

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA  
AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FACILIDAD DE  
FLOREÑA**

**EDUART ALFONSO GUERRERO CARRASCAL  
OLINTO CONTRERAS GAMBOA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2014**

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA  
AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FACILIDAD DE  
FLOREÑA**

**EDUART ALFONSO GUERRERO CARRASCAL  
OLINTO CONTRERAS GAMBOA**

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

**Director:  
ANA MILENA ACEVEDO LÓPEZ  
Ingeniero de Sistemas  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA**

Hoy que logro culminar una etapa de mi vida y realizar uno de mis sueños, quiero dedicar este triunfo a:

Dios todopoderoso, por brindarme la sabiduría necesaria para alcanzar ésta meta y acompañarme en mi diario vivir.

Mis padres, por su amor y dedicación.

Mi esposa Ingritt y mi hija María Paz, por su apoyo y comprensión.

**EDUART GUERRERO**

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA**

Durante esta etapa de mi vida, especialización en Gerencia en Mantenimiento expreso mi agradecimiento a:

Dios por la vida y por todos los cuidados que recibo a diario.

Mi esposa Mérida y mi hija Jessica Paola por su comprensión y apoyo.

Todos los que me colaboraron en esta meta que estoy culminando.

**OLINTO CONTRERAS**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	18
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	18
1.1.1. Operación .....	18
1.1.2. Planes a futuro .....	20
1.1.3. Accionistas .....	20
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	23
1.4. OBJETIVOS .....	23
1.4.1. Objetivo General .....	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	24
2. GENERADORES EXISTENTES .....	25
2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	25
2.2. SISTEMA AIRE – GAS.....	26
2.3. TURBO CARGADOR.....	27
2.4. CULATAS, PISTONES, BIELAS, CAMISAS.....	28
2.5. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN.....	29
2.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	31
3. TURBOGENERADORES NUEVOS .....	33
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TURBOMAQUINARIA .....	34
3.2. SISTEMAS Y COMPONENTES PRINCIPALES .....	36
3.2.1. Sistema de arranque.....	36
3.2.2. Sistema de gas combustible .....	37
3.2.3. Sistema de control Turbotronic <sup>TM</sup> .....	39
3.2.4. Sistema de control eléctrico .....	40

3.2.5.	Sistema de aceite lubricante .....	42
3.2.6.	Cabina y equipo auxiliar .....	44
3.2.7.	Turbina de gas.....	45
3.2.8.	Generador.....	47
4.	ANTECEDENTES DEL RCM .....	52
5.	ASPECTOS TEÓRICOS DEL RCM .....	54
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	56
6.1.	FORMACIÓN DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO DEL RCM.....	57
6.2.	SELECCIÓN DEL SISTEMA Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL .....	58
6.2.1.	Análisis de criticidad.....	60
6.2.2.	Contexto operacional .....	62
6.3.	DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (FMEA) 63	
6.3.1.	Definición de funciones y estándares de ejecución.....	64
6.3.2.	Definición de fallos funcionales .....	66
6.3.3.	Definición de modos de fallos .....	66
6.3.4.	Definición de los efectos y consecuencias de los modos de fallos.....	68
6.3.5.	Definición de las consecuencias de falla.....	70
6.4.	PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO (ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN DEL RCM) .....	72
6.4.1.	Actividades de mantenimiento preventivas (Proactivas) .....	73
6.4.2.	Actividades de mantenimiento correctivas (Reactivas) .....	80
6.5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	81
6.5.1.	Hoja de información de RCM.....	81
6.5.2.	Hoja de Decisión de RCM .....	81
6.5.3.	Diagrama de Decisión .....	82

6.5.4.	Evaluación de las consecuencias de la falla .....	82
6.5.5.	Factibilidad técnica de tareas proactivas .....	84
6.5.6.	Las preguntas “a falta de” .....	86
7.	BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM .....	88
8.	MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FACILIDAD DE FLOREÑA	91
8.1.	FORMACIÓN DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO .....	91
8.2.	SELECCIÓN DEL SISTEMA Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL .....	92
8.2.1.	Contexto operacional .....	92
8.2.2.	Descripción general del sistema de generación.....	92
8.2.3.	Parámetros del proceso .....	92
8.2.4.	Sistemas y componentes principales.....	93
8.2.5.	Diagrama Entrada – Proceso – Salida .....	93
8.3.	ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) .....	94
8.4.	APLICACIÓN DE LA LÓGICA RCM (ARBOL DE DECISIÓN) .....	95
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
9.1.	INTRODUCCIÓN .....	97
9.2.	PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO .....	97
9.2.1.	Frecuencia de las tareas.....	98
9.2.2.	Tipos de tareas.....	99
9.2.3.	Plan de mantenimiento.....	100
9.3.	AUDITORIA DEL RCM.....	101
10.	CONCLUSIONES.....	102
11.	RECOMENDACIONES .....	103
	BIBLIOGRAFIA .....	105

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de Potencia - Unidades de Generación - Expansión CPF Floreña..	21
Tabla 2. Hoja de información RCM .....	95
Tabla 3. Hoja de decisión RCM .....	96
Tabla 4. Frecuencia de las tareas .....	98
Tabla 5. Tipos de tareas .....	99
Tabla 6. Plan de mantenimiento propuesto.....	100

