

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGIA RCM  
PARA EL MOTOR ELECTRICO DEL SISTEMA DE BOMBEO MP-3301 EN LA  
REFINERIA DE ECOPETROL EN BARRANCABERMEJA UTILIZANDO  
SOFTWARE iRCMS.**

**JOHN FREDY VERGARA OSORIO**

**ESTUDIANTE MAESTRÍA EN INGENIERÍA**

**ÉNFASIS MANTENIMIENTO**

**CÓDIGO 201526754114**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MEDELLÍN – COLOMBIA**

**2016**



**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGIA RCM  
PARA EL MOTOR ELECTRICO DEL SISTEMA DE BOMBEO MP-3301 EN LA  
REFINERIA DE ECOPEPETROL EN BARRANCABERMEJA UTILIZANDO  
SOFTWARE iRCMS.**

**JOHN FREDY VERGARA OSORIO**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

**ING. Ph.D. ALBERTO MORA GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MEDELLÍN - COLOMBIA**

**2016**

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	4
ILUSTRACIONES.....	6
ECUACIONES.....	9
0 PRÓLOGO.....	10
0.1 INTRODUCCIÓN.....	10
0.2 OBJETIVO GENERAL .....	11
0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
0.3.1 Uno - Pasos.....	11
0.3.2 Dos - Caracterización.....	11
0.3.3 Tres - IRCMS .....	11
0.3.4 Cuatro - Tópicos relevantes .....	11
0.3.5 Cinco - Conclusiones.....	11
0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	12
0.5 ANTECEDENTES.....	13
0.6 JUSTIFICACIÓN.....	14
0.7 CONCLUSION DE CAPITULO 0 .....	14
1 PASOS.....	15
1.1 OBJETIVO 1 .....	15
1.2 RCM.....	15
1.2.1 Análisis de los Riesgos.....	16
1.2.2 Etapas de la implementación del RCM.....	26
1.3 SOFTWARE IRCMS .....	30
1.3.1 Pasos del Plan de implementación del iRCMS. ....	31
1.4 REQUISITOS PARA LA INSTALACION DEL SOFTWARE IRCMS .....	33
1.5 CARACTERISTICAS DE LA HERRAMIENTA IRCMS .....	33
1.6 ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA IRCMS.....	34
1.6.1 Hardware Breakdown.....	35
1.6.2 FMECA & RCM Information .....	35
1.6.3 To Do List.....	36
1.6.4 Iconos Usados en el IRCMS .....	36
1.6.5 Setup.....	37
1.6.6 Menú Principal.....	38
1.7 USO DEL SOFTWARE IRCM.....	40
1.7.1 Introducción del Hardware.....	40
1.7.2 Introducción de Funciones .....	40
1.7.3 Introducción de las Fallas de Función .....	41
1.7.4 Introducción de los Modos de Falla.....	42
1.8 Conclusiones del capítulo 1 .....	43
2 CARACTERIZACIÓN.....	44
2.1 OBJETIVO 2 .....	44

2.2	SISTEMA BOMBAS .....	44
2.3	CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MOTOR .....	46
2.4	PARTES DEL MOTOR ELECTRICO .....	47
2.5	PARTES DEL SISTEMA MOTOR ELECTRICO MP3301C .....	48
2.6	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2 .....	58
3	IRCMS .....	59
3.1	OBJETIVO 3 .....	59
3.2	APLICACIÓN DEL SOFTWARE .....	59
3.2.1	Riesgo es Severidad por Ocurrencia en el IRCMS-ALADON.....	66
3.2.2	Toma de Decisiones.....	73
3.2.3	Tareas que acepta el iRCM de Mantenimiento .....	76
3.2.4	Desarrollo de las Funciones - Fallas y Modos de Falla .....	83
3.3	REPORTE FMECA .....	87
3.3.1	Carga de características en el software. ....	94
3.4	CONCLUSIONES DEL CAPITULO 3 .....	98
4	TÓPICOS RELEVANTES .....	99
4.1	OBJETIVO 4 .....	99
4.2	DESARROLLO .....	99
4.3	ANALYSIS SUMMARY REPORT .....	99
4.4	INFORMES FMECA .....	122
4.5	PRIORIZACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO .....	124
4.5.1	Trabajos finales del RCM .....	128
4.6	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4 .....	129
5	CONCLUSIONES .....	130
	BIBLIOGRAFÍA.....	133

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Secuencia lógica lineal de objeto .....	11
Ilustración 2 - RCM en su contexto integral .....	16
Ilustración 3 - Cálculo de Riesgo según iRCMS-OREDA .....	18
Ilustración 4 - Frecuencias de Aladon y del iRCMS.....	19
Ilustración 5 - Clasificación de riesgos con números y colores.....	20
Ilustración 6 - Riesgo OREDA .....	21
Ilustración 7 - Factores de pesos en Severidad.....	22
Ilustración 8 - Tabla de Fallas ocultas .....	23
Ilustración 9 - Tabla de Seguridad física.....	23
Ilustración 10 - Tabla de Medio Ambiente .....	24
Ilustración 11 - Tabla de Imagen Corporativa .....	24
Ilustración 12 - Tabla de Costo de Reparación.....	25
Ilustración 13 - Tabla de Efectos en los clientes.....	25
Ilustración 14 - Tabla de Probabilidad de ocurrencia.....	26
Ilustración 15 - Grupo Primario RCM.....	28
Ilustración 16 - Responsabilidades de los Facilitadores .....	29
Ilustración 17 - Ventana Principal .....	34
Ilustración 18 - Matriz de Riesgo HRI .....	38
Ilustración 19 - Árbol Menú del Software IRCMS.....	39
Ilustración 20 - Información de un Equipo .....	40
Ilustración 21 - Introducción de Funciones .....	41
Ilustración 22 - Introducción de Falla de Función. ....	42
Ilustración 23 - Introducción de Modo de Falla .....	43
Ilustración 24 - Casa de Bombas.....	44
Ilustración 25 - Motor del Sistema MP3301C .....	45
Ilustración 26 - Placa Técnica del Motor.....	46
Ilustración 27 - Principales Datos del Motor .....	47
Ilustración 28 - Partes de un Motor un Motor Eléctrico Estándar.....	48
Ilustración 29 - Estator.....	49
Ilustración 30 - Rotor .....	50
Ilustración 31 - Ventilador del Sistema de Enfriamiento .....	50
Ilustración 32 - Caja de Circulación de Aire.....	51
Ilustración 33 - Caja de Conexión de la Alimentación.....	52
Ilustración 34 - Caja de Conexiones del Sistema de Monitoreo de Temperatura ..	52
Ilustración 35 - Chumaceras .....	53

Ilustración 36 - Sensores de Temperatura.....	54
Ilustración 37 - Instalación Típica de un Sensor de Temperatura en Chumacera .54	
Ilustración 38 - Lubricación de las Chumaceras .....	55
Ilustración 39 - Interruptor de encendido y Mando Automático-Manual.....	56
Ilustración 40 - Control Multilin del Motor.....	57
Ilustración 41 - Mecanismo de acople con la Bomba.....	58
Ilustración 42 - Setup.....	59
Ilustración 43 - Sistema Motor M3301C.....	60
Ilustración 44 - Función Principal del Sistema Motor Eléctrico .....	61
Ilustración 45 - Falla y Modo de Falla de la Función Principal.....	62
Ilustración 46 - Tarea de Mantenimiento de la Funcion Principal .....	63
Ilustración 47 - Valoración del Riesgo .....	63
Ilustración 48 - Función Principal del Subdivisión Sistema Eléctrico .....	64
Ilustración 49 - Falla y Modo de Falla de la Función Principal Sistema Eléctrico ..	65
Ilustración 50 - Tarea de Mantenimiento del Sistema Eléctrico .....	66
Ilustración 51 - Valoración del Riesgo .....	66
Ilustración 52 - Diagrama de Flujo de la Toma de Decisiones.....	73
Ilustración 53 - Hoja Decisional ALADON.....	76
Ilustración 54 - Funciones, Fallas y Modos de Falla del sistema en el iRCM .....	84
Ilustración 55 - Función de la Subdivisión Motor .....	86
Ilustración 56 - Logo-Enlace hacia la Aplicacion.....	87
Ilustración 57 - Reporte FMECA página 1 de 7 .....	87
Ilustración 58 - Reporte FMECA página 2 de 7 .....	88
Ilustración 59 - Reporte FMECA página 3 de 7 .....	89
Ilustración 60 - Reporte FMECA página 4 de 7 .....	90
Ilustración 61 - Reporte FMECA página 5 de 7 .....	91
Ilustración 62 - Reporte FMECA página 6 de 7 .....	92
Ilustración 63 - Reporte FMECA página 7 de 7 .....	93
Ilustración 64 - Función .....	94
Ilustración 65 - Falla Funcional.....	95
Ilustración 66 - Modos de Falla.....	96
Ilustración 67 - Trabajos de mantenimiento.....	97
Ilustración 68 - Lista de Reportes .....	99
Ilustración 69 - Informes que se generan desde el IRCM.....	100
Ilustración 70 - Resumen Estadístico del Proyecto.....	101
Ilustración 71 - Informe de Tareas de mantenimiento a desarrollar.....	118
Ilustración 72 - Informe de Habilidades, Competencias y Costos.....	120
Ilustración 73 - FMECA del Proyecto.....	122
Ilustración 74 - Tareas de Mantenimiento del RCM descrito .....	124
Ilustración 75 - Tabla de Riesgo, con Severidad y Ocurrencia en el IRCMS.....	126
Ilustración 76 - Prioridad de tareas en RCM en el Irma.....	127

Ilustración 77 - Priorización final de tareas de mantenimiento de RCM en iRCM 128  
Ilustración 78 - Costos, RCM y ciclo de vida LCC ..... 131

## ECUACIONES

Ecuación 1 - Riesgo.....	16
Ecuación 2 - Riesgos de RCM.....	19
Ecuación 3 - Severidad.....	22

## 0 PRÓLOGO

### 0.1 INTRODUCCIÓN

Las sociedades en su afán de crecimiento acelerado, rápido y sostenible, crean y evolucionan tecnologías que se cristalizan en máquinas, que soportan y desarrollan actividades voluminosas que el hombre de manera artesanal, jamás podría alcanzar, es por ello que el ser humano requiere de máquinas y procesos productivos de líneas de equipos o fábricas, para poder desarrollar sus rutinas normales de vida.

El mantenimiento juega un rol esencial en el desarrollo social y económico de un país, sobre todo en los procesos donde forma parte activa del sistema de generación y distribución de energía.

Se recurre a este tipo de proyectos investigativos, para determinar con antelación las variables claves de éxito del mismo, con el fin de maximizar en el período investigado a futuro la confiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad, la rentabilidad, la competitividad y la productividad de los sistemas; mediante los costos más bajos posibles y el máximo nivel de servicio a la comunidad industrial y poblacional que atienden (Ramakumar, 1996).

Las universidades y las instituciones de Educación Superior del país, juegan un rol vital en el desarrollo a través de la realización de un portafolio académico, técnico y universitario, en diferentes áreas del mantenimiento, como un estudio secuencial, con continuidad de otros similares en años anteriores este Proyecto apunta a conocer en la actualidad y en el futuro cercano, las necesidades empresariales e institucionales en las cuales se requieren las formaciones técnicas y profesionales del mantenimiento (Kapur, y otros, 1977).

## **0.2 OBJETIVO GENERAL**

Organizar con la metodología RCM<sup>1</sup>, el mantenimiento del motor de un sistema de bombeo de combustóleo MP3301C en la Refinería de Barrancabermeja mediante el software iRCMS.

## **0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### 0.3.1 Uno - Pasos

Identificar los pasos del software IRCMS para su implementación en un sistema de bombeo de combustóleo SBC. Nivel 1 - Conocer

### 0.3.2 Dos - Caracterización.

Describir los sistemas, subsistemas y componentes de un motor del SBC a partir de su caracterización técnica. Nivel 2 - Comprender.

### 0.3.3 Tres - IRCMS

Aplicar el software IRCMS en las tareas importantes del motor del MP3301C. Nivel 3 - Aplicar.

### 0.3.4 Cuatro - Tópicos relevantes

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

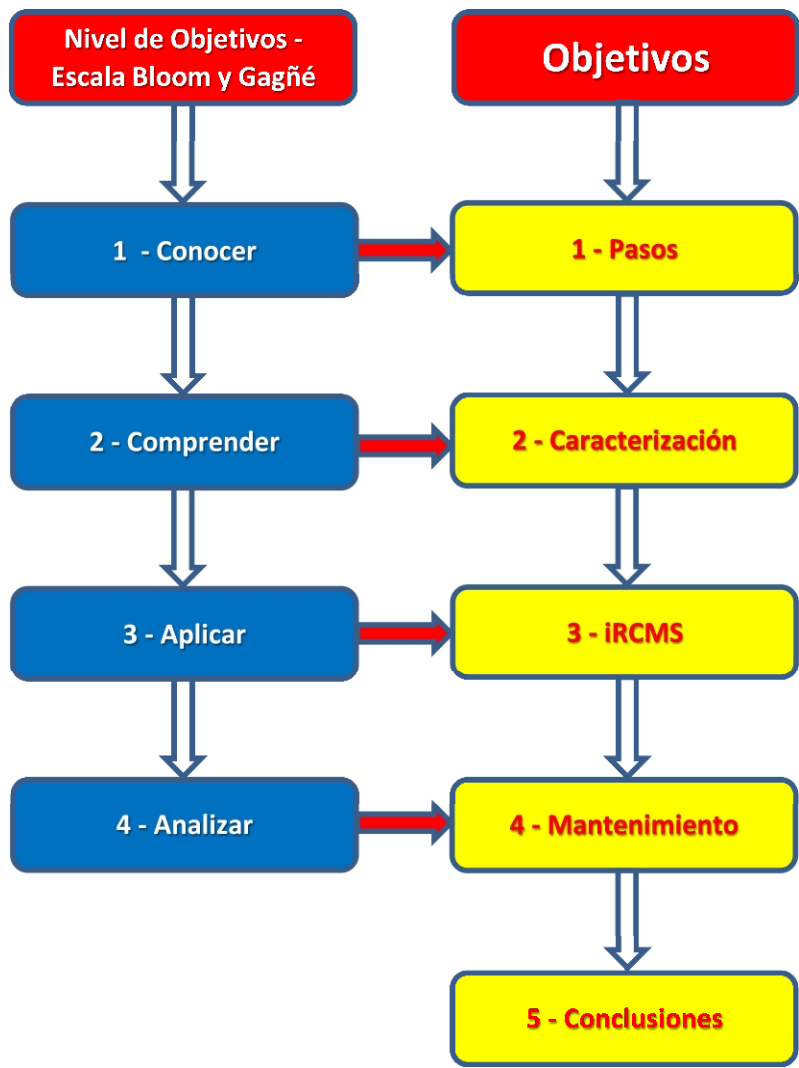
### 0.3.5 Cinco - Conclusiones

Relatar los principales resultados del proyecto

Ilustración 1 - Secuencia lógica lineal de objeto

---

<sup>1</sup> RCM *Reliability Centred Maintenance*



#### 0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El primer capítulo trata sobre los fundamentos propios de la metodología de mantenimiento RCM<sup>2</sup> llevados al ámbito de sistemas informáticos con el software IRCMS.

El segundo capítulo describe el sistema de motor eléctrico del MP3301C a ser intervenido utilizando la plataforma IRCMS como método de mantenimiento.

<sup>2</sup> RCM: Reliability-Centered Maintenance

El tercer capítulo aplica la tecnología contenida en el software IRCMS para desarrollar un sistema de mantenimiento para el motor eléctrico de la MP.3301C

En el cuarto capítulo a partir de la información obtenida en el capítulo tres se efectuarán los diferentes planes de mantenimiento sobre el sistema de bombeo de la MP3301C.

El quinto capítulo muestra las principales conclusiones sobre el desarrollo del sistema de mantenimiento del MP3301C.

## **0.5 ANTECEDENTES**

La Refinería de Barrancabermeja para el despacho de combustóleo a través de botes cisterna en el Rio Magdalena mueve dicho fluido mediante sistemas de moto bombas dispuestas para tal fin. A causa de tener que llenar dichos botes de una manera rápida se utilizan bombas centrifugas movidas por motores eléctricos de gran tamaño.

El combustóleo es un subproducto obtenido de la destilación atmosférica, es de color negro y se utiliza principalmente como combustible de buques y como combustible sucio para calderas y hornos debido a su valor relativamente bajo comparado con otro tipo de combustibles.

La Refinería de Ecopetrol ubicada en la ciudad de Barrancabermeja por alrededor de 10 años maneja un ERP llamado ELLIPSE como gestor del mantenimiento, pero por razones de compatibilidad con SAP que se encuentra en otras áreas de la empresa, se decide migrar el sistema de mantenimiento de SAP.

Como método de implementación del sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad se crean a nivel mundial diferentes metodologías para le ejecución de este modelo. Para este caso se utilizará el software IRCMS como herramienta de análisis del sistema motor de la MP3301C.

## **0.6 JUSTIFICACIÓN**

La confiabilidad en los procesos es definitivamente necesaria y brindar un mantenimiento oportuno y efectivo a la maquinaria involucrada en la línea de producción, ventas y cargue de insumos en las plantas de producción garantiza la continuidad de sin demoras ni contratiempos.

La industria del petróleo no solo es competitiva sino una de las más peligrosas debido a que la materia prima, los insumos y los productos terminados son de carácter inflamable, por ende, las tareas de mantenimiento y los resultados del mismo deben ser de alta calidad. Una de las metodologías de mantenimiento es el RCM que propende por que se tenga la máxima confiabilidad en los equipos y maquinaria asociados a los procesos.

Por ende, para este proyecto se ha escogido como metodología de mantenimiento en el sistema de motor de la MP3301C el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad RCM utilizando el software IRCMS desarrollado para tal fin.

## **0.7 CONCLUSION DE CAPITULO 0**

Como su nombre lo dice, esta sección aporta y describe las bases suficientes para que el lector entienda la estructura, desarrollo y alcance total del proyecto, en cuanto a objetivos, logros parciales y totales, metodologías y metas particulares

# 1 PASOS

## 1.1 OBJETIVO 1

Identificar los pasos del software IRCMS para su implementación en un sistema de bombeo de combustóleo SBC. Nivel 1 – Conocer

## 1.2 RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo y optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

Desarrollado por la United Airlines de Estados Unidos, el RCM analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son analizados y clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo. Estas fallas son estimadas para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas.

La idea central del RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos.

Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se

realiza esta función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan, éstas últimas son las fallas (Rocha, 2016).

### 1.2.1 Análisis de los Riesgos

Las consecuencias de las fallas se evalúan y se les califica según severidad y la probabilidad de ocurrencia.

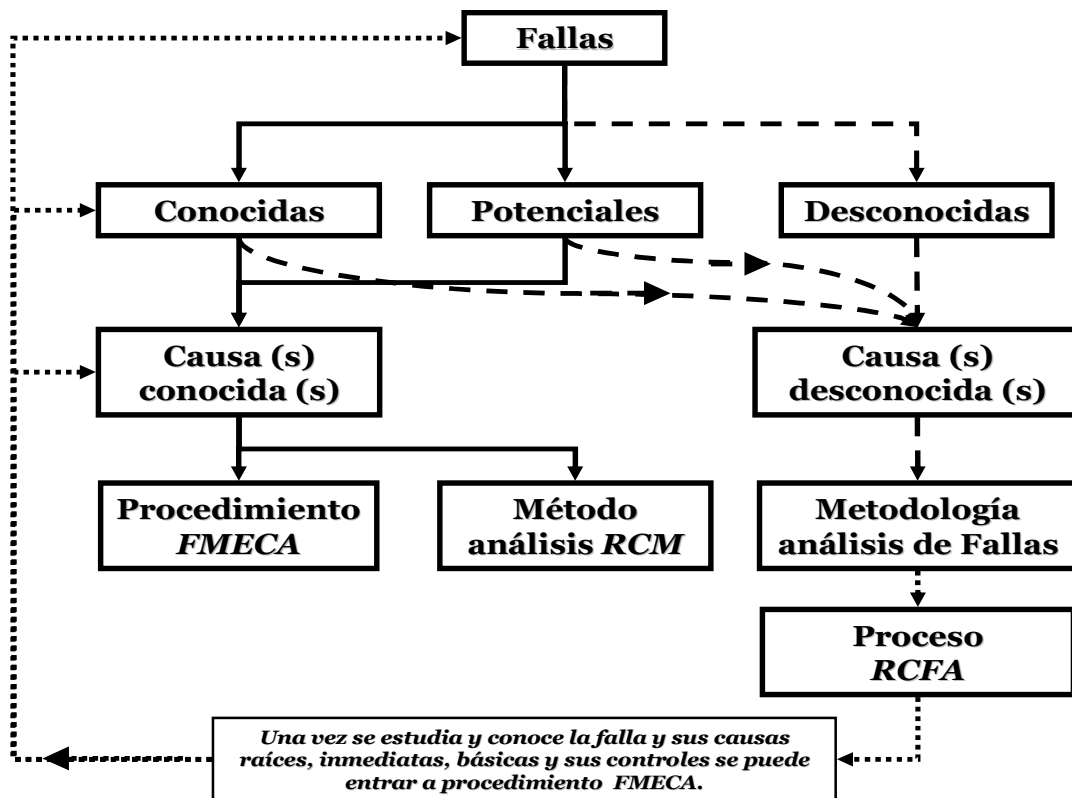
#### 1.2.1.1 ALADON & iRCMS

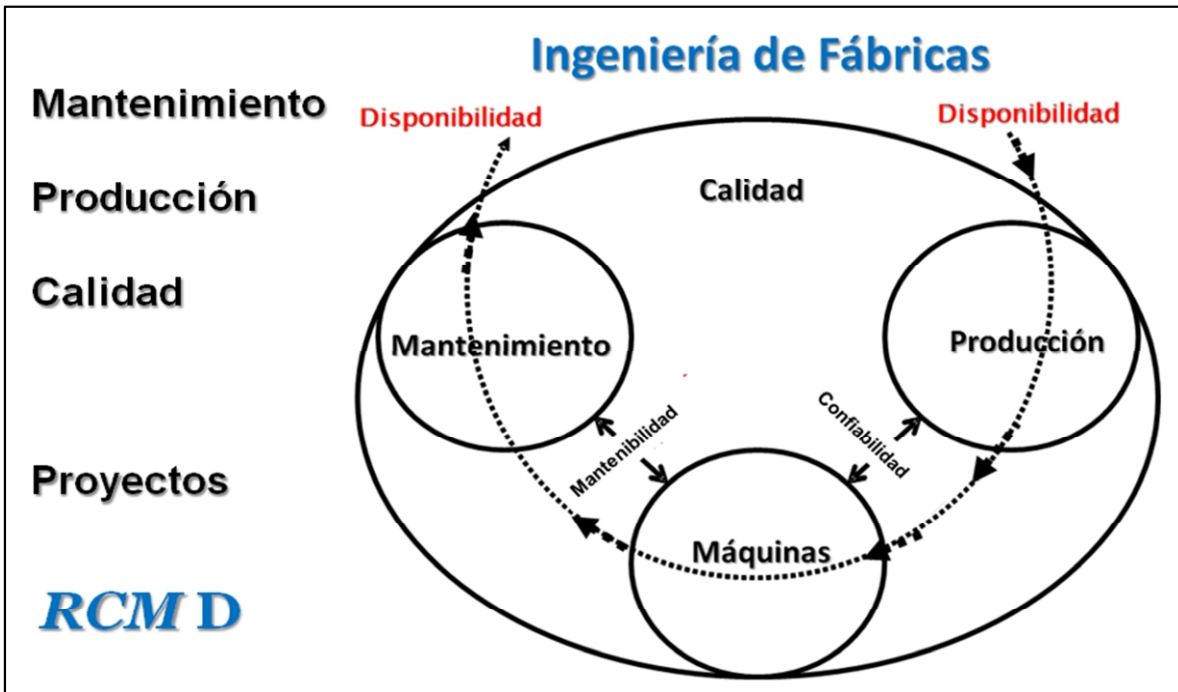
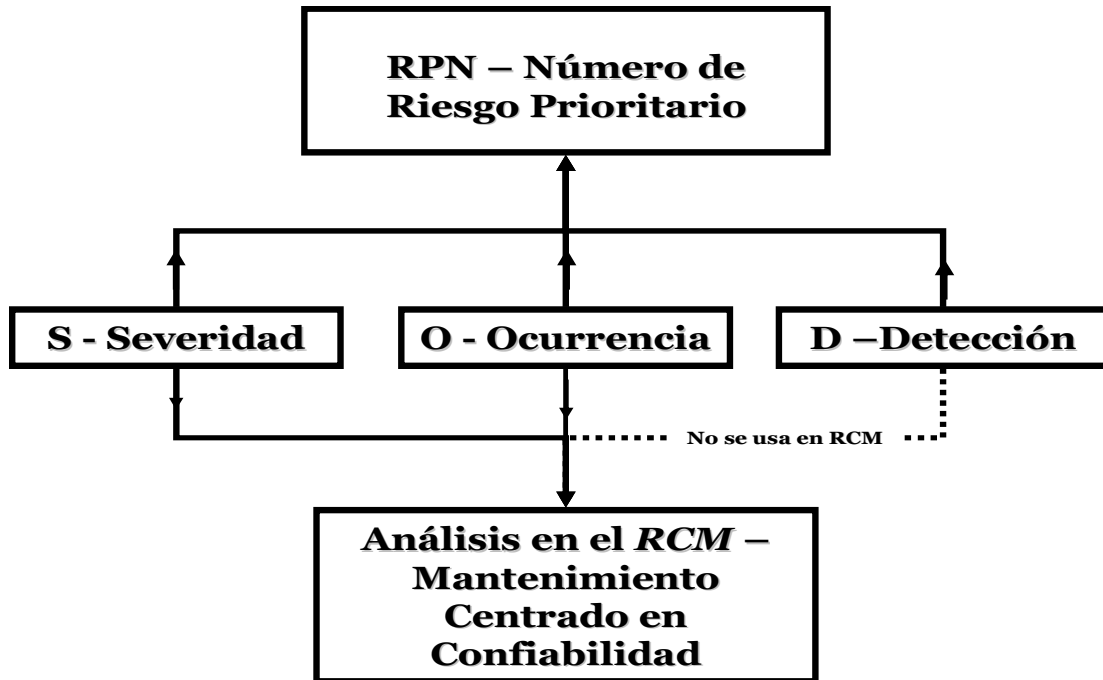
Ecuación 1 - Riesgo

$$RIESGO = SEVERIDAD \times OCURRENCIA \times DETECTABILIDAD$$

En el caso del RCM solo se trabaja con Severidad y Ocurrencia

Ilustración 2 - RCM en su contexto integral



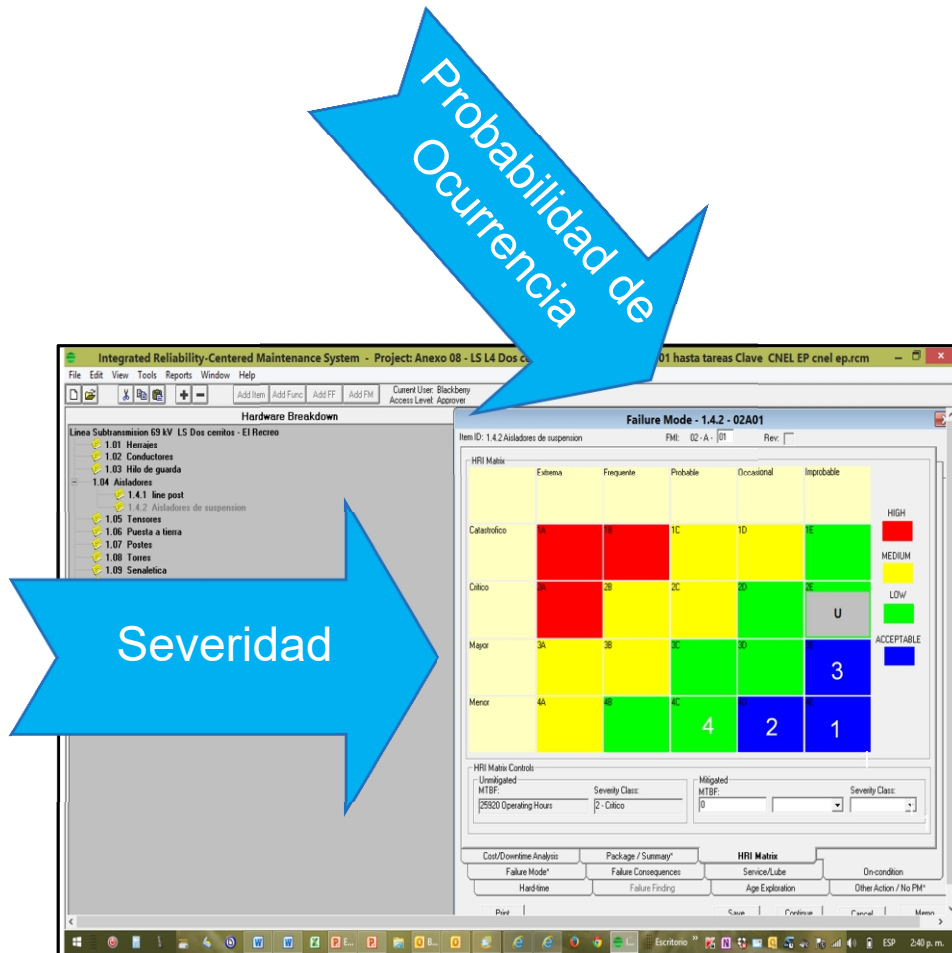


(Mora, 2014) (Mora, 2013)

El proceso de cálculos tiene dos métodos que son los más difundidos, entre ellos resalta el Método ALADON, que coincide con el proceso del iRCMS, donde se

valoran dos ejes acordes a una tabla cualitativa de Severidad y Ocurrencia, como se explica gráficamente en las siguientes figuras.

