

APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN EL
SISTEMA DE EXCITACIÓN DE UN GENERADOR SINCRÓNICO UTILIZANDO
EL SOFTWARE IRCMS

CARLOS DAVID MONTOYA ESCOBAR

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

ÉNFASIS MANTENIMIENTO

CÓDIGO 201719009114

CÉDULA 8163561

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN – COLOMBIA

2017

APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN EL
SISTEMA DE EXCITACIÓN DE UN GENERADOR SINCRÓNICO UTILIZANDO
EL SOFTWARE IRCMS

CARLOS DAVID MONTOYA ESCOBAR

DIRECTOR DE PROYECTO

ING. Ph. D LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN – COLOMBIA

2017

3

CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO	4
ILUSTRACIONES	7
0. PRÓLOGO	9
0.1 INTRODUCCIÓN	9
0.2 OBJETIVO GENERAL	9
0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
0.3.1 Uno – Pasos	10
0.3.2 Dos – Caracterización	10
0.3.3 Tres – IRCMS	11
0.3.4 Cuatro – IRCMS en el SEGS	11
0.3.5 Cinco – Propuesta mantenimiento	11
0.3.6 Seis – Conclusiones	11
0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO	11
0.5 ANTECEDENTES	12
0.6 JUSTIFICACIÓN	13
0.7 CONCLUSION DE CAPÍTULO 0	14
1. PASOS	15
1.1 OBJETIVO 1	15
1.2 RCM	15
1.2.1 Contexto operacional	16
1.2.2 Funciones	16
1.2.3 Fallas funcionales o estados de falla	17
1.2.4 Modos de falla	18
1.2.5 Los efectos de falla	18
1.2.6 Consecuencias de falla	19
1.2.7 Distintos tipos de mantenimiento y acciones a falta de	20
1.2.8 Hoja de decisión y diagrama de decisiones RCM	21

1.3	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1	25
2.	CARACTERIZACIÓN	26
2.1	OBJETIVO 2	26
2.2	SISTEMA EXCITACIÓN	26
2.2.1	Regulador de tensión	28
2.2.2	Interruptor de campo	35
2.2.3	Transformador de excitación	36
2.2.4	Recinto de anillos y escobillas	38
2.3	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2	40
3.	IRCMS	41
3.1	OBJETIVO 3	41
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE IRCMS	41
3.3	INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN	42
3.4	ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA IRCMS	43
3.4.1	Hardware Breakdown	50
3.4.2	FMECA & RCM Information	50
3.4.3	To Do List	51
3.4.4	Ventana de configuración 'Setup'	51
3.4.5	Reportes, 'Reports'	56
3.5	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3	62
4.	IRCMS en el SEGS	63
4.1	OBJETIVO 4	63
4.2	Introducción de componentes del SEGS	63
4.3	Introducción de funciones	65
4.4	Introducción de las fallas funcionales	66
4.5	Introducción de los modos de falla	68
4.6	Opciones en la ventana del Modo de Falla	71
4.6.1	Consecuencias de la falla – 'Failure Consequences'	71
4.6.2	Servicio de tareas de lubricación – Service/Lube	72
4.6.3	Tarea por Condición – 'On-Conditions Task'	74
4.6.4	Tareas de tiempo difícil – 'Hard time'	77

4.6.5	Tarea de Búsqueda de falla – ‘Failure finding’	78
4.6.6	Exploración por edad – ‘Age Exploration’	79
4.6.7	Otra acción/ No PM – ‘Other Action/ No PM’	81
4.6.8	Análisis de costo por equipos fuera de servicio – ‘Cost/ Downtime Analysis’	83
4.6.9	Package/Summary.	84
4.7	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4	87
5.	PROPUESTA MANTENIMIENTO	89
5.1	OBJETIVO 5.....	89
5.2	REPORTES.....	89
5.2.1	FMECA.....	89
5.2.2	Análisis detallado.....	92
5.2.3	Análisis resumido	96
5.2.4	Reporte de tareas de mantenimiento a realizar o empaquetamiento de tareas	97
5.2.5	Informe de Costo/Habilidades	98
5.3	PRIORIZACION DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	99
5.4	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 5.....	103
6.	CONCLUSIONES	104
6.1	OBJETIVO 6.....	104
6.2	DESARROLLO.....	104
	BIBLIOGRAFÍA.....	106

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Secuencia lógica lineal de objeto	10
Ilustración 2. Diagrama de decisión RCM.....	23
Ilustración 3. Hoja de decisión RCM.....	24
Ilustración 4. Datos nominales Sistema de Excitación.....	26
Ilustración 5. Esquema sistema de excitación de un generador sincrónico	27
Ilustración 6. Sistema de excitación datos principales	33
Ilustración 7. Fuente de corriente continua	34
Ilustración 8. Fuente de corriente alterna.....	34
Ilustración 9. Salida del transformador de medida de potencial para el regulador de voltaje	34
Ilustración 10. Salida del transformador de medida de corriente para el regulador de voltaje	34
Ilustración 11. Datos interruptor de campo	36
Ilustración 12. Datos transformador de excitación	37
Ilustración 13. Datos recinto de anillos	39
Ilustración 14. Icono IRCMs 6.3.....	43
Ilustración 15. Ventana principal IRCMs 6.3	44
Ilustración 16. Ventana nuevo proyecto IRCMs 6.3	45
Ilustración 17. Ventana creación nuevo proyecto IRCMs 6.3	45
Ilustración 18. Ventana después de crear un nuevo archivo	46
Ilustración 19. Ventana 'Setup' para crear usuarios.....	47
Ilustración 20. Confirmación creación de nuevo usuario.....	48
Ilustración 21. Información del activo principal.....	48
Ilustración 22. Ventana principal IRMCS con un proyecto abierto	49
Ilustración 23. Opciones reporte FMECA en IRCMS	57
Ilustración 24. Árbol Menú del Software IRCMS	61
Ilustración 25. Ingreso de partes del SEGS	63
Ilustración 26. Sistema de excitación de un generador sincrónico en IRCMs.....	65
Ilustración 27. Ventana para ingresar función en IRCMs.....	65

Ilustración 28. Ventana para ingresar falla funcional en IRCMs	67
Ilustración 29. Ventana para ingresar modos de falla en IRCMs	68
Ilustración 30. Ventana modos de falla, consecuencias de la falla	71
Ilustración 31. Ventana modos de falla, servicios de tarea de lubricación	72
Ilustración 32. Ventana modos de falla, On-condition	74
Ilustración 33. Ventana modos de falla, Hard-time.	77
Ilustración 34. Ventana modos de falla, failure finding.....	78
Ilustración 35. Ventana modos de falla, 'Age Exploration'.	79
Ilustración 36. Ventana modos de falla, 'Other Action/No PM'.....	81
Ilustración 37. Ventana modos de falla, 'Cost/Downtime Analysis'.	83
Ilustración 38. Ventana modos de falla, 'Package/Summary'.....	85
Ilustración 39. Informe FMECA del proyecto	90
Ilustración 40. Análisis detallado, modo de falla 01A01	92
Ilustración 41. Análisis detallado, modo de falla 01A06	94
Ilustración 42. Análisis resumido, modo de falla 01A06	96
Ilustración 43. Tareas de mantenimiento a realizar en el regulador de tensión	97
Ilustración 44. Reporte Costo/Habilidades	98
Ilustración 45. Ventana configuración 'Set up', Matriz de índice de riesgo	100
Ilustración 46. Análisis RCM con índice de riesgo en IRCMS.....	101
Ilustración 47. Tareas a implementar bajo RCM en el regulador de tensión del SEGS.....	102

0. PRÓLOGO

En éste capítulo se presenta la introducción y los objetivos del proyecto.

0.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo básico financiero de una organización es la maximización de las utilidades y busca su permanencia en el tiempo. El mantenimiento tiene un papel muy importante en las empresas productivas de bienes, ya que influye directamente en los costos, impacta los ingresos económicos y garantiza los beneficios percibidos por la empresa.

El mantenimiento y el objetivo básico financiero buscan la permanencia en el tiempo, el primero de los activos físicos y el segundo de la empresa, por lo que la tecnología constituye un eje fundamental para apalancar el mantenimiento, de tal forma que sea una herramienta que ayude a mejorar la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad de los activos objeto, reducir los costos y maximizar el servicio (García, 2009) (Mora, 2009).

El objetivo de éste proyecto es conocer y aprender de una herramienta tecnológica que facilite la implementación del RCM (Reliability-Centered Maintenance System) en una planta de generación de energía, específicamente en el sistema de excitación de un generador sincrónico (SEGS), para obtener las tareas de mantenimiento.

0.2 OBJETIVO GENERAL

Configurar el plan de mantenimiento para el regulador de tensión del Sistema de Excitación de un Generador Sincrónico mediante la utilización del software IRCMS (Integrated Reliability-Centered Maintenance System).

0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El esquema de los objetivos utiliza como base la teoría de Bloom y Gagné de la taxonomía de los objetivos en la educación, donde el nivel de avance en el aprendizaje es paralelo a la acción propuesta en cada objetivo (Bloom@, 2017).

Ilustración 1. Secuencia lógica lineal de objeto



0.3.1 Uno – Pasos

Fundamentar los conceptos relevantes de la táctica Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Nivel 1 – Conocer.

0.3.2 Dos – Caracterización

Describir las características técnicas y funcionales del Sistema de Excitación de un Generador Sincrónico en sus componentes: regulador de tensión y pre-excitación,

interruptor de campo, transformador de excitación, recinto de anillos y escobillas, en aras de aplicarles el RCM. Nivel 2 – Comprender.

0.3.3 Tres – IRCMS

Ilustrar las principales utilidades y usos del software IRCMS de la US Navy Air Force, con el fin de aplicarlo. – Nivel 3 Aplicar

0.3.4 Cuatro – IRCMS en el SEGS

Emplear la táctica RCM en el SEGS para el regulador de tensión mediante el software IRCMS. Nivel 4 – Aplicar.

0.3.5 Cinco – Propuesta mantenimiento

Esbozar un conjunto de actividades priorizadas de mantenimiento con la aplicación del RCM en el SEGS para el regulador de tensión. Nivel 5 – Analizar.

0.3.6 Seis – Conclusiones

Concluir los principales resultados del proyecto.

0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proceso se inicia con primer capítulo donde se trata sobre los fundamentos propios de la metodología de mantenimiento RCM.

El segundo capítulo describe el sistema de excitación de un generador sincrónico que es el activo de análisis con la metodología RCM.

El tercer objetivo ilustra el uso de la herramienta iRCM de la U.S Navy Air Force y en el capítulo cuatro se aplica la metodología RCM en el activo de análisis.

En el capítulo cinco, a partir de la información que entrega el capítulo anterior se propone el conjunto de actividades para la ejecución del plan de mantenimiento en sistema de excitación de un generador sincrónico.

En el último capítulo se expone las principales conclusiones sobre el resultado del mantenimiento en el SEGS.

0.5 ANTECEDENTES

Las empresas usuarias de sistemas de excitación obtienen su plan de mantenimiento de los manuales e instructivos que entrega el fabricante en el momento de la adquisición. Otra alternativa consiste en utilizar la experiencia del personal que recibe y pone en servicio el equipo y sus conocimientos en otros SEGS iguales o de similares características.

Las dos alternativas anteriores tienen en común que no consideran una metodología que genere un plan de mantenimiento que cubra de manera costo efectivo los modos de falla posibles y asegure el funcionamiento del activo en el tiempo.

El mantenimiento evoluciona de la implementación de acciones correctivas y preventivas hacia la implementación de tácticas y estrategias como el RCM (Moubray, 2004).

Normalmente las empresas desarrollan el RCM sin el apoyo de una herramienta informática específica para la metodología y documentan el proceso de manera manual en alguna herramienta ofimática, lo que resta agilidad y dificulta el análisis.

En la actualidad existen herramientas informáticas de uso libre o que requieren licenciamiento y que facilitan el desarrollo de la metodología RCM, algunos de

estos programas son el RCMCost de isograph, RCM++ de ReliaSoft, RCM3® de Renovetec y el IRCMS de la US Navy Air Force.

El IRCMS es una aplicación que el gobierno de Estados Unidos emplea para asistir a los analistas en el desarrollo y documentación del RCM en la fuerza aérea naval de dicho país. Su uso libre y fácil permite que otras industrias lo usen para sus análisis de RCM.

0.6 JUSTIFICACIÓN

En el proceso de generar energía son diversos los sistemas que intervienen para conseguir el objetivo final, donde uno de los más complejos y delicados es el sistema de excitación dado sus diversos componentes, con el propósito de no generar desviaciones al proceso de producción de energía y tener una alta confiabilidad en el proceso, es vital implementar un muy buen plan de mantenimiento.

El sistema de excitación es un proceso peligroso para las personas, dado los niveles de tensión con los que funciona, donde es importante emplear una buena metodología de mantenimiento como es el RCM, la cual determina qué se debe hacer en los equipos para asegurar su correcto funcionamiento y por ende busca la maximización de la confiabilidad en los elementos asociados.

La aplicación de la metodología RCM en el sistema de excitación de un generador sincrónico se hace con el software IRCMS, el cual incluye las condiciones de seguridad y confiabilidad requeridas en el SEGS, además proyecta un análisis adicional como la matriz de riesgos (WebRCM, 2016).

0.7 CONCLUSION DE CAPÍTULO 0

Éste capítulo indica y determina las bases suficientes para que el lector comprenda la estructura, desarrollo y alcance de la tesis, en lo que se refiere a objetivos, metodologías y metas particulares.

1. PASOS

1.1 OBJETIVO 1

Fundamentar los conceptos relevantes de la táctica Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Nivel 1 – Conocer.

1.2 RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología que establece las actividades para implementar en un activo físico, de tal manera que asegure lo que los usuarios desean que haga bajo su contexto operacional actual, esto implica un análisis de cada subsistema y cómo interrumpe o dificulta la prestación de su función, lo que se llama modos de falla (Moubray, 2004).

La norma SAE¹ JA 1011 detalla los requerimientos para que una metodología sea un proceso RCM y la SAE JA 1012 explica la terminología, amplia y clarifica los conceptos claves y como seguir la norma SAE JA 1011 (SAE-International, 2017) .

La norma y el proceso RCM dispone de una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos objeto de análisis, si bien es importante responder a cada uno de estos cuestionamientos lo primero es comenzar con el desarrollo del contexto operacional. Las siguientes son las siete preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y parámetros del equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) en relación con las funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de los estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de las fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?

¹ SAE: American Society of Automotive Engineers o en español Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices

6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no se encuentra una tarea predictiva o preventiva adecuada?

1.2.1 Contexto operacional

Antes de dar inicio con las funciones que se desea para el activo objeto de análisis, es importante tener un buen conocimiento del contexto en el cual opera el equipo, donde se redacta brevemente el régimen de operación del equipo, consecuencias de no disponer del equipo, objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente.

El contexto operacional también influye en los requerimientos para las funciones secundarias y las expectativas de funcionamiento, sino que también se vincula con los modos de falla que ocurren, sus efectos y consecuencias, la periodicidad con la que pueden ocurrir y que se hace para tratarlas (Moubray, 2004).

1.2.2 Funciones

Una vez se analiza y comprende el contexto operacional como insumo primario, se procede a identificar cada elemento del activo objeto de estudio, para los cuales se obtiene una o varias funciones que el usuario desea que realice.

Todo activo tiene una función primaria que describe la razón del porqué de la adquisición del activo y también sus funciones secundarias que indican que más se espera del equipo, como por ejemplo expectativas relacionadas con aspectos de seguridad, higiene, control, confort, integridad estructural, cumplimiento de normas, entre otras. (SAE-International, 2017)

La definición de una función consiste en un verbo, un objeto de referencia y el parámetro de rendimiento o estándar de funcionamiento deseado por el usuario (Moubray, 2004).

Las funciones y parámetros se definen para entender el por qué y para que de la adquisición del equipo, identificar las necesidades de los clientes internos, saber que tiene que hacer el equipo para satisfacer su misión y determinar estados de falla.

Las funciones se clasifican en dos grupos, que son las funciones principales y las secundarias. Las primeras describen la razón del porqué de la adquisición del equipo y las secundarias indican que más se espera del equipo, en aspecto de seguridad, higiene, control, confort, contención, integridad estructural, eficiencia operacional, cumplimiento de normas o regulaciones ambientales e incluso apariencia estética del activo (Mitchell, 2002).

1.2.3 Fallas funcionales o estados de falla

Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados no deseables del sistema, lo cual se obtiene al negar las funciones que el activo debe satisfacer, en otras palabras, es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que los usuarios quieren que haga.

El proceso RCM lo hace en dos pasos, inicialmente se trata de identificar las circunstancias que llevaron a la falla y en un segundo lugar evalúa qué eventos ocasionan que el activo falle, los estados de falla se conocen como fallas potenciales y fallas funcionales.

Las fallas potenciales son aquellas que indican que el equipo aun no falla pero está por presentar una falla funcional, es decir, que se detecta antes y muestra los síntomas que indican una posible condición de no funcionalidad del equipo. Las fallas funcionales son eventos que ocasionan que un activo no cumpla su función principal, de acuerdo al estándar de funcionamiento que el usuario considera aceptable (Medina, 2017).

1.2.4 Modos de falla

Con el levantamiento de las fallas funcionales, se procede a plantear todos los hechos que de manera lógica causan cada uno de los estados de fallas, a lo que denominamos modos de falla, también se considera las fallas que ocurren en equipos similares, las que operan bajo el mismo contexto operacional, las que están por mitigarse en mantenimientos planeados o las desconocidas que tienen alta probabilidad de ocurrencia.

Un modo de falla es una condición física específica que causa una falla funcional particular y es fácil observar, para luego buscar la causa raíz (Moubray, 2004).

El modo de falla es una posible causa por la cual un equipo llega a un estado de no funcionamiento y cada uno de estos orígenes tiene más de una posible causa, los cuales se identifican con el análisis RCM. Es importante para cada modo de falla identificar y listar la causa raíz, no es suficiente en el enunciado la palabra falla, rotura, mal funcionamiento, dado que no describe claramente las condiciones de falla y se debe especificar lo más preciso (Gutiérrez, 2008).

El proceso RCM utiliza el análisis FMECA² como herramienta para identificar los modos de falla que sean los causantes de cada falla funcional además de determinar los efectos o consecuencias asociados a cada modo de falla.

1.2.5 Los efectos de falla

De cada modo de falla se identifican los efectos de falla, donde se indica que sucede cuando la falla ocurre y se evalúa sus consecuencias, antes de clasificar el modo de falla en alguna categoría es importante responder los siguientes interrogantes:

- ¿La falla presenta síntomas evidentes antes de suceder?

² FMECA. Análisis y Criticidad de Fallas, sus Modos y Efectos, del inglés Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. El FMECA se utiliza para identificar y documentar las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y efectos de falla de un equipo.