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Contratos de Equión en asociación con Ecopetrol.....	18
Figura 2. Parte del diagrama unifilar (key plan).....	22
Figura 3. Motogeneradores existentes.....	26
Figura 4. Sistema de lubricación externo.....	30
Figura 5. Sistema de lubricación interno.....	30
Figura 6. Sistema principal de refrigeración.....	31
Figura 7. Sistema auxiliar de refrigeración.....	32
Figura 8. Turbina de gas en ciclo simple.....	35
Figura 9. Turbina de gas en ciclo simple.....	36
Figura 10. Sistema de aceite lubricante típico.....	44
Figura 11. Turbina de GasTaurus 60S.....	46
Figura 12. Sistema típico de generador, excitatriz y regulador de voltaje.....	48
Figura 13. Generador.....	50
Figura 14. Flujograma de implantación del RCM.....	56
Figura 15. Integrantes de un equipo natural de trabajo de RCM.....	57
Figura 16. Criterios a evaluar – Matriz de criticidad.....	61
Figura 17. Matriz general de criticidad.....	62
Figura 18- Esquema de análisis de los modos y efectos de falla.....	63
Figura 19. Categorías de modos de falla.....	67
Figura 20. Lógica de la selección de estrategias de mantenimiento (árbol lógico).....	73
Figura 21. Curva e intervalo P-F.....	74
Figura 22. Intervalo P-F Neto.....	75
Figura 23. Estructura de la Hoja de Información de RCM.....	81
Figura 24. Estructura de la Hoja de Decisión de RCM.....	82
Figura 25. Como se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión.....	83
Figura 26. Resumen de las consecuencias de falla.....	84
Figura 27. Criterios de factibilidad técnica.....	85
Figura 28. Las preguntas “A Falta de”.....	86
Figura 29. Equipment boundary – Electric generators.....	94

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. HOJA DE TRABAJO RCM.....	107
ANEXO B. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	132

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FACILIDAD DE FLOREÑA\*

**AUTORES:** EDUART ALFONSO GUERRERO CARRASCAL, OLINTO CONTRERAS GAMBOA\*\*<sup>1</sup>

**PALABRAS CLAVES:** MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, SOLAR TURBINES, TURBOGENERADOR, CRITICIDAD DE EQUIPOS, MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

**DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:** En la vida de operación de toda compañía del sector de hidrocarburos surgen proyectos de ampliación y/o modificación de las facilidades existentes, ya sea por disminución o aumento de la producción.

Lo anterior es mucho más notorio en campos petroleros donde tienen una curva de declinación que no es constante, por consiguiente se hacen estudios de sísmica, se perforan pozos nuevos y de acuerdo con el resultado, las empresas se ven en la obligación de generar estrategias de preservación de los equipos que quedarán temporalmente fuera de servicio si la producción decrece y en caso contrario se deben diseñar estrategias de mantenimiento para los equipos que harán parte de los proyectos de ampliación respectivamente.

Por tal motivo este documento surge como respuesta a la necesidad manifestada anteriormente y contiene un modelo para desarrollar un plan de gestión de mantenimiento al equipo crítico de una facilidad de producción de petróleo, basado en la metodología RCM, para este caso los turbogeneradores de la ampliación del sistema de generación de Floreña.

Así mismo el lector encontrara un resumen detallado, sobre los diferentes conceptos manejados en el desarrollo de la metodología RCM, adicionalmente se describe el paso a paso que se debe seguir rigurosamente para el diseño de la estrategia de mantenimiento.

También se muestra el plan de mantenimiento propuesto, el cual resulta de aplicar la metodología RCM, adicionalmente se plantean las conclusiones del modelo desarrollado y las recomendaciones que se deben tener en cuenta si el mismo va a ser implementado en un futuro.

---

\*Monografía

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Ing. Ana Milena Acevedo López, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

## SUMMARY

**TITLE:** MODEL OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE SYSTEM EXPANSION FOR GENERATING FACILITY FLOREÑA<sup>2\*</sup>

**AUTHORS:** EDUART ALFONSO GUERRERO CARRASCAL, OLINTO CONTRERAS GAMBOA\*\*

**KEYWORDS:** RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE, SOLAR TURBINES, TURBOGENERATOR, CRITICALITY EQUIPMENT, FAILURE MODES AND EFFECTS.

**SUBJECT OR DESCRIPTION:** In the life of every company operating the hydrocarbon sector expansion projects and / or modification of existing facilities, either decreased or increased production arise.

This is much more noticeable in oil fields where they have a decline curve is not constant, therefore seismic studies are new and match the result wells are drilled, the companies are obliged to generate strategies preservation of equipment remain out of service temporarily if production decreases and otherwise must be designed maintenance strategies for equipment that will be part of the expansion projects respectively.

Therefore this paper is a response to the need expressed above and contains a model for developing a management plan for maintenance of critical equipment to ease oil production, based on the RCM methodology, in this case the expansion turbine generators generation system Floreña.

Likewise, the reader will find a detailed summary on the various concepts used in the development of the RCM methodology, further comprising the step by step to be followed carefully to design the maintenance strategy is described.

The proposed maintenance plan is also shown, which results from applying the RCM methodology, further developed the model conclusions and recommendations to be taken into account if it is to be implemented in the future.

---

\*Monograph

\*\*School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Ing. Ana Milena Acevedo López, Maintenance Management Specialist.

## INTRODUCCIÓN

Esta monografía se centra en investigar sobre la filosofía de mantenimiento denominada RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y su aplicación en el mantenimiento de equipos en un contexto operacional, donde se requiere de la mayor confiabilidad de los mismos, con el fin de que cumplan la función para la cual fueron diseñados cuando se requieran y que los costos del mantenimiento sean óptimos.

Actualmente las organizaciones industriales están implementando técnicas que permitan optimizar sus procesos de gestión de mantenimiento, dentro de estas encontramos la metodología denominada Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) la cual es actualmente una de las principales y más efectivas herramientas utilizadas para mejorar y optimizar el mantenimiento en las organizaciones de categoría clase mundial.

El éxito de esta técnica se basa principalmente en que permite establecer los requerimientos necesarios de mantenimiento de los diferentes equipos en su contexto operacional, considerando los impactos que pueden generar las fallas de los mismos al ambiente, a la seguridad de las personas y a las operaciones y dentro de cualquier proceso productivo todos estos aspectos son de gran importancia.

Buscando optimizar el gasto de los activos físicos muchas compañías están implementando la Gestión Integral de Activos con la PASS 55 y en un futuro muy cercano con la ISO 55000, y de ella forma parte la gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad.