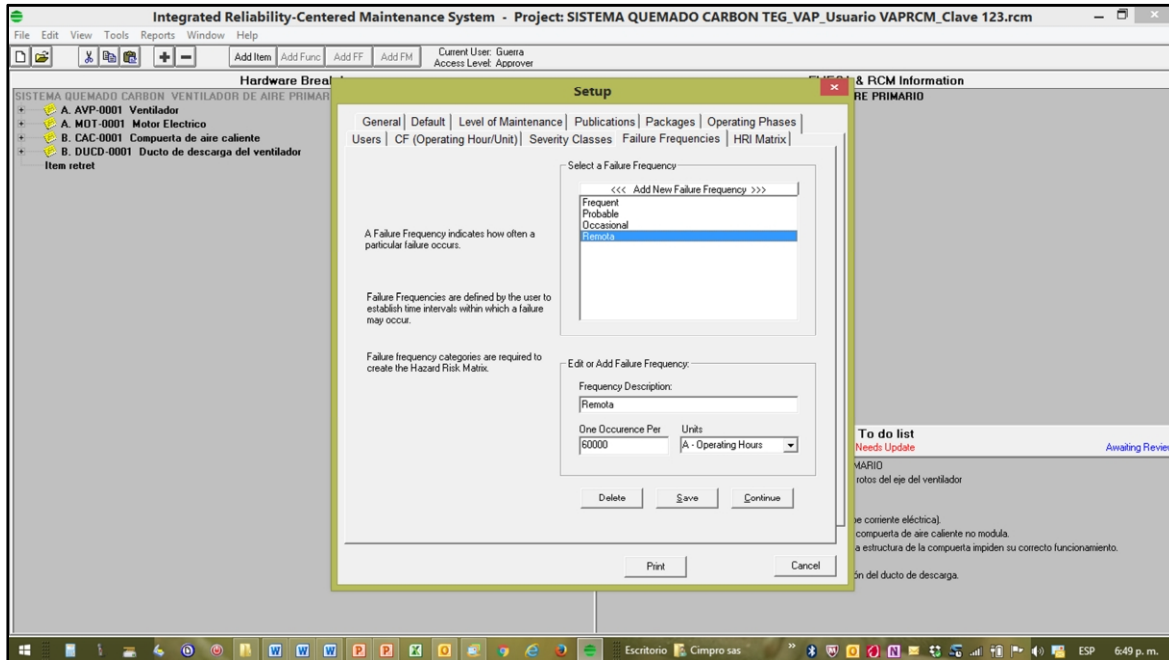
Ilustración 3 - Cálculo de Riesgo según iRCMS-OREDA



(US-NAVAIR, 2016)

Las calificaciones son de orden cualitativo, funciona en rangos en la parte de ocurrencia, es decir entre rangos de intervalos de horas, tal como se define en el Set Up del iRCMS.

## Ilustración 4 - Frecuencias de Aladon y del iRCMS



(U.S. Army, 1972)

Los rangos de las frecuencias se definen en los rangos de frecuente entre 0 y 10 horas, probable entre 10 y 100 horas, ocasional entre 100 y 1000 horas, remota entre 1000 y 60000 horas.

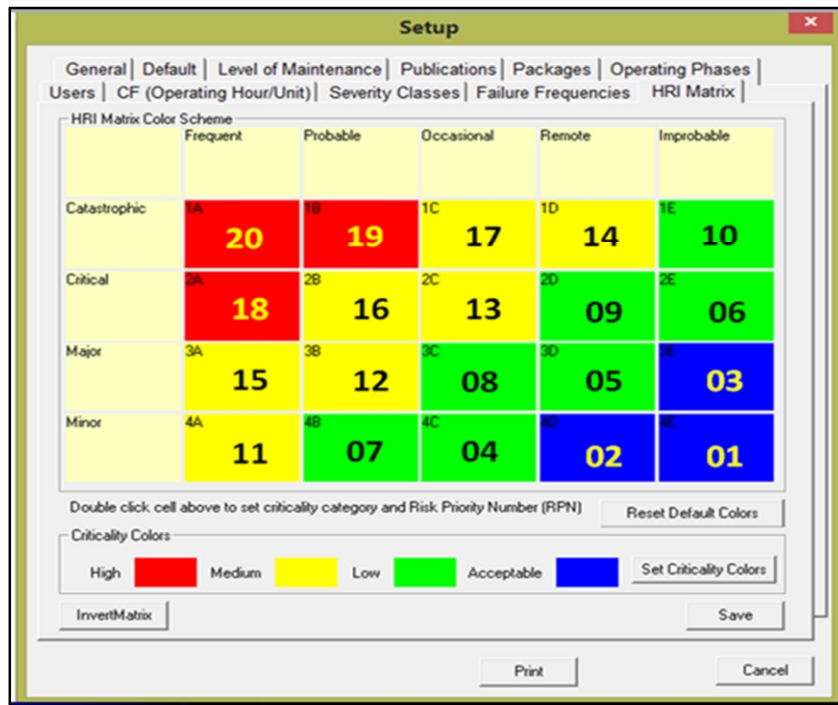
Los rangos de la severidad son meramente cualitativos, la combinación de ambos da la ubicación en el cuadro cualitativo, de colores, que representa la siguiente prioridad acorde a la combinación de severidad y ocurrencia.

El otro método consiste en valoraciones numéricas, que tiene dos procesos, uno es la ecuación, otro son los criterios y otros los valores relativos de las tablas.

Ecuación 2 - Riesgos de RCM

$$RIESGO = SEVERIDAD \times OCURRENCIA$$

Ilustración 5 - Clasificación de riesgos con números y colores



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

## 1.2.1.2 OREDA

1.2.1.2.1 Severidad: Evalúa en los siguientes parámetros, a los cuales se le asigna un peso y es multiplicado por un factor de probabilidad.

- Fallos Ocultos
- Impacto Seguridad Física
- Impacto Medio Ambiente
- Impacto en Imagen Corporativa
- Costos de Reparaciones o Mantenimientos
- Efectos en Clientes

Ilustración 6 - Riesgo OREDA

**Evaluación:**  
se califica **Riesgo = Severidad x Ocurrencia =**

**Consecuencias de las Fallas**

La **Severidad** se evalúa en los siguientes parámetros:

- Fallos Ocultos ▲
- Impacto Seguridad Física ▲
- Impacto Medio Ambiente ▲
- Impacto en Imagen Corporativa ▲
- Costos de Reparaciones o Mantenimientos ▲
- Efectos en Clientes ▲

**Severidad = FO X K<sub>FO</sub> + SF X K<sub>SF</sub> + MA X K<sub>MA</sub> + IC X K<sub>IC</sub> + OR X K<sub>OR</sub> + OC X K<sub>OC</sub> -**

(Mora, 2013)

### Ecuación 3 - Severidad

$$SEVERIDAD = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + OR \times K_{OR} + OC \times K_{OC}$$

La Sumatoria de Factores probabilísticos  $K_{FO} + K_{SF} + K_{MA} + K_{IC} + K_{OR} + K_{OC}$  debe ser 1.00 o 100% (Mora, 2016).

El peso que generalmente se le da a cada una de las K es como se muestra a continuación, no obstante, no es camisa de fuerza y cada ingeniero de mantenimiento es autónomo en darle el valor que considere es el apropiado según el estudio realizado a los diferentes aspectos en los que se mueve la empresa.

Todos los parámetros tienen estándares internacionales que cubren sus valoraciones.

### Ilustración 7 - Factores de pesos en Severidad

<b>K</b>
<b><math>K_{FO}</math> - 0.05 ó 5%</b>
<b><math>K_{SF}</math> - 0.20 ó 20%</b>
<b><math>K_{MA}</math> - 0.10 ó 10%</b>
<b><math>K_{IC}</math> - 0.30 - 30%</b>
<b><math>K_{OR}</math> - 0.30 ó 30%</b>
<b><math>K_{OC}</math> - 0.05 ó 5%</b>

Ilustración 8 - Tabla de Fallas ocultas

<b>FO - Fallos Ocultos</b>	
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SÍ sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4

Ilustración 9 - Tabla de Seguridad física

<b>FS - Seguridad Física</b>	
No afecta Personas ni equipos	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	1
Afecta de dos a cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal	2
Afecta a más de cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más Personas	4

Ilustración 10 - Tabla de Medio Ambiente

<b>MA - Medio Ambiente</b>	
No afecta el medio ambiente	0
Afecta el MA pero se puede controlar. No daña el Ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 5.000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 50.000 dólares	3
Afecta los recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a los 50.000 dólares	4

Ilustración 11 - Tabla de Imagen Corporativa

<b>IC - Imagen Corporativa</b>	
No es relevante	0
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos	1
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1.000 dólares	2
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión entre 1.000 y 10.000 dólares	3
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión mayor a 10.000 dólares. Puede ser irreversible	4

Ilustración 12 - Tabla de Costo de Reparación

<b>OR - Costo de Reparación</b>	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4

Ilustración 13 - Tabla de Efectos en los clientes

<b>OC - Efectos en Clientes</b>	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4

1.2.1.2.2 Probabilidad de ocurrencia OREDA. Este ítem define estadísticamente la periodicidad en la que los modos de falla se han presentado eventualmente en el equipo o las recomendaciones de mantenimiento del fabricante en el manual de mantenimiento del equipo.

Ilustración 14 - Tabla de Probabilidad de ocurrencia

<b>Ocurrencia</b>		<b>Calificación</b>
Frecuente	1 Falla en 1 Mes	4
Ocasional	1 Falla en 1 Año	3
Remota	1 Falla en 5 Años	2
Poco probable	1 Falla en 20 Años	1

### 1.2.2 Etapas de la implementación del RCM

La puesta en marcha de sistema de mantenimiento se lleva a cabo en varios momentos como son:

- Planeación
- Grupos de revisión
- Facilitadores
- Análisis de resultados
- Implementación de auditorías.

### 1.2.2.1 Planeación

El proceso de la planeación, incluye varias etapas, entre las cuales resaltan.

- Activos físicos a trabajar bajo RCM
- Definir recursos físicos y humanos requeridos
- Definir cronograma de entrenamiento, realización, análisis, fecha y lugar de las personas.
- Estudiar integral y específicamente cada activo

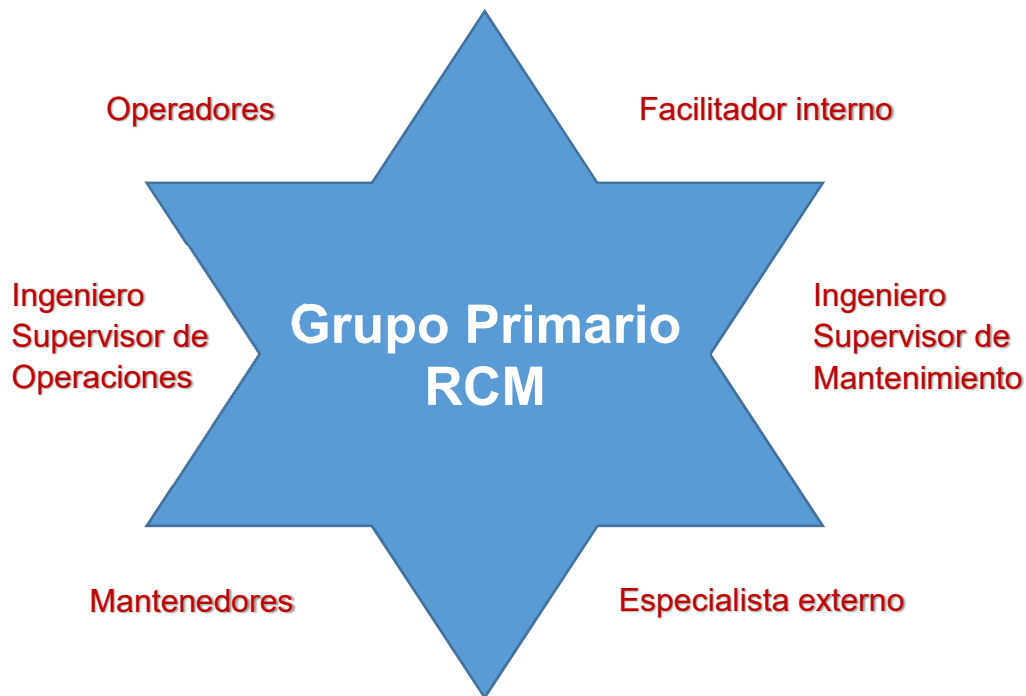
### 1.2.2.2 Grupo de revisión y realización.

El compromiso de la alta gerencia se ve evidenciado en este paso de la implementación, ya que debe haber personal de operación, mantenimiento, planeación e ingeniería de la fábrica y de todas las dependencias que soporten el proceso. Debe haber personal de operación, mantenimiento e ingeniería de fábricas y de otras dependencias que soporten el proceso.

### 1.2.2.3 Facilitadores

- Análisis exhaustivo y excluyente con todo: funciones, fallas funcionales, modos de falla, tareas, etc. en todos los equipos críticos y elementos claves.
- RCM entendido por todos.
- Método del Vaticano por consenso en forma rápida y ágil, con dosis motivacional.
- Calendario de trabajo con cumplimientos.

Ilustración 15 - Grupo Primario RCM



#### 1.2.2.4 Resultados del RCM

El RCM exige entre sus principales conclusiones que contenga unos mínimos que se desglosan a continuación.

- Planes de mantenimientos y reparaciones a ser efectuados.
- Rediseño de procesos de operación, validados, entendidos y practicados por quienes ejecuten.
- Involucrar los mantenimientos en el CMMS o programas manuales.
- Tareas descritas a cabalidad con conocimiento de causa de quienes las practican y practicarán.
- Modificaciones, con cálculos y estudios, responsables y fechas.
- Control de seguimiento de tareas y operaciones nuevas o rediseñadas en frecuencia.

## Ilustración 16 - Responsabilidades de los Facilitadores

COMPETENCIAS Y HABILIDADES DE LOS FACILITADORES	
<b>APLICAR LA LOGICA RCM</b>	
<b>DIRIGIR EL ANALISIS</b>	PREPARAR LAS REUNIONES
	SELECCIONAR LOS NIVELES DE ANALISIS/DEFINIR LOS LIMITES
	TRATAR APROPIADAMENTE LOS MODOS DE FALLA COMPLEJOS
	SABER CUANDO DEJAR DE LISTAR MODOS DE FALLA
	INTERPRETAR Y REGISTRAR LAS DECISIONES CON UN MINIMO LENGUAJE TECNICO
	RECONOCER CUANDO EL GRUPO NO SABE
	EVITAR LOS INTENTOS DE REDISEÑAR EL ACTIVO DURANTE LAS REUNIONES DE RCM
	COMPLETAR LAS HOJAS DE TRABAJO RCM
	PREPARAR UN ARCHIVO DE AUDITORIA
	INGRESAR LOS DATOS DE RCM EN UNA BASE DE DATOS COMPUTARIZADA
<b>CONDUCCIR LAS REUNIONES</b>	PREPARAR LA ESCENA
	LA CONDUCTA DEL FACILITADOR
	EJECUTAR EN ORDEN LAS PREGUNTAS RCM
	ASEGURAR QUE CADA PREGUNTA SE COMPRENDA CORRECTAMENTE
	ALENTAR A QUE PARTICIPE CADA MIEMBRO DEL GRUPO
	RESPONDER LAS PREGUNTAS
	ASEGUARAR EL CONSENSO
	MOTIVAR AL GRUPO
	MANEJAR LA INTERRUPCIONES APROPIADAMENTE
	ORIENTAR AL GRUPO O A LOS MIEMBROS ADECUADAMENTE
<b>CONDUCCIR LAS REUNIONES</b>	ALENTAR A QUE PARTICIPE CADA MIEMBRO DEL GRUPO
	RESPONDER LAS PREGUNTAS
	ASEGUARAR EL CONSENSO
	MOTIVAR AL GRUPO
	MANEJAR LA INTERRUPCIONES APROPIADAMENTE
	ORIENTAR AL GRUPO O A LOS MIEMBROS ADECUADAMENTE
<b>ADMINISTRAR EL TIEMPO</b>	RITMO DE TRABAJO
	CANTIDAD TOTAL DE REUNIONES EFECTUADAS
	FECHA REAL DE FINALIZACION CONTRA LA FECHA OBJETIVO
	TIEMPO EMPLEADO PARA PREPARAR LA AUDITORIA
	TIEMPO FUERA DE LAS REUNIONES
<b>ADMINISTRAR LA LOGISTICA E INTERACCION CON LOS NIVELES SUPERIORES</b>	PREPARAR EL PROYECTO RCM COMO UN TODO
	PLANEAR EL PROYECTO
	COMUNICAR LOS PLANES
	EL LUGAR DE LA REUNION
	COMUNICAR LOS HALLAZGOS URGENTES
	COMUNICAR LOS PROGRESOS
	ASEGURAR QUE SE AUDITEN LAS HOJAS DE TRABAJO RCM
	PRESENTACION A LA GERENCIA SUPERIOR
	IMPEMENTACION
	UN PROGRAMA VIVIENTE

(RCMScorecard@, 2005)

#### 1.2.2.5 Implementación y Auditoría

- Revisión integral de nivel gerencial por cada activo terminado.
- Auditoría, costos, CMD.
- Revisión basada en las normas internacionales SAE JA1011, SAE JA1012, Military Standard 2173 y British Norm Standard.
- Beneficios, limitaciones, cambios y su nueva aplicación.
- Revisión cada dos años de los activos con modificación o cambios en calidad repuestos, bajo control de la curva de Davies o de la Bañera (Mora, 2016).

### 1.3 SOFTWARE IRCMS

El alto costo en la implementación de un RCM clásico en todos los componentes de un proceso derivó en la aparición de diversas metodologías que optimizaron el proceso y entregaron resultados útiles para una amplia variedad de aplicaciones industriales. De hecho, muchas compañías que inicialmente se embarcaron en procesos RCM clásicos acabaron ellos mismos buscando la manera de optimizar el proceso y de esta manera cumplir con los objetivos finales.

Este tipo de metodologías son exitosamente usadas en esencialmente todos los procesos industriales con beneficios demostrados. Los ahorros durante el análisis llegan ser de hasta un 90% sobre el uso de metodologías RCM clásicas (Mendoza, 2016).

El Sistema Integrado de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (IRCMS) es una herramienta de software que fue creado para ayudar al analista del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la realización de análisis y

documentación del RCM para los Sistemas de Comando de la Naval Air (NAVAIR)<sup>3</sup>.

Esto ayuda a proporcionar la justificación y la trazabilidad requerida para cada tarea de mantenimiento preventivo que resulta del análisis RCM. El software IRCMS conduce al usuario a través de las ramas correspondientes de la lógica de la RCM en base a datos suministrados por el usuario. El programa sigue la lógica contenida en RCM CNSA 00-25-403, directrices para el proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de la aviación naval (Connection, 2014).

### 1.3.1 Pasos del Plan de implementación del iRCMS.

El plan debe incluir los siguientes pasos para su consideración durante la definición del alcance de los programas:

1.3.1.1 Programa de mantenimiento preventivo básico actual. Definir los planes de mantenimiento existentes y disponibles, las tareas análisis (RCM), nivel estándar de almacenamiento para mantenimiento (SDLM), etc.

1.3.1.2 RCM candidato, identificación y priorización. Identificar las funciones, elementos y/o planes de mantenimiento para determinar las tareas que serán objeto de análisis RCM. Priorizar basándose en la seguridad, disponibilidad operativa y rentabilidad esperada de las inversiones. Algunos ejemplos de limitar el alcance de los análisis iniciales incluyen:

- Análisis de base. Se trata de un mínimo esfuerzo inicial. Se supone más el plan de mantenimiento actual, son las tareas razonablemente justificadas, y entran de inmediato en el mantenimiento. Los beneficios de RCM se harán a través mantener esfuerzos proactivos.

---

<sup>3</sup> NAVAIR US – Navy Naval Air System Command – Navy and marine – [www.navair.navy.mil/](http://www.navair.navy.mil/)

- Análisis de perfil alto. Esto es similar a un método de análisis por encima el cual consiste en saltar a la fase de mantenimiento, tales como el análisis de costo, excepto que un mayor esfuerzo inicial puede ser justificada.
- Método de relleno. Este es un nivel medio para el análisis inicial. Se supone que el actual programa de mantenimiento preventivo cubre adecuadamente todos los posibles modos de falla, pero que puede haber algunos planes de mantenimiento que pueden no ser necesarios. Una lista de elementos y/o funciones es desarrollada para el análisis de tareas existentes en el plan de mantenimiento.
- Análisis completo. Este requiere el más alto esfuerzo inicial y sólo se debe considerar cuando retornos potenciales son altos, es decir, programas con una importante vida útil.

1.3.1.3 Proceso/Filosofía. Identifica las filosofías y los procesos que se utilizarán para el RCM justificando las tareas en el más lógico y rentable programa de mantenimiento. Algunos de los factores que influyen en el desarrollo e identificación de las filosofías pueden incluir, pero no se limitan a: tamaño de la flota, las necesidades operacionales, limitaciones, y el mínimo nivel de las funciones.

1.3.1.4 Nivel de análisis. Debe desarrollarse una lista de los sistemas, subsistemas y/o componentes que serán objeto importante de determinación. RCM debe realizarse a un nivel tan alto como sea posible. La experiencia ha demostrado que para un completo análisis RCM, el sistema o subsistema generalmente es un buen lugar para iniciar el análisis RCM (NAVAIR, 1996).

## **1.4 REQUISITOS PARA LA INSTALACION DEL SOFTWARE IRCMS**

La correcta instalación y posterior puesta en funcionamiento de la herramienta IRCMS cumple con los siguientes requisitos mínimos:

- Sistemas operativos Windows 95/98/2000/XP o NT.
- Diseñado para operar en 3454667 LAN (red de área local).

## **1.5 CARACTERISTICAS DE LA HERRAMIENTA IRCMS**

Las principales características con las que cuenta la herramienta para el desarrollo y ejecución de la misma son:

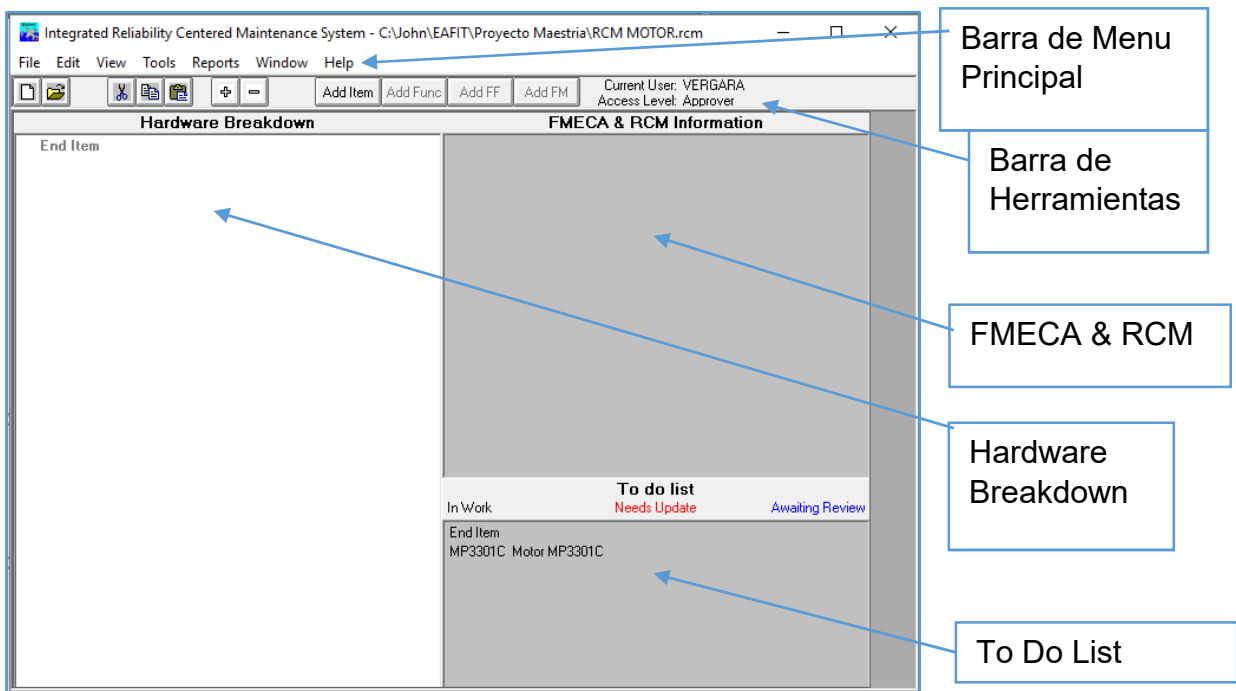
- Permite el acceso a múltiples usuarios a un mismo proyecto al mismo tiempo.
- Permite asignar a los usuarios diferentes niveles de acceso de acuerdo a las necesidades.
- Permite importar datos de otros proyectos.
- Permite guardar datos con el simple hecho de cerrar ventanas, la pérdida de datos es muy limitada.
- Facilita el empaquetado de tareas para el mantenimiento preventivo.
- Provee el seguimiento a los requerimientos de un mantenimiento preventivo.
- Mantiene una auditoria a los niveles de modo de falla de cada revisión hecha en los análisis.
- Proporciona indicadores de estado de las diferentes tareas, fallas funcionales, modos de falla, entre otros.

- Proporciona la capacidad de presentación de informes en el nivel especificado por el usuario.
- Entrega informes en varias formas, Word, en pantalla y HTML.

