5					
5	02A01	0008		Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5					
5	02A01	0008		Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5					
5	02A01	0008		Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5					
5	02A01	0008		Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5					
5	02A01	0008		Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5					
5	02A01	0008		Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5					
6	01A01	0009		reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5					
6	01A01	0009		reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5					
6	01A01	0009		reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5					
6	01A01	0009		reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5					
6	01A01	0009		reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5					
6	01A01	0009		reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5					

Task Package Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					1st Insp /Units	Intrl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
S	01A01	0010		REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o tarraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4					
E2905A B C D E F	01A01	0011		Hacer seguimiento a la ventana operativa	1/G	1/G	5	1/G	1/G	5					

Ilustración - 57 Informe de Habilidades, Competencias y Costos

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	Man Hours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM								
1	01A01	0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					1,00	\$ 1.000.000,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00
		0003	Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					24,00	\$ 50.000,00	\$ 7.200,00	\$ 65.000,00
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					1,00	\$ 1.000.000,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00
		0003	Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					24,00	\$ 50.000,00	\$ 7.200,00	\$ 65.000,00
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					1,00	\$ 1.000.000,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00
		0003	Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					24,00	\$ 50.000,00	\$ 7.200,00	\$ 65.000,00
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					1,00	\$ 1.000.000,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00
		0003	Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					24,00	\$ 50.000,00	\$ 7.200,00	\$ 65.000,00
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					1,00	\$ 1.000.000,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00
		0003	Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					24,00	\$ 50.000,00	\$ 7.200,00	\$ 65.000,00
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	2	5/G	5/G	2					1,00	\$ 1.000.000,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00
		0003	Cambio de la tapa	N/A	5/G	1	N/A	5/G	1					24,00	\$ 50.000,00	\$ 7.200,00	\$ 65.000,00
2		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5					1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM								
2	01A01	0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 0,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 0,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 0,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 0,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 0,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 0,00	
	01A02	0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM								
2	01A02	0006	Reapretr pamos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretr pamos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretr pamos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
3	01A01	0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A		N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A		N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A		N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A		N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A		N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Insvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Insvl/Units	LOM								
3	01A01	0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tpa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$
	01A02	0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
4	01A01	0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tpa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tpa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tpa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A		1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intr/Units	LOM	1st Insp/Units	Intr/Units	LOM								
4	01A01	0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$	
		0002	verificacion con instrumentos de medicion del espesor del material de la tapa	5/G	5/G	5	5/G	5/G	5				1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0005	Verificacion del espesor del material	5/G	5/G	5	N/A	N/A	N/A			N/A	1,00	\$ 0,00	\$ 300.000,00	\$	
	01A02	0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0006	Reapretar pernos	5/G	2/G	1	5/G	2/G	5				4,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 1.000.000,00	
5	01A01	0007	Reemplazo del las tuberias obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0007	Reemplazo del las tuberias obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	MsnHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrl/Units	LOM								
5	01A01	0007	Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0007	Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0007	Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0007	Reemplazo del las tuberías obstruidas	2/G	5/G	5	2/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
	02A01	0008	Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0008	Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0008	Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0008	Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0008	Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
		0008	Realizar un balance de masas y energías donde se evalúan las pérdidas del solvente	1/F	1/F	5	5/G	5/G	5				2,00	\$ 1.000.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	
6	01A01	0009	reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5				5,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.500,00	\$ 5.000,00	
		0009	reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5				5,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.500,00	\$ 5.000,00	
		0009	reapretar los espárragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5				5,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.500,00	\$ 5.000,00	

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 26/08/2019

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Invt/Units	LOM	1st Insp/Units	Invt/Units	LOM								
6	01A01	0009	reapretar los esparragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5				5,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.500.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0009	reapretar los esparragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5				5,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.500.000,00	\$ 5.000.000,00	
		0009	reapretar los esparragos	6/F	5/G	5	6/F	5/G	5				5,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.500.000,00	\$ 5.000.000,00	
8		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
		0010	REvision del estado de las rosca y corregir con machuelo y/o terraja	5/G	5/G	4	5/G	5/G	4				1,00	\$ 0,00	\$ 120.000,00	\$ 1.000.000,00	
E2905A B C D E F		0011	Hacer seguimiento a la ventana operativa	1/G	1/G	5	1/G	1/G	5				2,00	\$ 2.600.000,00	\$ 600.000,00	\$ 10.000,00	

4.4 INFORMES FMECA

A continuación, se muestra parte del informe FMECA generado por el software.