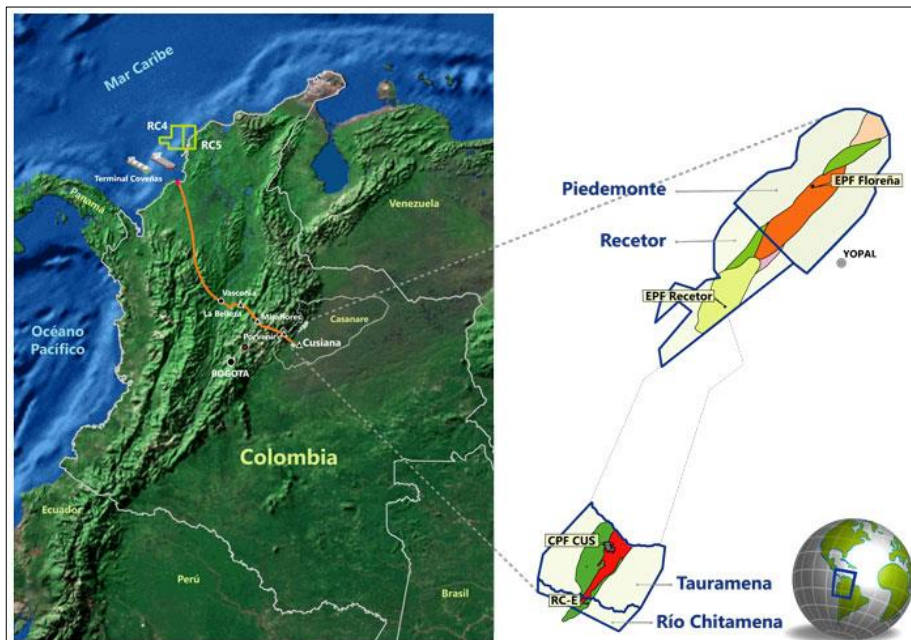
# 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 1.1.1. Operación

EQUION ENERGIA LIMITED es la nueva marca de la sucursal establecida en Colombia por BP en 1986 (BP Exploration Company), antes como BPX Colombia y ahora como Equión, que por más de 25 años ha desarrollado actividades de exploración y producción de hidrocarburos en el departamento de Casanare, donde es operador de cuatro contratos de asociación con Ecopetrol: Piedemonte, Recetor, Tauramena y Río Chitamina (estos dos últimos, ahora en compañía de Emerald Energy), ver figura 1.

**Figura 1. Contratos de Equión en asociación con Ecopetrol**



Fuente: [http://www.equion-energja.com/nos\\_dedicamos.html](http://www.equion-energja.com/nos_dedicamos.html)

EQUIÓN también es socio y operador de los contratos RC4 y RC5, ubicados en la Costa Atlántica colombiana y suscritos con la Agencia Nacional de Hidrocarburos en 2007. La participación de en estos contratos es: EQUIÓN 40.56%, ECOPETROL 32% y PETROBRAS 27.44%.

En la actualidad, la producción operada asciende a 100 mil barriles equivalentes de petróleo por día; y EQUIÓN tiene reservas y recursos equivalentes de petróleo estimados de 63 millones de barriles en los campos productores de Floreña, Pauto, Dele y Cusiana.

En cuanto al negocio de gas, los campos albergan reservas significativas que durante mucho tiempo se reinyectaron casi en su totalidad para mantener la presión del yacimiento y optimizar el factor de recobro de crudo. Sin embargo, la evolución en las condiciones del mercado y la creciente demanda de gas en los diferentes sectores de la economía colombiana se unieron para facilitar la participación en el mercado a largo plazo y en la monetización de estas reservas.

Hoy, desde las plantas de Cusiana se despachan más de 270 millones de pies cúbicos de gas por día al mercado nacional (cerca de la tercera parte de la demanda diaria del país). A esto se suma una capacidad nominal de producción en Floreña de 40 millones de pies cúbicos por día que suministra gas a una generadora térmica en boca de pozo y al municipio de Yopal y el corregimiento de El Morro.

Con el propósito de responder a los crecientes requerimientos en Colombia de GLP (Gas Licuado de Petróleo), operan desde noviembre de 2011 una planta con capacidad nominal de 6.300 barriles por día.

### **1.1.2. Planes a futuro**

Hoy está en pleno desarrollo la licencia Piedemonte, ubicada en el corregimiento de El Morro, municipio de Yopal. Esto supone la ampliación de las instalaciones de Floreña, así como una intensa actividad de perforación en zonas de enormes retos técnicos dada la complejidad geológica en Casanare.

También en Casanare, Equión opera desde finales de enero de este año el bloque Niscota, en el cual la empresa Hocol S.A. hizo un importante descubrimiento a través del pozo Hurón 1. La compañía continuará allí las actividades de perforación y desarrollo.

Finalmente, la perforación del pozo exploratorio Mapalé 1 en el bloque RC5, empleando la plataforma Offshore Mischief, concluyó en el segundo semestre de 2012 con un hallazgo de gas seco a 10.845 pies de profundidad. Equión ahora adelanta la fase de evaluación técnica de la prospectividad y del caso económico del descubrimiento, dicha etapa tarda varios meses.

### **1.1.3. Accionistas**

El 24 de enero de 2011, BP vendió la totalidad de sus activos en Colombia a Ecopetrol S.A. (51%) y Talisman Energy (49%), transacción que dio paso a la nueva marca llamada EQUION ENERGIA LIMITED, así como su vinculación a estos grupos empresariales.

Por un lado, Ecopetrol es la empresa nacional de petróleos de Colombia y también la mayor compañía del país, siendo cuarta en la industria a nivel de Latinoamérica. Como multinacional de energía y petroquímicos especializada en petróleo, gas y energía alternativa, para febrero de 2013 su producción directa ascendía de 620.000 barriles de petróleo equivalente al día (boed).

A su vez, Talisman es una compañía canadiense de exploración y producción de gas y petróleo que produce cerca de 450.000 boed y tiene tres áreas principales de operación: América del Norte, el Mar del Norte y el Sudeste Asiático.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento de Casanare existen varias compañías de producción de hidrocarburos, muchas de ellas realizan proyectos de ampliación de sus facilidades de producción, entre ellas esta Equión, la cual tiene un proyecto de ampliación de la facilidad de Floreña para el periodo 2013 - 2014.