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA IRCMS

La ventana principal posee características muy similares a las de casi todos los programas diseñados bajo el ambiente Windows<sup>4</sup>.

Ilustración 17 - Ventana Principal



La creación de nuevo proyecto se realiza desplegando el menú File en la barra del menú principal y siguiendo las instrucciones.

<sup>4</sup> Windows: Sistema operativo desarrollado por Microsoft que vino siendo en su comienzo la interfaz gráfica para el Sistema Operativo MS-DOS y cuya filosofía es brindar la facilidad del desplazamiento amigable entre las diversas y simultaneas tareas que se estén ejecutando.

### 1.6.1 Hardware Breakdown

En este panel se despliega el árbol o desglose del hardware, para acceder a la información de los elementos. Se puede escoger con click derecho del Mouse y opción open, o con un doble click sobre el elemento deseado. Aquí es donde se encuentra el equipo inicial y desde donde se pueden escoger las funciones para tratarlas en la ventana de FMECA.

Este desglose del hardware es la división lógica de un equipo en elementos más pequeños que lo componen para minimizar la complejidad del activo, esta descomposición de un equipo va desde el más alto al más bajo nivel (solo lo necesario), y se identifica como el fin de un equipo. La distribución de hardware debe realizarse hasta al menos el nivel en que el análisis se realizó inicialmente.

El Hardware Breakdown debe estar referido de ser necesario al documento NA-00-25-403, sección 3.2, de la US-NAVAIR para una mejor implementación.

### 1.6.2 FMECA & RCM Information

En esta sección de la ventana se encuentra el árbol de las diferentes funciones de la ventana Hardware Breakdown, se puede acceder a la información de las diferentes fases. En esta sección es donde se encuentra la información principal de los estudios de MCC, se puede acceder a la información escogiendo el bloque y presionando doble click. En este panel las fases se diferencian por su color así:

- Negro: Funciones
- Rojo: Falla funcional
- Azul: Modo de falla.






Los modos de falla pueden verse de diferentes formas, todo depende del estado en el que se encuentre (Aprobado, esperando revisión, entre otros), también es posible bloquear los MF con el fin de que solo el usuario principal pueda editar estos campos, y llevar registros históricos.

El FMECA se utiliza para identificar y documentar las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y efectos de falla de un equipo. Se usa para determinar el alcance de una falla funcional en términos de seguridad, medio ambiente, operación o economía. Aquí se adelanta la clasificación de seguridad de las fallas funcionales de acuerdo a lo establecido en los criterios de clasificación de severidad, y provee tasas de fallo de información según los dispuesto por el usuario.

### 1.6.3 To Do List

Esta sección lista las partes incompletas del análisis MCC, esto con el fin de no tener que buscarlas por todas las ramas del árbol de FMECA. Con un solo click a un elemento se puede acceder directamente para actualizar. La clasificación de esta división se puede editar en el "SETUP".

### 1.6.4 Iconos Usados en el IRCMS

-  Aprobado: El modo de falla ha sido aprobado.
-  Necesario Actualizar: El MF necesita ser actualizado
-  Esperando Revisión: El FM está siendo revisado.
-  En proceso: El análisis del proceso está en ejecución, por ende, nos es posible marcar como aprobado o esperando revisión.
-  Histórico: El análisis está siendo mantenido como un registro histórico. (US-NAVAIR, 2016).

### 1.6.5 Setup

En el Setup se puede configurar las unidades de medida que van a ser utilizadas como referencias en el análisis RCM, factores de conversión estándar y personalizadas, así mismo se asignan los valores de monetarios por pérdida de tiempo operacional unidades de moneda y el programa de vida restante en unidades operacionales con su fecha de inicio de servicio.

En la pestaña Publications se documentan reportes de mantenimiento de alguna clase que posteriormente se asignaran a alguna de las tareas de mantenimiento.

El empaquetado, Packages agrupa tareas de mantenimiento preventivo, estos grupos son llamados como "Fase A", etc. Las tareas de estos grupos deben estar documentadas. Esta ventana proporciona al usuario la forma de agregar o editar una lista de grupos de paquetes y agregar una publicación que se asocia a ese grupo. Una publicación de asociados se debe introducir antes de ingresar una entrada de paquetes.

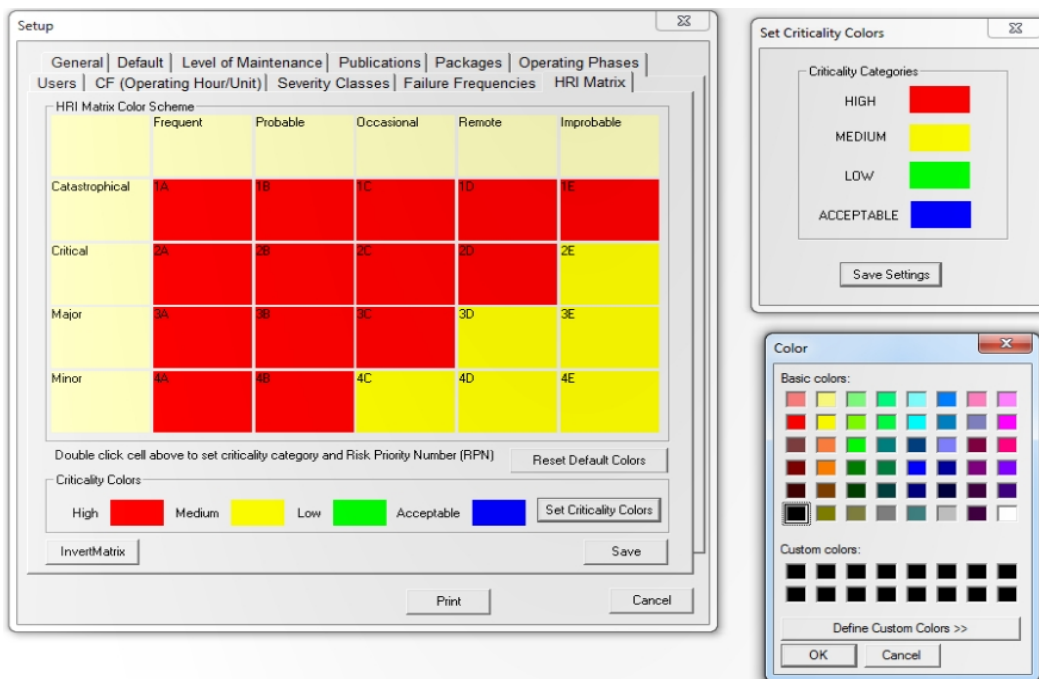
Clases de gravedad, Severity Classes es una categoría asignada a los modos de falla, basados en los impactos de sus efectos potenciales mientras que la frecuencia de Fallas; Failure Frecuencias indica cuan a menudo ocurren las fallas Las reglas se pueden ver en "NAVAIR 00-25-403 RCM Guidance Manual.

Nivel de mantenimiento, Level of Maintenance permite la definición de los mantenimientos requeridos para el mantenimiento preventivo. También permite ingresar costos por defecto de un nivel de mantenimiento en particular.

Users aparece al inicio de la creación de un proyecto o se puede usar en cualquier momento en el programa. Al inicio del proyecto se debe crear al menos un usuario, porque de lo contrario no se puede finalizar la creación del proyecto y no se haría nada. Para el establecimiento del primer usuario este debe tener la característica de Signoff, que tendría el papel de administrador del proyecto.

La matriz de riesgo está formada por dos conceptos, la gravedad de la ocurrencia de una falla y la posibilidad que se genere la misma. Estas fallas serán valoradas de acuerdo a la experiencia de un equipo multidisciplinario encargado del mantenimiento y la confiabilidad de la planta de proceso. Esta matriz puede ser adecuada a la necesidad del administrador del software, pudiendo editar colores y el orden de las abscisas y las ordenadas.

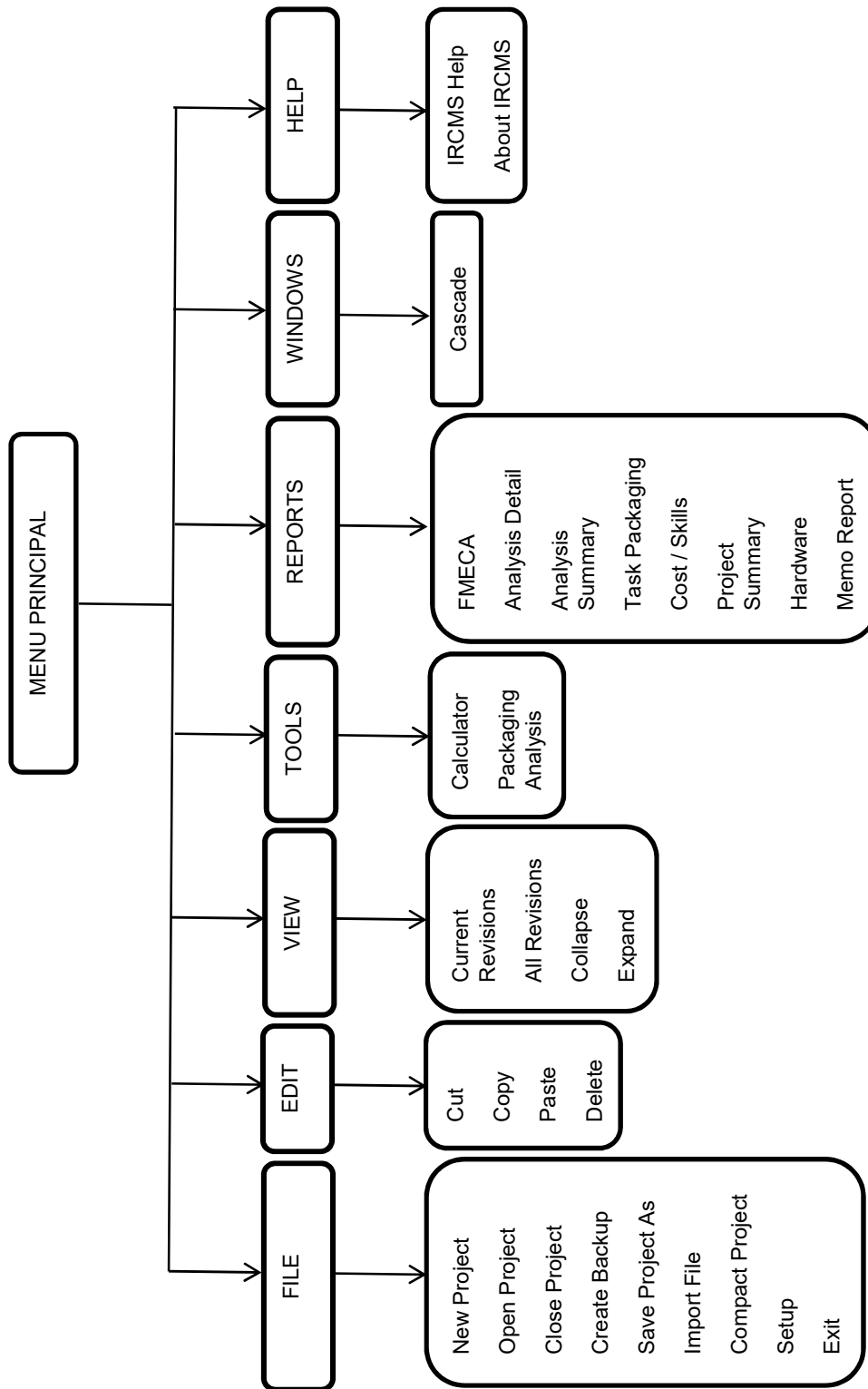
Ilustración 18 - Matriz de Riesgo HRI



### 1.6.6 Menú Principal

La barra de menú principal contiene las listas desplegables que albergan las diferentes opciones del software.

Ilustración 19 - Árbol Menú del Software IRCMS.

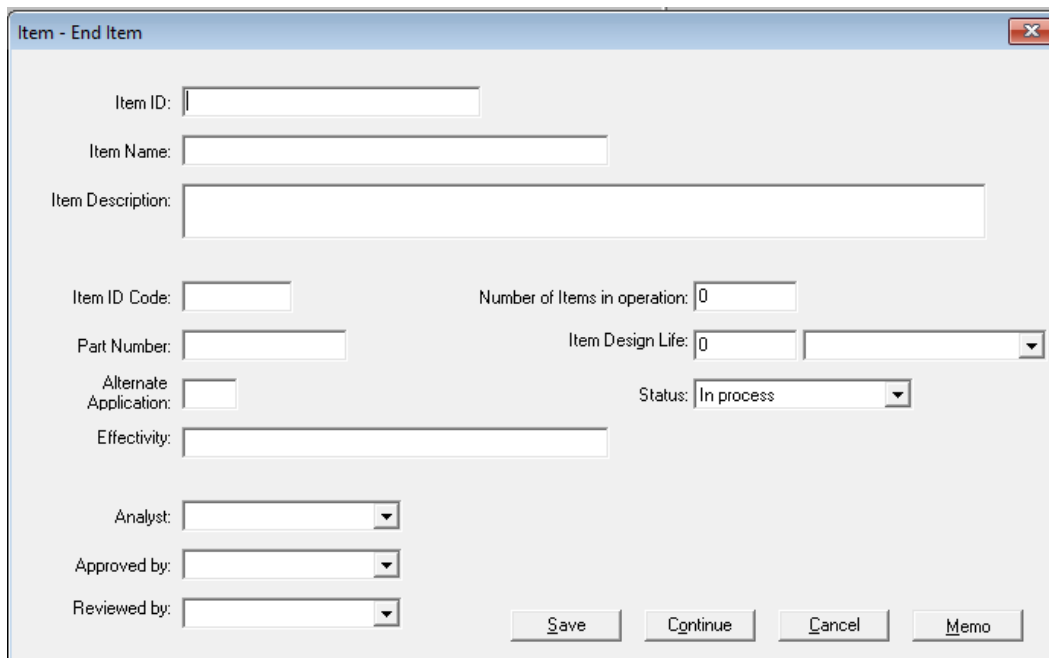


## 1.7 USO DEL SOFTWARE IRCM

### 1.7.1 Introducción del Hardware

Cada equipo ingresado al sistema es catalogado bajo los parámetros consignados en el siguiente formulario.

Ilustración 20 - Información de un Equipo



The screenshot shows a software window titled "Item - End Item". It contains the following fields and controls:

- Item ID:
- Item Name:
- Item Description:
- Item ID Code:
- Number of Items in operation:
- Part Number:
- Item Design Life:
- Alternate Application:
- Status:
- Effectivity:
- Analyst:
- Approved by:
- Reviewed by:

At the bottom right, there are four buttons: Save, Continue, Cancel, and Memo.

Así mismo, cada sistema es subdividido jerárquicamente en sub-sistemas, elementos y componentes hasta lograr cubrir el 100% del equipo y no dejar ningún cabo suelto.

### 1.7.2 Introducción de Funciones

En la pantalla principal se presiona Adding Function donde aparecerá la siguiente pantalla en la que se introducen las funciones del hardware y/o sistema.

## Ilustración 21 - Introducción de Funciones

Function - MP3301C - 02

Item ID: MP3301C

Function ID: 02

Function Description: [empty]

Functional Significance Determination

	Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input 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: [empty]

Analyst: VERGARA, JOHN

Status: In process

Approved by: [empty]

Reviewed by: [empty]

Print Save Continue Cancel Memo

### 1.7.3 Introducción de las Fallas de Función

Seguidamente, después de haber introducido una función se activará en la ventana principal el botón Adding Function Failure será habilitado y de esta forma diligenciar el formulario de cada falla de función. El formulario comprende el ID de la función, descripción de la falla y posibles formas de evitar que la falla afecte el sistema.

## Ilustración 22 - Introducción de Falla de Función.

Functional Failure - MP3301C - 02A

Item ID: MP3301C

Function ID: 02

Function Description:

Functional Failure ID:

Functional Failure Description:

Compensating Provisions:

Effectivity:

Analyst: VERGARA, JOHN

Status: In process

Approved by:

Reviewed by:

Save Continue Cancel Memo

### 1.7.4 Introducción de los Modos de Falla

La siguiente gráfica evidencia la ventana dispuesta para la consignación de los datos que comprende cada modo de falla de cada una de las fallas de función. Un indicador de modo de falla FMI consta de tres elementos: Un número de la función, o sea la función asociada a este modo de falla. Una letra de falla funcional, es decir la falla funcional asociada a esta función. Un número de 2 dígitos.

Así como son consignados los modos de falla, también se describe la forma de detectarlos y las tareas de mantenimiento asociadas, ya sea mantenimiento preventivo, tareas de lubricación o mantenimiento según la condición encontrada. El valor asociado a cada tarea de mantenimiento se asigna y se computa según sea efectuada por el personal encargado, ya sea directo o contratado.

## Ilustración 23 - Introducción de Modo de Falla

Failure Mode - MP3301C - 01A01  
Item ID: MP3301C Motor MP3301C FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description:  
Local Effects:  
Next Higher Effects:  
End Effects:  
Detection Method:

Severity Class:  Item ID code of failed item:   
Effectivity:  Part No of failed item:  Operating Phase:   
MTBF:

**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

El proceso completo del RCM, implica Funciones principal y secundarias, fallas funcionales y modos de fallas, con luego los trabajos y tareas programadas o no de mantenimiento.

### 1.8 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

Esta primera sección deja sentadas las bases tanto del RCM como la forma de valorar el riesgo, competido por la severidad y la probabilidad de ocurrencia en los dos métodos principales en especial del iRCMS.

Se dejan sentadas las principales características del iRCMS, tanto con instrucciones del set up, como de cada una de las pestañas a que se refiere el programa en sus inicios.

## 2 CARACTERIZACIÓN

### 2.1 OBJETIVO 2

Describir los sistemas, subsistemas y componentes de un motor del SBC a partir de su caracterización técnica. Nivel 2 - Comprender.

### 2.2 SISTEMA BOMBAS

La casa de bombas donde está ubicada la MP3301C posee tres sistemas de bombeo similares, de los cuales siempre y cuando se vende producto a los botes del rio trabajaran dos moto-bombas y queda una en espera, por lo que en teoría siempre hay una de respaldo, de esta manera se garantiza la confiabilidad en la entrega del producto.

Ilustración 24 - Casa de Bombas



Este caso particular considera como análisis para implementar la metodología RCM por medio de la herramienta informática iRCMS el Motor del sistema moto-bomba identificado con el TAG: MP3301C.

Ilustración 25 - Motor del Sistema MP3301C



En la ilustración anterior se observa el motor de 380Hp General Electric<sup>5</sup> que mueve la bomba. El motor posee un sistema de lubricación con anillos de chispoteo y es monitoreado por un controlador de la misma marca y cuyo modelo es Multilin<sup>6</sup> que vigila la temperatura de las chumaceras y devanados, así como el consumo de corriente en cada una de las fases.

<sup>5</sup> General Electric: también conocido como GE, es una multinacional de infraestructura, diseño y venta de dispositivos y maquinaria eléctrica, servicios financieros, medios de comunicación altamente diversificada con origen estadounidense.

<sup>6</sup> Multilin: Dispositivo de protección y control diseñado para garantizar la operación de equipos eléctricos.



Ilustración 27 - Principales Datos del Motor

<b>DATOS TECNICOS DEL MOTOR</b>	
Modelo	5K82114C247 01
Serial No	ZKH282001921
Peso Total	4900gr
Dirección de Giro	CCW
Fuerza	350HP
Velocidad	1780RPM
Corriente	311 <sup>a</sup>
Voltaje	6000V
Temperatura Ambiente	40°C Max -18°C min
Temperatura Estator	80°C Max
Tipo de Sensor de Temperatura	Termocupla tipo K
Lubricación	Aceite
Lubricante	150 SSU AT 100°F

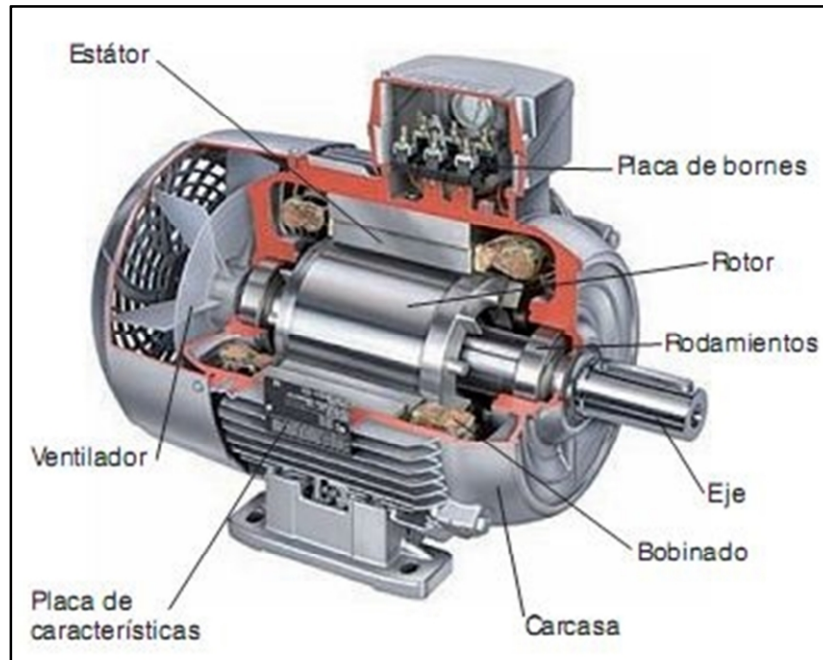
## 2.4 PARTES DEL MOTOR ELECTRICO

El motor eléctrico en su forma más simple es una maquina rotativa que consta de una parte fija llamada estator y una móvil llamada rotor, donde para poder rotar se generan campos electromagnéticos haciendo circular una corriente eléctrica atreves de los bobinados de la parte móvil y de la fija y por medio de este fenómeno el motor gira (Barlow, y otros, 1996) (RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques, 1996) (González, 2004).

El eje es soportado por chumaceras o rodamientos de bolas, según sea el caso. El eje en uno de sus extremos posee un mecanismo para ser acoplado al sistema al

cual le va a transmitir su energía mecánica y en el otro generalmente se le dispone un ventilador encargado de la refrigeración del motor.

Ilustración 28 - Partes de un Motor un Motor Eléctrico Estándar



(Motoreléctrico@, 2016)

## 2.5 PARTES DEL SISTEMA MOTOR ELECTRICO MP3301C

El estator en su estructura interna dispone los bobinados encargados de producir parte del electromagnetismo necesario para hacer rotar el eje del motor, para cada uno de estos arrollados existe un elemento sensor de tipo RTD con el que se monitorearan los cambios de temperatura internamente. Una serie de laberintos al interior de la carcasa guían el flujo de aire para la refrigeración del motor.

El rotor es la parte móvil del motor, posee bobinados necesarios para generar el electromagnetismo complementario para hacer girar el eje. En un extremo del mismo se dispone el mecanismo adecuado para transmitir la energía mecánica a la bomba, y en el otro extremo se instala un ventilador encargado de suministrar el

aire de enfriamiento al motor (Trends and perspectives in industrial Maintenance management, 1997) (Thompson, 1980) (Tavares, y otros, 2007) (Hiatt, 2000).

Ilustración 29 - Estator



El sistema de enfriamiento lo conforma un ventilador que produce un flujo de aire de tiro inducido que empieza pasando por un filtro ubicado en la entrada del ducto de ventilación y luego se distribuye por todos laberintos en la carcasa del motor (IMM@, 2016) (Barringer@, 2005) (Management aspects of Terotechnology – Conference de la British Steel Corporation, 1975) (Hiatt, 2000).

Ilustración 30 - Rotor



Ilustración 31 - Ventilador del Sistema de Enfriamiento



Ilustración 32 - Caja de Circulación de Aire



Las conexiones de este motor se disponen en dos cajas así: una para las borneras de potencia y la otra para los sensores que monitorean la temperatura de los bobinados y de las chumaceras (Bazovsky, 2004) (Bleazard, y otros, 1998) (Yamashina, 1995).

Ilustración 33 - Caja de Conexión de la Alimentación



Ilustración 34 - Caja de Conexiones del Sistema de Monitoreo de Temperatura



El juego de chumaceras de casquete solido recubiertas con babbitt<sup>7</sup> son lubricadas con aceite y se les está monitoreando su temperatura de manera constante por medio de sensores. En la gráfica siguiente muestra la chumacera, la caja sobre la que va dispuesta y los sellos de laberinto en teflón para evitar fugas de aceite.

Ilustración 35 - Chumaceras



Las gráficas subsecuentes detallan las disposiciones de los sensores de temperatura de las chumaceras del motor que particularmente son RTD's de tipo PT100 de tres o cuatro hilos. Generalmente se instalan dos sensores por cada punto de medición con tal de tener uno de respaldo en caso de avería del primero o si se quiere confrontar la medición.

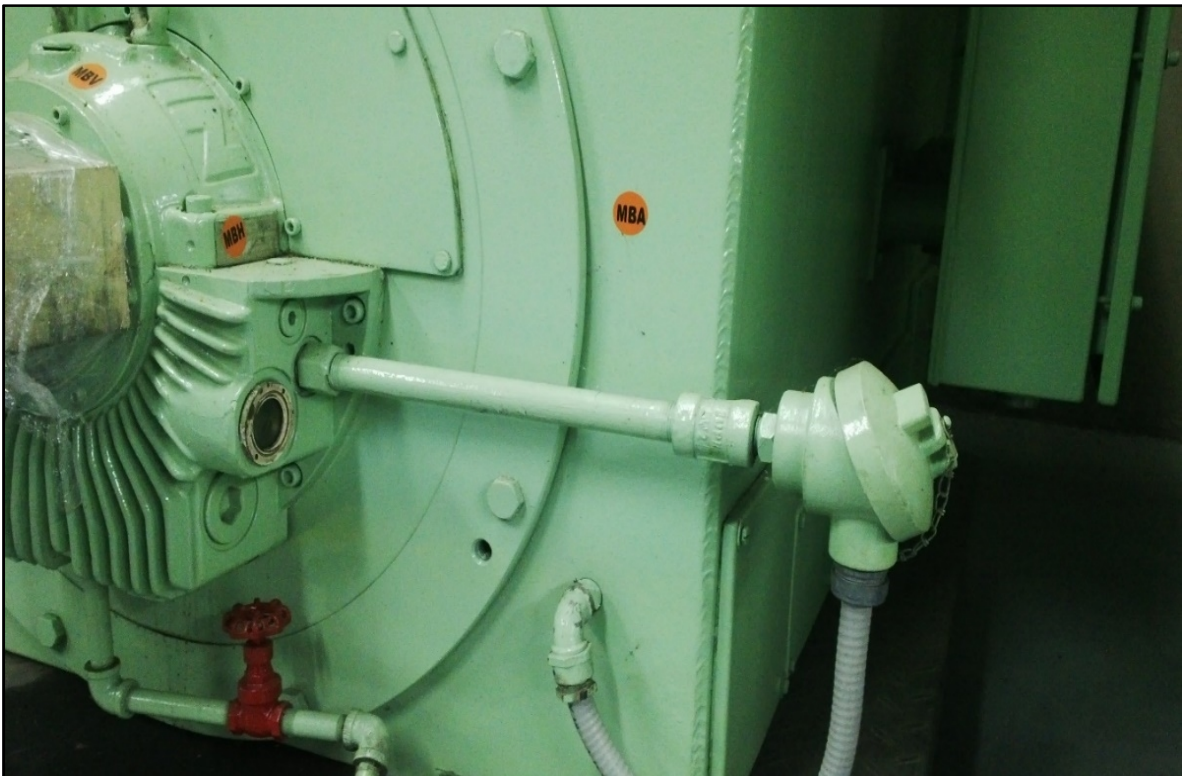
---

<sup>7</sup> Babbitt: aleación que se dispone recubriendo las chumaceras donde habrá fricción contra el eje del rotor, generalmente se compone de plomo, estaño y cobre.