Ilustración - 58 FMECA del Proyecto

FMECA Report

Print Date: 26/08/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
1	Casco	01	Es la carcaza del Intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La carcaza no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del Intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del Intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La carcaza no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del Intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del Intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La carcaza no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del Intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del Intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La carcaza no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del Intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del Intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La carcaza no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del Intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G
1	Casco	01	Es la carcaza del Intercambiador y contiene el agua de enfriamiento dentro del mismo.	A	La carcaza no es capaz de mantener el fluido de enfriamiento dentro del Intercambiador	01	Perforacion en el casco debido a desgaste del material	Phase I	Perdida de capacidad de enfriamiento	Perdida de presion en el agua de enfriamiento		Visual	4	10,00/G

FMECA Report

Print Date: 26/08/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	01	Perforacion de la canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G

FMECA Report

Print Date: 26/08/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
2	Canal	01	Unir de manera segura las tomas de proceso del fluido a ser enfriado con el Intercambiador.	A	No une de manera segura las tomas de proceso al Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G

FMECA Report

Print Date: 26/08/2019

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Descripción	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	01	Perforacion de la tapa canal debido a desgaste del material	Phase I	Escape de solvente a la atmosfera	Perdida de contension	Incendio debido a punto caliente	Visual	1	10,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G
3	Tapa Canal	01	Sella el Intercambiador en el canal	A	No sella la canal del Intercambiador	02	Pemos flojos	Phase I	Fuga de solvente por la empaquetadura	perdida de contencion	Incendio por encontrar punto caliente	visual	1	5,00/G

Ilustración - 59 Tabla de Riesgo, con Severidad y Ocurrencia en el IRCMS

The screenshot shows the IRCMS software interface with the 'Setup' dialog box open. The dialog box has several tabs: 'General', 'Default', 'Level of Maintenance', 'Publications', 'Packages', 'Operating Phases', 'Users', 'CF (Operating Hour/Unit)', 'Severity Classes', 'Failure Frequencies', and 'HRI Matrix'. The 'HRI Matrix' tab is active, showing a grid of risk cells. The grid has five rows representing frequency levels: Frequent, Probable, Occasional, Remote, and Improbable. The columns represent severity levels: Catastrophic, Critical, Major, and Minor. Each cell contains a risk code (e.g., 1A, 2A, 3A, 4A) and is color-coded according to its severity. Below the grid, there are controls for 'Criticality Colors' and 'Set Criticality Colors'.

	Catastrophic	Critical	Major	Minor
Frequent	1A	2A	3A	4A
Probable	1B	2B	3B	4B
Occasional	1C	2C	3C	4C
Remote	1D	2D	3D	4D
Improbable	1E	2E	3E	4E

Double click cell above to set criticality category and Risk Priority Number (RPN) Reset Default Colors

Criticality Colors: High (Red) Medium (Yellow) Low (Green) Acceptable (Blue) Set Criticality Colors

InvertMatrix Save Print Cancel

This image provides a detailed view of the 'HRI Matrix Color Scheme' dialog box. It shows the same 5x4 grid of risk cells as the screenshot above. The grid is color-coded: cells 1A-3C are red (High), cells 1D-3D are yellow (Medium), and cells 1E-4E are green (Low). Below the grid, there are controls for 'Criticality Colors' and 'Set Criticality Colors'.

	Catastrophic	Critical	Major	Minor
Frequent	1A	2A	3A	4A
Probable	1B	2B	3B	4B
Occasional	1C	2C	3C	4C
Remote	1D	2D	3D	4D
Improbable	1E	2E	3E	4E

Double click cell above to set criticality category and Risk Priority Number (RPN) Reset Default Colors

Criticality Colors: High (Red) Medium (Yellow) Low (Green) Acceptable (Blue) Set Criticality Colors

La prioridad de realización se lleva a cabo con la priorización numérica del 1 al 20 de la alfanumérica, colocada en el recuadro original del iRCM y validada en las tareas de mantenimiento.