Los equipos que entrarán en operación requieren de una estrategia de mantenimiento para garantizar que cumplan la función para la cual fueron diseñados, por ello este proyecto consiste en diseñar un modelo para seleccionar la estrategia de mantenimiento basado en la metodología RCM.

La filosofía de generación se aplicará a la operación del parque de generación del CPF Floreña compuesto por dos (2) turbogeneradores Taurus 60 a gas (equipos nuevos) y dos (2) motogeneradores a gas (equipos existentes), la capacidad instalada efectiva del parque de generación es de 10.800 KW (ver tabla 1).

**Tabla 1. Sistema de Potencia - Unidades de Generación - Expansión CPF Floreña**

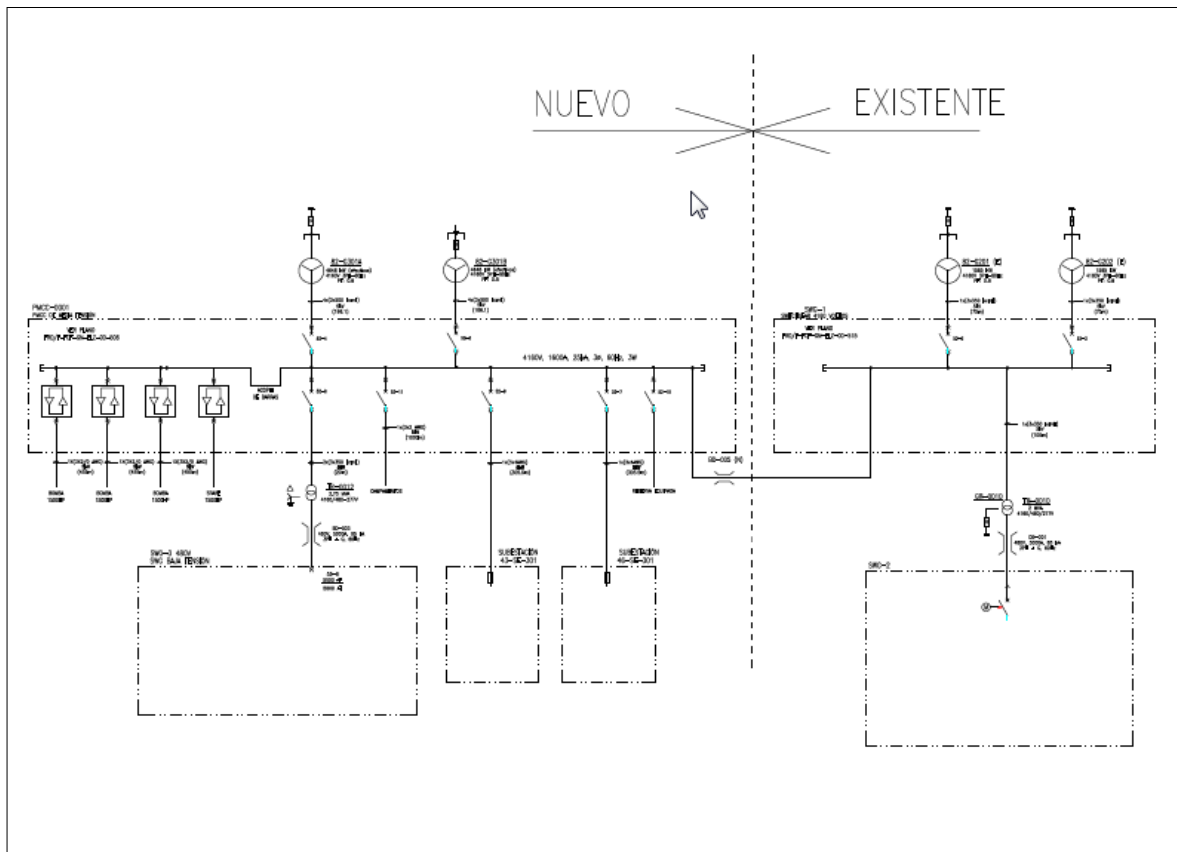
UNIDAD DE GENERACIÓN	BARRA DE CONEXIÓN / TENSIÓN DE GENERACIÓN	TIPO	KW NOMINAL	KW EFECTIVO
GENERADOR G201	SWG-1 / 4.160V	Gas Comb. Interna / Existente	1.565	900
GENERADOR G202	SWG-1 / 4.160V	Gas Comb. Interna / Existente	1.565	900
GENERADOR G301A	PMCC-0001 / 4.160V	Turbo Gas / Nuevo	5.500	4.500

<b>GENERADOR G301B</b>	<b>PMCC-0001 / 4.160V</b>	<b>Turbo Gas / Nuevo</b>	<b>5.500</b>	<b>4.500</b>
<b>GENERADOR ME-302 (Black Start)</b>	<b>MCC-5 / 480V</b>	<b>Diesel / Nuevo</b>	<b>500</b>	<b>500*</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>14.130</b>	<b>10800**</b>

Fuente: Filosofía de generación CPF Floreña, REG-4402 Rev. 01

En la figura 2 se puede observar la interconexión de los motogeneradores existentes con los turbogeneradores nuevos.

**Figura 2. Parte del diagrama unifilar (key plan)**



Fuente: Diagrama unifilar general, FRD/F-FCF-GN-ELZ-00-505-1/1 Rev. 0

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En la vida de operación de toda compañía del sector de hidrocarburos surgen proyectos de ampliación y/o modificación de las facilidades existentes, ya sea por disminución o aumento de la producción.

Lo anterior es mucho más notorio en campos petroleros donde tienen una curva de declinación que no es constante, por consiguiente se hacen estudios de sísmica, se perforan pozos nuevos y de acuerdo con el resultado, las empresas se ven en la obligación de generar estrategias de preservación de los equipos que quedarán temporalmente fuera de servicio si la producción decrece y en caso contrario se deben diseñar estrategias de mantenimiento para los equipos que harán parte de los proyectos de ampliación respectivamente.