- ¿Se muestra alguna alarma durante la falla?
- ¿Cuál es la velocidad de degradación de la falla?
- ¿La falla pone en riesgo la seguridad de las personas o del equipo?
- ¿Hay riesgos de explosión o electrocución?
- ¿La falla pondría en riesgo el prestigio de la empresa o a la misma empresa?
- ¿Hay posibles consecuencias en el medio ambiente?
- ¿Se puede detectar la falla?

La elaboración de éste paso implica mucha investigación y recolección de información, ya sea porque se tenga un histórico de eventos con sus respectivas atenciones o porque se ponga a prueba las hipótesis que se formulen sobre los hechos que conducen a una falla crítica (Moubray, 2004).

1.2.6 Consecuencias de falla

Una vez se determinan las funciones, fallas funcionales, modos de falla y los efectos de falla, el siguiente paso del proceso RCM es preguntar cómo y cuánto afecta cada falla, la importancia de este paso es porque las consecuencias de cada falla determinan qué se requiere para prevenirlas o que se necesita para encontrar las fallas (Moubray, 2004). En el análisis RCM se identifica la afectación de un equipo en alguna de las siguientes categorías:

- Consecuencias de fallas ocultas o no evidentes: en primera instancia no tienen impacto inmediato en la producción o en el funcionamiento primario del activo, aunque esté la falla presente.
- Consecuencias de seguridad y medio ambiente: cuando está en riesgo la seguridad de las personas o afecta el entorno donde opera el equipo
- Consecuencias operacionales: cuando se incrementa los costos o disminuye el beneficio económico de la empresa

- Consecuencias no operacionales: falla evidente pero no compromete la seguridad, medio ambiente o la capacidad operacional, la única consecuencia es el costo de reparación directo sobre el activo en falla.

(Medina, 2017).

1.2.7 Distintos tipos de mantenimiento y acciones a falta de

Se trata de encontrar las tareas de mantenimiento proactivas que sean costo-eficaces para prevenir las fallas. Por lo tanto, se identifican cuatro tipos de mantenimientos o tareas proactivas: predictivo, preventivo, correctivo y búsqueda de fallas (Mora, 2009).

Las tareas proactivas son todas aquellas actividades que se realizan antes de que la falla suceda y se implementan con el objetivo de evitar que el componente llegue a su estado de falla, el RCM divide las tareas proactivas en tres categorías y estas se conocen con los términos técnicos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento basado en condición, estas tres actividades abarcan lo que comúnmente se conoce como mantenimiento predictivo y preventivo.

Las tareas de reacondicionamiento cíclico son la reparación de un componente o un conjunto de partes antes de un límite de edad específico, sin importar su condición en ese momento. Así mismo, las tareas de sustitución cíclica implican el cambio de un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento. Estos dos tipos de tareas son conocidos generalmente como mantenimiento preventivo.

Las tareas a condición son llamadas así porque los componentes o un conjunto de partes continúan en funcionamiento a condición de que permanezcan en su normal trabajo bajo su contexto operacional. Parte del hecho de que la mayoría de las fallas emiten algún tipo de aviso antes de que ocurran, estos avisos o

advertencias se denominan fallas potenciales y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir.

El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predictivo, el mantenimiento basado en la condición y el monitoreo de condición.

El RCM propone acciones a falta de, sino se encuentran acciones de mantenimiento adecuadas, entre las que se recomienda tres acciones principales, búsqueda de fallas, rediseñar y mantenimiento no programado o correctivo.

La búsqueda de fallas examina las funciones de forma constante, de tal manera que precise si se presentan fallas, mientras las tareas basadas en condición revisan si algo está por fallar. Por ejemplo, en equipos con redundancias se debe evaluar el funcionamiento correcto o no del elemento secundario o de respaldo.

El rediseño conlleva el cambio de las capacidades iniciales de un sistema lo cual implica normalmente la adquisición de un nuevo equipo.

El mantenimiento no programado es conocido como correr a la falla, a rotura o correctivo, como indica su nombre no se anticipa a la falla, simplemente se deja que ocurra para posteriormente repararla, donde previamente se conoce sus implicaciones y riesgos en el proceso (Moubray, 2004) (Siddiqui, 2009).

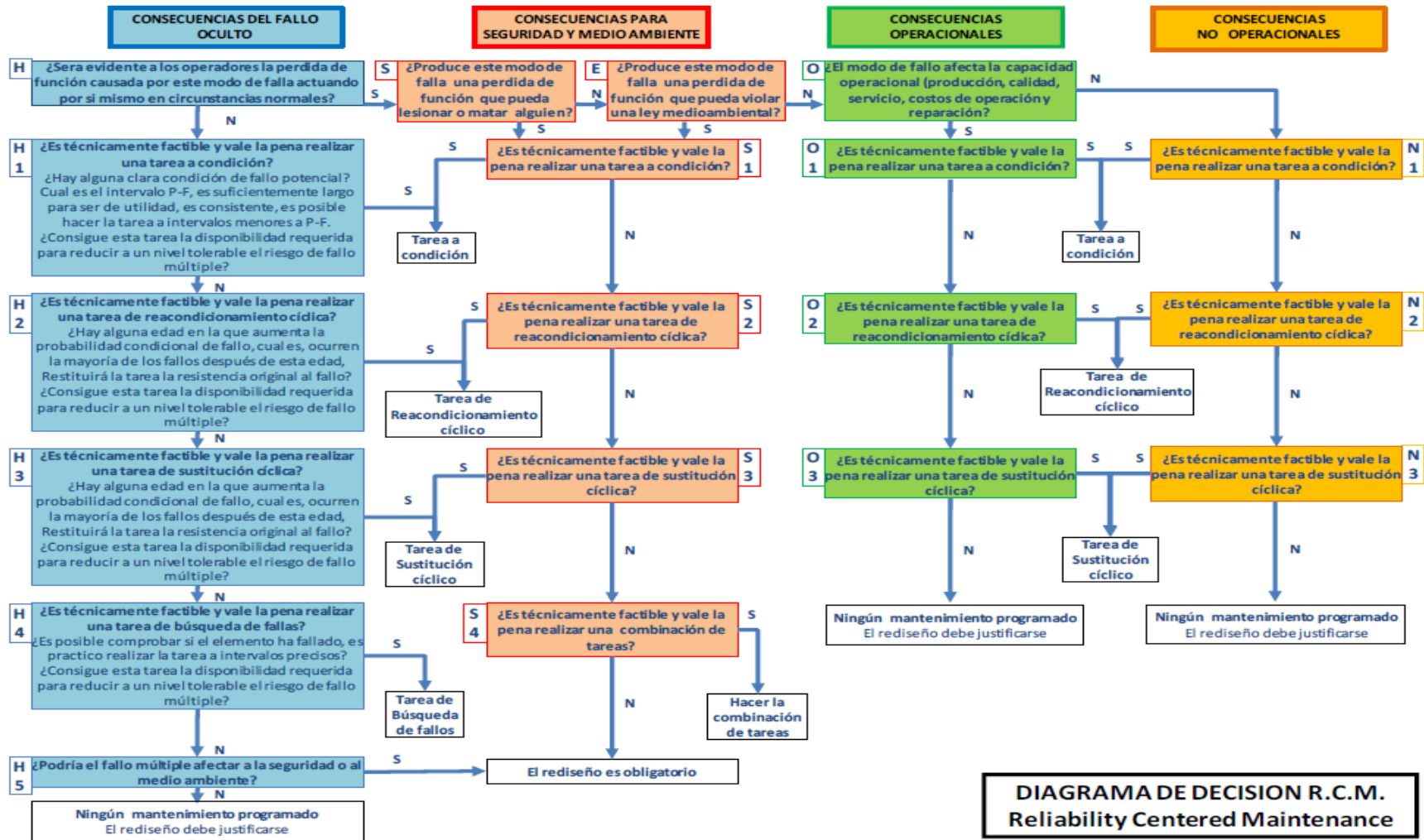
1.2.8 Hoja de decisión y diagrama de decisiones RCM

Una vez se desarrolla las siete preguntas que conforman el proceso de RCM se procede con el diagrama de decisiones que se observa en la ilustración 2, el cual integra todos los procesos de decisión donde se aplica la lógica decisional a cada uno de los modos de falla listados en la hoja de decisión RCM, ver ilustración 3, con el fin de detectar como se evita o minimiza las consecuencias.

La hoja de decisión registra las respuestas a las preguntas del diagrama de decisión, donde se explora que mantenimiento de rutina se realiza, con qué

frecuencia y quien lo hará. Además, si hay fallas que justifiquen un rediseño o si se toma la decisión deliberada que las fallas ocurran.

Ilustración 2. Diagrama de decisión RCM



(Moubray, 2004)

Ilustración 3. Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCMII © 1990 ALADON LTD				SISTEMA									Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
				SUBSISTEMA									Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción de falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	01 N1	02 N2	03 N3	H4	H5	S4				

(Moubray, 2004)

1.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

En éste capítulo se estudia el proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, donde se establece los conceptos relevantes y se expone cada uno de ellos de forma concisa para su comprensión.

2. CARACTERIZACIÓN

2.1 OBJETIVO 2

Describir las características técnicas y funcionales del Sistema de Excitación de un Generador Sincrónico en sus componentes: regulador de tensión y pre-excitación, interruptor de campo, transformador de excitación, recinto de anillos y escobillas, en aras de aplicarles el RCM. Nivel 2 – Comprender.

2.2 SISTEMA EXCITACIÓN

El sistema de excitación de una unidad generadora en su mayoría es del tipo estático, tiristórico, donde su alimentación es desde bornes del generador a través de un transformador y rectificador trifásico, el sistema se compone de los siguientes elementos: regulador de tensión y pre-excitación, interruptor de campo, transformador de excitación, recinto de anillos y escobillas.

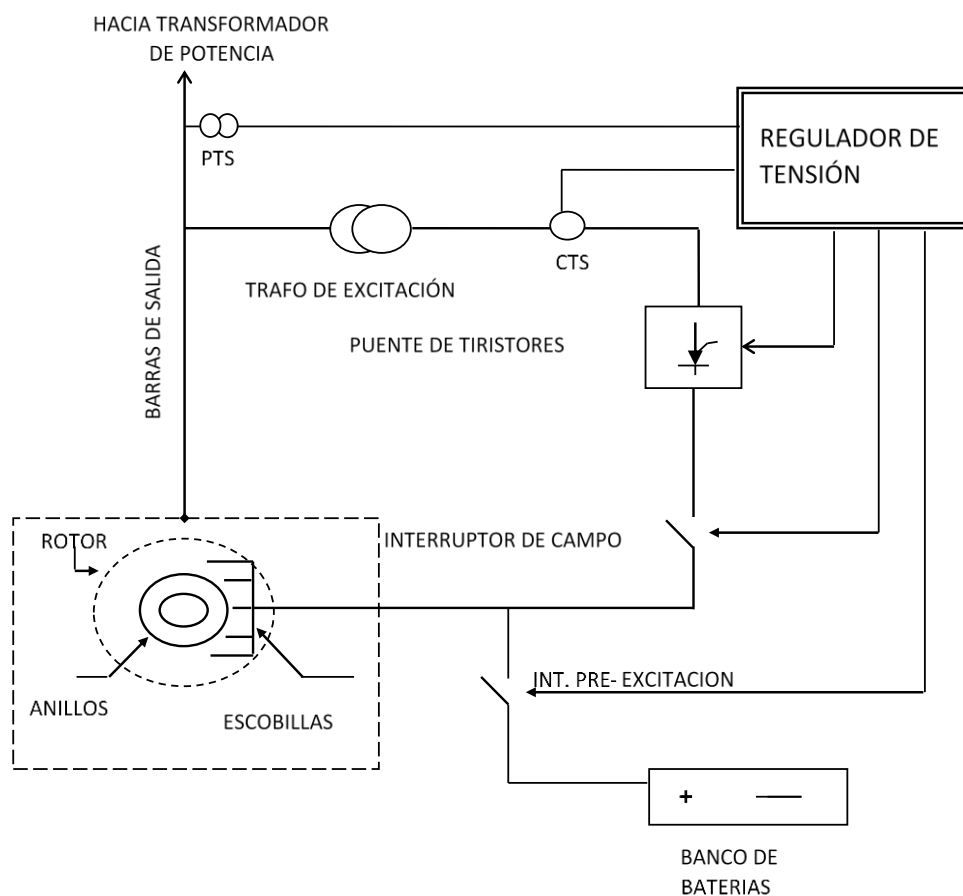
A continuación, se muestran los datos nominales de un sistema de excitación que servirá como ejercicio para el desarrollo del proyecto:

Ilustración 4. Datos nominales Sistema de Excitación

Voltaje estimado	13.8 KV
Corriente	3008 A
Factor de potencia estimado	0.9
Velocidad estimada	360 RPM
Resistencia del devanado de campo a 75° C	0.212 ohms
Corriente de campo sin carga	567 A
Voltaje de campo sin carga	120 V

Salida estimada	71.9 MVA
Corriente de campo estimada	978 A
Voltaje de campo estimado	207 V
Máxima corriente de campo continuamente	1112 A
Máximo voltaje de campo continuamente	236 V

Ilustración 5. Esquema sistema de excitación de un generador sincrónico



En la ilustración 5 se muestra el esquema de un sistema de excitación de un generador sincrónico con todos sus componentes.

2.2.1 Regulador de tensión

Los sistemas de excitación para los generadores tienen un transformador que alimenta un convertidor de potencia trifásico de tiristores con controles electrónicos analógico-digital, cuya salida rectificadora es el voltaje que alimentará el rotor del generador para producir el campo magnético necesario para la generación.

El sistema de excitación restaura rápidamente el voltaje del generador con respecto a la referencia del sistema y hará también una mayor contribución a la estabilidad del sistema de potencia, con alta capacidad de voltaje techo (voltaje máximo en bornes del rotor) y un tiempo de respuesta muy bajo.

El sistema de excitación toma potencia alterna desde los terminales del generador por medio de un barraje auxiliar que convierte ésta en corriente continua, para los requerimientos del campo del generador. Esto se realiza con un sistema de regulación de lazo cerrado que se toma desde las terminales del generador, vatios y vares son monitoreados continuamente y se usa para determinar la corriente de campo apropiada.

El circuito de potencia consiste de un transformador de excitación y un puente rectificador trifásico de tiristores. El transformador de excitación alimenta con potencia alterna el puente rectificador trifásico de tiristores (Suescún, 2017).

La salida de corriente continua del rectificador de tiristores es controlada por variación del ángulo de disparo de los tiristores, los cuales son controlados por el regulador automático de voltaje, a través del sistema de generación de pulsos. Este ángulo de disparo es determinado por el sistema de regulación de lazo cerrado.

Los rectificadores de potencia son dimensionados para funcionar con toda la corriente de campo y los requerimientos de voltaje, además tienen capacidad suficiente para proporcionar el voltaje techo y la corriente techo requeridos (Otto, 2017).

Además, los tiristores tienen suficiente rango para llevar las altas corrientes de campo inducidas que resultan de una falla trifásica en los terminales del generador. El voltaje pico positivo o negativo del tiristor tiene una capacidad al menos 2.75 veces el voltaje pico de operación normal.

Se dispone de fusibles muy rápidos para limitar la corriente, los cuales son conectados en serie con cada tiristor para abrir el circuito automáticamente en caso de falla de uno de los tiristores.

El sistema de excitación se compone de forma general por dos reguladores de voltaje, el regulador principal es el Regulador Automático de Voltaje (RAV), este regula el voltaje alterno en terminales del generador, el segundo es el Regulador de Corriente de Campo (RCC) o manual, donde éste regula la corriente de campo para mantener el voltaje necesario en las terminales del generador.

El RAV recibe la realimentación del promedio rectificado del voltaje trifásico de los transformadores de potencial (PT) del generador. Este es comparado con la referencia de un punto fijo, pero variable, controlado por el operador o remotamente. El circuito lógico de disparo determina el ángulo de disparo para producir el voltaje de campo requerido y llevar el voltaje en terminales del generador al valor correcto.

Para el RCC del voltaje de la máquina es necesario usar un sistema de control de lazo cerrado de corriente, la cual es tomada desde los transformadores de corriente (CT) montados entre el banco de tiristores y el transformador de excitación.

El RAV de corriente de campo se usa para regular el voltaje de la máquina, este regulador se implementa para continuar con el control, con una unidad de ajuste de la corriente de campo, por esto se aprecia una suave transición en la excitación cuando se cambia del regulador automático al regulador manual.

El ajuste de voltaje y el ajuste de corriente son realizados por una unidad de ajuste electrónico montada en el cubículo del regulador y puede ser controlado por un

operador, cuando se opera de forma manual. El regulador de corriente de campo está diseñado para remplazar completamente al regulador automático de voltaje.

El regulador de tensión está conformado así:

- Unidad básica, la cual realiza como función principal la regulación del voltaje. Unidades de control suplementarias usadas para varias funciones de limitación y funciones de control. El limitador de baja excitación, previene la pérdida de sincronismo del generador en caso de que esté trabajando en condiciones de baja excitación.
- Limitador de corriente de campo instantánea, previene periodos cortos de sobre carga en el convertidor de tiristores, los cuales tienen una constante de tiempo térmica muy corta.
- Limitador de tiempo de corriente de campo, diseñado para prevenir la operación del generador con excesiva corriente de campo, por ejemplo, en el caso de una caída de voltaje sostenida en la red. El limitador permite cortos tiempos de sobrecarga hasta el sobrecalentamiento permitido y es esencialmente para el buen control del voltaje. La duración de la sobrecarga y la limitación a la máxima corriente de campo permitida constantemente se puede ajustar en un amplio rango.
- Puente rectificador trifásico de tiristores: consiste en 2 puentes trifásicos, con tiristores en todos los seis bornes. Cada etapa es también acondicionada con un fusible, un reactor di/dt (Protección contra variaciones súbitas de corriente), y un snubber R-C (Protección contra cambios súbitos de tensión) para cada tiristor, donde se tiene dos puentes de tiristores conectados en paralelo para obtener el rango de corriente requerida.

El control de ángulo de fase de disparo del tiristor, los voltajes de campo positivo y negativo pueden ser producidos con flujo de corriente de campo positiva. La rectificación de carga inductiva ocurre cuando el ángulo de disparo está entre 0° y 90° (Voltaje positivo y corriente positiva), y ocurre inversión cuando el ángulo de

disparo está entre 90° y 155° (Voltaje negativo y corriente positiva). El ángulo de disparo del tiristor varía en respuesta a la salida del regulador.

El voltaje techo positivo es requerido cuando fallas o incrementos de carga reducen el voltaje del generador el cual debe ser restaurado por incremento de la corriente de campo.

El voltaje techo negativo es requerido durante un rechazo de carga del generador para reducir rápidamente la corriente de campo y por lo tanto el voltaje en terminales del generador ajustándolo al punto fijo.

El voltaje negativo es posible generarlo si se cumple que la carga es inductiva (el rotor) y que el disparo de los tiristores se haga en ángulos comprendidos entre 90° y 155° . El regulador de tensión está diseñado de tal manera que, ante un rechazo de carga o paro normal elimina rápidamente el campo en el rotor lo cual genera un voltaje negativo a fin de llevar el voltaje del rotor a cero, independiente de la polaridad del voltaje, la corriente siempre será positiva (IEEE Standards Association, 2016).