Ilustración 36 - Sensores de Temperatura



Ilustración 37 - Instalación Típica de un Sensor de Temperatura en Chumacera



La lubricación de las chumaceras se realiza garantizando un nivel de aceite en la caja de cojinetes el cual es monitoreado desde el exterior por medio de un indicador de nivel de bulbo de vidrio o un ojo de buey en la carcasa (Williams, 2016) (Strategic Sourcing: To make or not To make - Fabricar o Subcontratar, 1992) (Trujillo@, 1999a).

Ilustración 38 - Lubricación de las Chumaceras



El encendido y apagado del motor puede ser efectuado desde el cuarto de control o desde un interruptor directamente dispuesto junto a la máquina. Cualquiera de

las dos opciones es seleccionada por el operador en campo mediante un switch que tiene cableadas las dos formas, automático-manual (AMEF@, 2005).

Ilustración 39 - Interruptor de encendido y Mando Automático-Manual



El desempeño y funcionamiento del motor es constantemente monitoreado por el controlador Multilin que verifica los consumos de corriente de cada uno de los

bobinados y la temperatura de los mismos, así como la temperatura de las chumaceras (Hughes@, 2008) (ESReDa-Industrial, 1998) (ESReDa, 2001).

Ilustración 40 - Control Multilin del Motor



El objetivo finalmente del sistema de motor es brindar a través de energía eléctrica una fuerza mecánica rotativa, que se transmite a una bomba centrífuga uniendo los dos ejes por medio de un acople, en este caso un acople rígido (Smith, 1992) (Sourís, 1992).

Ilustración 41 - Mecanismo de acople con la Bomba



Las diferentes representaciones manifiestan cada uno de los elementos importantes en la aplicación del RCM, a través del software iRCMS.

## 2.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

La segunda parte del proyecto describe y muestra cada una de las secciones y elementos importantes en el sistema de bombeo y donde se aplica el RCM en todas sus fases con las funciones principal, secundaria, fallas funcionales y modos de falla con cada uno de sus trabajos correspondientes de mantenimiento planeado o no.

### 3 IRCMS

#### 3.1 OBJETIVO 3

Aplicar el software IRCMS en las tareas importantes del motor del MP3301C. Nivel 3 - Aplicar.

#### 3.2 APLICACIÓN DEL SOFTWARE

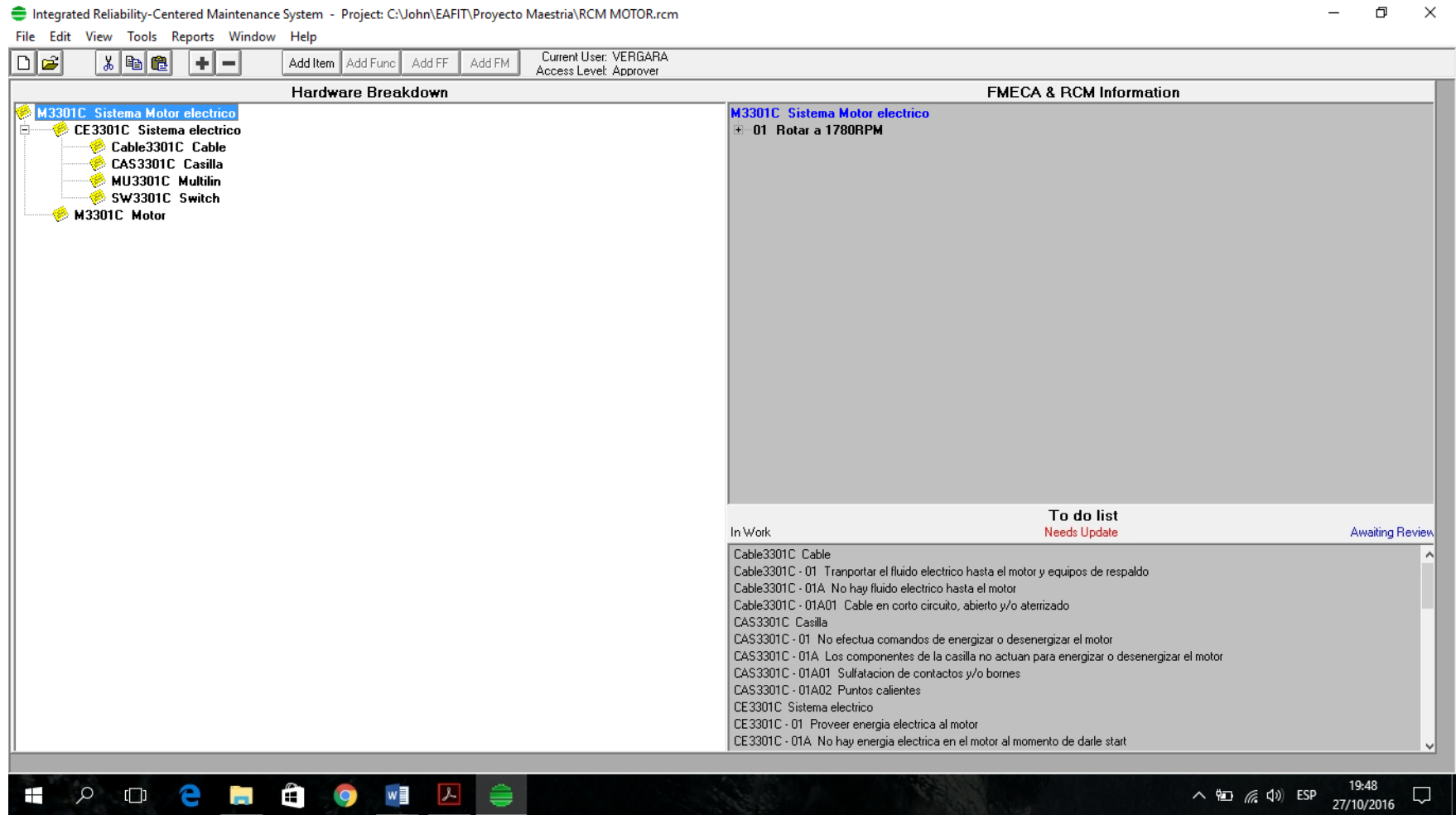
En las gráficas siguientes se ilustran el setup, la función principal, funciones secundarias, las fallas funcionales, los modos de falla y las tareas de mantenimiento que se llevaran a cabo en el sistema analizado.

Ilustración 42 - Setup

The screenshot shows the 'Setup' window with the 'Users' tab selected. The window contains the following elements:

- Navigation Tabs:** General, Default, Level of Maintenance, Publications, Packages, Operating Phases, **Users**, CF (Operating Hour/Unit), Severity Classes, Failure Frequencies, HRI Matrix.
- Select a User to Edit:** A dialog box with a table containing one user entry: VERGARA, JOHN with User ID 1.
- Access Levels:** View Only = Records cannot be edited; Analyst = View, Edit and Review Rights; Signoff = View, Edit and Admin Rights.
- Edit or Add User:** Fields for First Name (JOHN), Last Name (VERGARA), User Name (1), Password, Verify Password, Access Level (SignOff), and an Active checkbox.
- Buttons:** Help, Delete, Save, Continue, Print, Cancel.

### Ilustración 43 - Sistema Motor M3301C



## Ilustración 44 - Función Principal del Sistema Motor Eléctrico

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\John\EAFIT\Proyecto Maestria\RCM MOTOR.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Current User: VERGARA  
Access Level: Approver

Item - M3301C

Item ID: M3301C  
Item Name: Sistema Motor electrico  
Item Description: Sistema motor electrico asociado a la P3301C

Item ID Code: Number of Items in operation: 1  
Part Number: Item Design Life: 48000 F - Flight Hours  
Alternate Application: Status: In process  
Effectivity: Motor electrico, casilla, multilin, switches

Analyst: VERGARA, JOHN  
Approved by:  
Reviewed by:

Save Continue Cancel Memo

**FMECA & RCM Information**

M3301C Sistema Motor electrico  
01 Rotar a 1780RPM  
A El motor no rota a 1780RMP  
01 El motor no rota

Function - M3301C - 01

Item ID: M3301C  
Function ID: 01  
Function Description: Rotar a 1780RPM

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: Motor electrico  
Analyst: VERGARA, JOHN Status: In process  
Approved by:  
Reviewed by:

Print Save Continue Cancel Memo

Pa... 21:16 27/10/2016

## Ilustración 45 - Falla y Modo de Falla de la Función Principal

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\John\EAFIT\Proyecto Maestria\RCM MOTOR.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Current User: VERGARA  
Access Level: Approver

**Functional Failure - M3301C - 01A**

Item ID: M3301C

Function ID: 01

Function Description: Rotar a 1780RPM

Functional Failure ID: A

Functional Failure Description: El motor no rota a 1780RMP

Compensating Provisions: Verificar que la casilla esta energizada y en linea-si no hay respuesta poner en servicio la moto bomba de respaldo.

Effectivity:

Analyst: VERGARA, JOHN      Status: In process

Approved by:

Reviewed by:

**Failure Mode - M3301C - 01A01**

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

Failure Mode Description:  
El motor no rota

Local Effects:  
No hay movimiento de giro en el eje del rotor del motor que se pueda transferir al sistema de bombeo P3301C

Next Higher Effects:  
No hay bombeo de combustoleo a los botes del rio

End Effects:  
Se para la venta de combustoleo

Detection Method:  
Alarma por falta de flujo de combustoleo en el medido de salida de la bomba.

Severity Class: 2 - Critical      Item ID code of failed item: M3301C

Effectivity: Sistema Motor, sistema electrico      Part No of failed item:       Operating Phase: Phase I

MTBF: 48000      F - Flight Hours

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: 21:58 27/10/2016

Ilustración 46 - Tarea de Mantenimiento de la Función Principal

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

Task ID:  #

Task Description:  
 Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite

Preliminary Task Interval:  D - Days  
 Preliminary LOM:   
 Packaged Task Interval:  D - Days  
 Packaged LOM:

Task Man Hours:   
 Task Material Cost:   
 Non Recurring Cost:   
 Elapsed Maintenance Time:  (hours)

Cost of One Service/Lube Task:  
 Preliminary:  -->   
 Packaged:  -->

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 47 - 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
Critical	2A	2B	2C	2D	2E	MEDIUM
Major	3A	3B	3C	3D	3E	LOW
Minor	4A	4B	4C	4D	4E	ACCEPTABLE

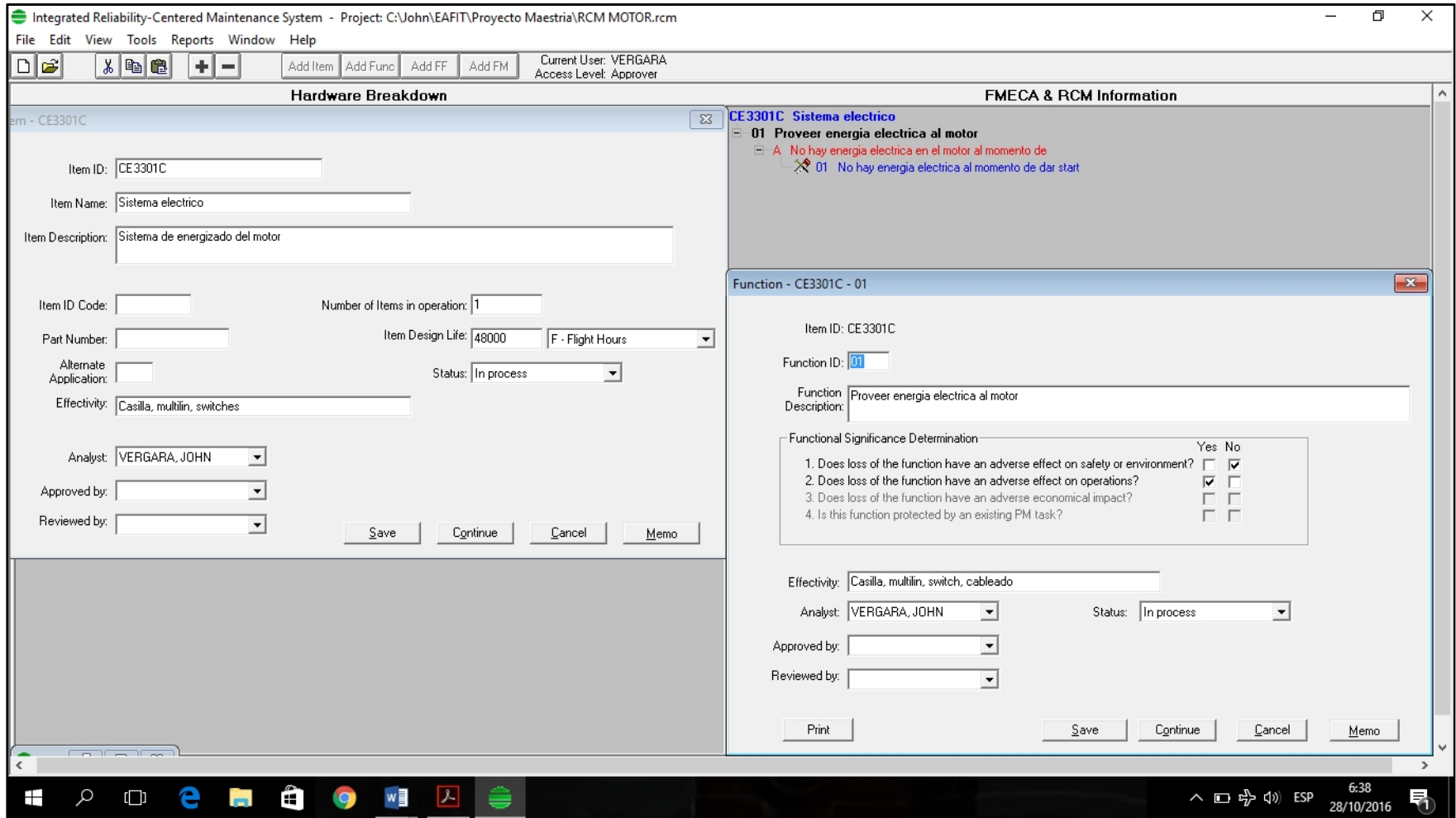
HRI Matrix Controls

Unmitigated  
 MTBF:  Severity Class:

Mitigated  
 MTBF:  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 48 - Función Principal del Subdivisión Sistema Eléctrico



### Ilustración 49 - Falla y Modo de Falla de la Función Principal Sistema Eléctrico

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\John\EAFIT\Proyecto Maestria\RCM MOTOR.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Current User: VERGARA  
Access Level: Approver

**Functional Failure - CE3301C - 01A**

Item ID: CE3301C

Function ID: 01

Function Description: Proveer energia electrica al motor

Functional Failure ID: A

Functional Failure Description: No hay energia electrica en el motor al momento de darle start

Compensating Provisions: Verificar que no hay SAES, verificar que no hay forces en la casilla.

Effectivity: Multilin, casilla, switch

Analyst: VERGARA, JOHN      Status: In process

Approved by:

Reviewed by:

Save Continue Cancel

**Failure Mode - CE3301C - 01A01**

Item ID: CE3301C Sistema electrico      FMI: 01 - A - 01      Rev:

Failure Mode Description: No hay energia electrica al momento de dar start

Local Effects: El motor no rota

Next Higher Effects: La bomba no rota

End Effects: No hay bombeo de combustoleo

Detection Method: Visual

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

Effectivity: Motor      Part No of failed item:

Operating Phase: Phase I

MTBF: 5 Y - 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: 6:53 28/10/2016

## Ilustración 50 - Tarea de Mantenimiento del Sistema Eléctrico

Failure Mode - CE3301C - 01A01  
 Item ID: CE3301C Sistema electrico FMI: 01 - A - 01 Rev:

Other Action  
 Task ID: 0015 #  
 Description:  
 Verificar fuerzas digitales del arranque del motor en la cabina, en el multilin y en el DCS  
 Total Cost: 50.000,00 € Total Elapsed Maintenance Time: 5 (hours) Task Accepted

No PM  
 MTBF: 5 Y - Years Average Repair Cost: Total Elapsed Maintenance Time: (hours)

Life Cycle Costs  
 System Life Remaining: 90000 Stored Value: 90000 Calculated Value: LCC after RCM/update: Missing Data ?  
 LCC before RCM/update: Analysis Cost: LCC Savings:

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

### 3.2.1 Riesgo es Severidad por Ocurrencia en el IRCMS-ALADON

## Ilustración 51 - Valoración del Riesgo

Failure Mode - CE3301C - 01A01  
 Item ID: CE3301C Sistema electrico FMI: 01 - A - 01 Rev:

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

HRI Matrix Controls  
 Unmitigated MTBF: 5 Years Severity Class: 2 - Critical Mitigated MTBF: Severity Class:

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

### Desarrollo temático RCM

**Probabilidad de Ocurrencia**

La ocurrencia es cuantitativa

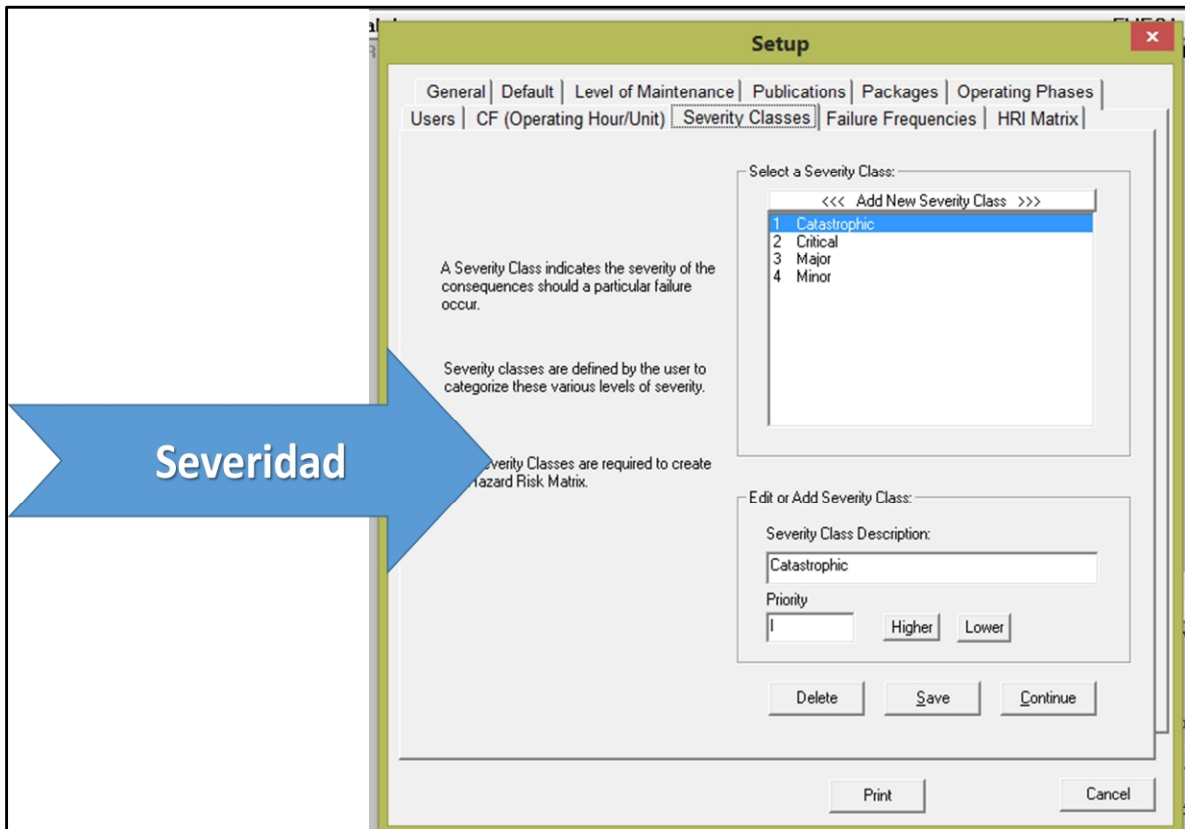
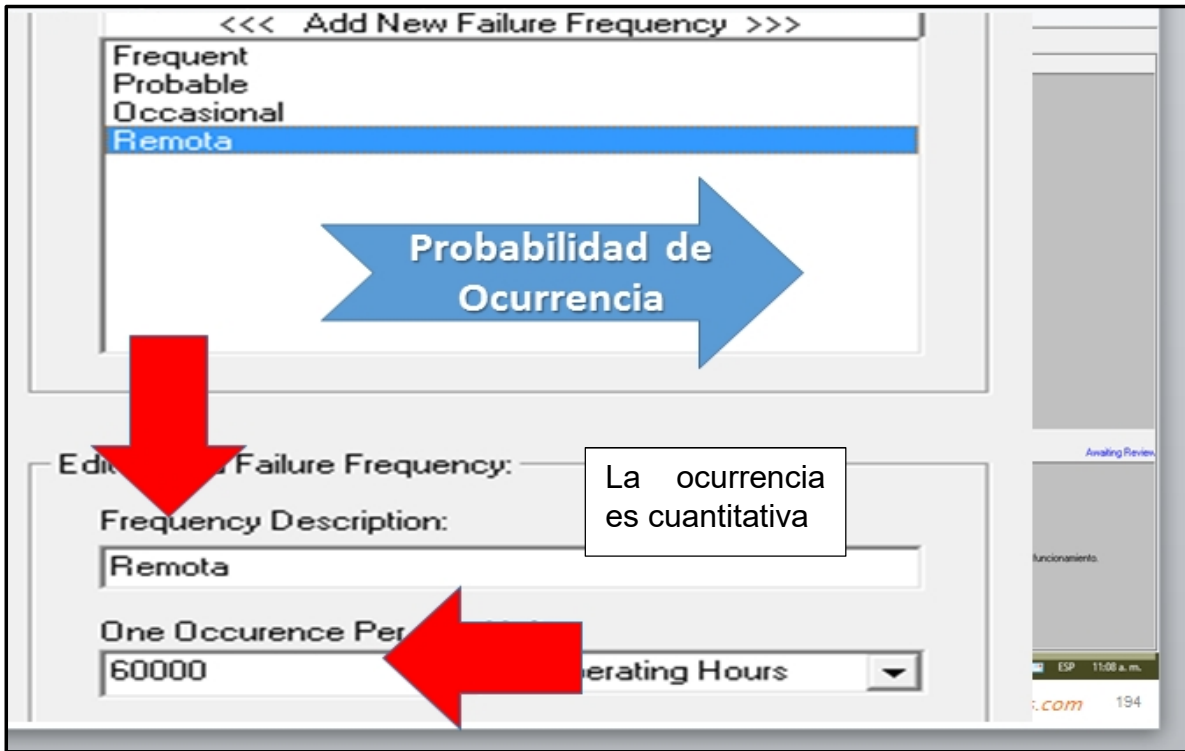
### Desarrollo temático RCM

**Probabilidad de Ocurrencia**

La ocurrencia es cuantitativa

**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

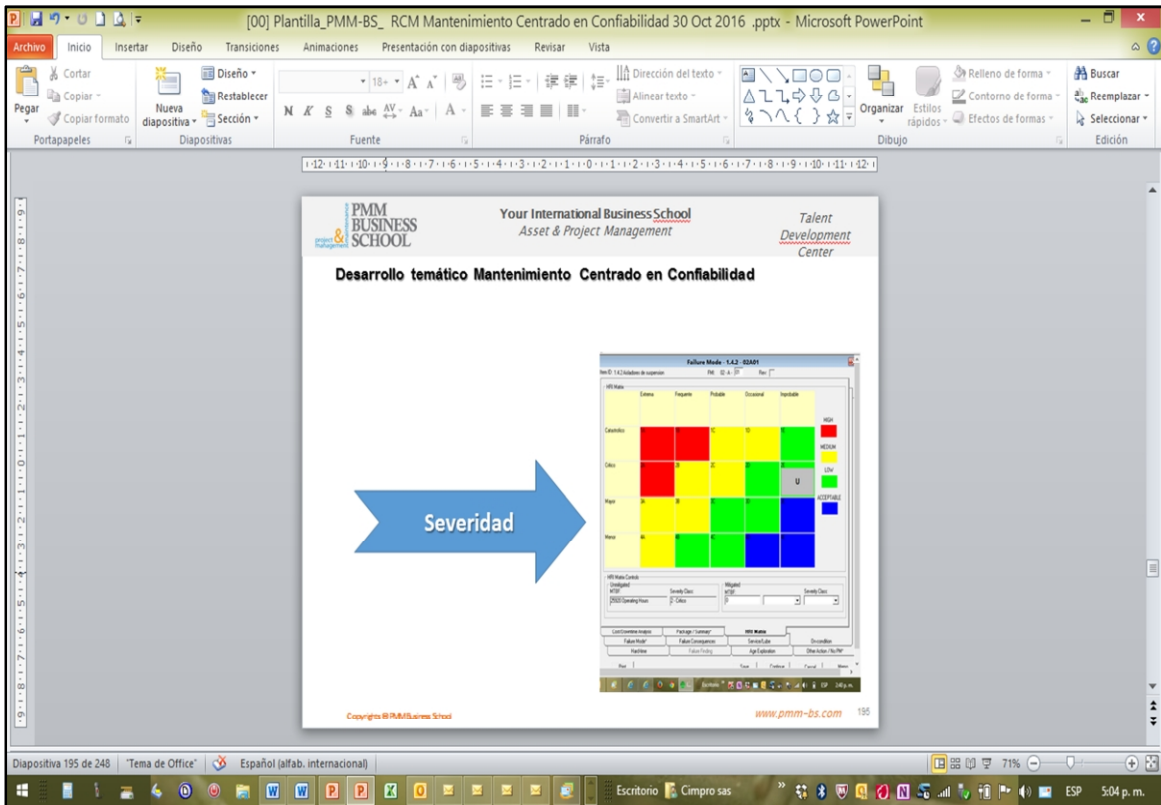
Publications | Packages | Operating Phases |  
 Classes | Failure Frequencies | HRI Matrix |

Severidad

<<< Add New Severity Class >>>

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

**Es cualitativa la Severidad en software i RCM**



### 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. MDT-0001 Motor Electrico
- B. CACD-0001 Compuerta de aire caliente
- B. DUCD-0001 Ducto de descarga del ventilador