Para obtener el mayor beneficio económico, teniendo como base que los contratos de asociación tienen tiempos definidos (ejemplo: 10 años, 20 años, etc.) y los cuales una vez se cumplan los mismos, las facilidades deben retornar al estado. Ya que el contrato será por un tiempo finito, se debe garantizar que los equipos usados en la ampliación tengan una estrategia de mantenimiento que garantice que ellos cumplan la función para la cual fueron diseñados y así garantizar que el operador obtenga un buen retorno de la inversión.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Desarrollar un modelo basado en la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) con el fin de generar una estrategia de mantenimiento para la ampliación del sistema de generación de la facilidad de producción de petróleo de Floreña.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Aplicar la metodología RCM al generador de la ampliación del sistema de generación, que se compone de dos (2) turbogeneradores TAURUS de 5.500 KW nominales.
- Realizar el FMEA al equipo seleccionado.
- Diseñar las rutinas de mantenimiento para el equipo seleccionado de la ampliación del sistema de generación.

## 2. GENERADORES EXISTENTES

El sistema de generación que existe actualmente, está compuesto por dos motogeneradores cuyos motores son reciprocantes marca Superior 16SGT y los generadores marca Kato Engineering respectivamente (ver figura 3).

### 2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### MOTOR

Fabricante	Cooper-Superior
Modelo	16-SGT
Combustible	Gas Natural
Número de Cilindros	16 en V a 90 Grados
Rango de Velocidad	600-900 RPM
Potencia	2650 BHP a 900 RPM
Carrera x Diám. Interno del Cilindro	10.5" X 10"
Cilindrada	13195 Pulg <sup>3</sup> (216 Litros)
Relación de Compresión	8.75:1
Presión Efectiva (BMP)	177 Psi

#### GENERADOR

Fabricante	Kato Engineering
Tensión Nominal	4160 Vca
Potencia Nominal	1650 KW
Rotor	Polos Salientes
Velocidad	900 RPM
FP	0.8

**Figura 3. Motogeneradores existentes**



Fuente: Reporte de MOH realizado por Wood Group PSN Colombia 2008

## **2.2. SISTEMA AIRE – GAS**

La mezcla aire – gas se produce dentro de cada cilindro de la máquina, ésta mezcla es encendida por una bujía y la presión resultante en el ciclo de potencia produce el desplazamiento del pistón hacia abajo, el movimiento lineal es

transmitido a la biela y al cigüeñal que a su vez lo transforma en movimiento circular.

Los gases de escape son colectados en el múltiple y dirigidos a una turbina que hace girar un blower (conjunto turbocargador de un solo eje, separados en lado caliente y lado frío) y produce la carga de aire que es enfriado antes del múltiple de admisión previo al ingreso a cada cilindro.

Se debe garantizar que el aire que ingresa al motor esté limpio y a temperatura adecuada (la cantidad de libras de aire que entran a la cámara de combustión están directamente relacionadas con la temperatura del aire) y que el gas esté seco y dentro de los parámetros de diseño del motor.

### **2.3. TURBO CARGADOR**

El turbocargador es un compresor de aire centrífugo impulsado por los gases de escape del motor. El turbo comienza a girar cuando el motor está alrededor de 600 rpm, succiona y comprime el aire a una presión de 10-15 psi cuando el motor está a plena carga y con 900 rpm, el aire se calienta y debe pasar por los aftercooler de cada banco para ser enfriado y entrar a los manifold de succión de aire a una temperatura de 125 – 130 °F.

Los gases resultantes del proceso de combustión son colectados en el múltiple de escape (aproximadamente a 1150 °F) y conducidos a través de la turbina para producir el giro del rotor. La succión del compresor está conectada al cárter para evacuar los gases internos del motor (el cárter debe operar normalmente con un vacío de 1" de red oil). La velocidad operacional del turbocargador es 24000 rpm.

## **2.4. CULATAS, PISTONES, BIELAS, CAMISAS**

Las culatas de los motores Superior tienen una válvula de admisión, una válvula de escape y una válvula de gas. Cada culata tiene un balancín conectado por las varillas impulsoras al eje de levas del lado correspondiente.

Cada pistón del motor Superior consta de seis anillos, los cuatro anillos superiores son de compresión, el quinto es el anillo de control de aceite y el anillo inferior es un raspador o limpiador de aceite. Se recomienda instalar los anillos con un escalonamiento de 180°, lo cual ayuda a mantener la compresión y elimina un escape excesivo de gases. El diámetro de la cabeza del pistón generalmente es menor que el diámetro de la falda o parte inferior. La parte superior es menor porque está sometida a altas temperaturas y ayuda a controlar la expansión. El pistón soporta los anillos para sellar la cámara de combustión y controlar la película de aceite, transmite el calor a la camisa a través de los anillos. La forma saliente provee la turbulencia adecuada del combustible y el aire.

Las bielas transmiten la presión de la combustión del pistón al cigüeñal. La biela se fija al cigüeñal en un extremo y al pistón en el otro extremo a través del pin o pasador. La biela recibe grandes cargas y velocidades así como un constante cambio en la dirección de su movimiento. Si se sobrecarga el motor puede causar pandeo y perder el círculo. Se debe mantener un balanceo de pesos entre los bancos para evitar problemas asociados a vibraciones en el motor.

La camisa del cilindro es del tipo húmedo, de hierro colado de alta aleación especial. La camisa es de pared gruesa para resistir las presiones de la combustión y las temperaturas máximas desarrolladas del motor. Tiene sellos tanto en la parte superior como en la parte inferior, para evitar fugas de agua hacia la cámara de combustión y el cárter.

## 2.5. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN

Los motores Superior tienen un sistema de lubricación accionado por una bomba de engranajes ubicada en el tren de bombas (parte frontal) accionado por cadenas desde el sprocket el cual gira solidariamente con el cigüeñal, este sistema es un circuito cerrado con una válvula reguladora de presión, sistema de filtro en “Y”, filtros reemplazables (cuando la presión diferencial esté entre 10-12 psi), válvula termostática, conductos o galerías y bomba pre y post lubricadora solidaria al sistema la cual garantiza que se lubriquen los componentes que permanecen en movimiento cuando el motor se apaga, ejemplo: el turbocargador (ver figura 4).