2.2.1.1 Monitoreo de conducción del puente

La línea corriente alterna del puente se protege y monitorea para detectar la presencia o ausencia de corriente en el tiristor, este circuito detecta la pérdida de conducción de corriente del tiristor por alguna de las siguientes condiciones:

- Fusible quemado.
- Apertura o corto de la compuerta de un tiristor

2.2.1.2 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración que se usa normalmente en los reguladores de excitación es el sistema de refrigeración de aire forzado, por medio de dos ventiladores.

Ambos ventiladores funcionan, pero en caso de que uno falle una alarma está instalada para dar aviso visual y sonoro, lo cual permite a personal de mantenimiento remediar la falla y así evitar una salida de la unidad por alta temperatura en el puente de tiristores en caso de fallar el otro ventilador.

Los filtros de polvo son de tipo industrial, lavables y son intercambiables mientras el excitador está energizado.

2.2.1.3 Protección de sobre tensión

Es un circuito palanca que se conecta permanentemente a través del barraje de corriente continua para prevenir altos valores de voltaje que se debe al deslizamiento de polos de generador. Este circuito pone en conducción un tiristor en serie con una resistencia para derivar parte de la corriente de excitación, la caída de tensión de la resistencia se monitorea por medio de un relé el cual ocasiona un paro de emergencia de la unidad.

2.2.1.4 Resistencia de descarga de campo

Es un varistor cerámico con el cual la corriente de campo se descarga. El voltaje máximo admisible en el interruptor de campo es usualmente el factor limitante. La capacidad en vatios/segundo de la resistencia de descarga de campo se iguala con la energía que se almacena en el campo.

2.2.1.5 Pre-Excitación

Cuando el generador suministra la potencia al transformador de excitación, el generador es auto excitado, dado que el generador no produce voltaje hasta que haya alguna corriente de campo, por lo tanto, es necesario introducir otra fuente de corriente de campo por unos pocos segundos para energizar inicialmente el campo del rotor. Este proceso es llamado pre-excitación. La fuente que se usa para esta corriente de pre-excitación son las baterías, normalmente de servicios auxiliares de una casa de máquinas, las cuales suministran un voltaje de 133Vdc.

Al menos tres condiciones deben satisfacerse antes de que pueda ocurrir la pre-excitación, la primera es interruptor de campo cerrado, velocidad del generador al 95% o mayor y tercero una señal de inicio desde la estación de control bien sea manual o automática. Cuando todas las condiciones se cumplen, el contactor se cierra para conectar la fuente de pre-excitación al campo. El voltaje del generador aumenta en respuesta a esta corriente de campo.

La fuente de pre-excitación tiene una resistencia en serie para limitar la corriente de campo a un valor que corresponde cerca del 30% del voltaje del generador, cuando el excitador opera, se produce una corriente de campo cerca del 15% del voltaje del generador. Cuando el voltaje del generador alcanza cerca del 50%, el excitador debe tomar la excitación del campo, donde se independice de la fuente de pre-excitación, un circuito determina el voltaje para que se inicie la apertura del contactor de pre-excitación. Si por alguna razón el excitador no toma la excitación del campo después de 6 segundos, para éste caso, el interruptor de campo se dispara para interrumpir la corriente de pre-excitación (Suescún, 2017).

2.2.1.6 Parámetros de funcionamiento

A continuación, se muestran los parámetros de funcionamiento para un sistema de excitación de un generador sincrónico como objeto de estudio.

Ilustración 6. Sistema de excitación datos principales

Voltaje de entrada al transformador de excitación.	13.8 KV
Frecuencia de la red.	60 hz.
Salida de corriente, máxima y continua.	1170/980 A d.c.
Potencia máxima de excitación, al máximo de corriente continua.	700 KVA
Pico positivo de salida de voltaje, con el voltaje estimado de la fuente y máxima corriente de salida continua.	520 V d.c.
Respuesta.	6 s -1
Pico de salida de corriente, con el voltaje estimado de Máxima	2000/1500 A d.c.

duración.	10 s
Temperatura de operación	0 ± 40 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 ± 70 °C
Voltaje de prueba de los circuitos principales	50Hz, 1 min. 2.5 KV

Ilustración 7. Fuente de corriente continua

Para pre-excitación	125 V d.c. + 10 % - 20 %
Corriente durante el arranque, máximo 10 s	60 A
Voltaje de control para reles y contactores	125 V + 10 %, - 15 %
Grupo de circuitos de control y alarma	550 / 50 W
Grupo de circuitos de disparo	250 W

Ilustración 8. Fuente de corriente alterna

Fuente para pruebas R – S – T	10 KVA, 3x208 / 120 V + 10 %, -20 %, 60 hz.
-------------------------------	---

Entrada y salida de datos para circuitos de control y operación.

Ilustración 9. Salida transformador de medida potencial para regulador voltaje

Voltaje	115 V
Frecuencia	60 hz.
Carga	10 VA / fase

Ilustración 10. Salida transformador de medida corriente para regulador voltaje

Corriente	3x5 A
Frecuencia	60 hz.
Carga	10 VA / fase

2.2.1.7 Fallas

- Falla Voltaje 125 V DC para alimentación del control del regulador.
- Falla tensión ± 24 voltios de alimentación al dispositivo de pulsos
- Falla medida de tensión del generador
- Falla excitación inicial
- Regulador automático desconectado
- Sobre voltaje de excitación
- Corriente de excitación al mínimo
- Tiempo de sobre excitación excedido
- Falla ventiladores
- Fusible de tiristores quemado
- Minibreaker abierto
- Minibreaker abierto

2.2.2 Interruptor de campo

Este interruptor permite conectar y desconectar la potencia requerida proveniente del puente o banco rectificador de tiristores al rotor de la unidad, posee una indicación de posición abierto o cerrado y estas posiciones son señales de entrada al de control de la unidad generadora.

2.2.2.1 Parámetros de funcionamiento

El interruptor de campo tiene los siguientes parámetros principales:

Ilustración 11. Datos interruptor de campo

Fabricante.	Unelec , Francia
Tipo.	CEX 71B 1600
Frecuencia estimada de la red.	60 HZ
Voltaje de operación control.	125 V dc
Voltaje operación interruptor.	550 V dc
Corriente constante.	1600 A dc
Máximo voltaje de interrupción.	1000 V dc
Máxima corriente de cortocircuito.	20 kA
Potencia bobina de cierre y de sostenimiento.	500 W y 42 W
Bobina de disparo.	220 W

2.2.2.2 Fallas

El interruptor de campo puede presentar pérdida de funcionalidad debido a los siguientes problemas:

- Falla en el circuito de las bobinas de cierre.
- Falla en la bobina de apertura.
- Falla mecánica en el mecanismo de accionamiento de cierre y/o apertura.

2.2.3 Transformador de excitación

El transformador de excitación es requerido para la adecuación del voltaje que se toma de los terminales de la unidad antes de ser aplicado al banco de tiristores, el cual requiere un voltaje máximo determinado, así como un aislamiento galvánico entre el circuito del estator del generador y el sistema de excitación. La potencia requerida para la excitación es derivada desde las barras de salida a través del transformador de excitación.

Este transformador está conectado por el lado del devanado primario al barraje de salida de la unidad a 13.8 KV \pm 2.5 % y entrega un voltaje de salida en su secundario de 425V \pm 2.5 %.

2.2.3.1 Parámetros de funcionamiento:

El transformador de excitación es trifásico, con ventilación forzada y grupo horario Yd5. Los principales parámetros del transformador de excitación son:

Ilustración 12. Datos transformador de excitación

Fabricante	HOLEC , HOLLAND
Tipo	RD 660
Potencia	700 KVA
Frecuencia estimada de la red	60 HZ
Voltaje primario	13.8 kV \pm 2.5%
Voltaje secundario	425 V \pm 2.5 %
Conexiones por IEC	Yd5
Impedancia de cortocircuito	5,75 a 75°C
Pérdidas en el hierro	1950 W
Pérdidas en el cobre	6800 W a 75°C
Equipo de protección	Sobrecorriente
Dimensiones	1560 x 830 x 1735 mm
Peso total	2410 Kg

2.2.3.2 Fallas.

El transformador de excitación puede presentar pérdida de funcionalidad debido a los siguientes problemas:

- Falla de Ventilación: Cuando se presenta la falla del ventilador, se genera

una alarma visual y sonora en el panel de alarmas de la unidad.

- Falla por Temperatura: Como consecuencia de la salida de la ventilación o una sobrecorriente en el transformador se produce un aumento de la temperatura en el transformador y/o recinto, lo cual genera una alarma visual y sonora que se muestra en el panel de alarmas de la unidad.
- Falla por Sobre Temperatura: Se da cuando se detecta una temperatura muy alta en el recinto del transformador, generándose un disparo rápido que provoca la salida de operación de la unidad, con indicación visual y sonora en el panel de alarmas.

2.2.4 Recinto de anillos y escobillas

En el recinto de anillos se encuentran alojados los elementos de unión eléctrica entre el sistema de excitación estática y el rotor, se compone de dos anillos rozantes, dos bloques porta escobillas; uno superior y otro inferior cada uno de ellos con diez escobillas con sus correspondientes sistemas tensor. A través de este sistema se inyecta la potencia de excitación requerida a los polos del rotor los cuales están conectados en serie y de tal manera que se obtengan polos magnéticos consecutivos de polaridad distinta.

Las escobillas están fabricadas de carbón prensado y calentado a una temperatura de 1200°C, se apoyan rozando contra los anillos gracias a la acción de unos resortes, que se incluyen para hacer que la escobilla esté rozando continuamente el anillo. El material con que están fabricadas las escobillas produce un roce suave equivalente a una lubricación.

Los porta escobillas son elementos que sujetan y canalizan el movimiento de los carbones, los cuales se deslizan libremente en su caja lo que obliga a apoyarse sobre el anillo colector por medio de un resorte que carga con una tensión de 2000 dinas (150 – 250 gr/cm²).

2.2.4.1 Parámetros de funcionamiento.

Los elementos en el recinto de anillos tienen los siguientes parámetros principales.

Ilustración 13. Datos recinto de anillos

Fabricante.	RADE KONCAR
Tipo Escobillas.	20 Unidades Tipo Estudio N°1
Máxima medida escobillas.	40 mm
Mínima medida escobillas.	25 mm
Tensión mecánica aplicada sobre cada escobilla.	2000 dinas
Aislamiento del bloque de anillos rozantes con respecto al núcleo y sistema escobillas sucio.	>50 kΩ
Aislamiento del bloque de anillos rozantes con respecto al núcleo y al sistema de escobillas lavado.	>15 MΩ
Máximo voltaje de excitación.	220 V dc
Máxima corriente de excitación.	900 A

2.2.4.2 Fallas

El recinto de anillos puede presentar pérdida de funcionalidad debido a los siguientes problemas:

- Desgaste escobilla: si esta se desgasta por debajo de 17 mm puede dañar el anillo sobre el cual se desliza. Se entiende que este es el principal problema de las conexiones por escobillas, por lo que es un limitante importante en el mantenimiento de la unidad. Se encuentra que en las unidades de generación cualquiera, las escobillas pasan de 40 mm (nuevas) a 25 mm (cambio) en seis meses.
- Falla del mecanismo de ajuste del resorte que presiona la escobilla contra el anillo.

En este caso puede haber desgaste exagerado de las escobillas o presentarse chisporroteo anormal.

- Pérdida del aislamiento entre el bloque completo de los anillos a tierra. Este evento sucede cuando el exceso de suciedad de polvo de escobillas y aceite crea caminos conductores a tierra, generando disparo de la unidad por falla a tierra rotor. Cuando esto se da se debe lavar el sistema de anillos y porta escobillas con líquido dieléctrico a fin de retirar suciedad conductora y restaurar el aislamiento del sistema.

2.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

Se comprende y se explica las características técnicas y funcionales del Sistema de Excitación de un Generador Sincrónico en sus componentes: regulador de tensión, interruptor de campo, transformador de excitación, recinto de anillos y escobillas, en aras de aplicarles el RCM.

3. IRCMS

3.1 OBJETIVO 3

Ilustrar las principales utilidades y usos del software IRCMs de la US Navy Air Force, con el fin de aplicarlo – Nivel 3 Aplicar.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE IRCMS

La herramienta IRCMS se diseña con las siguientes características para su correcto funcionamiento o es necesario que cumpla con las mismas:

- Sistemas operativos Windows³ 95/98/2000/XP o NT.
- Diseñado para operar en red de área local.
- Capacidad para múltiples usuarios 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 auditoría 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.

³ Windows: Sistema operativo desarrollado por Microsoft que comienza con la interfaz gráfica para el Sistema Operativo MS-DOS y cuya filosofía es brindar la facilidad de desplazamiento amigable entre las diversas y simultáneas tareas que se ejecutan.

- Proporciona la capacidad de presentación de informes en el nivel especificado por el usuario.
- Entrega informes en varias formas, Word, en pantalla y HTML.
- Entrada de FMECA con todas las funciones.
- Grabación de las opciones de gestión de fallos e información de tareas asociadas.
- Capacidad para cortar, copiar, y pegar grandes partes del análisis dentro de los proyectos y hacia otros proyectos.
- Capacidad para comparar el costo y el tiempo de inactividad, de diversas estrategias de gestión de fallas.
- Asignación del índice de riesgo de peligro.
- Seguimiento de estado del proyecto.
- Empaquetado de tareas.

(NAVAIR, 2011)

3.3 INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

El software de instalación se descarga de la dirección <http://webrcm.org/downloads/>, página de RCM de la NAVAIR (WebRCM, 2016). Posterior a esto se ejecuta el archivo .exe⁴ donde se guía al usuario a través del proceso de instalación, donde al final se crea un acceso directo en el escritorio y no se ejecuta hasta realizar los siguientes pasos.

El software funciona de forma correcta en Windows 95/98/2000/XP y los sistemas operativos actuales corren bajo Windows 7, 8 o 10, por lo tanto se ubica el archivo ejecutable luego de la instalación, C:\Program Files (x86)\IRCMS63\IRCMS630.exe, se da clic derecho, propiedades, compatibilidad,

⁴ .exe en informática es una extensión que se refiere a un archivo ejecutable (de la abreviación del inglés executable, que se traduce en ejecutable)

se selecciona 'Ejecutar este programa en modo compatibilidad para:' y se escoge Windows XP (Service Pack 2), luego se aplica y se acepta los cambios.

Luego de las indicaciones dadas, se ejecuta en Windows 'Símbolo del sistema' y se copia línea por línea lo que se muestra a continuación:

```
@echo on
```

```
echo %USERPROFILE%
```

```
mkdir "%USERPROFILE%\Application Data\IRCMS630\"
```

Ilustración 14. Icono IRCMs 6.3



Para abrir el software y su uso de doble click derecho en el icono siguiente



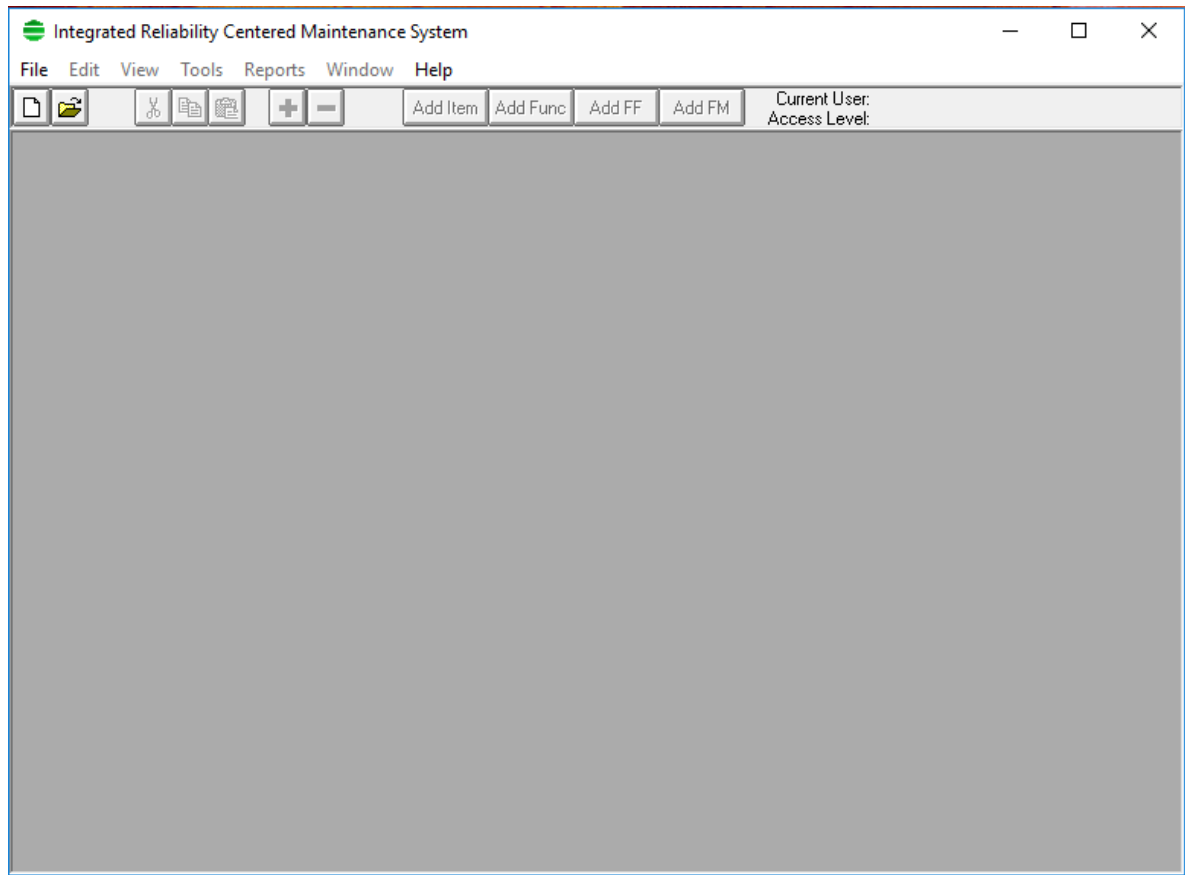
SEGS_user_123_password_123.rcm (Línea de comandos)

Una vez se ejecuta las instrucciones de instalación no se debe tener inconveniente al correr el programa IRCMs 6.3, el icono para su ejecución se ubica en el escritorio de la computadora y corresponde a la ilustración 14.