Item retreat

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

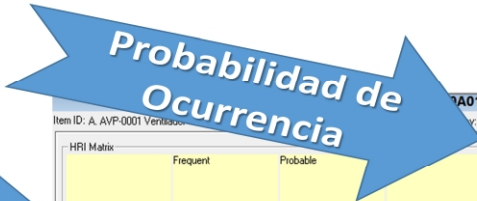
Print Cancel

To do list  
Needs Update Awaiting Review

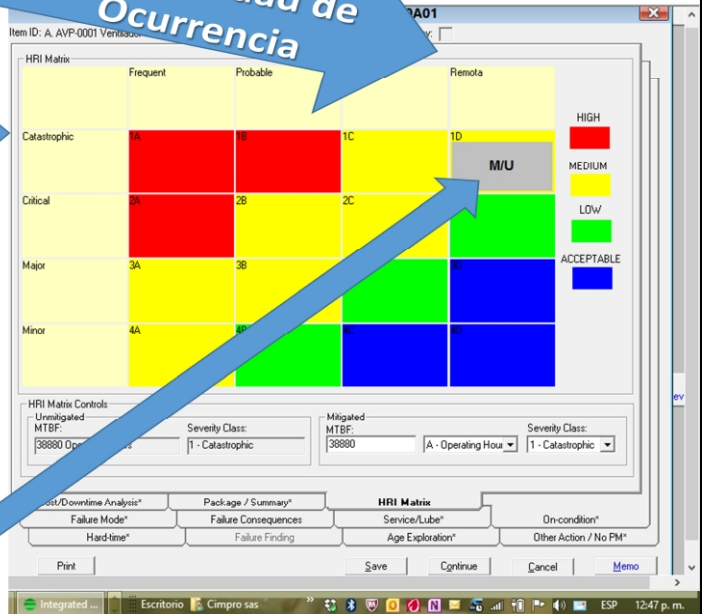
WARID  
rotos del eje del ventilador

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

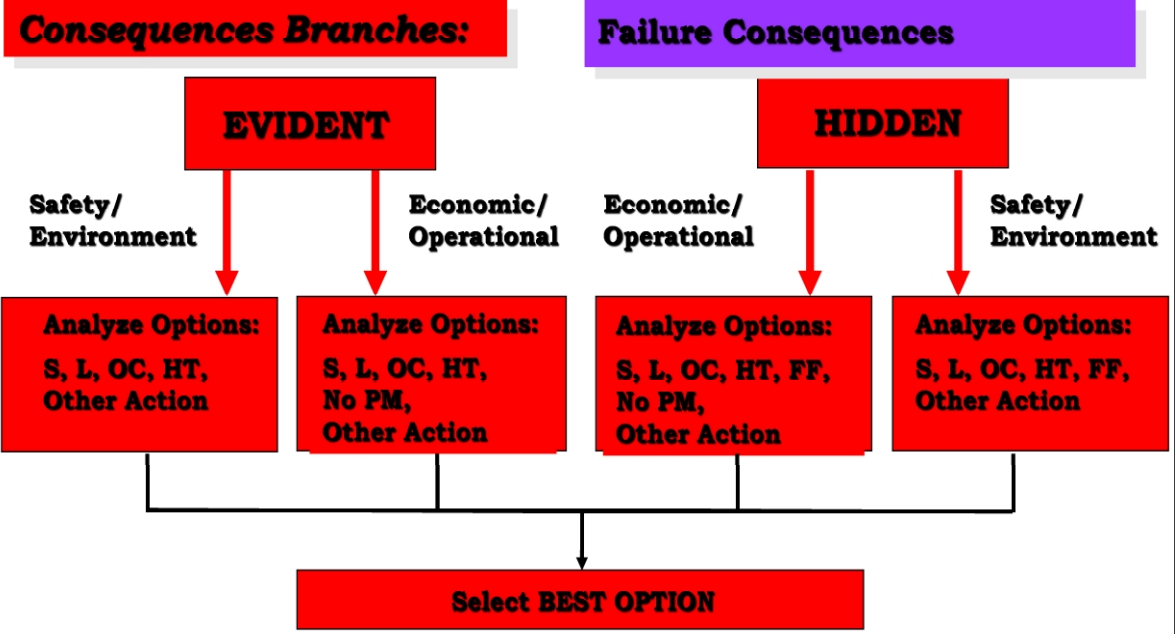
**Severidad es catastrófica**



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

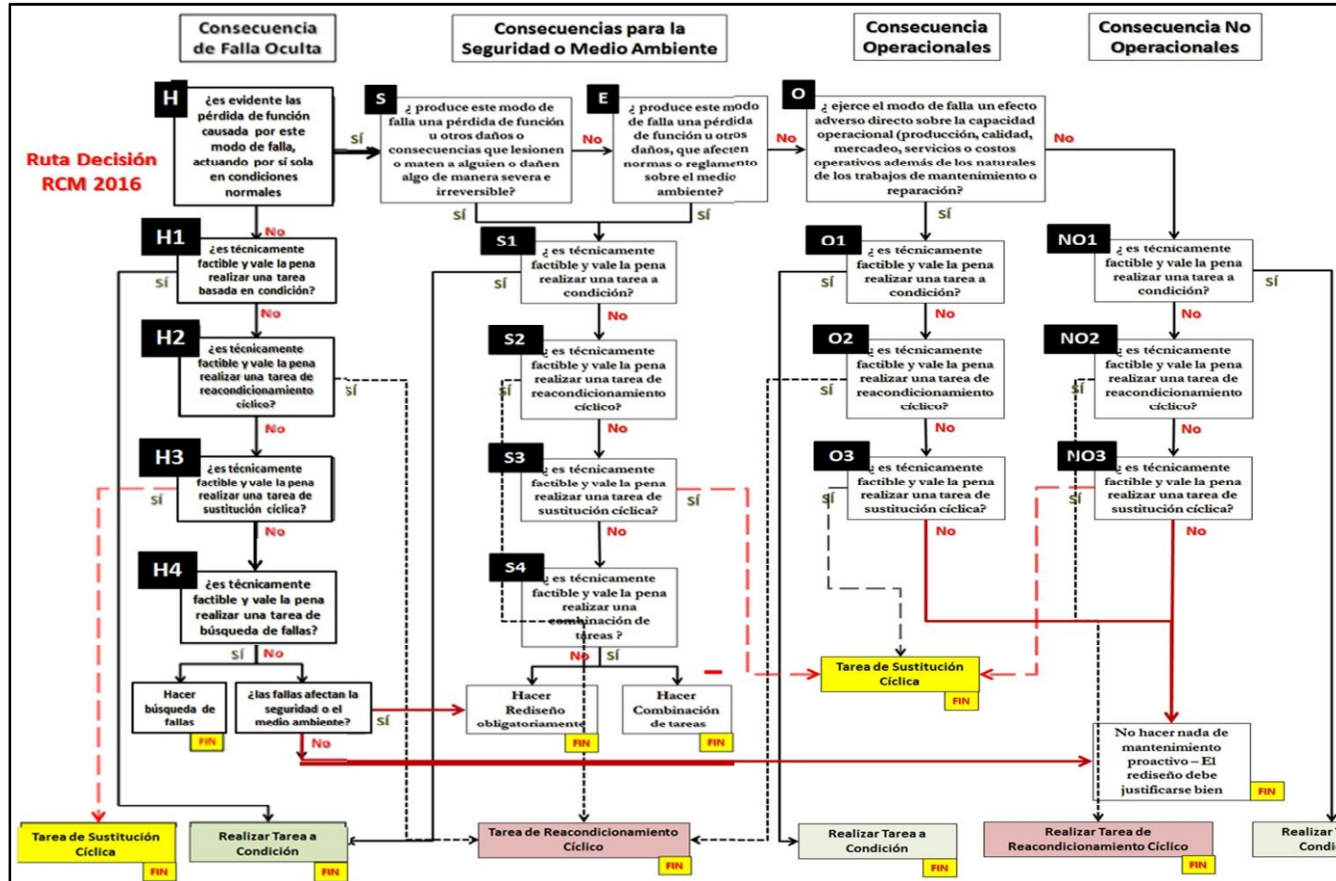


# RCM DECISION LOGIC

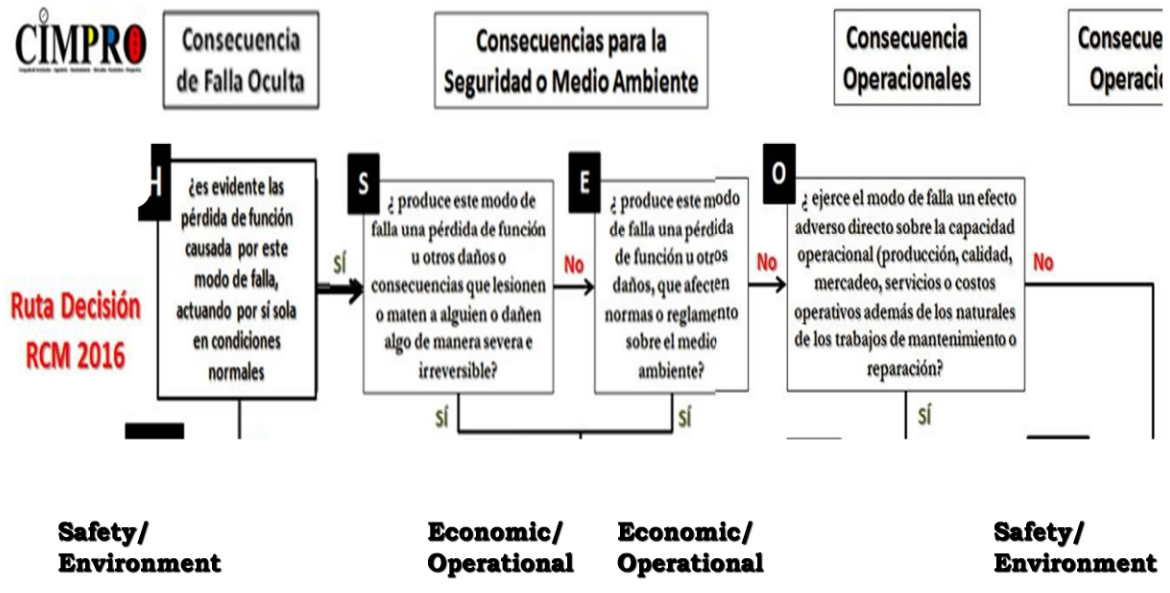


### 3.2.2 Toma de Decisiones

Ilustración 52 - 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

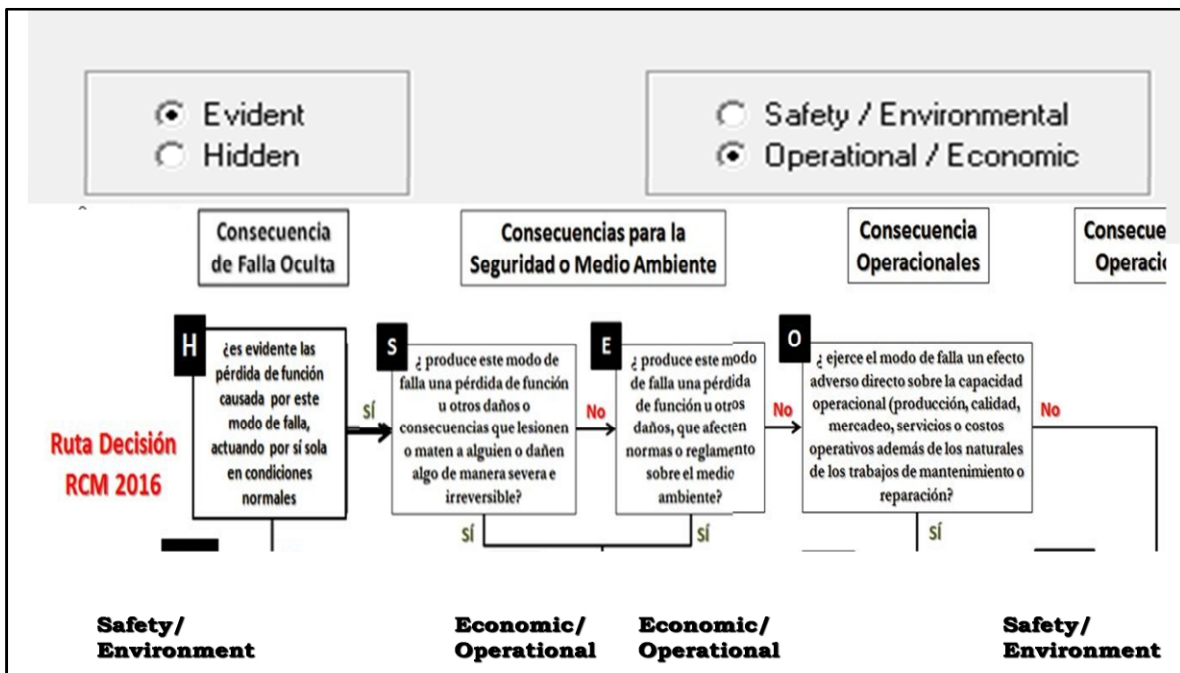
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment? No  
 2. Does loss of the function have an adverse effect on operations? Yes  
 3. Does loss of the function have an adverse economical impact? n/a  
 4. Is this function protected by an existing PM task? n/a

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

Evident  Hidden  Safety / Environmental  Operational / Economic

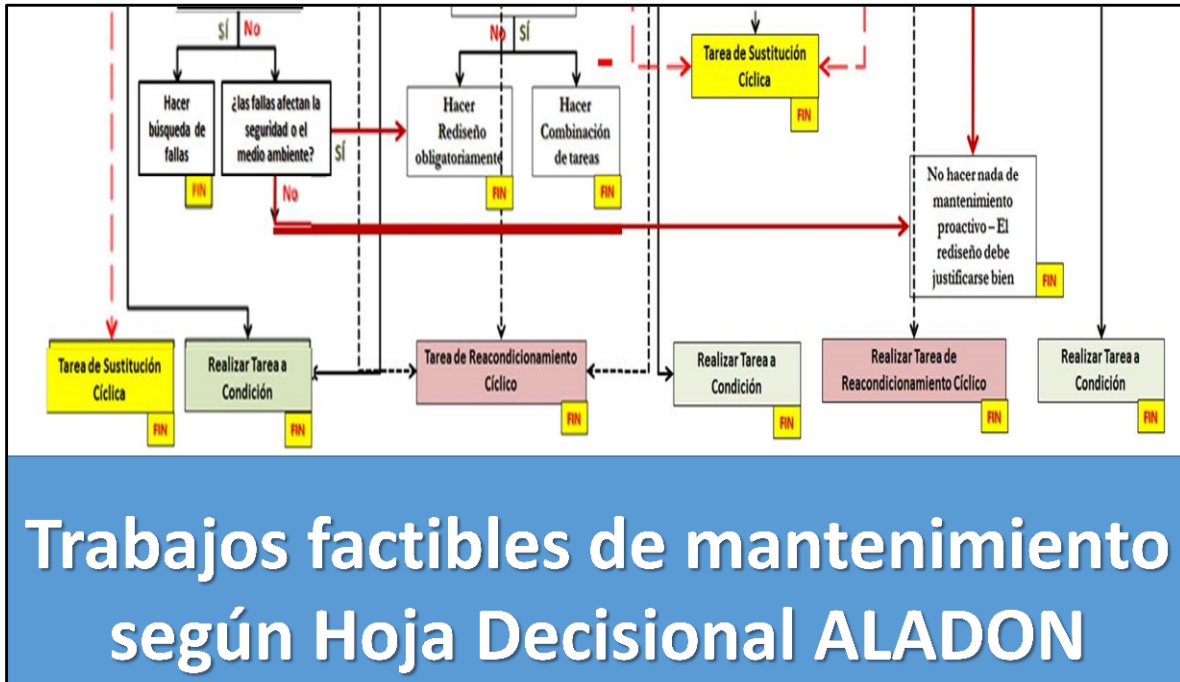
Failure Mode*	<b>Failure Consequences</b>	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM*
Cost/Downtime Analysis*	Package / Summary*	HRI Matrix	

Print Save Continue Cancel Memo



### 3.2.3 Tareas que acepta el iRCM de Mantenimiento

Ilustración 53 - Hoja Decisional ALADON



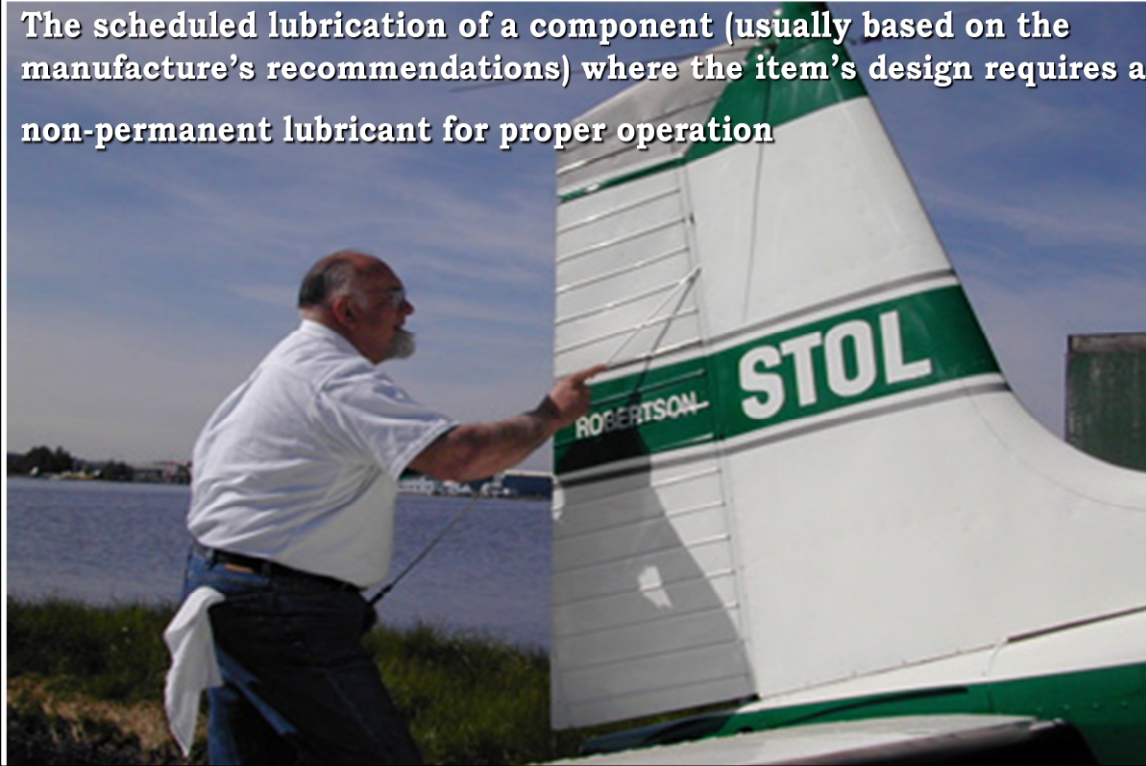
## RCM DECISION LOGIC



**Lubrication:**

**Task Evaluation**

The scheduled lubrication of a component (usually based on the manufacturer'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:**

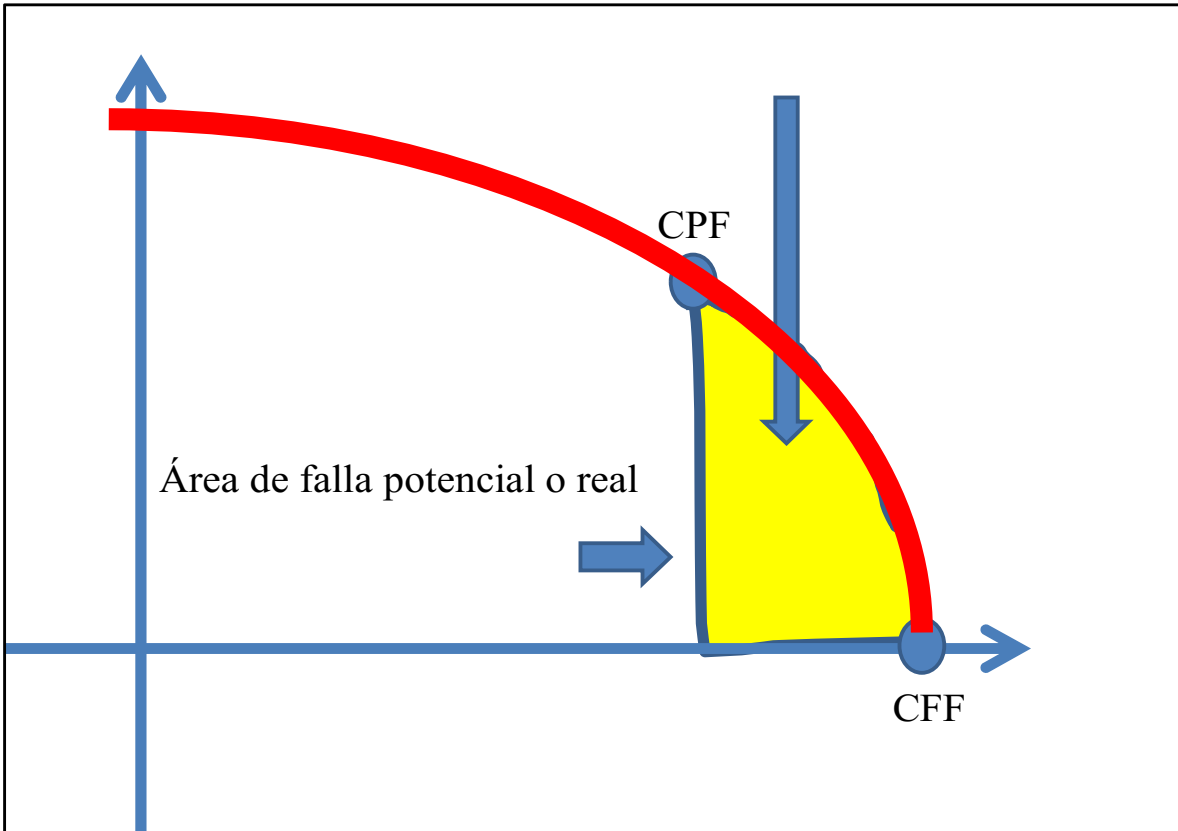
**Task Evaluation**

- **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 **Reacondimientto 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

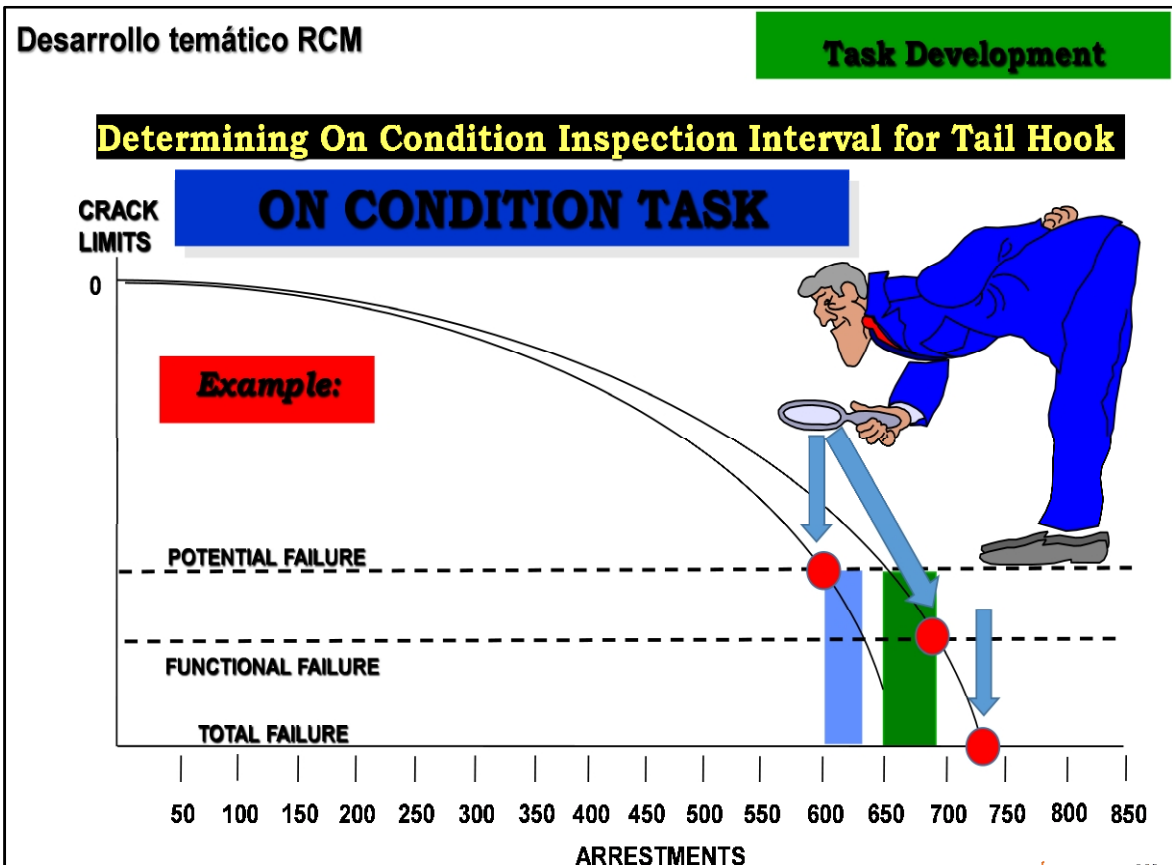
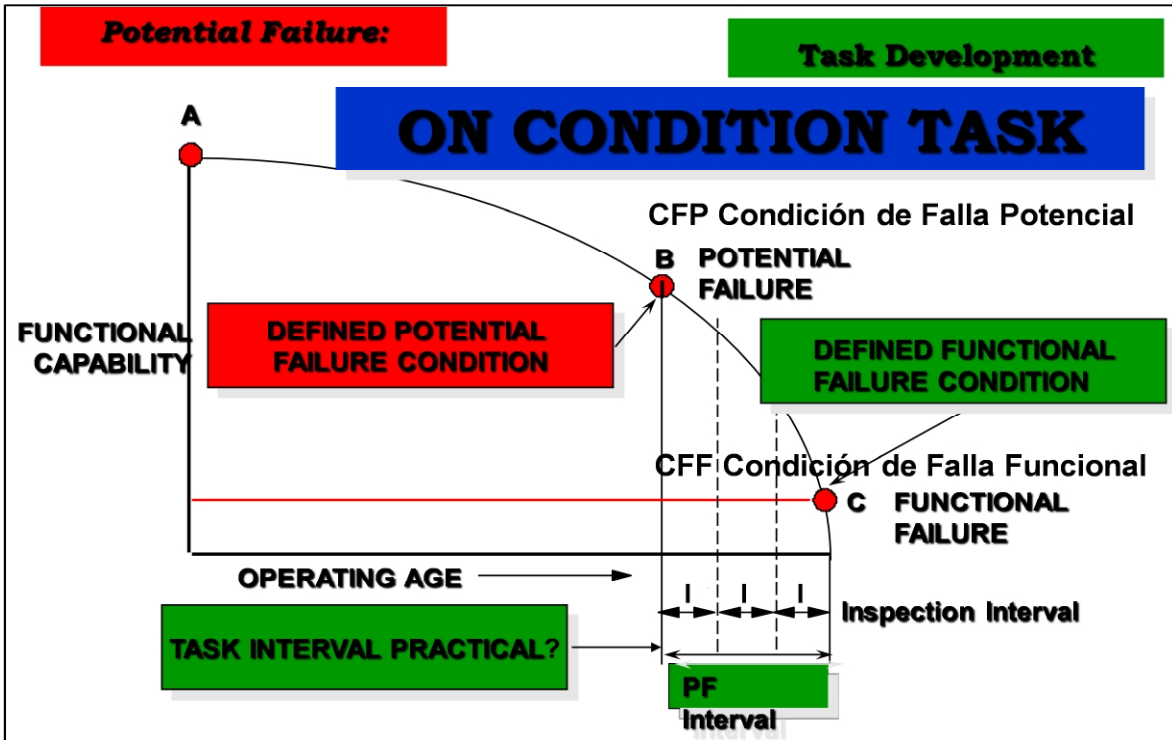
### **Other Action Warranted:**