Casillas				Calificación Ubicación	
1	2	3	4	Código	Nivel de Criticidad
1A				1A	Muy Crítico
1B				1B	Muy Crítico
	2A			2A	Muy Crítico
1C				1C	Medianamente Crítico
1D				1D	Medianamente Crítico
	2B			2B	Medianamente Crítico
	2C			2C	Medianamente Crítico
		3A		3A	Medianamente Crítico
		3B		3B	Medianamente Crítico
			4A	4A	Medianamente Crítico
1E				1E	Criticidad Baja
	2D			2D	Criticidad Baja
	2E			2E	Criticidad Baja
		3C		3C	Criticidad Baja
		3D		3D	Criticidad Baja
			4B	4B	Criticidad Baja
			4C	4C	Criticidad Baja
		3E		3E	Aceptable en Criticidad
			4D	4D	Aceptable en Criticidad
			4E	4E	Aceptable en Criticidad

4.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4

Esta sección muestra informes y resultados generales e individuales de cada una de las Funciones Primaria, secundarias, Fallas, Modos de Fallas y Tareas de Mantenimiento, respectivas, con sus tiempos, costos, recursos y demás parámetros exigidos del RCM y en el software IRCMS.

Al final del capítulo se priorizan, como la función más relevante del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad la priorización de dichas tareas, con bases a las normas del RCM en el caso ALADON del iRCM.

5 CONCLUSIONES

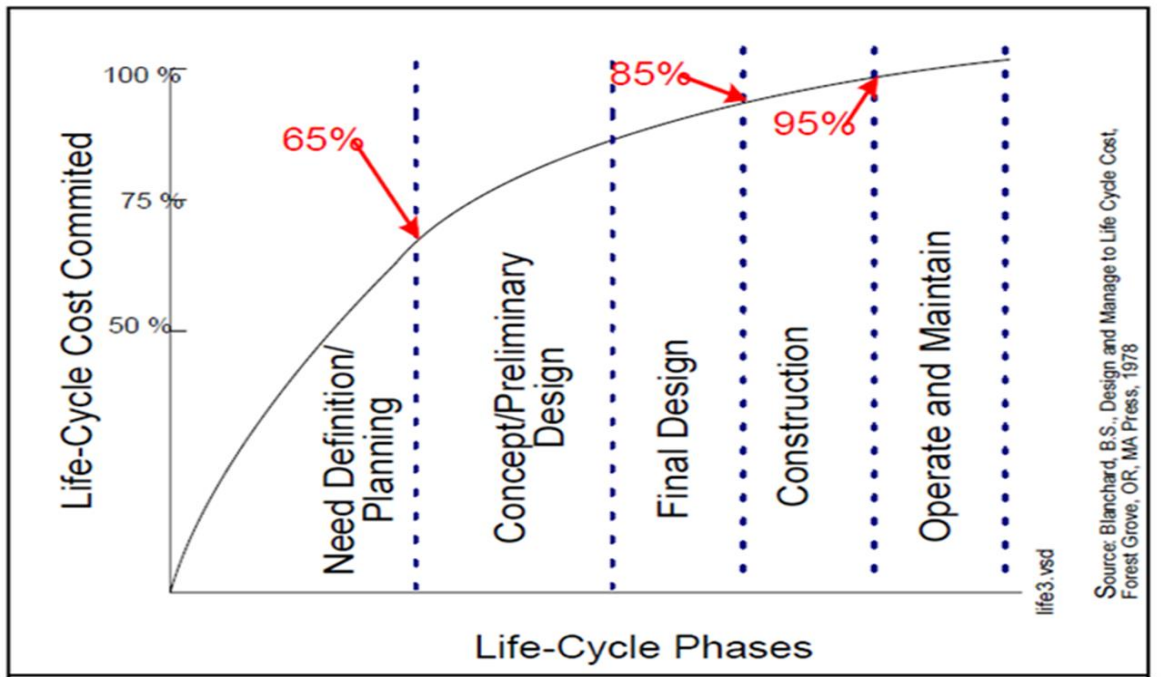
El proyecto desarrolla todas las etapas requeridas del RCM; manifestándose en cada una de sus facetas individuales y en las diferentes fases de la implementación en software, permite llevar a cabo una cohesión de funciones y personas que colaboraron en el desarrollo de esta etapa inicial del equipo y que posteriormente siguen con cada una de las funciones primaria y secundarias del equipo, con sus Fallas múltiples y específicas, con todos sus modos de Fallas, con todas las tareas planeadas (preventivas y/o predictivas) o no (correctivas o modificativas) de mantenimiento, en sus respectivos casos con su documentación completa y su priorización de RCM por severidad y ocurrencia, bajo la metodología de la hoja decisional ALADON y el IRCMS.