3.4 ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA IRCMS

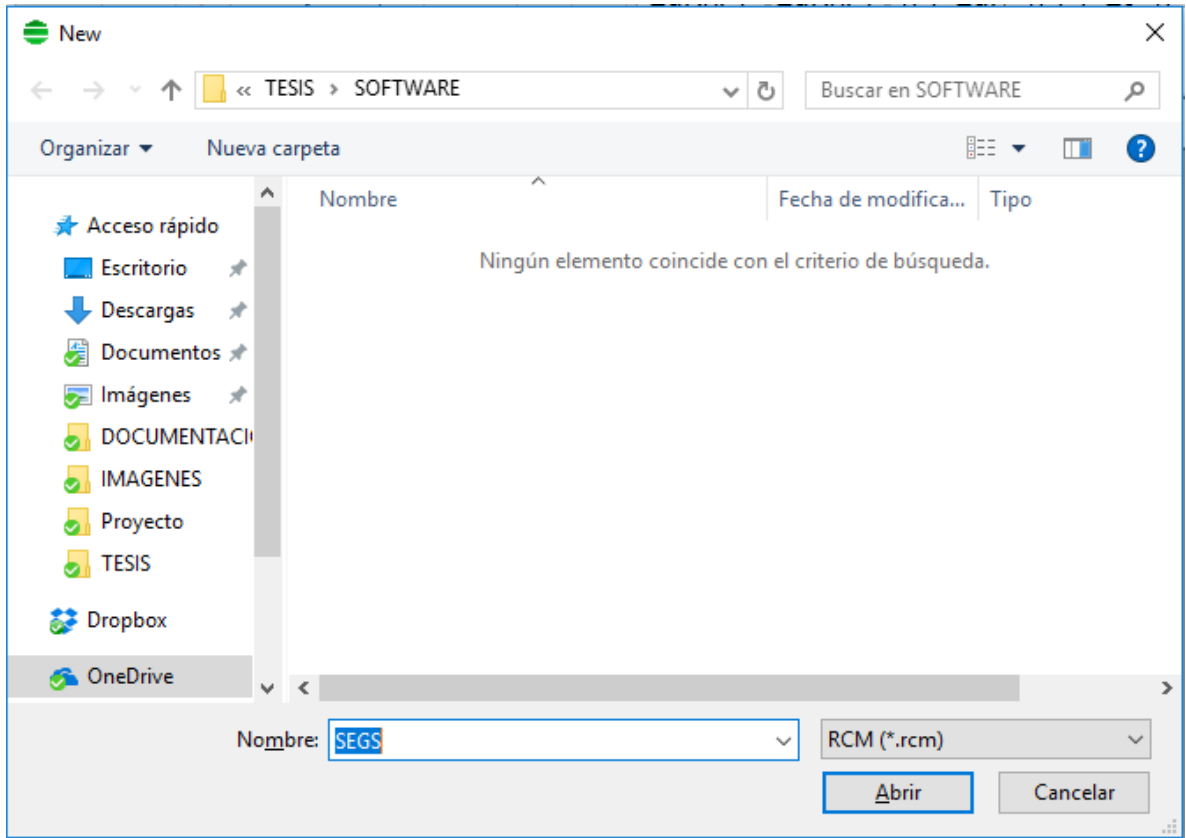
La ventana principal posee características muy similares a las de casi todos los programas diseñados bajo el ambiente Windows.

Ilustración 15. Ventana principal IRCMs 6.3



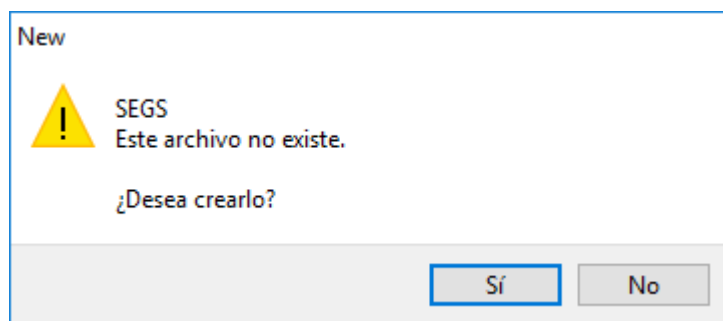
Al ejecutar el IRCMs 6.3 por primera vez solo está activo en la barra del menú principal, la opción 'File' y 'Help', de igual manera en la barra de herramientas solo aparecen dos iconos activos, que corresponden a 'New' y 'Open', cuando se realice un nuevo proyecto o se abra uno existente se habilita otros iconos y aparecen otras ventanas dentro del mismo programa.

Ilustración 16. Ventana nuevo proyecto 6.3



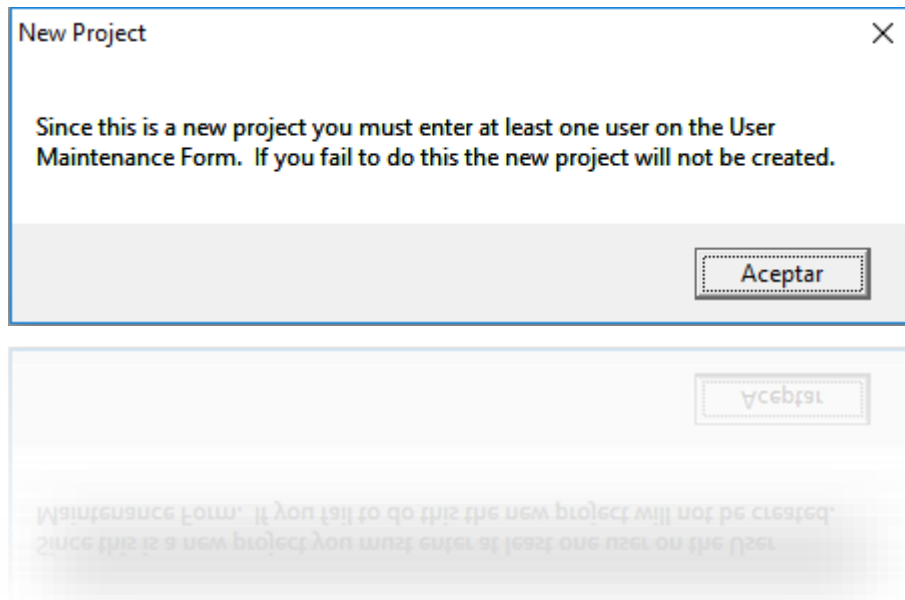
Para la creación de un nuevo proyecto se da clic en 'File' y luego 'New Project' o simplemente damos clic en el icono 'New' de la barra de herramientas, donde se abre una nueva ventana la cual nos solicita el nombre del nuevo proyecto, el cual a su vez se guarda con extensión .rcm y damos clic en Abrir.

Ilustración 17. Ventana creación nuevo proyecto IRCMs 6.3



Una vez se da clic en 'Abrir' confirma que el archivo no existe y si desea crearlo, a lo cual decimos que 'Sí'.

Ilustración 18. Ventana después de crear un nuevo archivo



Una vez se crea el nuevo proyecto se debe ingresar al menos un usuario quien ingresa la información en los diferentes formatos, dado que si no se hace el proyecto no será creado, por lo cual se da clic en 'Aceptar' y se diligencia los datos.

Ilustración 19. Ventana 'Setup' para crear usuarios

Setup

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

<<< Add New User >>>

Last Name, First Name	User ID
-----------------------	---------

Multiple users can be defined with different access rights.

Access Levels:

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

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

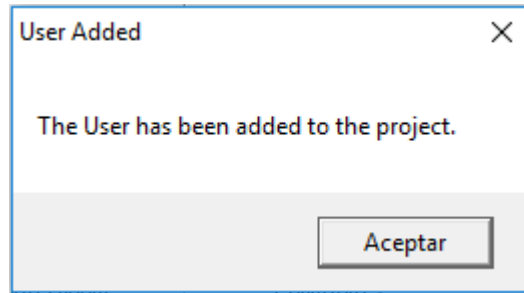
Edit or Add User:

First Name: CARLOS (optional)
Last Name: MONTOYA
User Name: cdmontoya
Password: ****
Verify Password: ****
Access Level: SignOff
Active:

Help Delete Save Continue Print Cancel

Se diligencia la información solicitada y se da clic en 'Continue'.

Ilustración 20. Confirmación creación de nuevo usuario

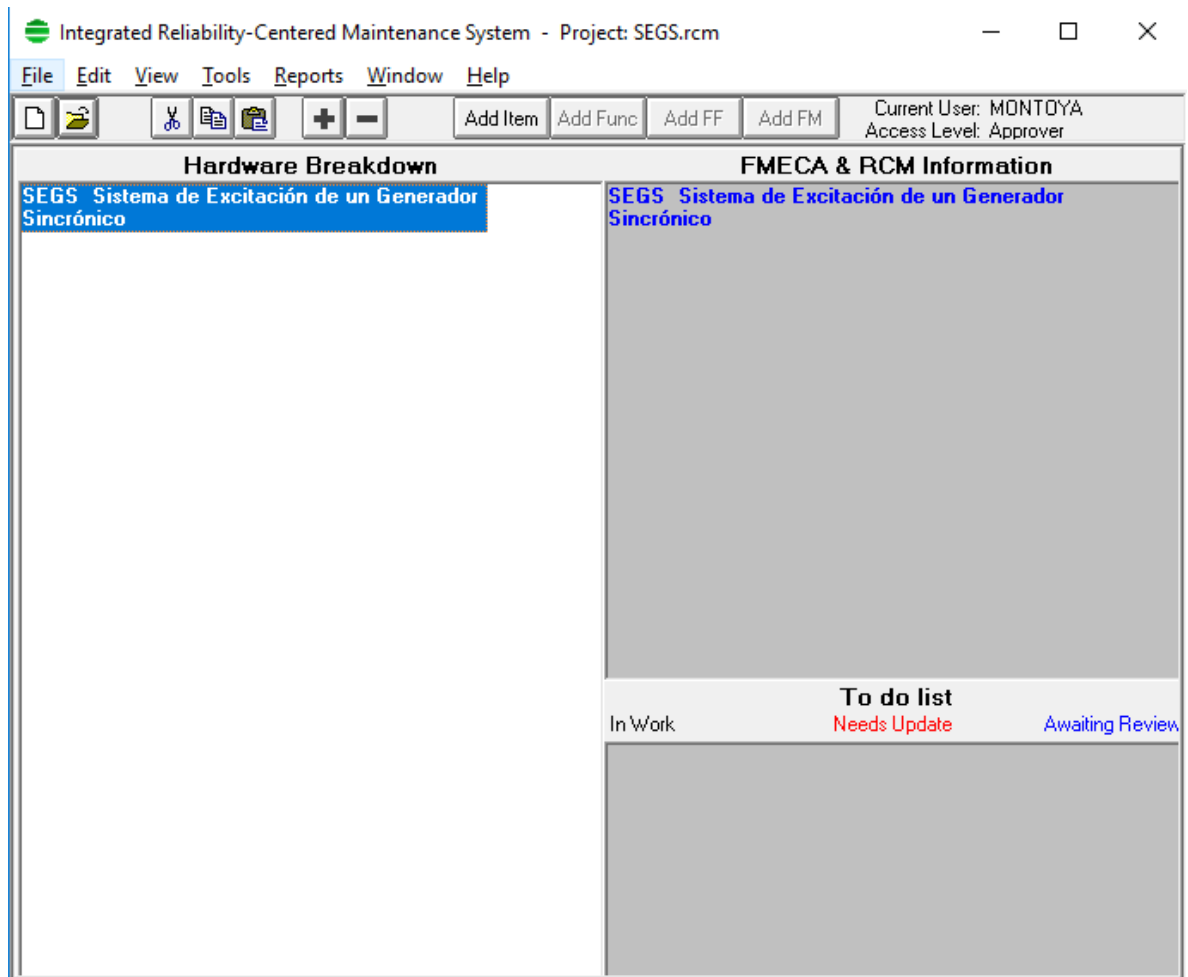


Se indica que se añade un nuevo usuario al proyecto y se da clic en 'Aceptar'.

Ilustración 21. Información del activo principal

Una vez se crea el usuario, se ingresa la información del sistema objeto de análisis del RCM, el 'Item ID' son las siglas del sistema de análisis, el cual se pone por completo en el campo 'Item Name' y se describe de forma amplia en 'Item Description', se ingresa el usuario analista, aprobador y quien revisa el proyecto.

Ilustración 22. Ventana principal IRMCS con un proyecto abierto



Al ingresar la información del activo principal y dar clic en continuar, se muestra la ventana principal del proyecto, subdivido en tres sub ventanas llamadas 'Hardware Breakdown', 'FMECA & RCM Information' y 'To do list'.

El programa guarda el proyecto de forma automática solo con abrir las ventanas de trabajo. Con el botón derecho del ratón se puede ver la información del equipo, las fallas funcionales o el modo de falla que se seleccione.

Con el ratón se agrega equipos, fallas funcionales y modos de falla, al ubicarse justo encima del nombre de interés y presionado el botón izquierdo, hay que tener en cuenta que estas opciones dependen de la ventana en la cual se trabaja.

3.4.1 Hardware Breakdown

En este panel se despliega el árbol del hardware, para acceder a la información de los elementos. Se puede escoger con clic derecho del ratón y opción open, o con un doble clic sobre el elemento deseado. Aquí es donde se encuentra el equipo principal y desde donde se ingresan las funciones que se analizan en la ventana de FMECA.

En esta sección se despliega el hardware es como un árbol de donde se desprende 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 se diligencia conforme al documento NA-00-25-403, sección 3.2, de la NAVAIR para una mejor implementación (NAVAIR, 2011).

3.4.2 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 del RCM, se puede acceder a la información al escoger el bloque y dar un doble clic. 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 modos de falla 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 u operación. En esta sección 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 lo dispuesto por el usuario.

3.4.3 To Do List

En ésta división se muestran las partes inconclusas del análisis RCM, donde se facilita el proceso al no tener que buscar por cada rama del árbol FMECA, solo al dar clic en un elemento se accede directamente a la actividad para actualizar. Sin embargo, la clasificación de esta sección se edita en el menú 'Setup'.

Esta sección lista las partes incompletas del análisis RCM, con el fin de no tener que buscarlas por todas las ramas del árbol de FMECA, con un solo clic a un elemento se puede acceder directamente para actualizar. La clasificación de esta división se puede editar en el 'Setup'.

3.4.4 Ventana de configuración 'Setup'

Se accede a la ventana de configuración desde el menú principal, dando clic en 'File' y luego en 'Setup', aquí se parametriza todo el proyecto con el objeto de organizar la forma en que se guarda y se procesa la información, a continuación, se muestra la información de cada pestaña de ésta ventana para su configuración.

3.4.4.1 Configuración - 'General'

Aquí se filtra la información que aparece en la sección 'To do list', como es aprobado, en revisión, actuales, entre otros, también se puede desbloquear los modos de falla (solo si el usuario principal tiene permisos).

3.4.4.2 Configuración por defecto 'Default'

Se puede ingresar el tiempo de vida restante en horas y se introduce en el campo 'as of' la fecha de inicio en servicio, también se diligencia el costo de pérdida de tiempo operacional, estos valores se requieren para el análisis del costo de las funciones.

3.4.4.3 Factores de conversión 'CF'

En los factores de conversión se permite adicionar factores de conversión para unidades de medida, esto nos permite usar diferentes unidades de medida en un mismo estudio RCM.

Los factores de conversión se relacionan con la unidad por defecto que son las horas de operación, además se puede adicionar unidades de medida que no están incluidas en lista.

Se elige agregar unidad 'Add New Unit', esto despliega unas celdas donde le damos un código, el nombre de la unidad de medida, y por último el factor de conversión, también se puede eliminar cualquier unidad que no se use en el estudio RCM al seleccionar 'Delete Unit'.

3.4.4.4 Matriz del índice de riesgo - 'HRI Matrix'

El índice de riesgo está compuesto por dos ejes, la gravedad de la ocurrencia de una falla (eje Y) y la posibilidad o frecuencia de la misma (eje X). Este proceso se realiza con un equipo multidisciplinario que realiza el mantenimiento y la confiabilidad de la planta.

El eje de gravedad se compone por las diferentes clases que se definen en 'severity classes', el eje de frecuencia de fallas se relaciona con los parámetros que se ingresan en 'failure frequency'. La matriz se ajusta a la necesidad del administrador del software, al editar colores y el orden de las abscisas y las ordenadas.

La información para elaborar la matriz HRI normalmente proviene de las reglas básicas y supuestos del manual de la NAVAIR 00-25-403 (NAVAIR, 2011).

Otro aspecto que se trata en esta ventana es la personalización de la matriz; se pueden invertir los ejes 'Invert Matrix', escoger los colores de gravedad 'Set Criticality Colors' o se puede regresar al estado inicial 'Reset Default Colors'.

Cuando se presiona el botón 'Set Criticality Colors', aparece una pequeña ventana con los colores y para hacer el cambio se le da doble clic y se escoge el que el usuario quiera, esto se hace de uno en uno, y al final se presiona 'Save Settings' para guardar los cambios efectuados en la paleta de colores.

Finalmente, para cambiar los colores de las celdas de la matriz HRI se le da doble clic a la posición y se elige el color para clasificación del estudio.

3.4.4.5 Clases de severidad, 'Severity Classes'

Es una categoría que se asigna a los modos de falla, se basa en los impactos de sus efectos potenciales. Esta categoría se deriva de las reglas y pautas del documento NAVAIR 00-25-403 (NAVAIR, 2011). Para asignar una nueva clase de gravedad solo se debe escoger la opción 'Add New Severity Class' y se ingresa el nombre del nuevo componente en la celda 'Severity Class Description',

seguidamente se introduce la prioridad de esta nueva clase en la celda 'Priority', esto debe ser en números romanos de 1 a 10, se puede editar el impacto de la gravedad con los botones 'Higher o Lower', es decir se puede subir o bajar los elementos en la clasificación de gravedad de acuerdo a las necesidades del estudio.

Cuando se acaban de ingresar los factores de severidad, se elige 'Save' o 'Continue' para guardar o continuar respectivamente.

3.4.4.6 Frecuencia de Fallas 'Failure Frecuencias'

Muestra que tan frecuente ocurren las fallas, las reglas se ven en NAVAIR 00-25-403 (NAVAIR, 2011).

Para agregar una nueva frecuencia de falla se da clic en 'Add New Failure Frequency', se escribe el nombre en 'Frequency Description', se ingresa en la celda 'One Occurrence Per number and Units' el tiempo en el cual ocurre una falla por la unidad 'Units' necesaria, las unidades fueron parametrizadas en la ventana de factor de conversión 'CF'.

Una ocurrencia por (One Occurrence Per), es el punto de corte de la frecuencia de falla. Si una falla ocurre más veces del número entrado en la celda del campo anterior, entonces la falla será clasificada en la siguiente clasificación más alta de las frecuencias de falla, se finaliza al guardar dando clic en 'Save'.

3.4.4.7 Publicaciones - 'Publications'

Las tareas de mantenimiento preventivo que resultan del análisis RCM, se documentan en publicaciones.

Para agregar una publicación en esta opción del 'Setup', da clic en agregar nueva publicación 'Add New Publication' en la parte superior, luego ingresamos el

nombre de la publicación 'Publication Name', se escribe una breve descripción de la publicación 'Publication Description', y por último se guarda 'Save'.