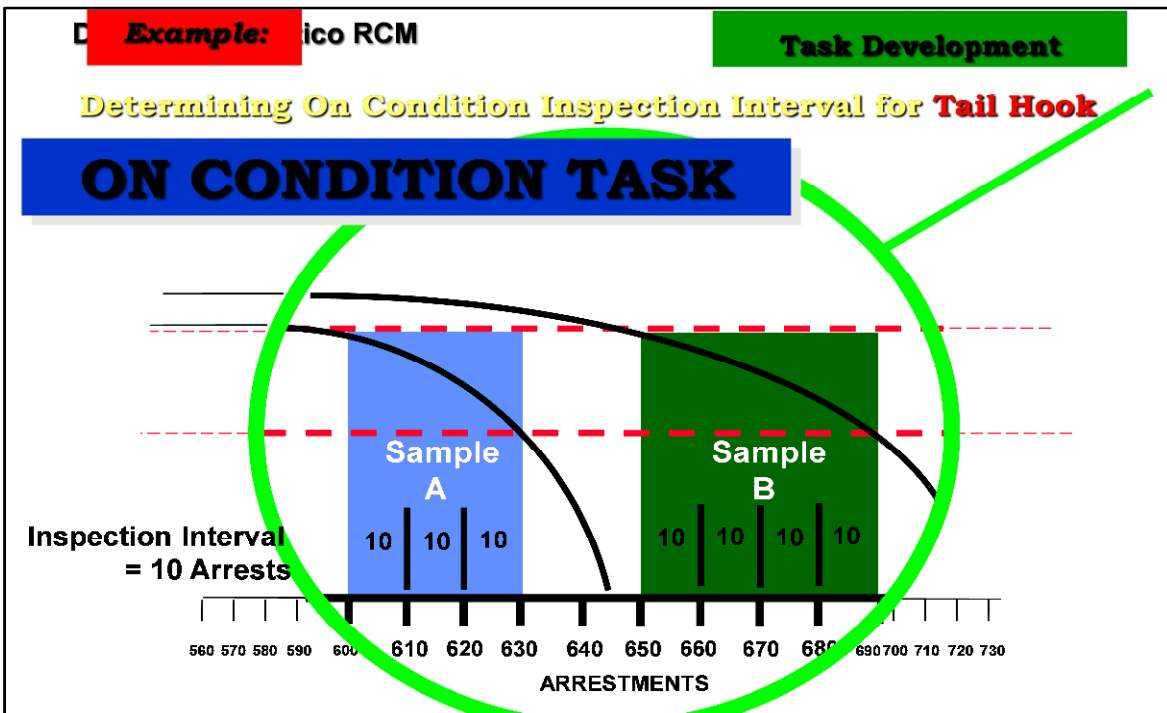
### **Task Evaluation**

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**





**Failure Mode - A. AVP-0001 - 00A01**

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

Task ID:  #

Potential Failure Condition:

Functional Failure Condition:

Potential to Functional Failure Interval:  A - Operating Hours

Task Description:

Preliminary Task Interval:  A - Operating Hours

Preliminary LOM:

Preliminary Inspection Interval:  A - Operating Hours

Packaged Initial Inspection:  A - Operating Hours

MTBCA:  A - Operating Hours

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

Inspection Manhours:

Inspection Material Cost:

Non Recurring Cost:

Inspect EMT:  (hours)

Average Repair Cost:

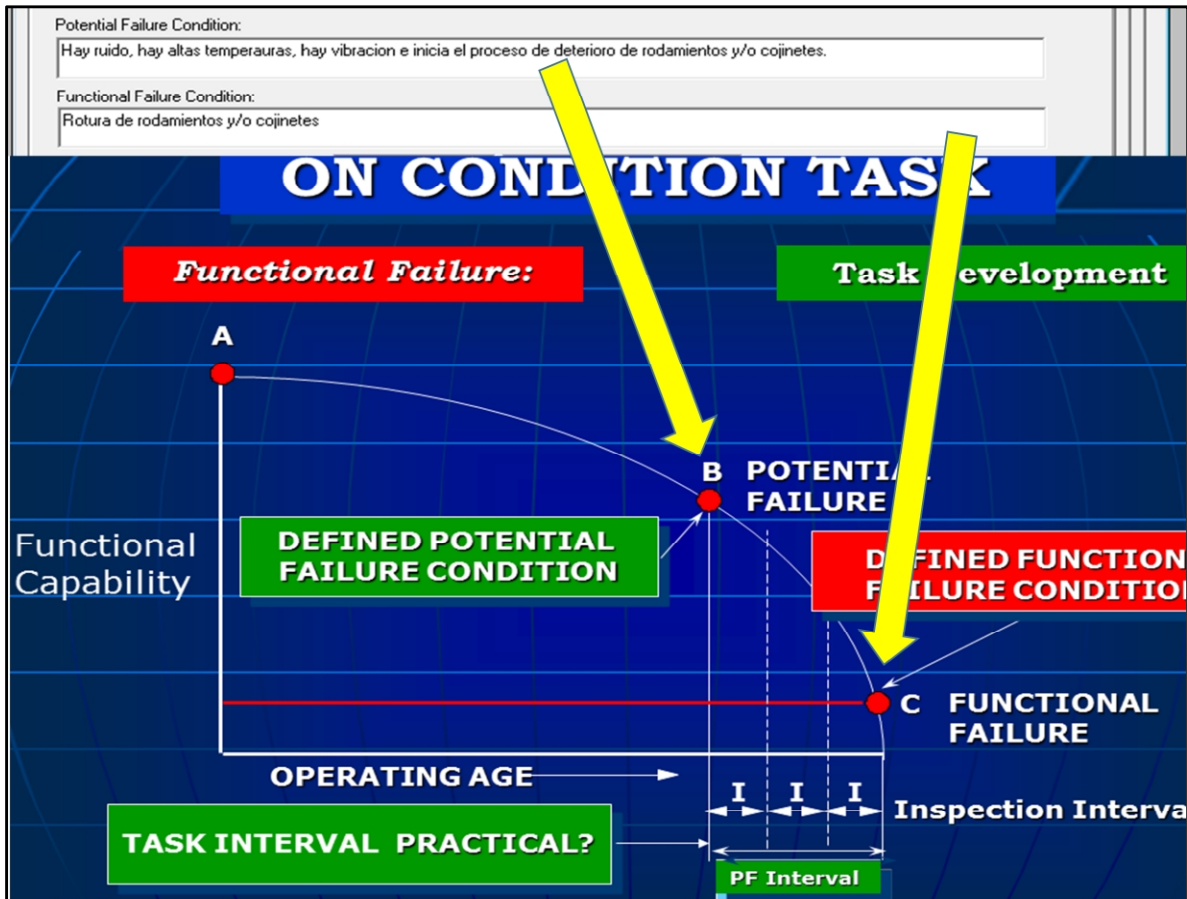
Average Repair EMT:  (hours)

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

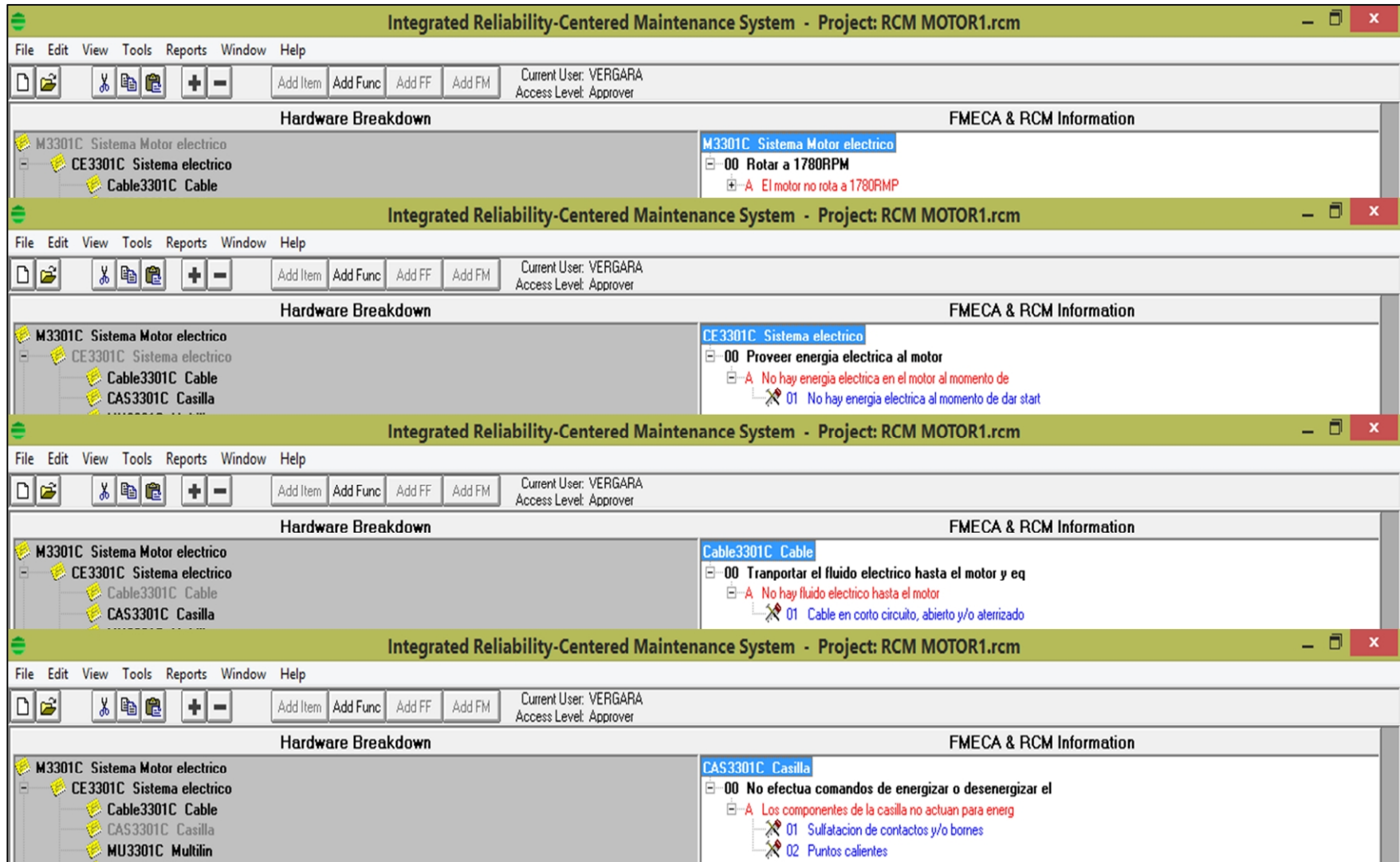


### 3.2.4 Desarrollo de las Funciones - Fallas y Modos de Falla

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



Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: RCM MOTOR1.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

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

**Hardware Breakdown**

- M3301C Sistema Motor electrico
  - CE3301C Sistema electrico
    - Cable3301C Cable
    - CAS3301C Casilla
    - MU3301C Multilin

**FMECA & RCM Information**

MU3301C Multilin

- 00 Controla el funcionamiento del motor
  - A El multilin no controla el arranque, paro y shutoff
    - 01 Falla en las tarjetas electronicas

---

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: RCM MOTOR1.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

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

**Hardware Breakdown**

- M3301C Sistema Motor electrico
  - CE3301C Sistema electrico
    - Cable3301C Cable
    - CAS3301C Casilla

**FMECA & RCM Information**

SW3301C Switch

- 00 Dar comando de ON-OFF al motor, y dar comando de c
  - A No da comando ON-OFF al motor.
    - 01 No hay repuesta del motor al accionamiento del swi

---

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: RCM MOTOR1.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

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

**Hardware Breakdown**

- M3301C Sistema Motor electrico
  - CE3301C Sistema electrico
    - Cable3301C Cable
    - CAS3301C Casilla
    - MU3301C Multilin
    - SW3301C Switch
    - M3301C Motor

**FMECA & RCM Information**

M3301C Motor

- 00 Mantener niveles de vibracion por debajo de 0.3inc
  - A Los niveles de vibracion estan por encima de 0.3in
    - 01 Desalineamiento del conjunto motor bomba
    - 02 Desbalanceo del rotor de motor o bomba
    - 03 Partes giratorias rozando
    - 04 Excesivo ajuste de rodamientos
    - 05 Suciedad y/u oxidacion en los rodamientos
- 01 Permanecer en buenas condiciones de presentacion-a
  - A El equipo no tiene buena presentacion (limpieza-pi
    - 01 Suciedad y Pintura del equipo deteriorada y/o mal
- 02 Facilitar labores de desmontaje de macanismos y co
  - A No existe mecanismos para realizar las labores de
    - 01 Ausencia o mal funcionamiento de mecanismos para d
- 03 Mantener la temperatura de los rodamientos dentro
  - A Aumento excesivo de la temperatura de los rodamien
    - 01 Ausencia de pelicula lubricante entre los rodamie
    - 02 Obstruccion o taponamiento de los filtros de los d
- 04 Garantizar la lubricacion del equipo segun indicad
  - A No hay nivel adecuado de aceite lubricante en los
    - 01 Caja de rodamientos con fuga de aceite

**To do list**

In Work Needs Update Awaiting Review

- Cable3301C Cable
- Cable3301C - 00 Transportar el fluido electrico hasta el motor y equipos de respaldo
- Cable3301C - 00A No hay fluido electrico hasta el motor
- Cable3301C - 00A01 Cable en corto circuito, abierto y/o aterrizado
- CAS3301C Casilla
- CAS3301C - 00 No efectua comandos de energizar o desenergizar el motor
- CAS3301C - 00A Los componentes de la casilla no actuan para energizar o desenergizar el motor
- CAS3301C - 00A01 Sulfatacion de contactos y/o bornes
- CAS3301C - 00A02 Puntos calientes
- CE3301C Sistema electrico
- CE3301C - 00 Proveer energia electrica al motor
- CE3301C - 00A No hay energia electrica en el motor al momento de darle start

Escritorio Cimpro sas ESP 2:47 p. m.

## Ilustración 55 - Función de la Subdivisión Motor

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\John\EAFIT\Proyecto Maestria\RCM MOTOR.rcm

File Edit View Tools Reports Window Help

Current User: VERGARA  
Access Level: Approver

Item - M3301C

Item ID: M3301C  
Item Name: Motor  
Item Description: Motor 6000V 350HP  
Item ID Code:  Number of Items in operation: 1  
Part Number: 5K82114C24701 Item Design Life: 48000 F - Flight Hours  
Alternate Application:  Status: In process  
Effectivity: Motor, lubricacion, monitoreo  
Analyst: VERGARA, JOHN  
Approved by:   
Reviewed by:

Save Continue Cancel Memo

**FMECA & RCM Information**

**M3301C Motor**

- 01 **Mantener niveles de vibracion por debajo de 0.3inc**
  - A Los niveles de vibracion estan por encima de 0.3inc
    - ✖ 01 Desalineamiento del conjunto motor bomba
    - ✖ 02 Desbalanceo del rotor de motor o bomba
    - ✖ 03 Partes giratorias rozando
    - ✖ 04 Excesivo ajuste de rodamientos
    - ✖ 05 Suciedad y/u oxidacion en los rodamientos
- 02 **Permanecer en buenas condiciones de presentacion-a**
  - A El equipo no tiene buena presentacion (limpieza-pi
    - ✖ 01 Suciedad y Pintura del equipo deteriorada y/o mal
- 03 **Facilitar labores de desmontaje de macanismos y co**
  - A No existe mecanismos para realizar las labores de
    - ✖ 01 Ausencia o mal funcionamiento de mecanismos para d
- 04 **Mantener la temperatura de los rodamientos dentro**
  - A Aumento excesivo de la temperatura de los rodamien
    - ✖ 01 Ausencia de pelicula lubricante entre los rodamie
    - ✖ 02 Obstruccion o taponamiento de los filtros de los d
- 05 **Garantizar la lubricacion del equipo segun indicad**
  - A No hay nivel adecuado de aceite lubricante en los
    - ✖ 01 Caja de rodamientos con fuga de aceite

**To do list**  
Needs Update Awaiting Review

In Work

Cable3301C Cable  
Cable3301C - 01 Transportar el fluido electrico hasta el motor y equipos de respaldo  
Cable3301C - 01A No hay fluido electrico hasta el motor  
Cable3301C - 01A01 Cable en corto circuito, abierto y/o aterrizado  
CAS3301C Casilla  
CAS3301C - 01 No efectua comandos de energizar o desenergizar el motor  
CAS3301C - 01A Los componentes de la casilla no actuan para energizar o desenergizar el motor  
CAS3301C - 01A01 Sulfatacion de contactos y/o bornes  
CAS3301C - 01A02 Puntos calientes  
CE3301C Sistema electrico  
CE3301C - 01 Proveer energia electrica al motor  
CE3301C - 01A No hay energia electrica en el motor al momento de darle start

19:32  
28/10/2016

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 MOTOR.rcm creado usando el software IRCMS.

Ilustración 56 - Logo-Enlace hacia la Aplicacion



[RCM MOTOR.rcm](#)

### 3.3 REPORTE FMECA

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

Ilustración 57 - Reporte FMECA página 1 de 7

FMECA Report													<i>IRCMS</i>	
Print Date: 28/10/2016														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
Cables 301C	Cable	01	Transportar el fluido electrico hasta el motor y equipos de respaldo	A	No hay fluido electrico hasta el motor	01	Cable en corto circuito, abierto y/o aterrizado	Phase 1	No enciende el motor			Verificacion con equipos de medicion	2	30,00/Y

<b>FMECA Report</b>												<b>IRCMS</b>		
<b>Print Date: 28/10/2016</b>														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
CAS33 01C	Casilla	01	No efectos comandos de energizar o desenergizar el motor	A	Los componentes de la casilla no actuan para energizar o desenergizar el motor	01	Sulfatacion de contactos y/o bornes	Phase I	Asiamiento de los terminales	La casilla no actua		Verificacion visual	3	6,00/T
CAS33 01C	Casilla	01	No efectos comandos de energizar o desenergizar el motor	A	Los componentes de la casilla no actuan para energizar o desenergizar el motor	02	Puntos calientes	Phase I	Asiamiento de los terminales	Paro del motor		Termografia	3	10,000,00/O

FMECA Report													<i>IRCMS</i>	
Print Date: 28/10/2016														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
CE3301C	Sistema electrico	01	Proveer energia electrica al motor	A	No hay energia electrica en el motor al momento de darle start	01	No hay energia electrica al momento de dar start	Phase I	El motor no rota	La bomba no rota	No hay bombeo de combustible	Visual	2	5,00Y

Ilustración 60 - Reporte FMECA página 4 de 7

FMECA Report													<b>IRCMS</b>	
Print Date: 28/10/2016														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
M3301C	Motor	01	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3inchs	01	Desalineamiento del conjunto motor bomba	Phase I	Disminución del rendimiento del motor	Avería de los rodamientos	Dano en el rotor y estator del motor	Calentamiento en los rodamientos y seguimiento de la vibración del motor	3	5,00/Y
M3301C	Sistema Motor electrico	01	Rotar a 1780RPM	A	El motor no rota a 1780RMP	01	El motor no rota	Phase I	No hay movimiento de giro en el eje del rotor del motor que se pueda transferir al sistema de bombeo P3301C	No hay bombeo de combustible a los botes de irio	Se para la venta de combustible	Alarma por falta de flujo de combustible en el medio de salida de la bomba.	2	48,000,00/F
M3301C	Motor	01	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3inchs	02	Desbalanceo del rotor de motor o bomba	Phase I	Disminución del rendimiento del motor	Desgaste irregular de los internos de la maquina	Dano en rodamientos, rotor y estator	Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibración	2	5,00/Y
M3301C	Motor	01	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3inchs	03	Partes giratorias rozando	Phase I	Disminución del rendimiento del motor	Desgaste irregular de los internos de la maquina	Dano en rodamientos, anillos de chispeo, rotor y estator	Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibración	2	5,00/Y
M3301C	Motor	01	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3inchs	04	Excesivo ajuste de rodamientos	Phase I	Aumento de los niveles de vibración y de la temperatura en los rodamientos	Desgaste irregular de los rodamientos y el eje	Dano en rodamientos, rotor y estator	Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibración	2	10,000,00/F
M3301C	Motor	01	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3inchs	05	Suciedad y/u oxidación en los rodamientos	Phase I	Picadura de los rodamientos	Dstrucción de los rodamientos	Paro de la maquina	Tribología del aceite	3	5,00/T

Ilustración 61 - Reporte FMECA página 5 de 7

FMECA Report												<b>IRCMS</b>		
Print Date: 28/10/2016														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
M3301 C	Motor	02	Permanecer en buenas condiciones de presentación aspecto (estética)	A	El equipo no tiene buena presentación (limpieza-pintura)	01	Suciedad y Pintura del equipo deteriorada y/o mal aspecto	Phase I	Mal aspecto y/o imagen del equipo			Visual	4	2.160,00/F
M3301 C	Motor	03	Facilitar labores de desmontaje de mecanismos y componentes de mantenimiento	A	No existe mecanismos para realizar las labores de desancie y desmonte del conjunto motor-bomba	01	Ausencia o mal funcionamiento de mecanismos para desancie y desmonte de los equipos	Phase I	La falta del sistema de puente grus causa riesgos potenciales al personal de mantenimiento			Verificación del estado y funcionamiento del sistema de puente grus	3	90.000,00/F
M3301 C	Motor	04	Mantener la temperatura de los rodamientos dentro de la ventana operativa entre 130F y 150F	A	Aumento excesivo de la temperatura de los rodamientos	01	Ausencia de película lubricante entre los rodamientos y el rotor		Aumento de temperatura en la caja de rodamientos	Dano en los rodamientos y rotor	Paro del motor		2	5,00/Y
M3301 C	Motor	04	Mantener la temperatura de los rodamientos dentro de la ventana operativa entre 130F y 150F	A	Aumento excesivo de la temperatura de los rodamientos	02	Ostruccion o taponamiento de los filtros de los ductos de aire de enfriamiento	Phase I	Aumento de temperatura en la caja de rodamientos	Dano en los rodamientos y rotor	Paro del motor	verificación por medio del tacto en los ductos de salida del aire de enfriamiento	2	4.320,00/O
M3301 C	Motor	05	Garantizar la lubricación del equipo según indicadores de nivel	A	No hay nivel adecuado de aceite lubricante en los rodamientos	01	Caja de rodamientos con fuga de aceite	Phase I	Derrame de aceite	Alta temperatura en los rodamientos	Paro del motor	Visual	3	1,00/Y

Ilustración 62 - Reporte FMECA página 6 de 7

FMECA Report													<i>IRCMS</i>	
Print Date: 28/10/2016														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
MUS301C	Multilin	01	Controla el funcionamiento del motor	A	El multilin no controla el arranque, paro y shutdown del motor	01	Falla en las tarjetas electronicas	Phase I	No hay respuesta de paro, arranque o shutdown del multilin			Visual	2	5,00Y

Ilustración 63 - Reporte FMECA página 7 de 7

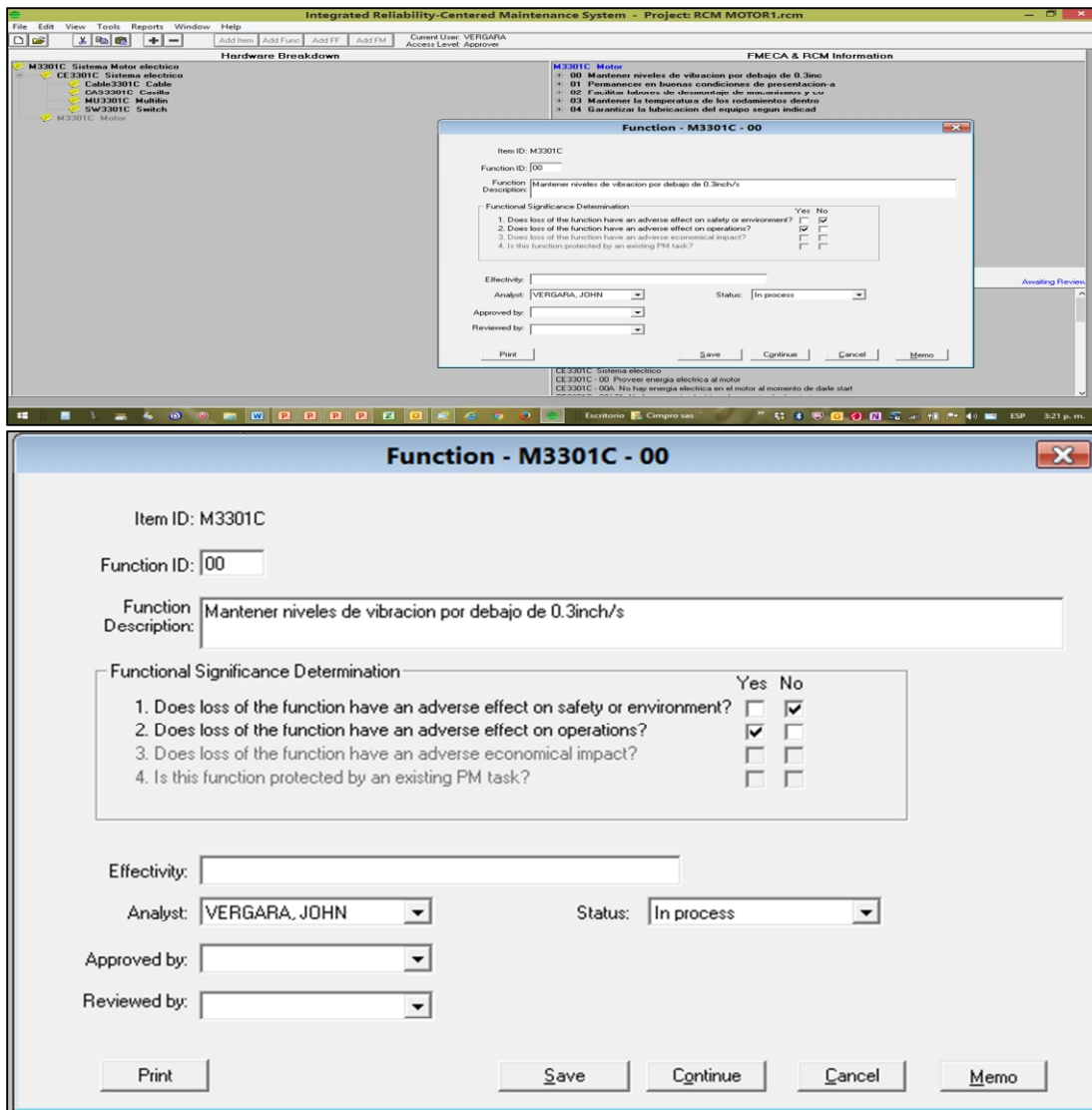
FMECA Report													<i>IRCMS</i>	
Print Date: 28/10/2016														
ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT:
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
SW33 01C	Switch	01	Dar comando de ON-OFF al motor, y dar comando de control local-remoto	A	No da comando ON-OFF al motor.	01	No hay respuesta del motor al accionamiento del switch	Phase I	El motor no arranca y/o no se detiene			Activando el switch y observando la respuesta	4	2,00Y

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.