El proyecto como tal en la metodología táctica del RCM, permite registrar todas las tareas factibles para que no se presenten fallas de tipo imprevisto, con la garantía de la maximización de las funciones y de su disponibilidad, llevando el equipo a sus mínimos costos operacionales por tener la condición más bajas y menos probable de fallas improbables en el sistema operativo, de tirajes largos de operación.

El funcionamiento del Activo bajo el ciclo de LCC garantiza con la puesta en marcha del RCM, en su etapa de desenvolvimiento la garantía de su mínimo costo en su proceso operacional.

La implementación del RCM es fluida y fácil de desarrollar y de llevarla luego al CMMS, de la fábrica o empresa, allí donde se ejecutarán todos los procesos que se planifiquen, un el RCM.

Ilustración - 60 Costos, RCM y ciclo de vida LCC



El proyecto usa a cabalidad el software IRCMS., con equipos propios de la Refinería, definiendo los procesos relevantes de su implementación con ejemplos y casos del sistema de bombeo, se hace un uso intensivo del IRCM, se llevan a cabo ejemplos de funciones principal y secundarias, fallas funcionales, modos de falla y tareas de mantenimiento, de todo tipo, se explica profundamente las diferentes opciones de tareas de mantenimiento como on condition, hard time, age exploration, failure finding, no PM, other action, lubricación, servicios, etcétera, con el fin de quedarse todo muy claro. Se utilizan en este proyecto todas las características de uso de software en cuanto a Set up, tal como usuarios, unidades, tipos de severidad, frecuencias de fallas, etcétera, todo con el fin de que todo quede muy claro a la hora de reusarlo.

Otra parte que se trabajó intensamente es la información tipo protocolo que se debe llevar del software IRCMS, que es un Planeador Estratégico de Mantenimiento, al

software normal de ejecución del mantenimiento, CMMS ⁹ Computerized Maintenance Management System.

Como tal se explican a fondo todas las pestañas que trabaja el software IRCM y los diferentes informes que puede generar, su utilización y servicio en cada caso, los resultados factibles de los diferentes informes se ilustran en la siguiente gráfica.

Es importante recordar que ambos (CMMS y Irma) atienden situaciones diferentes, y no necesariamente debe haber compatibilidad entre el uno y el otro, el IRCMS es un software especializado en la Táctica RCM de mantenimiento, que planifica, prioriza y describe todas las funciones, fallas, modos de falla (causas de falla) y tareas requeridas de mantenimiento para cada modo de falla, pero es hasta ahí, hasta describir la tarea requerida (entre varias opciones que existen) con sus parámetros técnicos de costos y de Tiempos de realización.

Pero no es el IRCMS un software que registra operaciones y actividades de mantenimiento, esto lo hacen lo ERP o softwares normales de mantenimiento, llevan historia, hacen la programación, registran los recursos humanos y materiales, están entrelazados con inventarios, etcétera; es lo que requiere la Operación.

Se puede concluir que el IRCMS realiza la Planeación Estratégica y un software normal de Mantenimiento registra la Operación continua del día a día y permite la Administración, Ejecución y Control del mismo CMMS, pero la planeación se hace con el IRCMS.

⁹ Computerized Maintenance Management System – Sistema de Información Integral de Gestión y Operación de Mantenimiento y Producción.

BIBLIOGRAFÍA

AMEF@. 2005. Análisis de Fallas. *GestioPolis*. [En línea] Libre, 2005. <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/amef.htm>.

Barlow, Richard E y Proschan, Frank. 1996. *Mathematical Theory of Reliability*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1996. ISBN 0898713692.

Barringer@, H. Paul. 2005. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability*. [En línea] 2005. [Citado el: 11 de Noviembre de 2008.] <http://www.barringer1.com/lcc.htm>.