3.4.4.8 Paquetes, 'Packages'

Agrupar las tareas de mantenimiento preventivo y se agrupan en paquetes ejecutables de tareas. Estos grupos de tareas deben estar documentadas en publicaciones de algún tipo.

Esta ventana le 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 se debe introducir antes de ingresar una entrada de paquetes.

3.4.4.9 Ajuste de las fases de operación, 'Operating Phases Setup'

Para agregar una fase de operación:

1. Se selecciona 'Add New Operating Phase', con esto se borran todos los campos en las celdas de la ventana.
2. En la celda 'Operating Phase name', se le da un nombre a la fase que se está registrando, se ingresa el tiempo de operación y se designa la fase de operación.
3. Se guarda lo que se ingresa.

Para editar una fase de operación existente, se escoge en la celda 'Select Operating Phase to edit', y se repite los pasos uno a tres.

3.4.4.10 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.

Para agregar un nivel de mantenimiento:

1. Se selecciona 'Add New Level of Maintenance'.
2. Se ingresa el nombre del nivel de mantenimiento, el costo del nivel de mantenimiento (en unidades monetarias) y la descripción.
3. Se guarda, dando clic en 'Save'.

Para editar un nivel de mantenimiento se elige uno de los elementos listados en la celda 'Select a Level of Maintenance to Edit', y se actualizan los campos del paso dos.

3.4.4.11 Usuarios, 'Users'

Esta función 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.

IRCMS permite asignar usuarios con diferentes niveles de permiso de acceso a la base de datos, con el fin de que solo algunos puedan editar y aprobar.

3.4.5 Reportes, 'Reports'

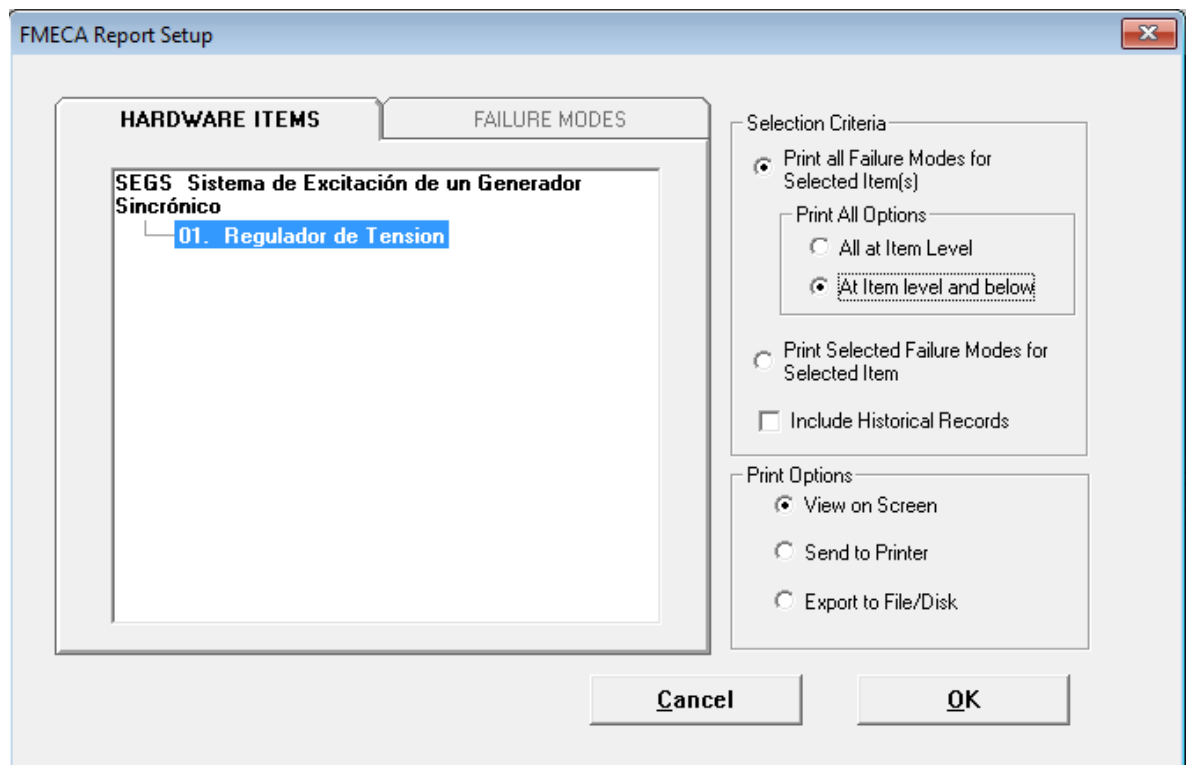
Se da clic en 'Reports' y permite visualizar los reportes arrojados por el programa, según el tipo de máquina y la información que se ingresa sobre ésta.

Al dar clic en la opción 'Reports' en la barra de herramientas se despliega un menú con las siguientes alternativas: FMECA, Analysis Detail, Analysis Summary, Task Packaging, Cost/Skills, Project Summary, Hardware y Memo Report.

3.4.5.1 FMECA

El formato de reporte se basa en el proporcionado en el 'Military Standard 1629' (Department of Defense - USA, 1980). Al dar clic en la alternativa FMECA, se abre una ventana en la cual se muestra las máquinas que ya se ingresaron, al seleccionar la máquina se activan las opciones de la parte derecha de la pantalla 'Selection Criteria' y 'Print Options', como se observa en la ilustración 23.

Ilustración 23. Opciones reporte FMECA en IRCMS



El usuario tiene la opción de escoger entre las siguientes opciones de impresión: 'View on Screen', 'Send to Printer' y 'Export to File/Disk'.

Si se selecciona la opción 'View on Screen' se muestra una hoja con el reporte de la(s) máquina(s) en un formato tipo tabla.

Si la opción es 'Export to file/disk', se abrirá una ventana con opciones para guardar el archivo en el formato y destino que se desee.

Si la opción es 'Send to Printer', el usuario podrá visualizar una ventana con diferentes opciones para imprimir.

3.4.5.2 Análisis detallado – 'Analysis Detail'

Es un reporte multipágina, en el cual aparecen todos los modos de falla y la información que se escribe en los memos de uno en particular.

Al dar clic en la alternativa 'Analysis Detail', se abre una ventana en la cual se muestran las máquinas objeto de análisis. Al dar clic en la máquina se activan las opciones de la parte derecha de la pantalla ('Selection Criteria' y 'Print Option'), el usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) máquina(s) seleccionada(s), se finaliza esta operación dando clic en Ok.

El usuario encuentra la misma ventana que se muestra en la alternativa FMECA, pero el reporte es un informe detallado de la maquina seleccionada.

3.4.5.3 Análisis resumido – 'Analysis Summary'

En ésta opción se entrega un informe limitado, solo se relaciona el modo de falla, éste reporte contiene información breve sobre FMECA, incluye el resumen de recomendaciones y las tareas se seleccionan para mitigar la falla.

Al dar clic en la alternativa 'Analysis Summary', se abre una ventana en la cual se muestran las máquinas, al escoger la máquina se activan las opciones de la parte

derecha de la pantalla 'Selection Criteria' y 'Print Option', el usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) maquina(s) seleccionada(s), se finaliza esta operación dando clic en OK.

El usuario encuentra la misma ventana que fue mostrada en la alternativa FMECA, pero el reporte es un informe breve del modo de falla y las operaciones que se deben realizar para detectar el fallo, se muestra el estado del proceso de mantenimiento y las recomendaciones para el mantenimiento.

3.4.5.4 Empaquetamiento de tareas, 'Task Packaging'

Al seleccionar ésta opción se abre una interfaz desde la cual el usuario controla que se incluye en el reporte y cómo se organiza, cada pestaña de ésta opción permite al usuario limitar aún más las salidas de los diferentes campos y clasificar de acuerdo a los requerimientos.

3.4.5.5 Costo/habilidades, 'Cost/Skills'

Al escoger ésta opción se da un resumen de los niveles de experiencia y los costos requeridos para llevar a cabo un mantenimiento preventivo según el análisis RCM, además éste reporte provee una interfaz para controlar que se va a incluir y cómo se organiza el reporte.

Como en la opción anterior se puede filtrar y limitar la información, con una pestaña que da un resumen general de los filtros que se escogen.

3.4.5.6 Resumen del proyecto, 'Project Summary'

Ésta alternativa entrega un resumen de los estados de los actuales modos de falla, donde se indica cuantos modos de falla están en los diferentes estados: en proceso, requiere actualización, esperando revisión, aprobado y el histórico.

3.4.5.7 Informe de Hardware y memo, 'Hardware y Memo Report'

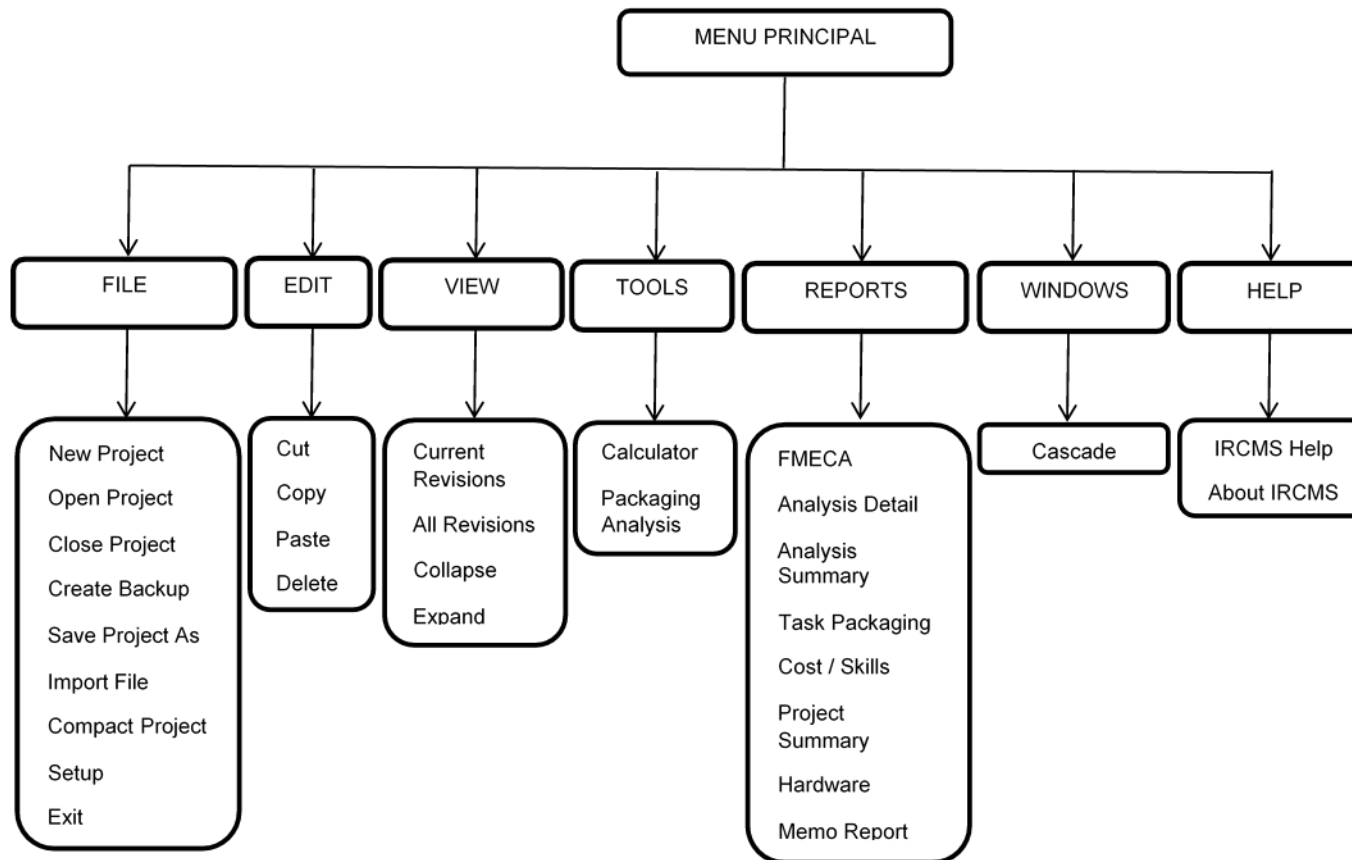
En la opción de 'Hardware' se muestran las máquinas activas o sobre las cuales se cuenta con una información FMECA.

En 'Memo Report' se muestra la información de entrada en los diferentes campos de los modos de falla, cualquier memorando que se añade a la descripción del modo de falla.

Al seleccionar la opción de 'Memo Report' se abre una ventana en la cual se muestran las máquinas que son objeto de análisis, al dar clic sobre una máquina se activan las opciones de la parte derecha en la pantalla 'Selection Criteria' y 'Print Option', el usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) máquina(s) seleccionada(s), se finaliza esta operación dando clic en OK, que corresponde a la misma ventana que se analiza en FMECA.

El reporte es un informe de los memorandos que se ingresan a cada máquina con el propósito de agilizar un futuro proceso de mantenimiento, así como las recomendaciones para el mantenimiento.

Ilustración 24. Árbol Menú del Software IRCMS



Hasta aquí se analiza las principales funcionalidades del software IRCMS 6.3, en la ilustración 24 se muestra que contiene cada una de las opciones en la barra del menú de herramientas, las cuales son de fácil comprensión.

3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3

Se muestra las principales utilidades y usos del software IRCMS de la US Navy Air Force, donde se analiza las funciones del 'Set up' y 'Reports' como principales características del software, con el propósito de realizar su aplicación en el sistema de excitación de un generador sincrónico.

4. IRCMS en el SEGS

4.1 OBJETIVO 4

Emplear la táctica RCM en el SEGS para el regulador de tensión mediante el software IRCMS. Nivel 4 – Aplicar.

4.2 Introducción de componentes del SEGS

Una vez se ingresa la información del sistema objeto de análisis del RCM, como se muestra en la ilustración 21, se continúa con el siguiente paso el cual consiste en ingresar las partes del regulador de tensión.

Ilustración 25. Ingreso de partes del SEGS

The screenshot shows a software window titled "Item - Regulador de Tension". The form contains the following fields and values:

- Item ID: 01.
- Item Name: Regulador de Tension
- Item Description: Alimenta al rotor del generador para producir el campo magnetico necesario para la generacion de energia
- Item ID Code: (empty)
- Part Number: (empty)
- Alternate Application: (empty)
- Effectivity: (empty)
- Number of Items in operation: 0
- Item Design Life: 129600
- Status: Approved
- Analyst: MONTROYA, CARLOS
- Approved by: MONTROYA, CARLOS
- Reviewed by: MONTROYA, CARLOS

Buttons at the bottom: Save, Continue, Cancel, Memo.

Para el ingreso de las partes, se parte de la ilustración 22, en Hardware Breakdown se selecciona el equipo SEGS y se da clic en 'Add Item' de la barra de herramientas, lo cual abre una ventana como en la ilustración 25 y se diligencia sus principales campos.

Item ID: Identificación de la parte, lo cual se hará en orden de 01 al 04, según las partes del SEGS.

Item Name: Nombre descriptivo del equipo.

Item Description: Descripción breve del activo y su función.

Analyst: Es la persona quien ingresa la información del equipo o componente, funciones, fallas funcionales o un modo de falla. Los analistas se seleccionan de la lista de usuarios de 'Set up'.

Approved by: Nombre de la persona que aprueba el ingreso del equipo, la Función, la falla funcional o el modo de falla. Los usuarios que aprueban se escoge de la lista de usuarios en el 'Set up'.

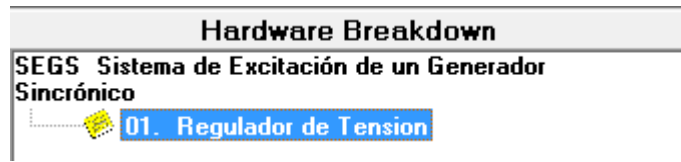
Reviewed by: Es la persona que reviso el equipo ingresado. Se trata igual que la información anterior.

Item Design Life: Estudio de vida del equipo, aquí se ingresa el estudio de vida útil del equipo, en un número por la unidad deseada.

Status: La aplicación permite indicar el estado en el que se encuentra una función o una falla funcional. Las ventanas donde se ingresa la información tiene una celda para escoger el estado en el que se encuentra el equipo.

- Approved: Los análisis están completos y han sido aprobados.
- Awaiting Approval: Análisis completos pero que no están aprobados.
- In Process: Análisis en los cuales aún se trabaja.
- Needs Update: Análisis que se saben que necesitan revisiones.

Ilustración 26. Sistema de excitación de un generador sincrónico en IRCMs



Una vez se ingresa todos los componentes del SEGS en IRCMs, el Hardware Breakdown queda como se muestra en la ilustración 26.

4.3 Introducción de funciones

Una vez se ingresa todos los componentes del SEGS se da clic el equipo '01. Regulador de Tensión' y se ubica en 'FMECA & RCM Information' lo cual activa el botón 'Add Func', de la barra de herramientas o se da clic derecho sobre el equipo y se activa 'Add Function'.

Ilustración 27. Ventana para ingresar función en IRCMs

The screenshot shows a window titled "Function - 01. - 01". The form contains the following fields and sections:

- Item ID: 01.
- Function ID: 01
- Function Description: En modo Automático. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.
- Functional Significance Determination table:

	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: [Empty text box]
- Analyst: MONTOYA, CARLOS
- Status: Approved
- Approved by: MONTOYA, CARLOS
- Reviewed by: MONTOYA, CARLOS
- Buttons: Print, Save, Continue, Cancel, Memo

Al dar clic sobre una de las dos opciones, se procede a añadir la función y se diligencia los campos.

Function ID: Es un número de dos dígitos asignado a una función en particular, al ingresar nuevas funciones se aumenta de uno en uno.

Function Description: Una función es el propósito o la intención para la que se diseña un elemento y describe su nivel de rendimiento. Una descripción completa de una función debe incluir los límites de un desempeño específico. Estos análisis de funciones se referencian en NA-00-25-403, sección 3.2 (NAVAIR, 2011)

Functional Significance Determination: El proceso RCM proporciona un medio a través de decisiones lógicas para identificar cuáles son o no funciones significantes. Una función significativa, es aquella que sus fallas resultan en impactos adversos con respecto a la seguridad, el medio ambiente y las operaciones o la economía. En la ventana se hacen una serie de preguntas con las que se determina si se trata de una función significativa como se estudia en el capítulo 1.2.8.

4.4 Introducción de las fallas funcionales

Una vez se ingresa la función se procede a ingresar las fallas funcionales que se asocian a la respectiva función, para lo cual se ubica en 'FMECA & RCM Information', se selecciona la función a la que se le va a añadir la falla funcional y se activa el botón 'Add FF', de la barra de herramientas o se da clic derecho sobre la función y se activa 'Add Functional Failure'.

Ilustración 28. Ventana para ingresar falla funcional en IRCMs

Functional Failure - 01. - 01A

Item ID: 01.

Function ID: 01

Function Description: En modo Automático. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.