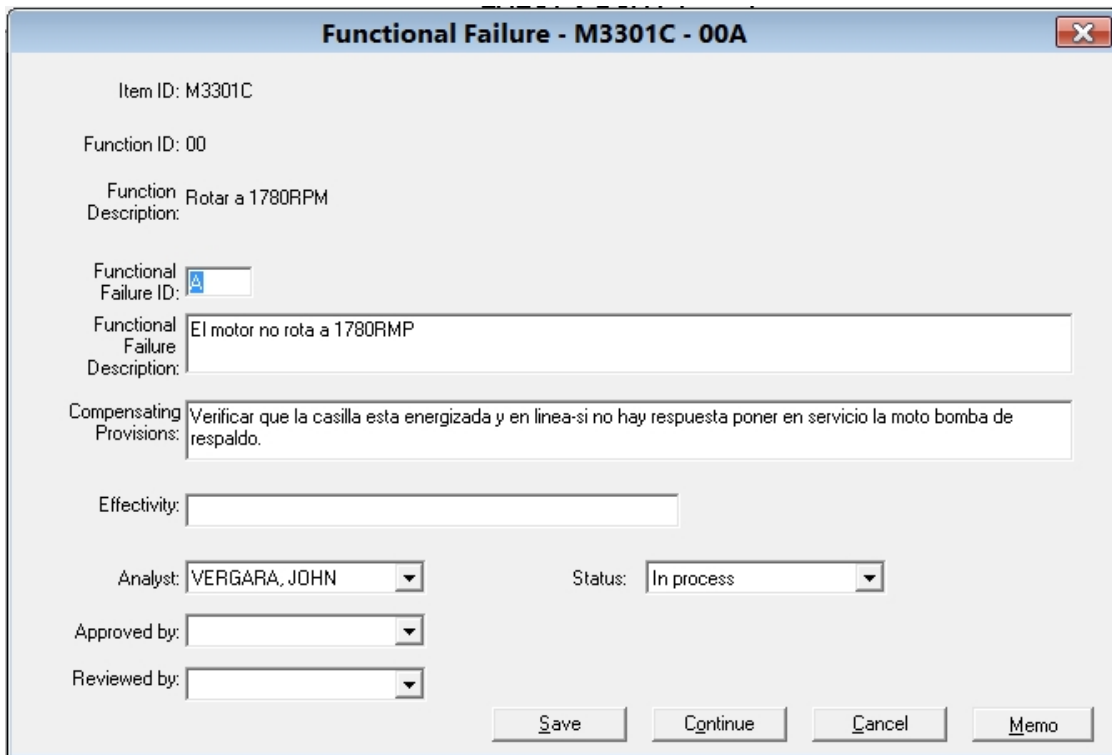
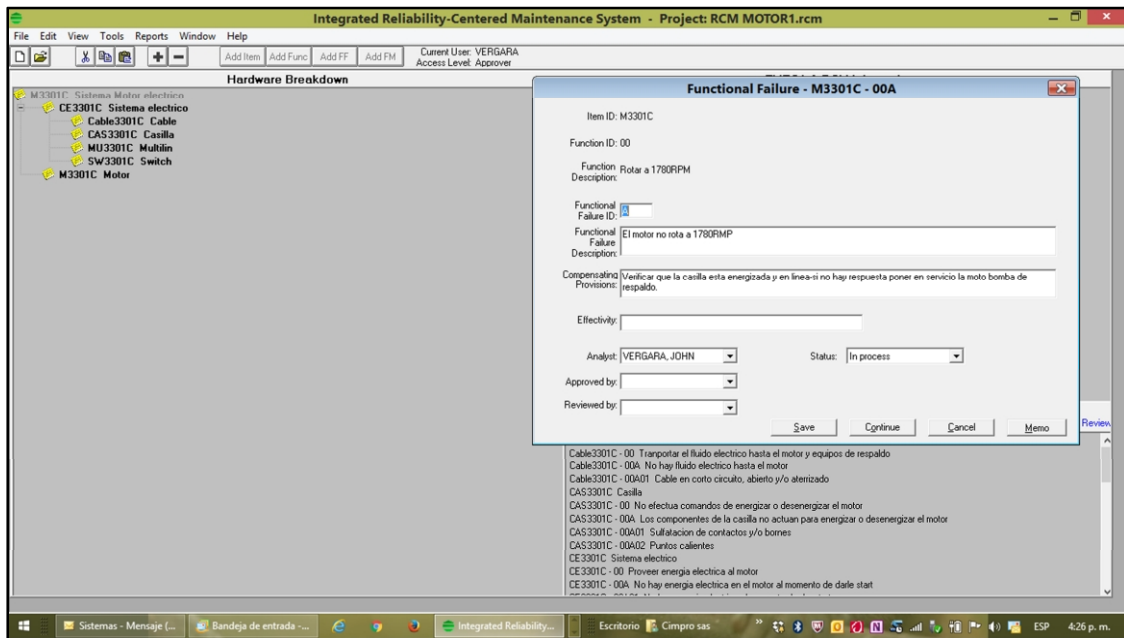
El proceso que se lleva a cabo en cada caso de los sistemas definidos, es primero definir la función, la cual se muestra en la siguiente figura.

Ilustración 64 - Función



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

## Ilustración 65 - Falla Funcional



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

## Ilustración 66 - Modos de Falla

The screenshot shows the 'Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: RCM MOTOR1.rcm' interface. On the left is a 'Hardware Breakdown' tree with items like 'M3301C Sistema Motor electrico', 'CE3301C Sistema electrico', 'Cable3301C Cable', 'CAS3301C Casilla', 'MU3301C Multin', 'SW3301C Switch', and 'M3301C Motor'. The main window displays the 'Failure Mode - M3301C - 00A01' form. The form contains the following fields and options:

- Item ID: M3301C Sistema Motor electrico
- FMI: 00 - A - 01
- Rev: [ ]
- Failure Mode Description: El motor no rota
- Local Effects: No hay movimiento de giro en el eje del rotor del motor que se pueda transferir al sistema de bombeo P3301C
- Next Higher Effects: No hay bombeo de combustoleo a los botes del rio
- End Effects: Se para la venta de combustoleo
- Detection Method: Alarma por falta de flujo de combustoleo en el medido de salida de la bomba.
- Severity Class: 2 - Critical
- Item ID code of failed item: M3301C
- Effectivity: Sistema Motor, sistema electrico
- Part No of failed item: [ ]
- Operating Phase: Phase I
- MTBF: 48000
- MTBF Unit: F - Flight Hours

At the bottom, there are several analysis options: Failure Mode\* (with sub-options Hard-time\*, Cost/Downtime Analysis\*), Failure Consequences (with sub-options Failure Finding, Package / Summary\*), Service/Lube\* (with sub-options Age Exploration, HRI Matrix), and On-condition\* (with sub-options Other Action / No PM). Buttons for Print, Save, Continue, Cancel, and Memo are also visible.

This is a zoomed-in view of the 'Failure Mode - M3301C - 00A01' form. It shows the following details:

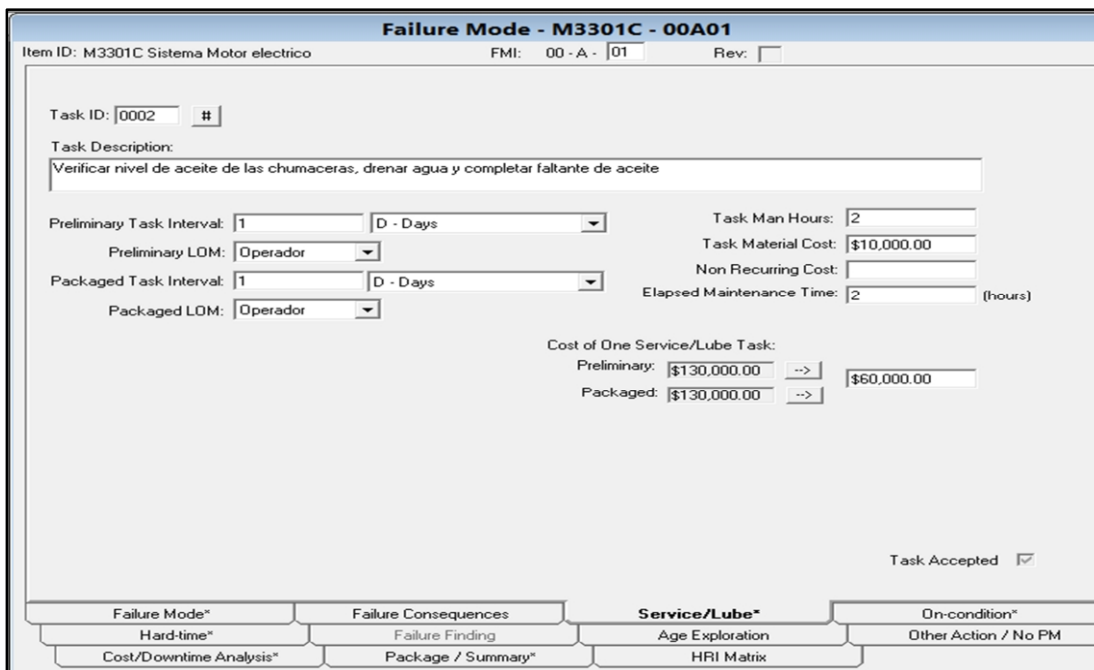
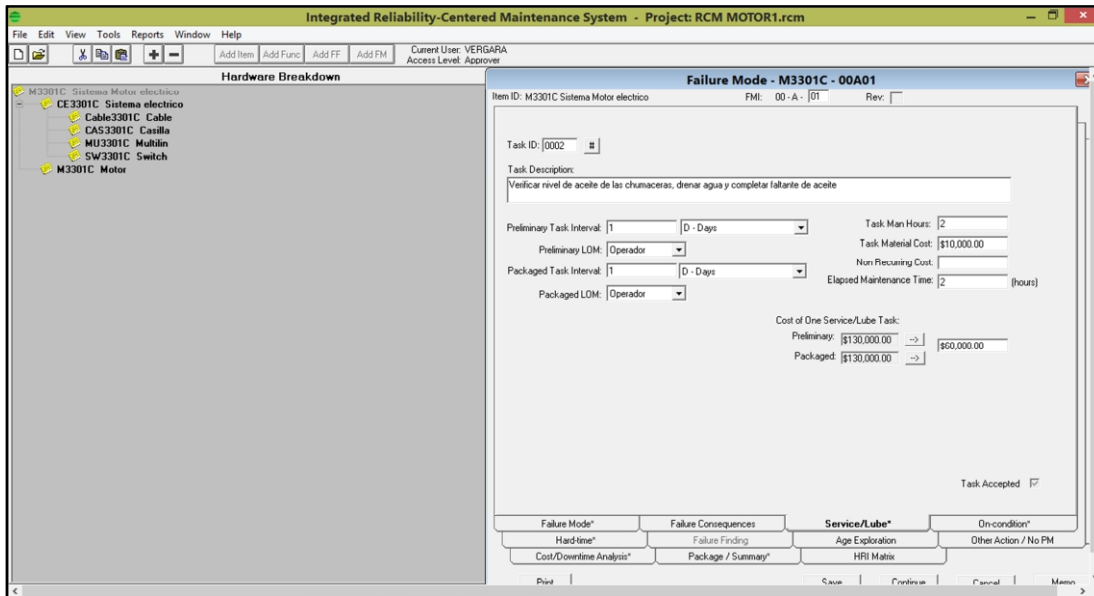
- Item ID: M3301C Sistema Motor electrico
- FMI: 00 - A - 01
- Rev: [ ]
- Failure Mode Description: El motor no rota
- Local Effects: No hay movimiento de giro en el eje del rotor del motor que se pueda transferir al sistema de bombeo P3301C
- Next Higher Effects: No hay bombeo de combustoleo a los botes del rio
- End Effects: Se para la venta de combustoleo
- Detection Method: Alarma por falta de flujo de combustoleo en el medido de salida de la bomba.
- Severity Class: 2 - Critical
- Item ID code of failed item: M3301C
- Effectivity: Sistema Motor, sistema electrico
- Part No of failed item: [ ]
- Operating Phase: Phase I
- MTBF: 48000
- MTBF Unit: F - Flight Hours

The bottom section shows the analysis options: Failure Mode\* (Hard-time\*, Cost/Downtime Analysis\*), Failure Consequences (Failure Finding, Package / Summary\*), Service/Lube\* (Age Exploration, HRI Matrix), and On-condition\* (Other Action / No PM). Buttons for Print, Save, Continue, Cancel, and Memo are also visible.

Por último, se define en cada caso las tareas de mantenimiento. En el caso particular utilizan un servicio de mantenimiento, que chequea el nivel de

mantenimiento, un service/lube task. Completando de esta forma el ciclo de RCM: Función - Falla - Modo de Falla - Tarea de mantenimiento.

Ilustración 67 - Trabajos de mantenimiento



### **3.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO 3**

Se evidencia una gran facilidad al momento de ingresar los datos en la herramienta, 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.

De esta forma ya 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

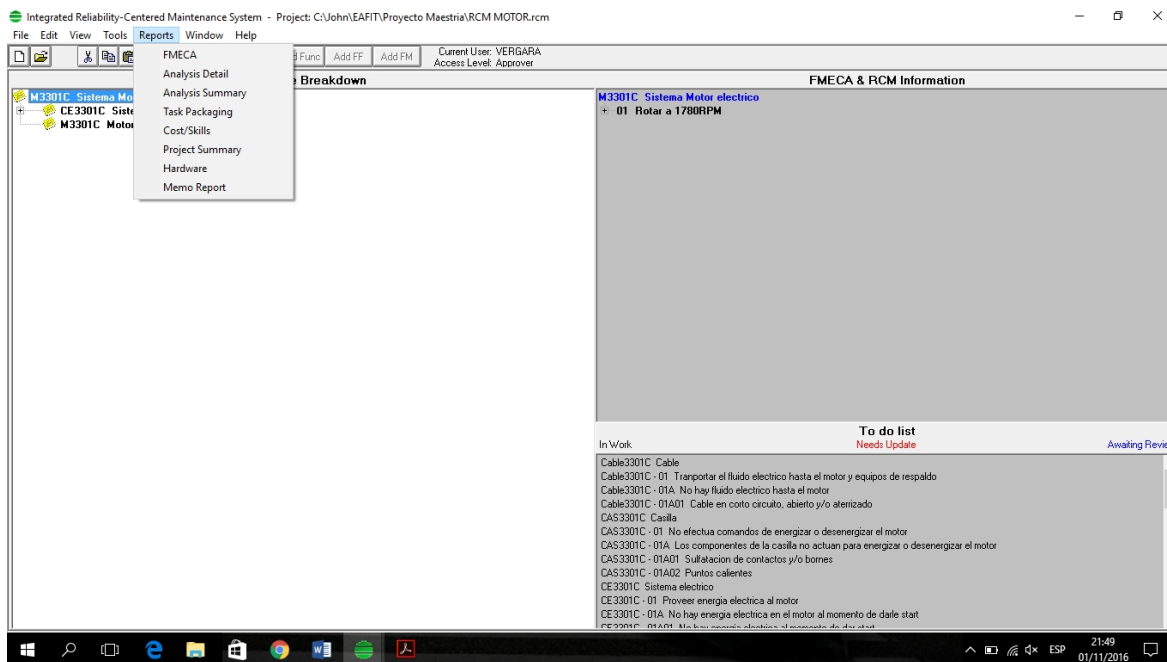
### 4.1 OBJETIVO 4

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 68 - Lista de 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 69 - Informes que se generan desde el IRCM

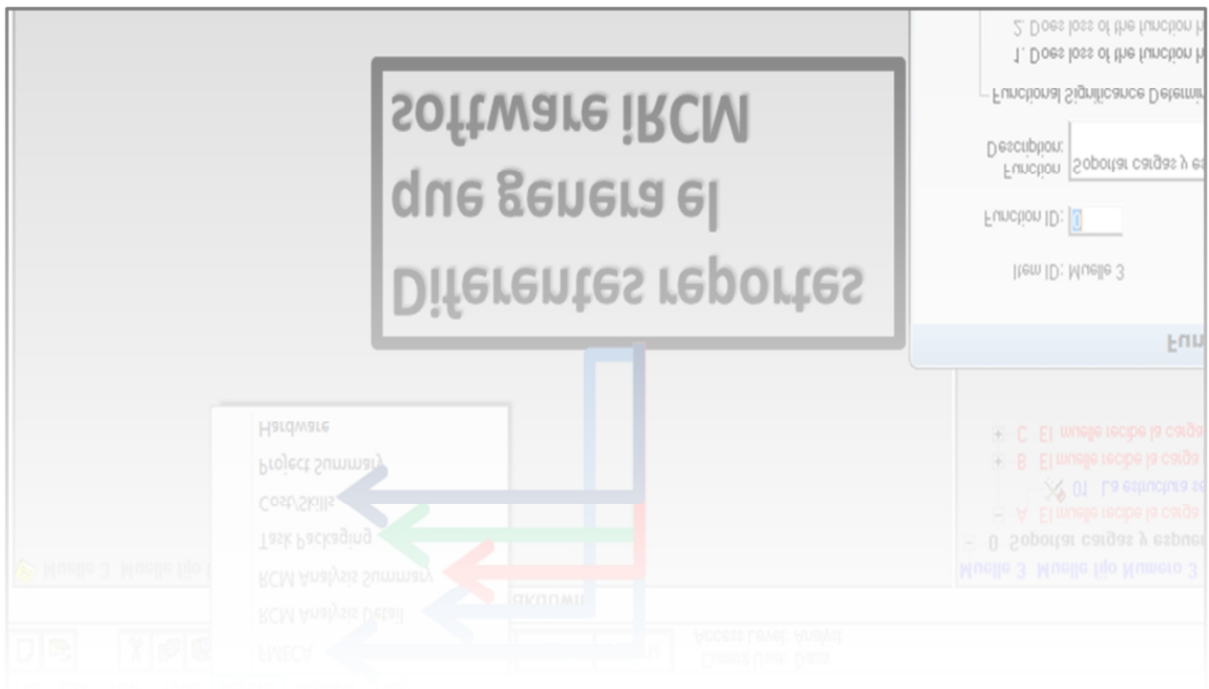
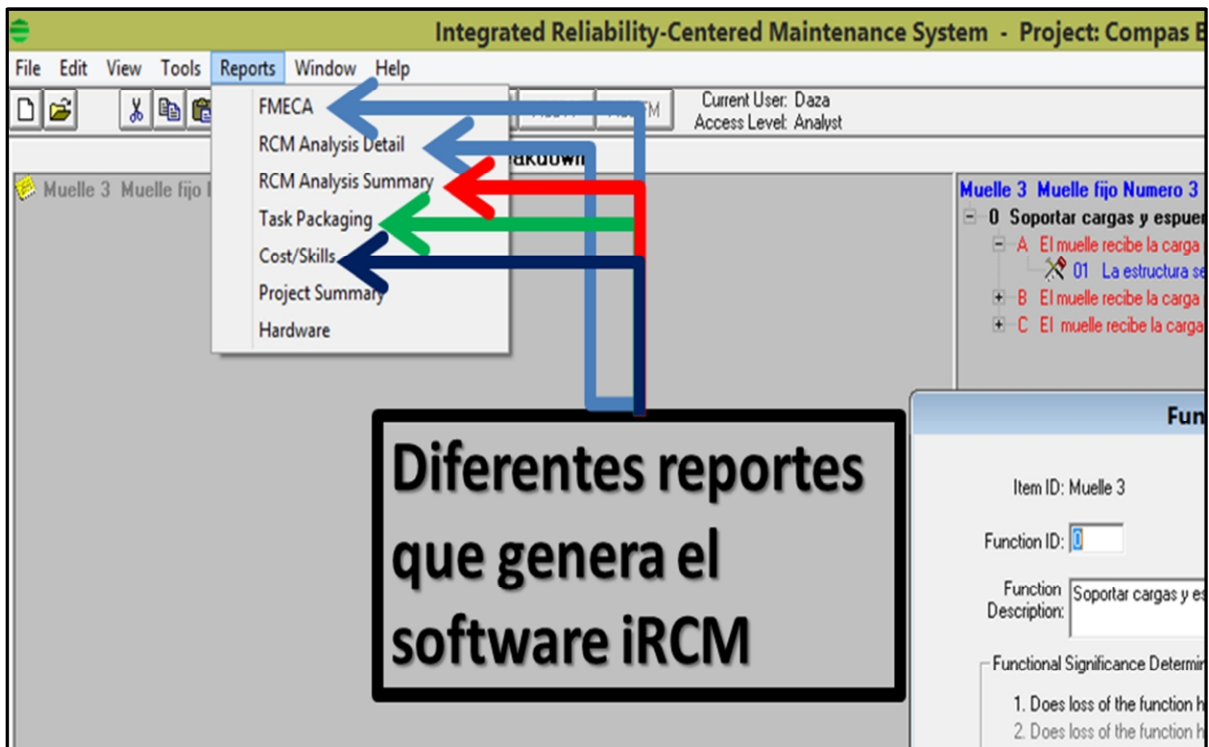


Ilustración 70 - Resumen Estadístico del Proyecto

**RCM Analysis Summary Report**

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor eléctrico  
**Item ID:** Cable3301C  
 Cable

**Failure Mode:** 00A01  
 Cable en corto circuito, abierto y/o aterrizado

**MTBF:** 30.00 Years      **Safety:**      **Hidden/Evident:**      **Severity:** II

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**  
 Verificación con equipos de medición

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/Y	/Y
->	0024	OC	Encontrar la ubicación de la condición y reemplazar el tramo de cable	10.00/Y	10.00/Y	/Y	2.13/Y
->	0023	HT	Cambio de cableado por standard de la empresa	15.00/Y	15.00/Y	/Y	14.73/Y
		FF		/	/	/Y	/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** CAS3301C

Castilla

**Failure Mode:** 00A01

Sulfatacion de contactos y/o bornes

**MTBF:** 6.00 Months

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** III

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**

Verificacion visual

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/T	/T
		OC		/	/	/T	/T
->	0019	HT	Cambio de la casilla	50,000.00/	50,000.00/	/T	0.28/T
		FF		/	/	/T	/T
		OA				\$0.00/T	/T
		NO PM	No Preventive Maintenance			/T	/T

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** CAS3301C

Casilla

**Failure Mode:** 00A02

Puntos calientes

**MTBF:** 10,000.00 Operating Hours    **Safety:**    **Hidden/Evident:**    **Severity:** III

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**

Termografia

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/0	/0
		OC		/	/	/0	/0
->	0020	HT	Efectuar termografia a la casilla	5,000.00/	5,000.00/0	/0	0.00/0
		FF		/	/	/0	/0
		OA				80.00/0	/0
		NO PM	No Preventive Maintenance			/0	/0

# RCM Analysis Summary Report

*IRCMS*

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** CE3301C

Sistema electrico

**Failure Mode:** 00A01

No hay energia electrica al momento de dar start

**MTBF:** 5.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** II

**End Effects:**

No hay bombeo de combustoleo

**Failure Detection Method:**

Visual

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	Y	/ Y
		OC		/	/	Y	/ Y
		HT		/	/	Y	/ Y
		FF		/	/	Y	/ Y
	0015	OA	Verificar fuerzas digitales del arranque del motor en la cabina, en el multilin y en el DCS			\$0,00/Y	0.90/ Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			Y	/ Y

## RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301C Sistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C

Motor

**Failure Mode:** 00A01

Desalineamiento del conjunto motor bomba

**MTBF:** 5.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** III

**End Effects:**

Dano en el rotor y estator del motor

**Failure Detection Method:**

Calentamiento en los rodamientos y seguimiento de la vibracion del motor

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Seq	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/Y	/Y
->	0004	OC	Detener el sistema motor bomba y verificar el alineamiento del sistema	1.00/D	1.00/D	/Y	0.04/Y
		HT		/	/	/Y	/Y
		FF		/	/	/Y	/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C

Sistema Motor electrico

**Failure Mode:** 00A01

El motor no rota

**MTBF:** 48,000.00 Flight Hours

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** II

**End Effects:**

Se para la venta de combustoleo

**Failure Detection Method:**

Alarma por falta de flujo de combustoleo en el medido de salida de la bomba.

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0002	SL	Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite	1.00/D	1.00/D	/F	0.08/F
		OC		/	/	/F	/F
		HT		/	/	/F	/F
		FF		/	/	/F	/F
		OA				\$0.00/F	/F
		NO PM	No Preventive Maintenance			/F	/F

## RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C  
Motor

**Failure Mode:** 00A02

Desbalanceo del rotor de motor o bomba

**MTBF:** 5.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** II

**End Effects:**

Dano en rodamientos, rotor y estator

**Failure Detection Method:**

Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibracion

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Package Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/Y	/Y
->	0005	OC	Detener el sistema motor bomba y verificar el balanceo de los ejes	1.00/D	1.00/D	/Y	364.80/Y
		HT		/	/	/Y	/Y
		FF		/	/	/Y	/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301C Sistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C

Motor

**Failure Mode:** 00A03

Partes giratorias rozando

**MTBF:** 5.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** II

**End Effects:**

Dano en rodamientos, anillos de chispoteo, rotor y estator

**Failure Detection Method:**

Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibracion

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	Y	/ Y
	0006	OC	Detener el sistema motor bomba y verificar el estado de las partes moviles del sistema	1.00/D	1.00/D	Y	/ Y
		HT		/	/	Y	/ Y
		FF		/	/	Y	/ Y
		OA				\$0.00/Y	/ Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			Y	/ Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C

Motor

**Failure Mode:** 00A04

Excesivo ajuste de rodamientos

**MTBF:** 10,000.00 Flight Hours

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** II

**End Effects:**

Dano en rodamientos, rotor y estator

**Failure Detection Method:**

Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibracion

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/F	/F
		OC		/	/	/F	/F
->	0008	HT	Cambio de rodamientos	10,000.00/	10,000.00/	/F	0.00/ F
		FF		/	/	/F	/F
		OA				\$0.00/F	/F
		NO PM	No Preventive Maintenance			/F	/F

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C  
Motor

**Failure Mode:** 00A05

Suciedad y/u oxidacion en los rodamientos

**MTBF:** 5.00 Months

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** III

**End Effects:**

Paro de la maquina

**Failure Detection Method:**

Tribologia del aceite

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/T	/T
		OC		/	/	/T	/T
		HT		/	/	/T	/T
		FF		/	/	/T	/T
		OA				\$0.00/T	/T
		NO PM	No Preventive Maintenance			/T	/T

# RCM Analysis Summary Report

*IRCMS*

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301C Sistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C  
Motor

**Failure Mode:** 01A01

Suciedad y Pintura del equipo deteriorada y/o mal aspecto

**MTBF:** 2,160.00 Flight Hours

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** IV

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**

Visual

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/F	/F
		OC		/	/	/F	/F
		HT		/	/	/F	/F
		FF		/	/	/F	/F
	0003	OA	Realizar limpieza con agua a presion para remover suciedad del medio ambiente u ocasionada por escapes del proceso			\$0,00/F	0.00/F
->		NO PM	No Preventive Maintenance			/F	0.00/F

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301C Sistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C

Motor

**Failure Mode:** 02A01

Ausencia o mal funcionamiento de mecanismos para desanclaje y desmonte de los equipos

**MTBF:** 90,000.00 Flight Hours

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** III

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**

Verificacion del estado y funcionamiento del sistema de puente grua

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0010	SL	lubricacion de los sistemas de engranajes, poleas y cadenas del puente grua	10,000.00/	10,000.00/	/F	0.00/ F
		OC		/	/	/F	/
->	0011	HT	Cambio de cadenas	10,000.00/	10,000.00/	/F	0.00/ F
	0003	FF	Activar de manera periodica el sistema puente grua para verificar funcionamiento	1.00/T	1.00/T	/F	/
	0010	OA	Accionar de manera periodica el sistema de puente grua			\$0.00/F	/
		NO PM	No Preventive Maintenance			/F	/

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301C Sistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C  
Motor

**Failure Mode:** 03A01

Ausencia de película lubricante entre los rodamientos y el rotor

**MTBF:** 5.00 Years

**Safety:** NS

**Hidden/Evident:** H

**Severity:** II

**End Effects:**

Paro del motor

**Failure Detection Method:**

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0012	SL	Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite	1.00/D	1.00/D	/Y	8,640.00/Y
		OC		/	/	/Y	/Y
		HT		/	/	/Y	/Y
	0009	FF		/	/	/Y	/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C  
Motor

**Failure Mode:** 03A02

Obstruccion o taponamiento de los filtros de los ductos de aire de enfriamiento

**MTBF:** 4,320.00 Operating Hours    **Safety:**    **Hidden/Evident:**    **Severity:** II

**End Effects:**

Paro del motor

**Failure Detection Method:**

verificacion por medio del tacto en los ductos de salida del aire de enfriamiento

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/0	/0
		OC		/	/	/0	/0
->	0014	HT	Limpieza de filtros de aire, circuito de enfriamiento y ventilador	4,320.00/	4,320.00/0	/0	0.00/0
		FF		/	/	/0	/0
		OA				\$0.00/0	/0
		NO PM	No Preventive Maintenance			/0	/0

# RCM Analysis Summary Report

*IRCMS*

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301C Sistema Motor electrico

**Item ID:** M3301C

Motor

**Failure Mode:** 04A01

Caja de rodamientos con fuga de aceite

**MTBF:** 1.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** III

**End Effects:**

Paro del motor

**Failure Detection Method:**

Visual

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Scl	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/Y	/Y
->	0013	OC	El operador debe en su ronda BEC efectuar la verificación de posibles fugas de aceite	1.00/D	1.00/D	/Y	1,808.90/Y
		HT		/	/	/Y	/Y
		FF		/	/	/Y	/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** MU3301C

Multilin

**Failure Mode:** 00A01

Falla en las tarjetas electronicas

**MTBF:** 5.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** II

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**

Visual

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/Y	/Y
->	0016	OC	Test de prueba con procedimiento de verificacion	6.00/T	6.00/T	/Y	17.60/Y
->	0017	HT	Cambio de multilin	15.00/Y	15.00/Y	/Y	1.18/Y
->	0015	FF	Limpieza de las tarjetas electronicas, limpieza de contactos y verificacion de la activacion del rele	6.00/T	6.00/T	/Y	17.60/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

# RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

**End Item:** M3301CSistema Motor electrico

**Item ID:** SW 3301C  
Switch

**Failure Mode:** 00A01

No hay respuesta del motor al accionamiento del switch

**MTBF:** 2.00 Years

**Safety:**

**Hidden/Evident:**

**Severity:** IV

**End Effects:**

**Failure Detection Method:**

Activando el switch y observando la respuesta

**Analysis Status:** In Process

**Approval Date:**

**Analyst:** JOHN VERGARA

**Approved By:**

**Summary Recommendation:**

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/Y	/Y
		OC		/	/	/Y	/Y
->	0022	HT	Reemplazo de switch	10.00/Y	10.00/Y	/Y	0.88/Y
->	0021	FF	Verificacion de funcionamiento, limpieza de bohemras, cambio de micro-switches	6.00/T	6.00/T	/Y	10.00/Y
		OA				\$0.00/Y	/Y
		NO PM	No Preventive Maintenance			/Y	/Y

El RCM Analysis Summary Report informa de todas las tareas de mantenimiento que se llevan a cabo en el proceso en cada uno de sus informes de 17 páginas.