Bazovsky, Igor. 2004. *Reliability Theory and Practice*. s.l. : Edit. Dover Publications Incorporated, 2004. pág. 304 . ISBN: 0486438678..

Bleazard, Dirk, Hepler, Don y Dearman, Larry. 1998. *Equipment reliability improved at Barrick Goldstrike*. s.l. : Review Mining Engineering, 1998. Vol. 50. ISSN 0026-5187.

Connection, Acquisition Community. 2014. *Acquisition Community Connection*. [En línea] Defense Acquisition University, 18 de Febrero de 2014. [Citado el: 17 de Agosto de 2016.] <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=530600>.

Ebeling, Charles E. 2005. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.

Ellis@, Herman. 1999. Principles of the Transformation of the Maintenance Function to World-Class Standards of Performance. [En línea] 1999. <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezone/principles.htm>.

ESReDa. 2001. *ESReDa Handook on Maintenance management.* [ed.] Reliability & Data ESReDa - European Safety. Primera de 2001. Hevik - Norway : DET NORSKE VERITAS - ESReDa, 2001. pág. 255. Vol. Uno, Idioma Español. ISBN: 82-515-02705.

ESReDa-Industrial. 1998. *Industrial Application of Strutural Realibility Theory.* [ed.] P. Thoft-Christensen - Det Norske Veritas DNV. ESReDa - European Safety, reliability and Data. Hovik : ESReDa Working Group Report, 1998. pág. 283. Vol. ESReDa Safety Series No. 2. ISBN: 82-515-0233-0.

Estadística aplicada a los Sistemas & Confiabilidad en los Sistemas. **Forcadas, Jorge - Feliu. 1983.** 4, Medellín : Revista SAI - Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – En: Revista SAI. No.4 Vol.1 – Medellín – Colombia - 1983, 1983, Vol. 1, pág. 41.

Evans, D. W. 1975. *Terotechnology - How can it work.* 1975.

González, Francisco Javier - Fernández. 2004. *Auditoría del manetenimiento e indicadores de gestión.* [ed.] S.A. ARTEGRAF. Primera. Madrid : Fundación CONFEMETAL, 2004. pág. 260. ISBN: 84-96169-36-7.

Hiatt, Bruce. 2000. A 13 Step Program in Establishing a World Class Maintenance Organization -. *Best Practices Maintenance USA.* [En línea] 2000. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] Email: bhiatt@anesta.com, bhiatt4419@aol.com. <http://www.tpmonline.com/articles/management/13steps.htm>.

Hughes@, Howard. 2008. Biografía de Howard Hughes. *Biografía de Howard Hughes.* [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/JFKhughesH.htm>.

Idhammar@, Torbjorn. 1999. - A New Preventive Maintenance Implementation and Training Concept -. [En línea] Libre, 1999. [Citado el: 20 de Octubre de 2000.] http://maintenanceworld.com/Articles/reliability_jump_start.htm.

IMM@. 2016. The Institute of Asset Management. [En línea] 28 de 03 de 2016. [Citado el: 28 de 03 de 2016.] <https://theiam.org/>.

iRCM Software, iRCM. 2016. Software iRCM de RCM. 30 de 07 de 2016.

Kapur, Kailash C. y Lamberson, Leonard R. 1977. *Reliability in engineering design*. [ed.] Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research Wayne State Univ. Primera. Detroit USA : John Wiley and Sons, Inc., New York, 1977. pág. 606. Org Wayne State Univ., Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research. ISBN-13: 978-0-471-51191-5.

Kelly, Anthony y Harris, M. J. 1998. *Gestión del Mantenimiento Industrial*. [ed.] S.A. Gráficas Mar-Car. Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. pág. 218. ISBN: 84-923506-0-1 – T.

Knezevic, Jezdimir. 1996. *Mantenibilidad*. Madrid : Editorial ISDEFE, 1996. ISBN: 84-89338-08-6.

Langan, George. 1995. *Maintenance automation – Review I.I.E. Solutions*. USA : s.n., 1995. págs. 14-17. Vol. Volumen 27.

Leemis, Lawrence M. 1995. *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.