Functional Failure ID: A

Functional Failure Description: Salida de voltaje fuera de rango de 13,8KV+ 5%

Compensating Provisions:

Effectivity:

Analyst: MONTOYA, CARLOS

Status: Approved

Approved by: MONTOYA, CARLOS

Reviewed by: MONTOYA, CARLOS

Save Continue Cancel Memo

Al dar clic sobre una de las dos opciones, se procede a añadir la falla funcional y se diligencia los campos.

Functional Failure ID: Es un carácter alfanumérico que sólo identifica la falla funcional. Su principal uso es llevar el orden de las fallas funcionales.

Functional Failure Description: Es la inhabilidad de un elemento para desempeñar una tarea específica dentro de los límites específicos. Una falla funcional no necesariamente puede ser una completa perdida de la función. La adecuada descripción de la falla funcional se basa en la descripción en detalle de la función que desempeña el elemento.

Compensating Provisions: Son la estructura de diseño o acciones de un operador para evitar o mitigar el efecto de una falla funcional. Estas precauciones pueden incluir acciones tales como respaldos, funciones redundantes, la seguridad,

dispositivos de relevo, selección de respaldo, sistemas de prevención o alerta, o sistemas indicadores.

El FMECA debe incluir una descripción en detalle de las disposiciones de compensación para cada falla funcional si es que existen, este campo es de gran importancia porque se utiliza para determinar los efectos de falla, severidad y consecuencias.

4.5 Introducción de los modos de falla

Posterior al ingreso de la falla funcional, se procede a ingresar los modos de falla que se asocian a la falla funcional, para lo cual se ubica en 'FMECA & RCM Information', se selecciona la función a la que se le va a añadir la falla funcional y se activa el botón 'Add FM', de la barra de herramientas o se da clic derecho sobre la falla funcional y se activa 'Add Failure Mode'.

Ilustración 29. Ventana para ingresar modos de falla en IRCMs

Failure Mode - 01. - 01A01

Item ID: 01. Regulador de Tension FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description:
Descalibracion en transductor para elementos de medida

Local Effects:
La maquina continua en operación. El operador cuando detecta el problema compara con la instrumentación adicional y verifica el mal funcionamiento del indicador.

Next Higher Effects:
El operador trata de corregir el voltaje, llevando a una posible salida de la maquina por sobrevoltaje o subvoltaje.

End Effects:
Si el operador por modificación del voltaje dispara la maquina se demora en reponer: 2 horas. Lo cual provoca una pérdida de generación y puede haber desviación con penalización regulatoria. Tiempo de atención del problema: 1 hora.

Detection Method:
Comparacion entre instrumentos

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

Effectivity: Part No of failed item: Operating Phase:

MTBF: 0,000023 A - Operating 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	

Al dar clic sobre una de las dos opciones, se procede a añadir la el modo de falla y se diligencia los campos.

FMI-Failure Mode Indicator (FMI): Un 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 y un número de 2 dígitos.

Por ejemplo: 08-B-01, donde 08 identifica la función del equipo en particular, B significa que es la segunda falla funcional del anterior y 01 primer modo de falla.

Se debe ser cuidadoso a la hora de ingresar estos datos ya que la aplicación tiene la capacidad de asignar automáticamente los 2 últimos dígitos del FMI, sin embargo el usuario lo puede modificar, por lo que se podría presentar duplicaciones.

Failure Mode Description: Es una condición física específica que puede resultar en una falla funcional. La declaración del modo de falla debe incluir una descripción del mecanismo de fallo (por ejemplo, fatiga), siempre que esto sea posible.

Local Effects, Next Higher Effects, End Effects: La mayoría de los FMECA identifica tres niveles de efectos de falla que son local, próximo y elemento final. Estos tres niveles son suficientes para la mayoría de los análisis, pero se deben agregar o suprimir niveles cuando se necesite.

El efecto de falla es descrito como el impacto que una falla funcional tiene en un equipo bajo análisis, los elementos que actúan en la función y la capacidad del equipo. Un efecto de falla debe ser descrito en términos de daño físico, incluyendo los primarios y los secundarios que pueden ocurrir.

Detection Method: La detección de la falla es el medio por el cual las fallas funcionales llegan a ser evidentes y como sus modos de falla son identificados.

Los métodos de detección de falla caen en dos categorías:

1. Los que son usados por el operador para detectar fallas funcionales o efectos de las fallas funcionales.
2. Los que son empleados por el técnico de mantenimiento para determinar qué tipo de avería se produjo a causa de la falla funcional.

Los métodos que usa el operador para detectar fallas funcionales variaran de modo de fallo a modo de fallo, esto por los diferentes daños secundarios que pueden ser causados por cada modo de fallo.

Los métodos de detección de modos de falla usados por el operador incluyen señales de precaución visuales (luces, medidores, etc.), auditivas (bocinas, timbres) y efectos operativos (Vibraciones, humo, ruido, pérdida de control). Esta información es usada en el proceso de análisis RCM para determinar si el operador puede detectar la falla funcional mientras el equipo está en el desempeño normal de sus funciones.

Severity class: Se trató en un numeral 3.4.4.5 del 'Set up'.

MTBF: Promedio de tiempo entre fallas, Es una medida básica de confiabilidad. Para el propósito de RCM, MTBF puede ser definido como el inverso de la tasa de falla de un modo de falla en particular durante un periodo específico.

Los valore MTBF listados en el FMECA deben ser para identificar sus fuentes y periodos de ejecución, con el propósito de anticipar modos de fallo, determinar intervalos de tareas de búsqueda de fallas, evaluar opciones costo/efectivas para enfrentar los modos de falla.

Part Number of failed ítem: Si se tiene se ingresa el número de pieza del elemento con falla.

Operating Phase: Es posible que algunas funciones, fallas o efectos, solo se producen, o se producen de una manera diferente en cierto escenario de operación. El FMECA debe especificar claramente cuando las funciones, los modos de falla o los efectos son dependientes de circunstancias específicas, ambientes o fases de operación.

Las diferentes fases de operación se deben ingresar previamente o en el transcurso del estudio en el 'Set up', ya que para este ítem se muestra un menú desplegable.

4.6 Opciones en la ventana del Modo de Falla

En la misma ventana de los modos de falla se muestran otras pestañas que se pueden configurar de acuerdo al análisis RCM.

4.6.1 Consecuencias de la falla – 'Failure Consequences'

Las fallas funcionales se pueden enmarcar en dos categorías, las que son evidentes para el personal u operador, las que son ocultas, las que afectan la seguridad, medio ambiente o la operación u economía de la empresa.

Ilustración 30. Ventana modos de falla, consecuencias de la falla

Evident: Para que una falla funcional se clasifique como evidente, esta debe ser notable para el operador.

Hidden: Algunas funciones son normalmente inactivas y solo llegan a activarse con la ocurrencia de petición de una acción.

Safety/Environmental: Es cuando la pérdida de la función o el daño secundario de un modo de fallo en particular tienen un efecto adverso en la seguridad o afecta las condiciones ambientales.

Operational/Economic: Cuando la pérdida de la función o el daño secundario afecta la pérdida operacional o económica.

4.6.2 Servicio de tareas de lubricación – Service/Lube

En esta pestaña se configura los correspondiente a servicio de tareas de lubricación.

Ilustración 31. Ventana modos de falla, servicios de tarea de lubricación

Failure Mode - 01. - 01A01

Item ID: 01. Regulador de Tension FMI: 01 - A - 01 Rev:

Task ID: #

Task Description:

Preliminary Task Interval: Preliminary LOM: Packaged Task Interval: 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

Task ID: Es un único identificador de tarea, útil cuando un modo de falla tiene más de una opción de tarea efectiva.

Task Description: Descripción de la tarea, aquí se describe el equipo al que se le realiza el mantenimiento y las condiciones específicas.

Preliminary Task Interval: Es el intervalo que viene del análisis de los datos del modo de falla.

Preliminary LOM: Es el nivel más bajo de mantenimiento que se requiere para desempeñar la tarea.

Packaged Task Interval: Es el intervalo que resulta de considerar todos los mantenimientos preventivos que exige un equipo, se escoge el mejor intervalo en el cual empaquetar y ejecutar las tareas.

Packaged LOM: Es el nivel de mantenimiento preventivo que se desarrolla en el intervalo de tareas del empaquetado requerido.

Task Man Hours: Es la cantidad de horas que una persona requiere para desarrollar una tarea preventiva, no incluye tiempo de reparación normalmente.

Task Material Cost: Es el costo de los materiales necesarios para desarrollar una tarea preventiva. Normalmente no incluye materiales para reparaciones.

Non-Recurring Cost: Cuando se realiza una tarea de mantenimiento, esta conlleva gastos de equipos de prueba, capacitación de personal, cambios en la documentación, etc. El costo de estos factores son los que se ingresan en este campo.

Elapsed Maintenance Time: Tiempo de mantenimiento transcurrido, es el tiempo necesario para completar la tarea. No incluye tiempos de espera debido a factores alternos.

Cost of One Service/Lube Task: Costo de una tarea de servicio de lubricación, se refiere al costo de ejecutar una tarea de servicio o lubricación. IRCMS Proporciona

el costo de las tareas basado en los datos entrados en esta pestaña y en la de 'Set up'.

Task Accepted: Tarea aceptada, indica si esta tarea se desarrolla o se empezó su proceso. Esta decisión es hecha en Package/Summary o en Cost Analysis e indica si todas las opciones se consideran. Si se acepta la tarea, en Project/Summary aparece un marcador abajo en la pantalla de la tarea individual.

4.6.3 Tarea por Condición – 'On-Conditions Task'

En esta pestaña se configura las tareas por condición.

Ilustración 32. Ventana modos de falla, On-condition

Failure Mode - 01. - 01A01

Item ID: 01. Regulador de Tension FMI: 01 - A - 01 Rev:

Task ID: #

Potential Failure Condition:

Functional Failure Condition:

Potential to Functional Failure Interval:

Task Description:

Preliminary Task Interval:

Preliminary Initial Inspection:

Preliminary LOM:

Packaged Task Interval:

Packaged Initial Inspection:

Packaged LOM:

MTBCA

Detection Probability: (Percent in one inspection)

Inspection Manhours:

Inspection Material Cost:

Non Recurring Cost:

Inspect EMT: (hours)

Average Repair Cost:

Average Repair EMT: (hours)

Cost of One On Condition 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

Potencial Failure Condition: Condición de Falla potencial, es un nivel de degradación, específico y detectable. Un modo de falla puede presentar muchas características de degradación diferentes que se puede usar para revelar una potencial condición de falla. Por ejemplo, hay varios indicadores para el modo de falla desgaste, la cantidad de material perdido por el desgaste, intensidad de color asociada con el uso, etc.

Functional Failure Condition: Condición de falla funcional, cuando una función deja de cumplir su acción normal o característica, dentro de los límites aceptables por el usuario, se dice que ocurre una falla funcional.

Potential to Functional Failure (PF) Interval: Intervalo de condición potencial a falla funcional, es el intervalo Tiempo/Edad que ocurre entre condiciones potenciales y fallas funcionales.

Al ajustar las condiciones de falla potencial como el primer índice para hallar una degradación se maximiza el intervalo para las tareas a condición. Luego se define las condiciones de una falla funcional, para mejorar este intervalo PF, se puede programar revisiones frecuentes para tener mayor disponibilidad del activo. La condición de falla funcional que se defina, debe ser consistente con la técnica de detección de falla que se usa.

Al decidir qué características usar como indicadores de la resistencia de falla, se considera la longitud del intervalo PF, como la disponibilidad de los equipos de medida y por último el costo/efectividad como la selección para las tareas a condición.

Preliminary Initial Inspection: Inspección inicial preliminar, es el tiempo en el que un nuevo equipo puede permanecer en servicio antes de que el periodo de inspección se realice

Packaged Initial Inspection: Inspección inicial del empaquetado, Tiempo de inspección inicial

Packaged LOM: Es el nivel de mantenimiento que se desarrolla en el mantenimiento preventivo que se requiere al intervalo del empaquetado.

MTBCA: Tiempo promedio entre acciones correctivas (Potenciales y funcionales).

Inspection Manhours: Son las horas que requiere una persona para hacer una inspección o una tarea. No incluye horas de reparación.

Inspection Material Cost: Costo de los materiales que se requieren para desarrollar la tarea o la inspección. No incluye costos de reparación.

Average Repair Cost: Costo promedio de reparación de una falla potencial en un equipo, este costo podría incluir, costo por la mano de obra de mantenimiento y el costo de materiales para prevenir una falla funcional.

Average Repair EMT: Es el tiempo medio que transcurre para reparar una falla potencial, al suponer todos los recursos de apoyo necesarios. No incluye el tiempo de espera en las partes.

Cost of One On Condition Task: Costo de una tarea a condición, es el costo de realizar un control sobre la tarea de inspección a condición, que incluye el costo de materiales, mano de obra, para la inspección, pero no los costos de reparación.

Average Repair Cost Of Potential Failure: Costo promedio de reparación de fallas potenciales, este costo debe incluir el costo promedio de reparación de todos los fallos (potenciales y fallas funcionales). Se debe asegurar que los daños secundarios son incluidos, para las fallas evidentes y ocultas, incluir el costo de múltiples fallas en el costo de la falla funcional. Si el impacto operacional se cuantifica en un costo también se debe incluir.

4.6.4 Tareas de tiempo difícil – ‘Hard time’

Ilustración 33. Ventana modos de falla, Hard-time.

Wearout Age/Life Limit: Desgaste de Edad/Límite de vida, el desgaste es descrito como el aumento en la probabilidad condicional de fallo con la edad. (NAVAIR, 2011).

Percent Survive: Porcentaje de sobrevivir, es el porcentaje de unidades que sobreviven con el desgaste de la edad.

K Factor: Es el factor de fallo prematuro. Es la edad promedio de fallo prematuro por la edad como un porcentaje del intervalo de un tiempo de tarea difícil.

Cost of one Hard Time: Costo de una tarea hard-time,

Cost Of One Hard Time = (Horas de la persona para la tarea)*(costo por hora) + (Costo de los materiales)

Functional Failure Cost: Costo de una falla funcional, es el costo promedio de reparación si la tarea de hard-time no está hecha y el equipo falla. Se deben incluir los daños secundarios, y para las fallas ocultas, el costo por múltiples daños. Si el impacto operacional se cuantifica en costos hay que incluirlo.

4.6.5 Tarea de Búsqueda de falla – ‘Failure finding’

La pestaña de ‘Failure finding’ se activa si selecciona que la falla es oculta (hidden) en la pestaña de ‘Failure consequences’.

Ilustración 34. Ventana modos de falla, failure finding.

Failure Mode - 01. - 01A01

Item ID: 01. Regulador de Tension FMI: 01 - A - 01 Rev:

Task ID: [] #

Task Description:

Preliminary Task Interval: [] [] Preliminary LOM: [] Task Manhours: []

Packaged Task Interval: [] [] Packaged LOM: [] Task Material Cost: []

MTBCA: [] [] Non Recurring Cost: [] Task EMT: [] (hours)

Average FF Repair Cost: [] Average FF Repair EMT: [] (hours)

Cost of One Failure Finding Task:

Preliminary: [] --> []

Packaged: [] --> []

Task Accepted

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*

Cost of One failure finding (FF) inspection:

Cost of One FF Inspection = Costo para desarrollar una búsqueda de fallas = (Horas de la persona para desempeñar la tarea)*(Costo por hora) + (Costo de los materiales)

Hidden Failure Repair Cost: Costo de reparación de fallas ocultas, es el costo promedio por la reparación del equipo por una falla oculta o por un daño hecho cuando falla un elemento. Este debe incluir el costo promedio por reparación de las fallas funcionales al considerar que se encuentran en la inspección y las que llegan a ser evidentes por múltiples fallas que no se previenen en una tarea de falla funcional. Incluir el impacto operacional si este ha sido cuantificado.

4.6.6 Exploración por edad – ‘Age Exploration’

Una de las posibles alternativas que ofrece el análisis RCM, es realizar tareas por exploración de edad, es decir, inspecciones rutinarias cada cierto intervalo de tiempo independiente del estado del equipo bajo análisis.

Ilustración 35. Ventana modos de falla, 'Age Exploration'.

Task Interval: Intervalo de tarea, es el intervalo de repetición de una tarea a ejecutar.

Initial Inspection: Inspección inicial, es el intervalo de tiempo antes que sea hecha la tarea de exploración por edad.

Task Duration: Duración de la tarea, es la duración planeada de una tarea de exploración por edad. La tarea debe durar el tiempo que sea necesario para reunir suficientes datos para que se puedan tomar decisiones.

LOM: Lowest level of maintenance, es el nivel más bajo al cual puede hacerse una tarea de exploración.

AE Priority: Es la prioridad dada a una tarea de exploración por edad. Normalmente se establece en el campo de reglas y suposiciones del programa, se ordena de uno (1) a cuatro (4).

AE Status: Estado de la exploración por edad, los siguientes estados son los que se pueden seleccionar:

- Planned: Planeado
- In Process: En Proceso
- Complete: Completo
- Continuous: Continúa

Sample Quantity: Cantidad de muestras, corresponde al número de elementos de muestra necesarios para obtener resultados representativos de la población en consideración. La cantidad de muestras se determina por métodos estáticos para asegurar que la recolección de datos es suficiente para representar exactamente la población entera. Por el contrario, las muestras deben ser tan pequeñas como sea posible para reducir costos e impactos operacionales, mientras se mantiene el nivel de confianza que se requiere.

La cantidad de muestras son normalmente se determinan a través de técnicas de análisis estadísticos.

Sample % of Fleet: Porcentaje de los elementos que están siendo muestreados.

Cost of One Age Exploration (AE) Task:

Cost of One AE = Costo de desempeñar una tarea de exploración por edad = (Horas de la mano de obra)*(Costo por hora) + Costo de los materiales.

4.6.7 Otra acción/ No PM – 'Other Action/ No PM'

La ultima forma de abordar un modo de falla es otras acciones o no realizar ningún mantenimiento o inspección.

Ilustración 36. Ventana modos de falla, 'Other Action/No PM'.

Failure Mode - 01. - 01A01

Item ID: 01. Regulador de Tension FMI: 01 - A - 01 Rev:

Other Action

Task ID: #

Description:

Total Cost: Total Elapsed Maintenance Time: (hours) Task Accepted

No PM

MTBF: Average Repair Cost: Total Elapsed Maintenance Time: (hours)

Life Cycle Costs

System Life Remaining: 0 --> 0 Stored Value

Analysis Cost:

LCC after RCM/update: Missing Data ? Calculated Value

LCC before RCM/update:

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*

Description: Descripción en detalle de que otra acción se puede implementar. Si se determina que un mantenimiento preventivo no es aceptable, porque no reduciría las consecuencias de falla a ese nivel, entonces otras acciones deben tomarse para tratar los problemas.

Opciones como el rediseño del equipo, la introducción de restricciones operacionales o cambios en procedimientos de mantenimiento, pueden ser aplicados para mitigar el problema.