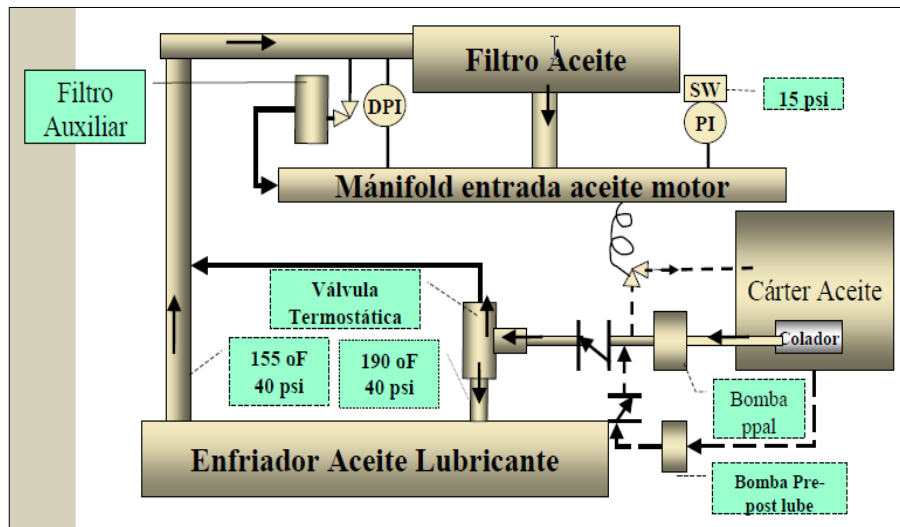
El aceite recomendado para este motor es tipo SAE 40 con un contenido de cenizas entre 0.5% y 1% (nivel medio), la capacidad del cárter de un motor 16SGT es de 220 galones y de un 12SGT es de 165 galones. El aceite es impulsado por la bomba a un sistema de filtros, pasando por una válvula reguladora de presión que mantiene la presión constante bajo condiciones de variaciones de velocidad y temperatura.

La temperatura del aceite en la entrada de la válvula termostática está entre 180 – 185 °F. Luego pasa por el intercambiador hacia el manifold de entrada del motor a una temperatura de 135 °F aproximadamente. El aceite fluye hacia todos los cojinetes principales y de allí va a hacia los cojinetes del muñón de biela a través de las vías perforadas del cigüeñal, después por las vías perforadas de las bielas va a los bujes, al pasador del pistón y a la cámara de enfriamiento del pistón.

También lubrica los balancines, los vástagos de las válvulas de potencia, las varillas de empuje, los seguidores de leva, las camisas y los anillos del pistón, esto se hace por lubricación de chapoteo. Debido a las vías perforadas por donde pasa el aceite, entre un punto y otro, va a ocurrir una caída de presión que reduce la presión en el aceite. La parte que recibe la menor cantidad de presión de aceite

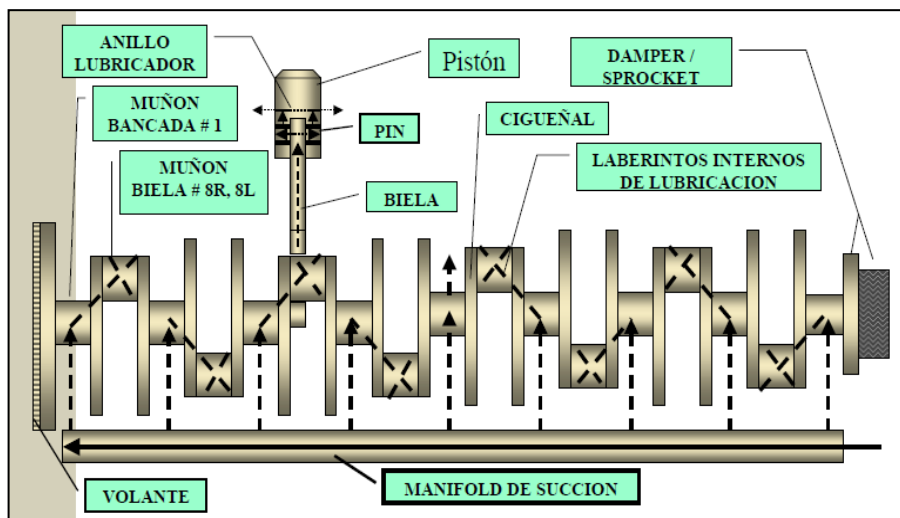
lubricante son los bujes del balancín, en una pérdida de presión del aceite es la parte que se puede ver más afectada. La presión del aceite es de 40 a 45 psi (ver figura 5).

**Figura 4. Sistema de lubricación externo**



Fuente: Curso básico de motores Superior Wood Group PSN Colombia 2008

**Figura 5. Sistema de lubricación interno**



Fuente: Curso básico de motores Superior Wood Group PSN Colombia 2008

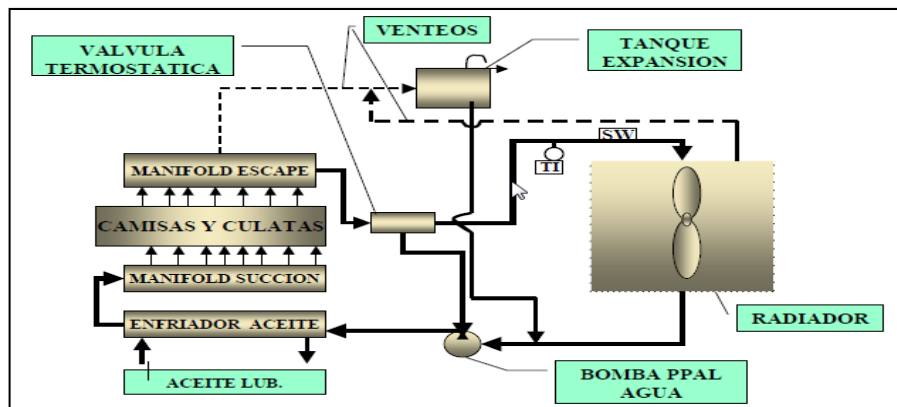
## 2.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de enfriamiento es de tipo cerrado donde el agua recircula permanentemente en el motor. El sistema de refrigeración cuenta con dos bombas centrífugas, una para el sistema principal y otra para el sistema auxiliar.