Ilustración 71 - Informe de Tareas de mantenimiento a desarrollar

Task Package Report											<i>IRCMS</i>				
Print Date: 06/11/2016															
Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Package			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					Est Insp /Units	Intvl/Units	LOM	Est Insp/Units	Intvl/Units	LOM					
Cable3301C	00A01	0023		Cambio de cableado por standard de la empresa	N/A	15/Y		N/A	15/Y		In Process				
Cable3301C	00A01	0024		Encontrar la ubicación de la condición y reemplazar el tramo de cable	10/Y	10/Y		10/Y	10/Y						
CAS3301C	00A01	0019		Cambio de la casilla	N/A	50000/O		N/A	50000/O						
CAS3301C	00A02	0020		Efectuar termografía a la casilla	N/A	5000/O		N/A	5000/O						
M3301C	00A01	0002		Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite	N/A	1/D		N/A	1/D						
M3301C	00A01	0004		Detener el sistema motor bomba y verificar el alineamiento del sistema	1/D	1/D		1/D	1/D						
M3301C	00A02	0005		Detener el sistema motor bomba y verificar el balanceo de los ejes	1/D	1/D		1/D	1/D						
M3301C	00A04	0008		Cambio de rodamientos	N/A	10000/F		N/A	10000/F						
M3301C	02A01	0010		lubricación de los sistemas de engranajes, poleas y cadenas del puente grúa	N/A	10000/O		N/A	10000/O						
M3301C	02A01	0011		Cambio de cadenas	N/A	10000/O		N/A	10000/O						
M3301C	03A01	0012		Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite	N/A	1/D		N/A	1/D						
M3301C	03A02	0014		Limpieza de filtros de aire, circuito de enfriamiento y ventilador	N/A	4320/O		N/A	4320/O						
M3301C	04A01	0013		El operador debe en su ronda BEC efectuar la verificación de posibles fugas de aceite	1/D	1/D		1/	1/D						
MUS301C	00A01	0015		Limpieza de las tarjetas electrónicas, limpieza de contactos y verificación de la activación del rele	N/A	6/T		N/A	6/T						
MUS301C	00A01	0016		Test de prueba con procedimiento de verificación	1/Y	6/T		6/T	6/T						
MUS301C	00A01	0017		Cambio de muelle	N/A	15/Y		N/A	15/Y						

# Task Package Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

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	Intvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM					
SW3301 C	00A01	0021		Verificación de funcionamiento, limpieza de bornas, cambio de micro-switches	NA	6T		NA	6T						
SW3301 C	00A01	0022		Reemplazo de switch	NA	10Y		NA	10Y						

Ilustración 72 - Informe de Habilidades, Competencias y Costos

<b>Cost Skills Report</b>																	<b>IRCMS</b>
Print Date: 06/11/2016																	
Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				Est Insp/Units	Intvl/Units	LOM	Est Insp/Units	Intvl/Units	LOM								
Cable301C	00A01	0023	Cambio de cableado por standard de la empresa	N/A	15Y		N/A	15Y	5				192.00	\$10,000.00	\$11,520.00	\$20,000.00	
		0024	Encontrar la ubicación de la condición y reemplazar el tramo de cable	10Y	10Y		10Y	10Y	5				16.00		\$960,000.00	\$3,000,000.00	
CAS3301C	00A01	0018	Limpieza y ajuste de bornes y terminales de conexión	6T	6T		N/A	N/A	N/A		N/A		8.00	\$50,000.00	\$640,000.00		
		0019	Cambio de la casilla	N/A	50000O		N/A	50000O	2				16.00	\$30,000.00	\$1,280,000.00	\$35,000,000.00	
	00A02	0020	Efectuar termografía a la casilla	N/A	5000O		N/A	5000O	1			1.00		\$80,000.00	\$50,000.00		
M3301C	00A01	0002	Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite	N/A	1D		N/A	1D	4	In Process			2.00	\$10,000.00	\$60,000.00	N/A	
		0004	Detonar el sistema motor bomba y verificar el alineamiento del sistema	1D	1D		1D	1D	1				5.00		\$300,000.00	\$1,000,000.00	
	00A02	0005	Detonar el sistema motor bomba y verificar el balanceo de los ejes	1D	1D		1D	1D	1			5.00		\$300,000.00	\$1,500,000.00		
	00A04	0008	Cambio de rodamientos	N/A	10000F		N/A	10000F	2						\$2,000,000.00	\$1,500,000.00	
	00A05	0009	Talaboga al aceite	1T	2T		N/A	N/A	N/A		N/A	1.00			\$100,000.00		
	02A01	0010	Lubricación de los sistemas de engranajes, poleas y cadenas del puente grúa	N/A	10000O		N/A	10000O	2			8.00	\$100,000.00	\$640,000.00	N/A		
		0011	Cambio de cadenas	N/A	10000O		N/A	10000O	2			16.00	\$2,000,000.00	\$1,280,000.00	\$3,000,000.00		
	03A01	0012	Verificar nivel de aceite de las chumaceras, drenar agua y completar faltante de aceite	N/A	1D		N/A	1D	4			2.00	\$10,000.00	\$60,000.00	N/A		
	03A02	0014	Limpieza de filtros de aire, circuito de enfriamiento y ventilador	N/A	4320O		N/A	4320O	2			8.00	\$100,000.00	\$480,000.00	\$100,000.00		

# Cost Skills Report

**IRCMS**

Print Date: 06/11/2016

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				Est Insp/Units	Instl/Units	LOM	Est Insp/Units	Instl/Units	LOM								
M3301C	04A01	0013	El operador debe en su ronda BEC efectuar la verificación de posibles fugas de aceite	1/D	1/D		1/	1/D	1				25.00	\$0.00		\$500,000.00	
MU3301C	00A01	0015	Limpieza de las tarjetas electronicas, limpieza de contactos y verificación de la activación del rele	N/A	6/T		N/A	6/T	1				3.00	\$10,000.00	\$640,000.00	\$100,000.00	
		0016	Test de prueba con procedimiento de verificación	1/Y	6/T		6/T	6/T	1				3.00	\$10,000.00	\$640,000.00	\$10,000.00	
		0017	Cambio de multímetro	N/A	15/Y		N/A	15/Y	1				16.00	\$18,000.00	\$1,280,000.00	\$20,000.00	
SW3301C		0021	Verificación de funcionamiento, limpieza de bombas, cambio de micro-switches	N/A	6/T		N/A	6/T	2				4.00	\$50,000.00	\$320,000.00	\$50,000.00	
		0022	Reemplazo de switch	N/A	10/Y		N/A	10/Y	5				3.00	\$300,000.00	\$480,000.00	\$400,000.00	

#### 4.4 INFORMES FMECA

Ilustración 73 - FMECA del Proyecto

<b>M3301C Sistema Motor electrico Project Summary Report</b>							<b>IRCMS</b>	
Print Date: 06/11/2016								
Code	Name	In Process	Needs Update	Awaiting Review	Approved	Historical	Total	
Cable3301C	Cable	1					1	
CAS3301C	Casilla	2					2	
CE3301C	Sistema electrico	1					1	
M3301C	Motor	10					10	
M3301C	Sistema Motor electrico	1					1	
MU3301C	Multilin	1					1	
SW3301C	Switch	1					1	
<b>Total</b>		17					17	
<b>In Work</b>	%	<b>Analyzed</b>	%	<b>Historical</b>	%			

<b>FMECA Report</b>												<b>IRCMS</b>		
Print Date: 06/11/2016														
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			
M3301C	Sistema Motor electrico	00	Rotar a 1730RPM	A	El motor no rota a 1730RPM	01	El motor no rota	Phase I	No hay movimiento de giro en el eje del rotor del motor que se pueda transferir al sistema de bombeo P3301C	No hay bombeo de combustible a los botes de riego	Se para la venta de combustible	Alarma por falta de flujo de combustible en el medio de salida de la bomba.	2	48.000.00F

<b>FMECA Report</b>												<b>IRCMS</b>		
Print Date: 06/11/2016														
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			
CE3301C	Sistema electrico	00	Proveer energia electrica al motor	A	No hay energia electrica en el motor al momento de darle start	01	No hay energia electrica al momento de dar start	Phase I	El motor no rota	La bomba no rota	No hay bombeo de combustible	Visual	2	5.00Y

**FMECA Report**

Print Date: 06/11/2016

**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			
M3301C	Motor	00	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3 inchs	01	Desalineamiento del conjunto motor bomba	Phase I	Disminución del rendimiento del motor	Avería de los rodamientos	Dano en el rotor y estator del motor	Calentamiento en los rodamientos y seguimiento de la vibración del motor	3	5.00Y
M3301C	Motor	00	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3 inchs	02	Desplazamiento del rotor de motor o bomba	Phase I	Disminución del rendimiento del motor	Desgaste Irregular de los internos de la maquina	Dano en rodamientos, rotor y estator	Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibración	2	5.00Y
M3301C	Motor	00	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3 inchs	03	Partes y rotores rotando	Phase I	Disminución del rendimiento del motor	Desgaste Irregular de los internos de la maquina	Dano en rodamientos, anillos de chisoteo, rotor y estator	Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibración	2	5.00Y
M3301C	Motor	00	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3 inchs	04	Excesivo ajuste de rodamientos	Phase I	Aumento de los niveles de vibración y de la temperatura en los rodamientos	Desgaste Irregular de los rodamientos y eje	Dano en rodamientos, rotor y estator	Ruido anormal, calentamiento en los rodamientos y altos niveles de vibración	2	10,000.00F
M3301C	Motor	00	Mantener niveles de vibración por debajo de 0.3inchs	A	Los niveles de vibración están por encima de 0.3 inchs	05	Suciedad y/o oxidación en los rodamientos	Phase I	Picadura de los rodamientos	Destrucción de los rodamientos	Paro de la maquina	Tribología del aceite	3	5.00T
M3301C	Motor	01	Permanecer en buenas condiciones de presentación-espacio (estático)	A	El equipo no tiene buena presentación (limpieza-pintura)	01	Suciedad y Pintura del equipo deteriorada y/o mal aspecto	Phase I	Mal aspecto y/o imagen del equipo			Visual	4	2,160.00F
M3301C	Motor	02	Facilitar labores de desmontaje de mecanismos y componentes de mantenimiento	A	No existe mecanismos para realizar las labores de desensamble y desmonte del conjunto motor-bomba	01	Ausencia o mal funcionamiento de mecanismos para desensamble y desmonte de los equipos	Phase I	La falta del sistema de puente gruesa causa riesgos potenciales al personal de mantenimiento			Verificación del estado y funcionamiento del sistema de puente gruesa	3	90,000.00F

**FMECA Report**

Print Date: 06/11/2016

**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			
M3301C	Motor	03	Mantener la temperatura de los rodamientos dentro de la ventana operativa entre 130F y 150F	A	Aumento excesivo de la temperatura de los rodamientos	01	Ausencia de película lubricante entre los rodamientos y el rotor		Aumento de temperatura en la caja de rodamientos	Dano en los rodamientos y rotor	Paro del motor		2	5.00Y
M3301C	Motor	03	Mantener la temperatura de los rodamientos dentro de la ventana operativa entre 130F y 150F	A	Aumento excesivo de la temperatura de los rodamientos	02	Obstrucción o taponamiento de los filtros de los ductos de aire de enfriamiento	Phase I	Aumento de temperatura en la caja de rodamientos	Dano en los rodamientos y rotor	Paro del motor	verificación por medio del tacto en los ductos de salida del aire de enfriamiento	2	4,320.00/O
M3301C	Motor	04	Garantizar la lubricación del equipo según indicadores de nivel	A	No hay nivel adecuado de aceite lubricante en los rodamientos	01	Caja de rodamientos con fuga de aceite	Phase I	Derriame de aceite	Alta temperatura en los rodamientos	Paro del motor	Visual	3	1.00Y

#### 4.5 PRIORIZACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

En el iRCM, se define de manera cierta la valoración de Riesgo, mediante la multiplicación Severidad por Ocurrencia, siendo la Probabilidad de Ocurrencia de tipo cuantitativo y la Severidad de tipo cualitativo.

Las principales desarrolladas, se describen a continuación en la siguiente lista.

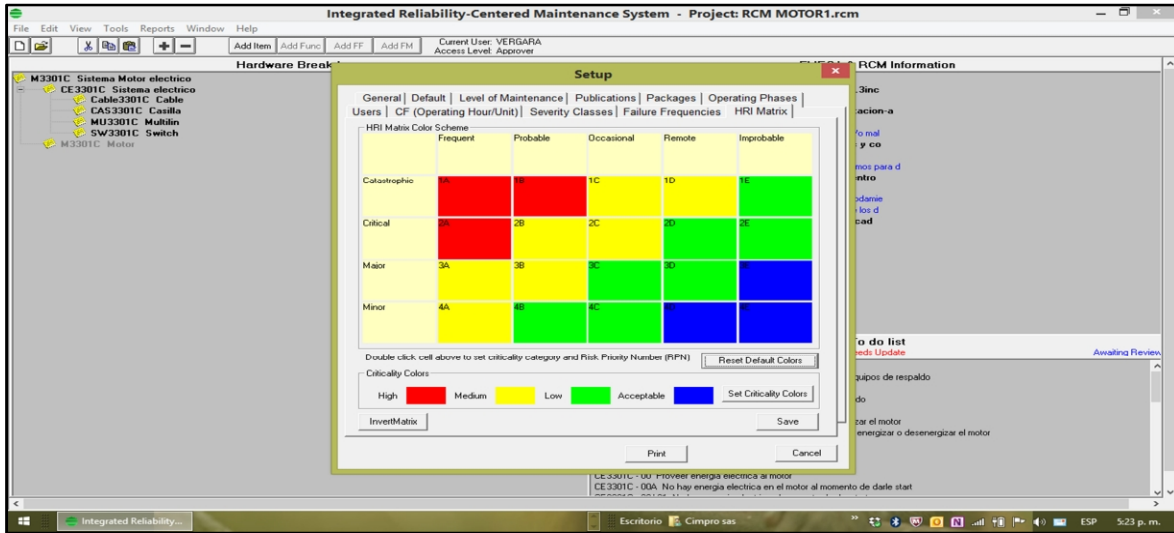
Ilustración 74 - Tareas de Mantenimiento del RCM descrito

Número	Equipo	Código	Función	Falla	Modo de Falla	Tarea	# Tarea	Tipo de Tarea	Riesgo
1	M3301C	00A01	Rotar motor a 1780 RPM	No rota Motor	Problemas en chumaceras	Lubricación	2	Service / Lube	2E
2	CE3301C	00A01	Motor recibe energía	No hay energía al motor	Problemas en arranque	Problemas digitales en el arranque	15	Other Action / No PM	2E
3	Cable 3301C	00A01	Transportar energía eléctrica	Motor no recibe energía	Corto circuito	Revisión y corrección corto circuito	24	On Condition	2E
4	Casilla3301C	00A01	Comandos de energizar	Componentes no actúan	Sulfatación contactos	Limpieza y ajuste de borneras	18	Age Exploration	3D
5	Casilla3301C	00A02	Comandos de energizar	Componentes no actúan	Puntos calientes	Termografía a las 5000 horas y cambio	20	Hard Time	3D
6	Multilin3301C	00A01	Control sobre el motor	No controla	Fallas en tarjetas electrónicas	Revisión Tarjetas y Multilin cada seis meses	16	On Condition	2E
7	Switch3301C	00A01	Copntrol ON OFF sobre motor	No funciona el ON OFF	Motor no acciona al ON OFF	Reemplazo del switch cada diez años	22	Hard Time	4E
8	Motor3301C	00A01	Vibración dentro de rango	Vibarción fuera de rango	Desalineación causa vibración	Alinear y balacear el sistema motor bomba	4	On Condition	3E
9	Motor3301C	00A02	Vibración dentro de rango	Vibarción fuera de rango	Motor desbalanceado	Balancear motor	5	On Condition	2E
10	Motor3301C	00A03	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Partes giratorias rozan	Revisión de partes giratorias que rozan, para liberarlas y alinearlas	6	On Condition	2E

Número	Equipo	Código	Función	Falla	Modo de Falla	Tarea	# Tarea	Tipo de Tarea	Riesgo
10	Motor3301C	00A03	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Partes giratorias rozan	Revisión de partes giratorias que rozan, para liberarlas y alinearlas	6	On Condition	2E
11	Motor3301C	00A04	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Excesivo ajuste de rodamientos	Cambio de rodamientos	8	Hard Time	2D
12	Motor3301C	00A05	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Suciedad y oxidación en los rodamientos	Análisis Tribológico al Aceite	9	Age Exploration	3D
13	Motor3301C	01A01	Buen aspecto	No hay buena presentación	Pintura deteriorada y suciedad en el equipo	Limpieza a fondo y pintura, corrección	3	Other Action / No PM	4D
14	Motor3301C	02A01	Fácilidad de desmontaje de elementos	No se pueden desmontar fácil los elementos del sistema	Ausencia de mecanismos fáciles de desmontaje	Lubricación de los sistemas de engranajes, poleas y cadenas del puente grua	10	Service / Lube	3E
15	Motor3301C	03A01	Mantener temperatura baja en rodamientos	Aumento gradual de la temperatura en rodamientos	Ausencia de película lubricante entre rodamientos	Revisión y completar nivel de lubricante, sacar agua	12	Service / Lube	2E
16	Motor3301C	03A02	Mantener temperatura baja en rodamientos	Aumento gradual de la temperatura en rodamientos	Obstrucción y taponamiento de filtros	Limpieza de filtros y taponamientos	14	Hard Time	2D
17	Motor3301C	04A01	Garantizar lubricación	No hay buen nivel de lubricantes	Caja de rodamientos con fuga de aceite	Verificar escapes de aceite diario	13	On Condition	3D

Ahora lo que se define como estrategia del proyecto consiste en priorizar los trabajos y tareas de mantenimiento acorde a los valores de evaluación del Riesgo, definido por la multiplicación entre Severidad y Probabilidad de Ocurrencia.

Ilustración 75 - Tabla de Riesgo, con Severidad y Ocurrencia en el IRCMS



General   Default   Level of Maintenance   Publications   Packages   Operating Phases						
Users   CF (Operating Hour/Unit)   Severity Classes   Failure Frequencies   HRI Matrix						
HRI Matrix Color Scheme						
	Frequent	Probable	Occasional	Remote	Improbable	
	<b>Ocurrencia</b>					
<b>Severidad</b>	Catastrophic	1A 1	1B 2	1C 6	1D 10	1E 14
	Critical	2A 3	2B 5	2C 9	2D 13	2E 17
	Major	3A 4	3B 8	3C 12	3D 16	3E 19
	Minor	4A 7	4B 11	4C 15	4D 18	4E 20

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

Criticality Colors: High ■ Medium ■ Low ■ Acceptable ■ Set Criticality Colors

InvertMatrix Save

Print Cancel

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.

Ilustración 76 - Prioridad de tareas en RCM en el Irma

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

#### 4.5.1 Trabajos finales del RCM

Ilustración 77 - Priorización final de tareas de mantenimiento de RCM en iRCM

Prioridad	Número	Equipo	Código	Función	Falla	Modo de Falla	Tarea	# Tarea	Tipo de Tarea	Riesgo
1	11	Motor3301C	00A04	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Excesivo ajuste de rodamientos	Cambio de rodamientos	8	Hard Time	2D
1	16	Motor3301C	03A02	Mantener temperatura baja en rodamientos	Aumento gradual de la temperatura en rodamientos	Obstrucción y taponamiento de filtros	Limpieza de filtros y taponamientos	14	Hard Time	2D
3	1	M3301C	00A01	Rotar motor a 1780 RPM	No rota Motor	Problemas en chumaceras	Lubricación	2	Service / Lube	2E
3	2	CE3301C	00A01	Motor recibe energía	No hay energía al motor	Problemas en arranque	Problemas digitales en el arranque	15	Other Action / No PM	2E
3	3	Cable 3301C	00A01	Transoportar energía eléctrica	Motor no recibe energía	Corto circuito	Revisión y corrección corto circuito	24	On Condition	2E
3	6	Multilin3301C	00A01	Control sobre el motor	No controla	Fallas en tarjetas electrónicas	Revisión Tarjetas y Multilin cada seis meses	16	On Condition	2E
3	9	Motor3301C	00A02	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Motor desbalanceado	Balancear motor	5	On Condition	2E
3	10	Motor3301C	00A03	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Partes giratorias rozan	Revisión de partes giratorias que rozan, para liberarlas y alinearlas	6	On Condition	2E
3	15	Motor3301C	03A01	Mantener temperatura baja en rodamientos	Aumento gradual de la temperatura en rodamientos	Ausencia de película lubricante entre rodamientos	Revisión y completar nivel de lubricante, sacar agua	12	Service / Lube	2E
10	4	Casilla3301C	00A01	Comandos de energizar	Componentes no actúan	Sulfatación contactos	Limpieza y ajuste de borneras	18	Age Exploration	3D
10	5	Casilla3301C	00A02	Comandos de energizar	Componentes no actúan	Puntos calientes	Termografía a las 5000 horas y cambio	20	Hard Time	3D
10	12	Motor3301C	00A05	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Suciedad y oxidación en los rodamientos	Análisis Tribológico al Aceite	9	Age Exploration	3D
10	17	Motor3301C	04A01	Garantizar lubricación	No hay buen nivel de lubricantes	Caja de rodamientos con fuga de aceite	Verificar escapes de aceite diario	13	On Condition	3D
14	8	Motor3301C	00A01	Vibración dentro de rango	Vibración fuera de rango	Desalineación causa vibración	Alinear y balancear el sistema motor bomba	4	On Condition	3E
15	14	Motor3301C	02A01	Fácilidad de desmontaje de elementos	No se pueden desmontar fácil los elementos del sistema	Ausencia de mecanismos fáciles de desmontaje	Lubricación de los sistemas de engranajes, poleas y cadenas del puente grúa	10	Service / Lube	3E
16	13	Motor3301C	01A01	Buen aspecto	No hay buena presentación	Pintura deteriorada y suciedad en el equipo	Limpieza a fondo y pintura, corrección	3	Other Action / No PM	4D
17	7	Switch3301C	00A01	Control ON OFF sobre motor	No funciona el ON OFF	Motor no acciona al ON OFF	Reemplazo del switch cada diez años	22	Hard Time	4E

Los trabajos se llevan a cabo en esta prioridad y orden de realización y esa es la estrategia de definición final del RCM en los equipos de sistemas de bombeo y motores de la Refinería de Barrancabermeja.

#### **4.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4**

El desarrollo de la sección muestra los diferentes 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 su proceso lógico.

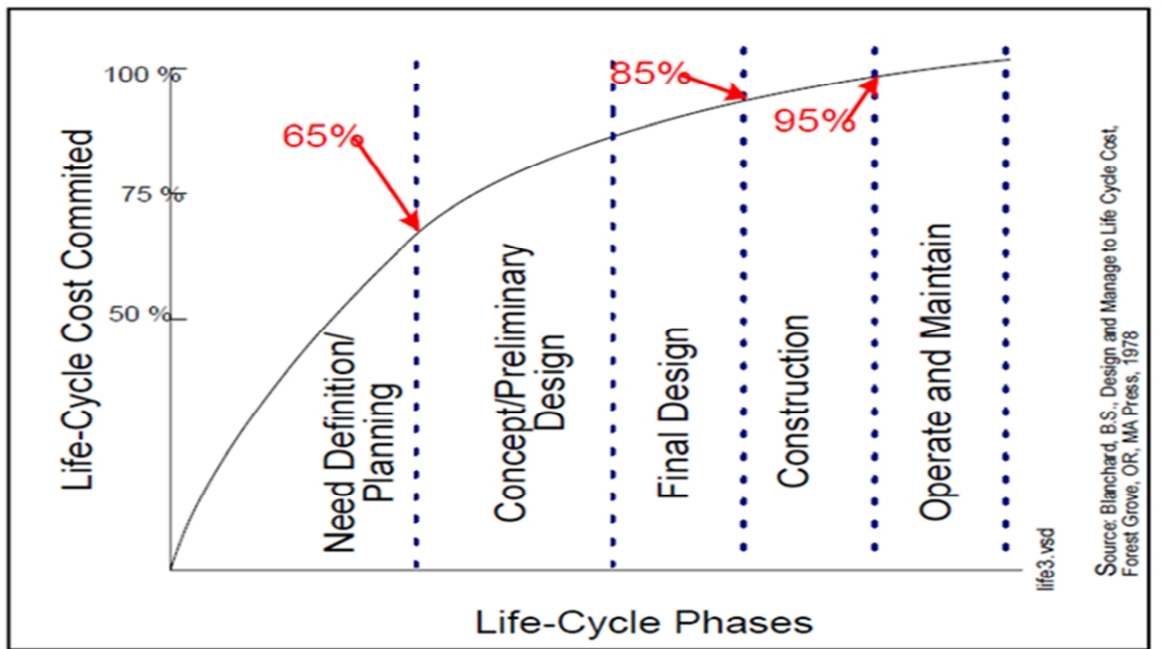
Con cada una de las funciones primaria y secundarias del equipo, con sus Fallas múltiples y específicas, con todos sus modos de Fallas, con todas las tareas planeadas (preventivas y/o predictivas) o no (correctivas o modificativas) de mantenimiento, en sus respectivos casos con su documentación completa 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 (véase siguiente ilustración).

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 78 - 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 trabaja 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*<sup>8</sup> 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 I- RCM) 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.

---

<sup>8</sup> *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/ezine/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 Strutral 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. Forcadás, 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](mailto:bhiatt@anesta.com), [bhiatt4419@aol.com](mailto: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](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 MantenimientoIndustrial*. [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](http://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.
- Motorelctrico@. 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](http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/pm/Uebung/Nakajima_III_TPM).
- NAVAIR. 1996.** *Directrices para la Aviacion 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](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 - Engliand : 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](http://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.

**Souris, 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*. **Venkatessan, 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 páginas 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](mailto: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.