A veces, algunas otras acciones pueden ser convenientes, aun al tener disponible una tarea de mantenimiento preventivo. Esto sería positivo si un retorno de lo que se aplique se demuestra en términos de por ejemplo, mayor disponibilidad de los equipos, reducción de costos o una menor exposición a una situación peligrosa.

Total Cost: Costo total, es el costo de desarrollo y aplicación de las otras medidas durante un periodo determinado (Por lo general vida útil restante del programa).

System Life Remaining: Sistema de vida útil restante, puede ser un valor que se ingrese por defecto en el 'Set up' (como se explicó anteriormente) en la pestaña "Default", o se puede entrar un nuevo valor en este campo.

Life Cycle Cost (LCC): Costo del Ciclo de Vida, se ingresa en la pantalla de costo de análisis. Provee campos de entrada para que el usuario documente y guarde el ciclo del costo de vida que se genera por el uso de RCM.

LCC before RCM/ Update: El Costo del Ciclo de Vida antes de la actualización del RCM se ingresa por el usuario y se usa para calcular el costo del ciclo de vida en el IRCMS.

LCC after RCM/ Update: El Costo del Ciclo de Vida después de la actualización del RCM se calcular al usar el programa de vida restante multiplicado por el total por unidad de tiempo.

LCC Savings: Son calculados por comparación entre LCC before RCM/update y LCC after RCM/update.

Analysis Cost: Costo de análisis, es el costo que se asocia con la ejecución del análisis, y el usuario lo ingresa.

4.6.8 Análisis de costo por equipos fuera de servicio – ‘Cost/ Downtime Analysis’

En la pestaña ‘Cost/Downtime’ de modos de falla, se ingresa la información según el análisis RCM y las tareas que se deben seleccionar.

Ilustración 37. Ventana modos de falla, 'Cost/Downtime Analysis'.

Failure Mode - 01 - 01A01
 Item ID: 01. Regulador de Tension FMI: 01 - A - 01 Rev:

Tasks	TaskID	Interval	Cost/Operating Hours	EMT/Operating Hours
<input type="checkbox"/> SL	<input type="text"/>	<input type="text"/>	? Missing data	? Missing data
<input type="checkbox"/> DC	<input type="text"/>	<input type="text"/>	? Missing data	? Missing data
<input type="checkbox"/> HT	<input type="text"/>	<input type="text"/>	? Missing data	? Missing data
<input type="checkbox"/> FF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	? Missing data	? Missing data
<input type="checkbox"/> AE	<input type="text"/>	<input type="text"/>	? Missing data	? Missing data
<input type="checkbox"/> OA	<input type="text"/>	Total cost	Total Cost/Remaining Life	
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> No PM		Avq. Repair		
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Calculate on Interval
 Packaged
 Preliminary

Total Cost Per Op Time: Total EMT Per Op Time:

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

Tasks: Tareas, el área de tareas de análisis de costos permite al usuario identificar cual salida del análisis se debe aceptar para el modo de falla (FM). Las salidas se

seleccionan manualmente al dar clic en la que se desea y aparece una marca. Es posible tener más de una salida.

No PM: La caja no PM permite al usuario identificar que no es mantenimiento preventivo para un modo de fallo.

Average Repair: Es el costo de reparación de una falla funcional y daños secundarios. Para funciones ocultas, incluye el costo de múltiples fallas y el impacto operacional si es un costo cuantitativo.

Other Action: Otra Acción (OA), permite a los usuarios seleccionar OA (Se realiza otra acción), como la salida al modo de falla.

Calculate on Interval: Permite al usuario seleccionar si van a ser usados los intervalos preliminares o los empaquetados en el cálculo del costo por tiempo operacional.

Total Cost per unit op time: Es el total de tareas aceptadas u opciones. Se muestra en la pestaña de 'Cost/Downtime Analysis' en la pantalla del modo de falla.

Total EMT (Elapsed Maintenance Time) per op time: Es el tiempo total que transcurre de mantenimiento de todas las tareas que se aceptan.

Valor Almacenado: la pantalla para análisis de costo por equipos fuera de servicio, proporciona un lugar, para lo cual se selecciona las tareas preventivas que se quieren comparar al seleccionar las celdas vacías que están al lado izquierdo de la ventana, además se elige el intervalo que se va a usar en el cálculo, ya sea preliminar o empaquetado.

4.6.9 Package/Summary.

En la pestaña 'Package/Summary de modos de falla, se escoge solo alguna información, dado que esta pestaña se alimenta de la información ingresada en las otras opciones del modo falla.

Ilustración 38. Ventana modos de falla, 'Package/Summary'.

Incorp Status: Incorporación del estado, la selección de los estados de las categorías.

Document: Documento, es un documento de mantenimiento en el cual se justifica la tarea de mantenimiento preventivo (PM). Los trabajos empaquetados son normalmente identificados por un número de documento o de publicación.

Card/Wp (Card/Work Package): Tarjetas o Paquetes de Trabajo: las tarjetas de mantenimiento requerido (MRC) son identificadas normalmente por números. Los grupos de mantenimiento más grandes de MRC son agrupados normalmente en paquetes de trabajo.

Item: Elemento que justifica que en RCM la tarea de mantenimiento preventivo se realiza.

Zone: Zona en la cual se desarrolla la tarea. Los equipos complejos se dividen en zonas de trabajo para permitir una identificación de las áreas o zonas de trabajo.

Skill: Experiencia, nivel de experiencia requerido para desempeñar la tarea de RCM.

Summary Recommendation: Resumen de recomendaciones, los analistas deben ingresar sus recomendaciones en esta área de texto y estas se mostrarán en los reportes.

Other Information: Información adicional, la sección de información adicional de la pantalla 'Package Summary' proporciona campos de entrada a los analistas, aprobadores, revisores o modificadores.

Linked Files: Archivos enlazados, durante un análisis ciertos documentos pueden ser asociados al modo de falla.

Approved by: Aprobado por, muestra el nombre de la persona que aprueba el análisis.

Approval Date: Fecha de aprobación, en este campo el usuario ingresa la fecha en la cual fue aprobado un modo de fallo en particular.

Reviewed by: Revisado por, muestra el nombre de la persona que revisa el análisis.

Review Date: Muestra la fecha en que se revisa el análisis.

Modified by: Modificador por, muestra el nombre de la última persona que modificó el análisis.

Modification Date: Fecha de modificación, muestra la fecha de cuando fue modificado el análisis por última vez.

4.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4

Se utiliza la táctica RCM en el regulador de tensión del sistema de excitación de un generador sincrónico a través del software IRCMS, donde se indica cómo se ingresan los componentes, funciones, fallas funcionales, modos de falla y otras opciones que ofrece el software.

5. PROPUESTA MANTENIMIENTO

5.1 OBJETIVO 5

Esbozar un conjunto de actividades priorizadas de mantenimiento con la aplicación del RCM en el SEGS para el regulador de tensión. Nivel 5 – Analizar.

5.2 REPORTE

Con el software IRCMS se obtiene y analiza cada uno de los reportes para la interpretación, estudio y mejora por parte del personal de mantenimiento, se tiene como punto de partida lo visto en el numeral 3.4.5, cuyos informes que genera el software son: FMECA, análisis detallado, análisis resumido, empaquetamiento de tareas y costo/habilidades.

El volumen de información que genera cada informe, sólo para el regulador de tensión, es de gran magnitud. Por lo tanto, solo se muestra en los informes lo correspondiente a la función 01, falla funcional A y todos sus modos de falla que son doce.

5.2.1 FMECA

El informe FMECA contiene un total de trece páginas para el regulador de tensión del sistema de excitación de un generador sincrónico.

Ilustración 39. Informe FMECA del proyecto

FMECA Report

Print Date: 10/08/2017

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			
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	01	Descalibración en el transductor para elementos de medida		La maquina continua en operación.	El operador trata de corregir el voltaje, llevando a una posible salida de la maquina por sobrevoltaje o subvoltaje.	Si el operador por modificación del voltaje dispara la maquina se demora en reponer: 2 horas. Lo cual provoca una pérdida de generación y puede haber desviación con penalización regulatoria. Tiempo de atención del problema: 1 hora.	El operador cuando detecta el problema compara con la instrumentación adicional y verifica el mal funcionamiento del indicador.	4	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	02	Apertura del circuito de retroalimentación		La maquina sale del sistema y puede haber desviación con penalización regulatoria. Tiempo de reparación: 8 horas			Disparo de la unidad de generacion	3	26.280,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	03	Mal funcionamiento de las tarjetas de control		La maquina sale del sistema y puede haber desviación con penalización regulatoria. Tiempo de reparación: 8 horas			Disparo de la unidad	3	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	04	Set.point desajustado		La maquina no alcanza el voltaje 13,8kV en vacio y la unidad entra en generación. Cuando el setpoint está por encima causa la salida de la maquina actuando la protección de sobrevoltaje. Tiempo de reposición: 2 horas			Alarmas del sistema	4	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	05	Mala operación del sistema de control		Esto sucede cuando el sistema está manual y el operador no controla las variables eléctricas, provocando un sobre o sub voltaje y salida de la máquina. Salida de parámetros de la potencia reactiva. Maquina se motoriza. Tiempo 1 hora			El operador pierde el control sobre la unidad de generacion	4	43.800,00/A

01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	06	Apertura de uniones polares en el rotor	La maquina sale del sistema porque no ve voltaje en la salida del generador, se presenta alarma visual y sonora que indica Excitación no exitosa. Tiempo de reposición: 10 días	Sistema de eventos	1	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	07	Pérdida de aislamiento del rotor	La maquina sale por falla a tierra e indica visual y sonoramente falla rotor. Se debe petrolizar el rotor. Tiempo: 5 horas. Si es una falla real hay que sacar el rotor y reparar la falla. el tiempo: 10 días.	Sistema de eventos	1	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	08	Breaker de preexcitación abierto	En el momento de arrancar la máquina no conecta la excitación y por ende no se tensiona la unidad. Se presenta la alarma visual y sonora falla excitación inicial. Tiempo: 1 hora	Sistema de eventos	4	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	09	Interruptor de campo abierto	Se da paro, Si la maquina está parada no arranca. Si la máquina está en funcionamiento se da paro a la unidad con indicación visual y sonora del MF. Hay dos posibles causas: falla mecánica o disparo de una protección o control. Tiempo 2 horas	Sistema de eventos	4	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	10	Mal funcionamiento o del sistema de tiristores	Se da paro de la maquina y sale algunas de las siguientes alarmas sonoras y visuales: Falla fusibles en tiristores, falla MiniControlBreaker del sistema de pulsos, tiristores en corto, falla de excitación. Tiempo: 5 horas	Sistema de eventos	4	87.600,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	11	Circuito de PT's abierto	Se da paro de la maquina por perdida de referencia de voltaje, da indicación visual y sonora: falla excitación, sobre o sub voltaje. Tiempo de reposición: 8 horas si hay repuesto	Sistema de eventos	3	43.800,00/A
01.	Regulador de Tension	01	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV ± 5%.	A	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8kV+- 5%	12	Falta alimentación en tablero de excitación	Si la maquina está parada la unidad no arranca. Si está en funcionamiento hay salida de la máquina. Hay indicación visual y sonora Falla voltaje control. Tiempo: 2 horas	Sistema de eventos	4	43.800,00/A

Aquí se muestra el análisis FMECA para los modos de falla del 01A01 al 01A12, donde según la información que ingresa el equipo de trabajo se muestra toda la

información para cada modo de falla, donde en el informe también se muestra la severidad y el tiempo medio entre fallas (MTBF).

5.2.2 Análisis detallado

El análisis detallado contiene un total de ciento diez y siete (117) páginas para el regulador de tensión del sistema de excitación de un generador sincrónico, para comparar dos diferentes informes se muestra el análisis detallado para el modo de falla 01A01 y 01A06.

Ilustración 40. Análisis detallado, modo de falla 01A01

RCM Analysis Detail Report		<i>IRCMS</i>		
Print Date: 10/08/2017				
<hr/>				
End Item:	SEGSistema de Excitación de un Generador Sincrónico			
Item ID:	01. Regulador de Tension			
Failure Mode:	01A01 Descalibracion en transductor para elementos de medida			
<hr/>				
<u>FMECA Information</u>				
MTBF:	43.800,00 Operating Hours	Safety:	Hidden/Evident:	Severity: IV
Function:	En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV \pm 5%.			
Functional Failure:	Salida de voltaje fuera de rango de 13,8KV \pm 5%			
Local Effects:	La maquina continua en operación.			
Next Higher Effects:	El operador trata de corregir el voltaje, llevando a una posible salida de la maquina por sobrevoltaje o subvoltaje.			
End Effects:	Si el operador por modificación del voltaje dispara la maquina se demora en reponer: 2 horas. Lo cual provoca una pérdida de generación y puede haber desviación con penalización regulatoria. Tiempo de atencion del problema: 1 hora.			
Failure Detection Method:	El operador cuando detecta el problema compara con la instrumentación adicional y verifica el mal funcionamiento del indicador.			
Effectivity:	Analysis Status: Approved			
Mission Phase:	Analyst: CARLOS MONTOYA			
Failed Item WUC:	Approval Date: 29/07/2017			
Failed Item P/N:	Approved By: CARLOS MONTOYA			

RCM Analysis Detail Report

IRCMS

Print Date: 10/08/2017

End Item: SEGSSistema de Excitación de un Generador Sincrónico

Item ID: 01.
Regulador de Tension

Failure Mode: 01A01
Descalibracion en transductor para elementos de medida

Task Information

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/A	/A
		OC		/	/	/A	/A
		HT		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
		OA				/A	/A
->		NO PM	No Preventive Maintenance			\$5/A	1,00/A

->		NO PM	No Preventive Maintenance			\$5/A	1,00/A
		OC		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A

Ilustración 41. Análisis detallado, modo de falla 01A06

RCM Analysis Detail Report

IRCMS

Print Date: 10/08/2017

End Item: SEGSSistema de Excitación de un Generador Síncronico

Item ID: 01.
Regulador de Tension

Failure Mode: 01A06
Apertura de uniones polares en el rotor

FMECA Information

MTBF: 43.800,00 Operating Hours **Safety:** NS **Hidden/Evident:** H **Severity:** I

Function:

En automatico. Regular el voltaje en el rotor para obtener en la salida del devanado del estator un voltaje de 13,8 kV \pm 5%.

Functional Failure:

Salida de voltaje fuera de rango de 13,8KV+- 5%

Local Effects:

La maquina sale del sistema porque no ve voltaje en la salida del generador, se presenta alarma visual y sonora que indica Excitación no exitosa. Tiempo de reposición: 10 días

Next Higher Effects:

End Effects:

Failure Detection Method:

Sistema de eventos

Effectivity:

Analysis Status: Approved

Mission Phase:

Analyst: CARLOS MONTOYA

Failed Item WUC:

Approval Date:

Failed Item P/N:

Approved By:

RCM Analysis Detail Report

IRCMS

Print Date: 10/08/2017

End Item: SEGSSistema de Excitación de un Generador Sincrónico

Item ID: 01.
Regulador de Tension

Failure Mode: 01A06
Apertura de uniones polares en el rotor

Task Information

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/A	/A
		OC		/	/	/A	/A
		HT		/	/	/A	/A
->	0001	FF	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	8.760,00/A	8.760,00/A	\$600.000.	10,44/A
		OA				/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/A

El modo de falla 01A01 arroja el resumen de la recomendación, que es no realizar mantenimiento preventivo, mientras para el modo de falla 01A06, se encuentra que el análisis tiene una búsqueda de fallas (FF), lo cual indica que se debe realizar una tarea de mantenimiento predictivo, que es una fibroscopia cada 8700 horas, o sea cada seis (6) meses de forma preliminar.

5.2.3 Análisis resumido

El análisis resumido contiene un total de treinta y nueve (39) páginas para el regulador de tensión del sistema de excitación de un generador sincrónico.

Ilustración 42. Análisis resumido, modo de falla 01A06

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 10/08/2017

End Item: SEGSSistema de Excitación de un Generador Sincrónico

Item ID: 01.
Regulador de Tension

Failure Mode: 01A06
Apertura de uniones polares en el rotor

MTBF: 43.800,00 Operating Hours **Safety:** NS **Hidden/Evident:** H **Severity:** I

End Effects:

Failure Detection Method:

Sistema de eventos

Analysis Status: Approved

Approval Date:

Analyst: CARLOS MONTOYA

Approved By:

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/A	/A
		OC		/	/	/A	/A
		HT		/	/	/A	/A
->	0001	FF	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	8.760,00/A	8.760,00/A	\$600.000.	10,44/A
		OA				/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/A

Si se compara la ilustración 41 y la ilustración 42 que son reportes para el mismo modo de falla 01A06, se visualiza que el informe del análisis resumido es la síntesis final del análisis detallado, lo cual sucede con todos los modos de falla.

5.2.4 Reporte de tareas de mantenimiento a realizar o empaquetamiento de tareas

El siguiente reporte entrega las tareas de mantenimiento que se deben realizar al regulador de tensión.

Ilustración 43. Tareas de mantenimiento a realizar en el regulador de tensión

Task Package Report

IRCMS

Print Date: 10/08/2017

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					
01.	01A06	0001		Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated				
01.	01A07	0002		Realizar mantenimiento predictivo: medida de aislamiento y cuando sea menor de 7kOhm programar sacada de rotor para petrolizar	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	01A08	0003		Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	02A06	0005		Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated				
01.	02A07	0006		Realizar mantenimiento predictivo: medida de aislamiento y cuando sea menor de 7kOhm programar sacada de rotor para petrolizar	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	02A08	0007		Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	03A01	0009		Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	03A02	0010		El operador debe verificar niveles de líquidos de las baterías y observar las medidas de voltaje en el cargador de baterías.	24/A	24/A		24/A	24/A		Incorporated				
01.	03B01	0011		Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated				
01.	05A02	0014		Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated				
01.	08A01	0016		El operador debe colocar a funcionar en modo Manual el regulador de tensión antes de iniciar los mantenimientos preventivos (cada 6 meses), en caso de falla se debe reportar a mantenimiento para analizar el problema.	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	09A01	0017		Realizar una verificación de todas las alarmas y disparos desde el elemento primario, cada mantenimiento mayor.	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	10A01	0018		Realizar pruebas al regulador de tensión cada mantenimiento mayor.	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				
01.	11A01	0019		Realizar pruebas al regulador de tensión cada mantenimiento mayor.	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated				

En éste informe se muestran las diferentes tareas a realizar para los modos de falla, que según el análisis RCM se deben hacer para los modos de falla que tengan algunas de las siguientes labores: tareas de servicios de tareas de lubricación (SL), tareas por condición (OC), tareas de tiempo difícil (HT), tareas de búsqueda de fallas (FF) u otras acciones (OA), la opción de exploración por edad (AE) o no realizar mantenimiento preventivo no se muestran en éste reporte, pero sí se evidencia en el reporte detallado o resumido.

5.2.5 Informe de Costo/Habilidades

El informe de costo/habilidades entrega las tareas de búsqueda de fallas a realizar en el regulador de tensión del sistema de excitación de un generador sincrónico.