Management aspects of Terotechnology – Conference de la British Steel Corporation. **Darnell, H y Smith, M. 1975.** [ed.] British Steel Corporation. London - England : s.n., 1975. Vol. Número 185.

Mather, Daryl. 2005. *The Maintenance Scorecard - Creating Strategic Advantage*. [ed.] John Carleo. New York : Industrial Press, Inc., 2005. pág. 257.

Mendoza, Daniel Amador. 2016. IRCMS, Una Nueva Perspectiva. <http://www.wal-eng.com/>. [En línea] 1 de 10 de 2016. <http://wal-eng.com/descargables/IRCM%20Una%20Nueva%20perspectiva%20V.2.0.pdf>.

Moore@, Ron - Rath, Ron. 2008. Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento Proactivo. *La combinación de TPM y RCM. Estudio de un caso práctico.* [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/gai/gratis/04articulo.pdf.

Mora, Alberto - Gutiérrez. 2016. *Inventarios Cero*. Primera. Bogotá : AlfaOmega Editores Internacionales, 2016. pág. 305. ISBN 978-958-778-069-7.

—. **2014.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Tercera. Medellín : COLDI Limitada, 2014. pág. 348. ISBN 978-958-98902-0-2.

—. **2013.** *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*. Bogotá : AlfaOmega Editore Internacionales, 2013. pág. 380. ISBN 978-958-6 82-769.

Motoreléctrico@. 2016. Motores eléctricos. *Partes de motores eléctricos.* [En línea] 20 de 10 de 2016. [Citado el: 20 de 10 de 2016.] <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>.

Nakajima, Seiichi, y otros. 1991. *Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo.* [trad.] Traducido por Antonio Cuesta Alvarez. Madrid : Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar, 1991. ISBN: 84-87022-81-2.

Nakajima5S@. 2005. Total Productive Maintenance. [En línea] 2005. http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/pm/Uebung/Nakajima_III_TPM.

NAVAIR. 1996. *Directrices para la Aviación Naval en el Proceso del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad.* 1996.

Navarro, Luis - Elola, Pastor, Ana Clara - Tejedor y Mugaburu, Jaime Miguel - Lacabrera. 1997. *Gestión Integral del Mantenimiento*. [ed.] S.A. Vanguard Grafic. Primera. Barcelona : Editores Marcombo Boixerau, 1997. pág. 112. ISBN 978-84-267-11212.

OREDA. 1997. Offshore Reliability Data Handbook. [En línea] 1997. http://www.dnv.com/publications/oilgas_news/articles/newoffshorereliabilitydatahandbookoreda.asp - 3rd. Det Norske Veritas – Sintef Industrial Management.

— **. 2002.** OREDA 2002 - Offshore Reliability Data. *OREDA Offshore Reliability Data*. Fourth - 2002. Trondheim : OREDA & DNV Veritas, 2002, pág. 835.

PAS 55-2:2008, PAS. 2008. *Gestión de Activos - Asset Management*. London - Englñand : British Standard Institution, 2008. ISBN 978-0-9563934-2-5.

PAS©55.2.2008. 2008. *PAS 55 - 2 2008*. Londres : BSI British Standards Institution, 2008. pág. 57. Vol. Dos. ISBN 978-0-9563934-2-5.

PAS55.1.2008, ©BSI PAS. 2008. *Pas 55 - 1: 2008 Ge4stión de Activos - Asset Management*. Londres : British Standards Instiotution, 2008. pág. 24. ISBN 978-0-9563934-0-1.

Patton, Joseph D. Jr. 1995. *Preventive Maintenance –The International Society for Measurement and Control - Instrument Society of America*. 1995. Vol. Second Edition. ISBN 1-55617-533-7.

Peterson, Brad. 1999. To Centralized or decentralized maintenance, central issue. *Strategic Asset Management Inc. MT-Magazine de MT-Online - Perfiles de Ingeniería*. [En línea] 1999. <http://www.camicorp.com> Email bp0439@aol.com.

Ramakumar, Ramachandra. 1996. *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications*. New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1996. pág. 482. ISBN: 0132767597.

RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques. **Geraghty, Tony.** 1996. USA : s.n., Junio de 1996, Journal, Vol. 63. ISSN 0141-8602.