El sistema principal refrigera los cilindros motrices, las culatas, el manifold de escape, el turbocargador y el circuito del compresor, el circuito comienza en la bomba, pasa a través del manifold, entra a cada cilindro, pasa a la culata, a través de los codos pasa al manifold de escape, luego va a una válvula termostática que desvía el flujo al Fan Cooler o a la succión de la bomba (ver figura 6).

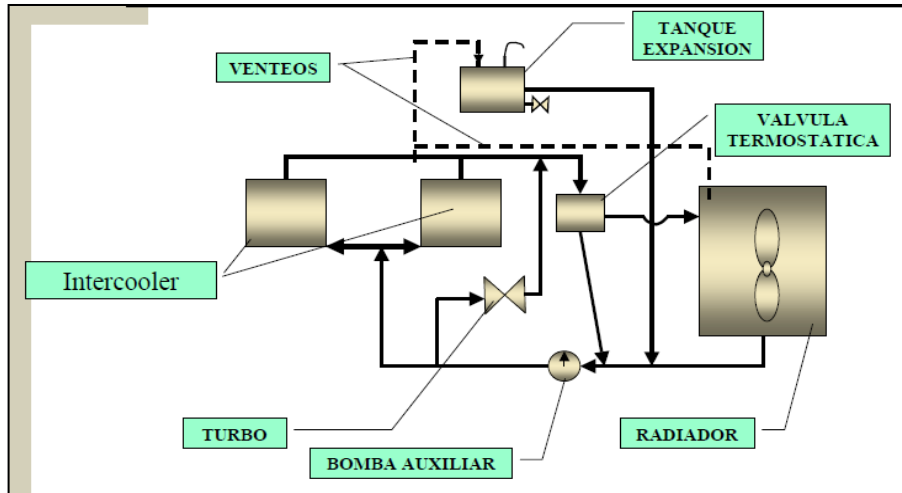
El sistema auxiliar refrigera los aftercooler y el intercambiador de aceite del motor. El sistema cuenta con un Fan Cooler que permite el diferencial de temperatura requerido para la correcta operación del motor y las interetapas de proceso del compresor (en el caso del LTT). El agua del sistema de refrigeración debe ser desmineralizada con un aditivo que prevenga la corrosión. La zona de transferencia de calor del sistema de combustión debe ser limpiada cuando los depósitos excedan 1/32" (1 mm) de profundidad (ver figura 7).

**Figura 6. Sistema principal de refrigeración**



Fuente: Curso básico de motores Superior Wood Group PSN Colombia 2008

**Figura 7. Sistema auxiliar de refrigeración**



Fuente: Curso básico de motores Superior Wood Group PSN Colombia 2008

### 3. TURBOGENERADORES NUEVOS

A continuación se describen las especificaciones técnicas de la turbo maquinaria, como también los componentes principales y los sistemas necesarios para el virado, arranque, operación normal, parada normal, parada emergencia, protección, así:

- **Especificaciones de la turbina**

#### COMPRESOR

Tipo	Axial
Número de Etapas	12
Relación de Compresión	12.5:1
Velocidad	14.951 RPM

#### CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Tipo	Anular (SoLoNOx™)
Encendido	Quemador
Número de Inyectores de Combustible	12

#### TURBINA DE GAS

Tipo	Reacción
Número de Etapas	3

#### COJINETES

De Muñón	Zapatas Basculantes
Empuje Activo	Zapatas Basculantes
Empuje Inactivo	Pista Cónica Fija

- **Especificaciones del generador**

Fabricante	KatoEngineering
Tensión Nominal	4160 Vca
Potencia Nominal	5.500 KW
Frecuencia Nominal	60 Hz
Rotor	Polos Salientes
Excitatriz	PMG
Velocidad	1800RPM
No. de Polos	6
No. de Fases	3
FP	0.8

### **3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TURBOMAQUINARIA**

El turbogenerador consta de una turbina de gas, en ciclo abierto de flujo axial (ver figura 8), un generador y una unidad de engranajes (ver figura 9).

Estos elementos están instalados en línea sobre una base de acero que consiste en una estructura soldada, con secciones de vigas y travesaños que forman una base rígida. Las superficies fresadas de montaje en la base facilitan la alineación de los componentes principales.

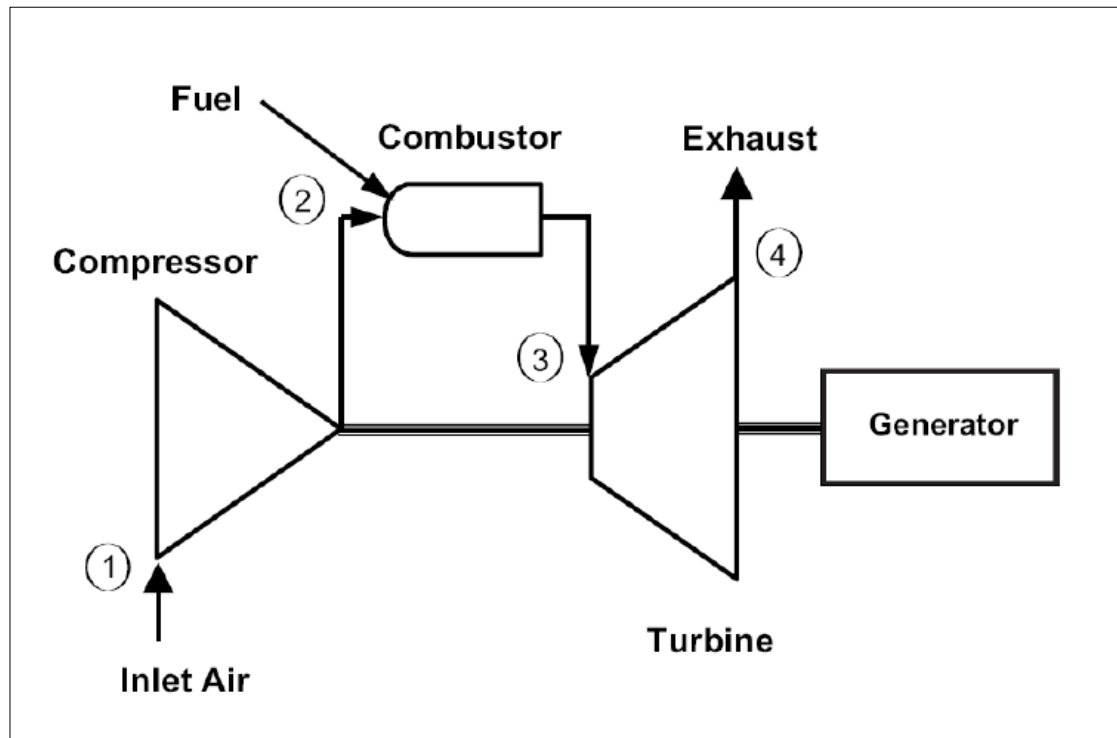
El eje de entrada de la unidad de engranajes está conectado con el cubo del cono del extremo del rotor del compresor de la turbina por medio de un acoplamiento de manguito estriado.