Ilustración 44. Reporte Costo/Habilidades

Cost Skills Report

IRCMS

Print Date: 10/08/2017

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intrvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intrvl/Units	LOM								
01.	01A06	0001	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated		\$600.000.000	35.000,00	\$1.000.000	\$0	\$6.000.000.000	
	01A07	0002	Realizar mantenimiento predictivo: medida de aislamiento y cuando sea menor de 7kOhm programar sacada de rotor para petrolizar	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated		\$600.000.000	35.000,00	\$1.000.000	\$0	\$6.000.000.000	
	01A08	0003	Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated		\$100.000	1,00	\$0	\$0	\$100.000	
	02A06	0005	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated		\$600.000.000	35.000,00	\$1.000.000	\$0	\$6.000.000.000	
	02A07	0006	Realizar mantenimiento predictivo: medida de aislamiento y cuando sea menor de 7kOhm programar sacada de rotor para petrolizar	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated		\$600.000.000	35.000,00	\$1.000.000	\$0	\$6.000.000.000	
	02A08	0007	Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated		\$100.000	1,00	\$0	\$0	\$100.000	
	03A01	0009	Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	N/A	4380/A		N/A	4380/A		Incorporated		\$100.000	1,00	\$0	\$0	\$100.000	
	03A02	0010	El operador debe verificar niveles de líquidos de las baterías y observar las medidas de voltaje en el cargador de baterías.	24/A	24/A		24/A	24/A		Incorporated		\$500.000	1,00	\$0	\$0	\$5.000.000.000	
	03B01	0011	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A		Incorporated		\$600.000.000	35.000,00	\$1.000.000	\$0	\$6.000.000.000	

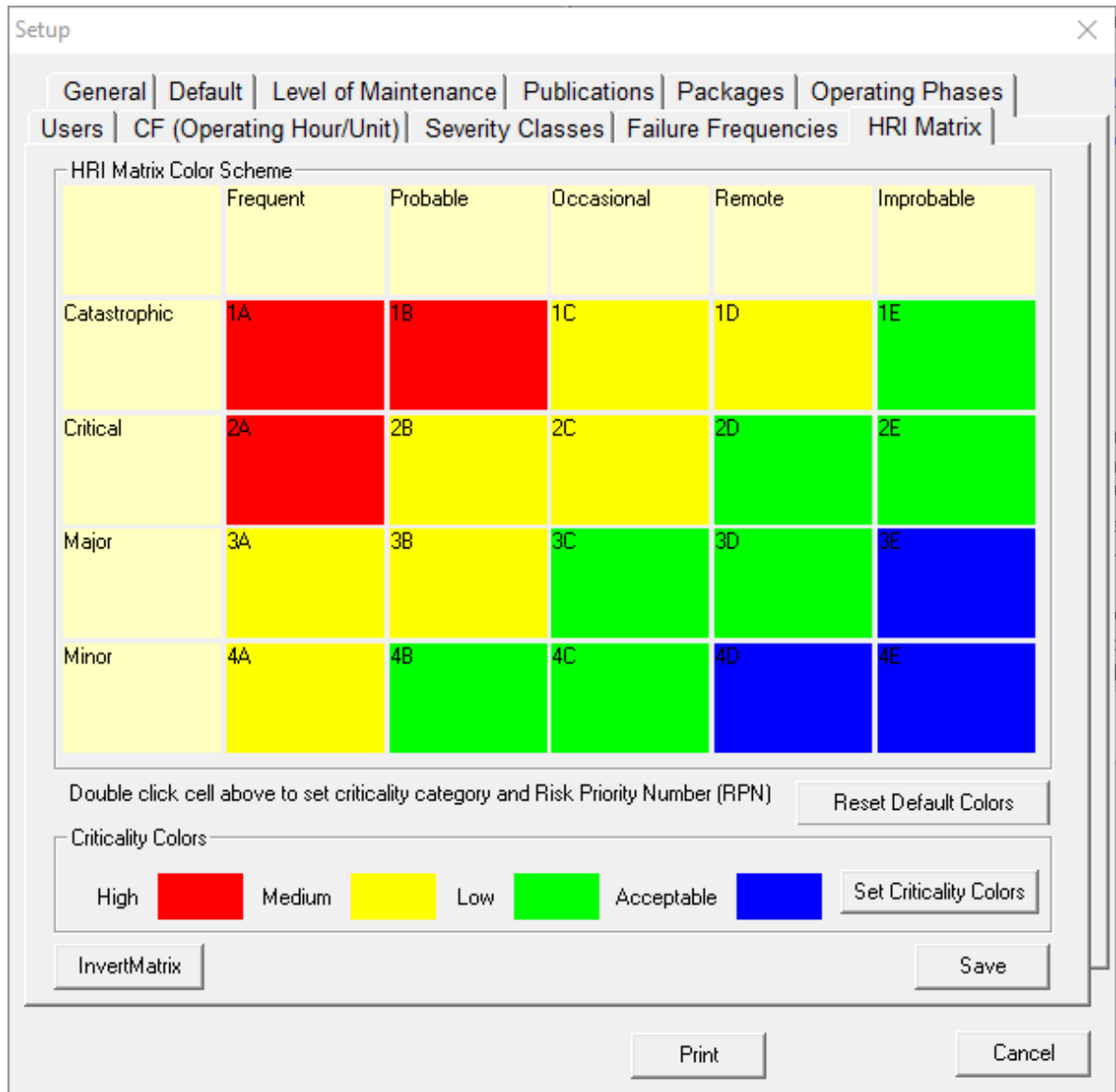
01.	05A02	0014	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	N/A	8760/A		N/A	8760/A	Incorporated		\$600.000.000	\$5.000,00	\$1.000.000	\$0	\$6.000.000.000
	08A01	0016	El operador debe colocar a funcionar en modo Manual el regulador de tensión antes de iniciar los mantenimientos preventivos (cada 6 meses), en caso de falla se debe reportar a mantenimiento para analizar el problema.	N/A	4380/A		N/A	4380/A	Incorporated		\$37	1,00	\$30.000	\$30.000	\$30.000
	09A01	0017	Realizar una verificación de todas las alarmas y disparos desde el elemento primario, cada mantenimiento mayor.	N/A	4380/A		N/A	4380/A	Incorporated		\$1.000	8,00	\$1.000.000	\$0	\$1.000.000
	10A01	0018	Realizar pruebas al regulador de tensión cada mantenimiento mayor.	N/A	4380/A		N/A	4380/A	Incorporated		\$0	6,00	\$0	\$0	\$0
	11A01	0019	Realizar pruebas al regulador de tensión cada mantenimiento mayor.	N/A	4380/A		N/A	4380/A	Incorporated		\$0	6,00	\$0	\$0	\$0

El informe de costo/habilidades entrega un resumen sólo para las tareas de búsqueda de fallas (FF), pero no se entregan las tareas que se consideran como otras acciones (OA), las cuales se deben extraer del informe del análisis detallado o resumido.

5.3 PRIORIZACION DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

En el IRCM se define la valoración del riesgo, mediante la multiplicación Severidad (cualitativo, eje Y) por Ocurrencia (cuantitativo, eje X), la configuración de la matriz de índice de riesgo, la clase de severidad y las frecuencias de falla se analiza en los numerales 3.4.4.4, 3.4.4.5 y 3.4.4.6.

Ilustración 45. Ventana configuración 'Set up', Matriz de índice de riesgo



En la ilustración 45 se muestra la configuración de la matriz de índice de riesgo y el significado de sus colores, donde el rojo indica un riesgo muy alto, amarillo un riesgo medio, verde un riesgo bajo y el azul un riesgo aceptable.

El software IRCMS no entrega informe alguno donde se compile todos los modos de falla dentro de la matriz, por lo cual se extrae de forma manual para cada uno de los modos de falla la calificación bajo la matriz expuesta en la ilustración 45.

Ilustración 46. Análisis RCM con índice de riesgo en IRCMS

Referencia de información			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	# de tarea	Tipo de tarea	Índice de riesgo
F	FF	MF					
1	A	1	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
1	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				3E
1	A	3	Ningún mantenimiento proactivo.				3E
1	A	4	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
1	A	5	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
1	A	6	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	Cada 1 año	1	FF	1E
1	A	7	Realizar mantenimiento predictivo: medida de aislamiento y cuando sea menor de 7kΩ programar sacada de rotor para petrolizar	Cada 6 meses	2	FF	1E
1	A	8	Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	Cada paro de unidad	3	FF	4E
1	A	9	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
1	A	10	Mantenimiento preventivo: limpieza de tiristores	Cada mantenimiento mayor	4	OA	4E
1	A	11	Ningún mantenimiento preventivo				3E
1	A	12	Ningún mantenimiento preventivo				4E
2	A	1	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
2	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				3E
2	A	3	Ningún mantenimiento proactivo.				3E
2	A	4	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
2	A	5	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
2	A	6	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	Cada 1 año	5	FF	1E
2	A	7	Realizar mantenimiento predictivo: medida de aislamiento y cuando sea menor de 7kΩ programar sacada de rotor para petrolizar	Cada 6 meses	6	FF	1E
2	A	8	Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	Cada paro de unidad	7	FF	4E
2	A	9	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
2	A	10	Mantenimiento preventivo: limpieza de tiristores	Cada mantenimiento mayor	8	OA	4E
2	A	11	Ningún mantenimiento proactivo				4E
3	A	1	Verificar que se cumpla correctamente la lista de bloqueo y desbloqueo de la unidad	Cada paro de unidad	9	FF	4E
3	A	2	El operador debe verificar niveles de líquidos de las baterías y observar las medidas de voltaje en el cargador de baterías.	Diario	10	OC	4E
3	B	1	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	Cada 1 año	11	FF	1E
3	B	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
4	A	1	Mantenimiento preventivo: limpieza de tiristores	Cada mantenimiento mayor	12	OA	1E
4	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
5	A	1	Mantenimiento preventivo: limpieza de tiristores	Cada mantenimiento mayor	13	OA	4E
5	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
5	A	3	Realizar mantenimiento predictivo: fibroscopia	Cada 1 año	14	FF	1E
6	A	1	Mantenimiento preventivo: limpieza de tiristores	Cada mantenimiento mayor	15	OA	1E
6	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
7	A	1	Ningún mantenimiento preventivo				4E
7	A	2	Ningún mantenimiento preventivo				4E
8	A	1	El operador debe funcionar en modo automático el regulador de tensión antes de iniciar los mantenimientos preventivos.	Cada 6 meses	16	FF	4E
8	A	2	Ningún mantenimiento preventivo				4E
9	A	1	Realizar una verificación de todas las alarmas y disparos desde el elemento primario	Cada mantenimiento mayor	17	FF	4E
9	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
10	A	1	Realizar pruebas al regulador de tensión.	Cada mantenimiento mayor	18	FF	3E
10	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
11	A	1	Realizar pruebas al regulador de tensión.	Cada mantenimiento mayor	19	FF	4E
11	A	2	Ningún mantenimiento proactivo.				4E
12	A	1	Ningún mantenimiento preventivo				4E
12	A	2	Ningún mantenimiento preventivo				4E
13	A	1	Ningún mantenimiento preventivo				4E
13	A	2	Ningún mantenimiento preventivo				4E

En la ilustración 46 se evidencia todos los modos de falla para el regulador de tensión en el SEGSS con su tarea propuesta, frecuencia inicial de ejecución, número de la tarea, tipo de tarea e índice de riesgo, donde las tareas prioritarias a implementar son aquellas cuyo índice de riesgo comience con uno (1) y así sucesivamente su importancia hasta cuatro (4), luego se determina su importancia por la letra que acompaña al número, de la A a E.

Ilustración 47. Tareas a implementar bajo RCM en el regulador de tensión del SEGS

Referencia de información			Frecuencia Inicial	# de tarea	Tipo de tarea	Índice de riesgo
F	FF	MF				
1	A	6	Cada 1 año	1	FF	1E
1	A	7	Cada 6 meses	2	FF	1E
1	A	8	Cada paro de unidad	3	FF	4E
1	A	10	Cada mantenimiento mayor	4	OA	4E
2	A	6	Cada 1 año	5	FF	1E
2	A	7	Cada 6 meses	6	FF	1E
2	A	8	Cada paro de unidad	7	FF	4E
2	A	10	Cada mantenimiento mayor	8	OA	4E
3	A	1	Cada paro de unidad	9	FF	4E
3	A	2	Diario	10	OC	4E
3	B	1	Cada 1 año	11	FF	1E
4	A	1	Cada mantenimiento mayor	12	OA	1E
5	A	1	Cada mantenimiento mayor	13	OA	4E
5	A	3	Cada 1 año	14	FF	1E
6	A	1	Cada mantenimiento mayor	15	OA	1E
8	A	1	Cada 6 meses	16	FF	4E
9	A	1	Cada mantenimiento mayor	17	FF	4E
10	A	1	Cada mantenimiento mayor	18	FF	3E
11	A	1	Cada mantenimiento mayor	19	FF	4E
11	A	1	Cada mantenimiento mayor	19	FF	4E

Al filtrar por tipos de tarea, se encuentran las tareas a ejecutar con su respectivo número de tarea, dado que para los otros modos de falla no se es necesario implementar acciones de mantenimiento.

5.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 5

El desarrollo de la sección muestra los diferentes informes y resultados generales e individuales de las funciones primarias, secundarias, fallas, modos de fallas y tareas de mantenimiento con sus tiempos, costos, recursos y demás parámetros que solicita el RCM y en especial bajo el software IRCMS.

Al final del capítulo se esboza un conjunto de actividades relevantes para el SEGSS, bajo el proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad y la priorización de dichas tareas por índice de riesgo.

6. CONCLUSIONES

6.1 OBJETIVO 6

Concluir los principales resultados del proyecto.

6.2 DESARROLLO

Los conceptos del mantenimiento centrado en confiabilidad que se aplican a través del software IRCMS, permite comprender las recomendaciones dadas en lo general y en lo específico para cada uno de los análisis de las funciones primarias y secundarias, fallas funcionales, modos de fallas, efectos de la falla y tareas de mantenimiento propuestas con sus respectivos tiempos, costos y recursos que se solicita en el programa IRCMS.

El software IRCMS es una aplicación muy potente y gratuita, que desarrolla la US Navy Air Force, en la que se favorece la aplicación y documentación de la metodología RCM, además de incluir aspectos muy importantes como lo es el análisis de costos entre diferentes tareas de mantenimiento y así determinar los más conveniente para la compañía.

El sistema de excitación de un generador sincrónico es un equipo con muy alta confiabilidad y los riesgos que se analizan en la matriz HRI son bajos, sin embargo, se presentan fallas que se deben mitigar con la implementación de las tareas propuestas, así el índice de riesgo no se disminuya, es conveniente y económico invertir en una tarea proactiva que reparar una falla, que normalmente para éste tipo de sistemas son de alto impacto económico.

El desglose del SEGS a través de la táctica RCM es de gran importancia para comprender el correcto funcionamiento del sistema en su contexto operacional y a su vez es un gran aporte para ingenieros que trabajan con estos sistemas, ya que el conocimiento de éste sistema en específico permite comprender una parte vital del proceso generar energía.

BIBLIOGRAFÍA

Bloom@, Benjamin. 2017. Clasificación de Bloom. *Taxonomía de los objetivos educacionales*. [En línea]

http://cmaps.conectate.gob.pa/servlet/SBReadResourceServlet?rid=11894917194_98_981864839_519162&partName=htmltext, 17 de 01 de 2017. [Citado el: 17 de 01 de 2017.] Se conoce como la escala de niveles de objetivos de Bloom, Barret y Gagné. <http://www.cyta.com.ar/elearn/wq/bloom.htm>.

Department of Defense - USA. 1980. Military Standard. *Military Standard*. [En línea] 24 de 11 de 1980. [Citado el: 08 de 01 de 2017.] <https://src.alionscience.com/pdf/MIL-STD-1629RevA.pdf>.

García, Óscar León. 2009. *Administración Financiera: Fundamentos y Aplicaciones*. Medellín : Prensa Moderna, 2009. pág. 362. ISBN 9789584454430.

Gutiérrez, Jaime Andrés. 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] 09 de 04 de 2008. [Citado el: 09 de 04 de 2017.] <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0027967.pdf>.

IEEE Standards Association. 2016. IEEE Xplore. *IEEE Xplore*. [En línea] 05 de 02 de 2016. [Citado el: 13 de 04 de 2017.] <http://ezproxy.eafit.edu.co:2214/stamp/stamp.jsp?arnumber=7444087>.

Medina, Jorge Luis. 2017. CONFIABILIDAD RCM – BLOG ESPECIALIZADO EN LA CONFIABILIDAD OPERATIVA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN MÉXICO. *CONFIABILIDAD RCM – BLOG ESPECIALIZADO EN LA CONFIABILIDAD OPERATIVA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN MÉXICO*. [En línea] 19 de 03 de 2017. [Citado el: 19 de 03 de 2017.] <https://confiabilidadrcm.wordpress.com>.

Mitchell, Leslie. 2002. Preventive maintenance and RCM II. *IEEEXPLORE*. [En línea] 01 de 08 de 2002. [Citado el: 15 de 12 de 2016.] <http://ezproxy.eafit.edu.co:2214/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1029450>. ISSN: 0956-9944.

Mora, Alberto - Gutiérrez. 2009. *Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios.* Envigado : AMG, 2009. pág. 305.

Moubray, John Mitchell. 2004. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance RCM).* [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire : Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

NAVAIR. 2011. Directrices para el proceso RCM en la aviación naval. *Webrcm.* [En línea] 01 de 08 de 2011. [Citado el: 23 de 12 de 2016.] <http://webrcm.org/wp-content/uploads/2015/02/NAVAIR-00-25-403-August-2011.pdf>.

Otto, Arturo. 2017. Universidad Tecnológica Metropolitana del Estado de Chile. *Universidad Tecnológica Metropolitana del Estado de Chile.* [En línea] 26 de 02 de 2017. [Citado el: 26 de 02 de 2017.] http://trilogia.blogutem.cl/files/2014/07/trilogia_ingenieria-vol37-n27-sistemas-de-excitacion-estatica-para-generadores-sincronicos-pag138-147.pdf. ISSN: 0716-0356.

SAE-International. 2017. SAE Standards. *SAE Standards.* [En línea] 21 de 03 de 2017. [Citado el: 21 de 03 de 2027.] <http://standards.sae.org>. SAE JA 1011, 1012.

Siddiqui, A. W., & Ben-Daya, M. 2009. *Handbook of Maintenance Management and Engineering.* London : Springer, 2009. págs. 397-415. ISBN 978-1-84882-471-3.

Suescún, Ismael. 2017. Universidad de Antioquia. *Universidad de Antioquia.* [En línea] 26 de 04 de 2017. [Citado el: 26 de 04 de 2017.] <http://jaibana.udea.edu.co/grupos/centrales/files/capitulo%207.pdf>.

WebRCM. 2016. WebRCM. *WebRCM.* [En línea] 20 de 12 de 2016. [Citado el: 20 de 12 de 2016.] <http://webrcm.org/>.