RCMScorecard@. 2005. Reliability Centered Maintenance (RCM) Scorecard. *RCM Scorecard.* [En línea] Libre, 9 de Marzo de 2005. <http://www.maintenance-news.com/cgi-script/CSUpload/CSUpload.cgi?database=Reliability%20Centered%20Maintenance%20Managers'%20Forum%20Downloads.db&command=viewupload&id=1>.

Rey, Sacristán Francisco. 2003. *TPM - Mantenimiento Total de la Producción.* [ed.] Fundación Confemetal. Madrid : Fundación Confemetal, 2003. pág. 311. 9788495428493.

Rocha, Gerardo Murillo. 2016. Plan de Implantación General del RCM. *www.monografias.com.* [En línea] 1 de 10 de 2016. <http://www.monografias.com/trabajos10/implan/implan.shtml>.

Smith, Anthony M. 1992. *Reliability Centered Maintenance.* Primera. New York : McGraw Hill, Inc. School Education Group, 1992. ISBN 007059046X.

Smith, Anthony M. y Hinchcliffe, Glenn R. 2003. *RCM - Gateway to World Class Maintenance.* Primera. Burlington : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-7461-X.

Sourís, Jean-Paul. 1992. *El mantenimiento: fuente de beneficios – traducido por Diorki, S.A. Madrid de la obra original La maintenance, source de profits.* [trad.] S.A. Madrid de la obra original La maintenance, source de profits Traducido por Diorki. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992. pág. 183. ISBN 84-7978-021-5.

Strategic Sourcing: To make or not To make - Fabricar o Subcontratar.
Venkatesan, Ravi. 1992. [ed.] HDBR. 6, Watertown, Massachusetts. U.S.A. - Español Barcelona eSPAÑA : HDBR, Noviembre - Diciembre de 1992, Harvard Deusto Business Review, Vol. 70, pág. 9. En español Revista No. 96 de 1992 - Volumen 52 paginas 52 - 62 del año 1993 - España Barcelona. ISSN 0210-900X.

Tavares, Lourival Augusto - Calixto, Marco A. - Gonzaga, dos Santos, Paulo R. - P. y da Silva, João Esmeraldo. 2007. *Gestión Estratégica en Activos de Mantenimiento*. [ed.] Marco Antonio Alcántara. Primera. Mérida : Ediciones Técnicas, 2007. pág. 180.

Thompson, G. 1980. *Engineering design and Terotechnology*. Manchester : Department of Mechanical Engineering – UMIST, 1980. March 8 - 1980. M601QD - U.M.I.S.T. .

Trends and perspectives in industrial Maintenance management. Thorsteinsson, Uffe, Luxhojt, James T. y Riis, Jens O. 1997. 6, 1997, Jopurnal of Manufacturing Systems, Vol. 16.

Trujillo@, Gerardo. 1999a. Implementación de un programa de Mantenimineto Proactivo - Noria Latin America. *Noria Latin América*. [En línea] Libre, 1999a. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] lubecons@gto1.telmex.com.mx. lubecons@gto1.telmex.com.mx.

U.S. Army. 1972. *AMCP 706-134 Maintainability Guide for Design*. Washington : U. S. Government Printing Office, 1972. ISBN: AMCP 706-134.

US-NAVAIR. 2016. Manual de Usuario IRCMS 6.3. [En línea] 2016.

White, E. N. 1975. *Terotechnology - Physical Asset Management*. [ed.] Manchester. Inglaterra : s.n., 1975. Libro en Biblioteca de la Universidad EAFIT.

Williams, Patrick,@. 2016. Modelo de Diagnóstico Tridimensional. [En línea] 11 de 01 de 2016. [Citado el: 11 de 01 de 2016.] <http://es.scribd.com/doc/170796959/Modelo-Diagnostico-Tridimensional-de-Patrick-Williams#scribd>.

Wireman, Terry. 2001. *Word class maintenance management*. País Estados Unidos de América : Industrial Press, Inc., 2001. ISBN 0-8311-3025-3.

Yamashina, Hajime. 1995. *Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance TPM - Journal of Quality in Maintenance Engineering.* West Yorkshire : s.n., 1995. Vol. Volumen 1. ISSN: 1355-2511.