Una brida de emparejamiento empernada a la caja de entrada de aire a la turbina ajusta los montajes.

El eje de salida de la unidad de engranajes de reducción está alineado con el eje de entrada del generador. Los dos ejes están conectados entre sí por medio de una coplamiento cizallante flexible bajo una cubierta de seguridad.

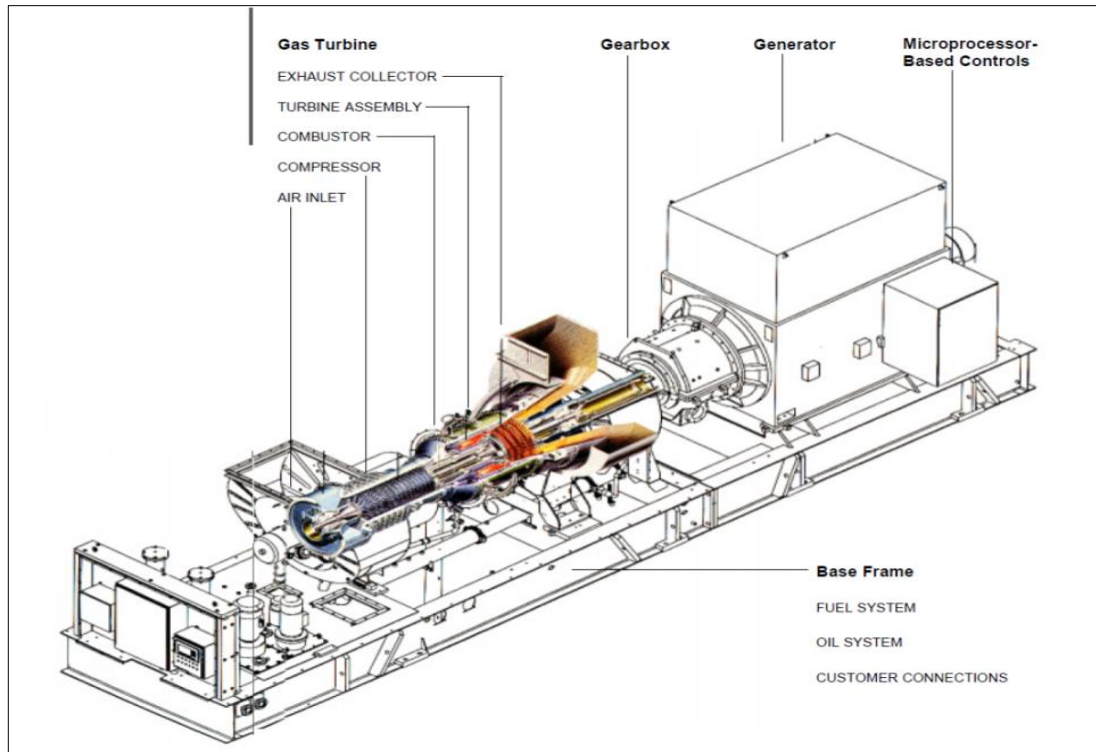
Los accesorios del conjunto generador incluyen los sistemas de arranque, combustible, control eléctrico y aceite lubricante así como un sistema de aire de control neumático.

**Figura 8. Turbina de gas en ciclo simple**



Fuente: Brochure del fabricante, Pág. 9

**Figura 9. Turbina de gas en ciclo simple**



Fuente: Brochure del fabricante, Pág. 9

## **3.2. SISTEMAS Y COMPONENTES PRINCIPALES**

### **3.2.1. Sistema de arranque**

El sistema de arranque de corriente alterna suministra la potencia de giro necesaria, para hacer rotar el compresor y la turbina. El sistema de arranque incluye:

- Motor de arranque.
- Variador de velocidad.

Cuando se inicia el ciclo de arranque/giro se activa una secuencia de prelubricación temporizada. Al finalizar el conteo del temporizador del ciclo de

prelubricación, el sistema de control dirige la potencia al variador de velocidad, el cual proporciona la potencia al motor de arranque.

Inicialmente, el variador de velocidad suministra un voltaje de corriente alterna de baja frecuencia al motor de arranque, para comenzar el giro. La frecuencia y el voltaje al motor de arranque se incrementan entonces para acelerar la turbina hasta la velocidad de purga.

Cuando se cumple el ciclo de purga se activan los sistemas de combustible e ignición. Cuando se detecta la ignición se incrementa la velocidad del motor de arranque, hasta que la turbina alcanza la velocidad de desembrague del arrancador. Cuando la turbina alcanza la velocidad de desembrague del arrancador, el sistema de control desactiva el variador de velocidad, cortando así la alimentación eléctrica al motor de arranque, y se desacopla el embrague de la turbina. Entonces la turbina acelera a la velocidad de vacío, bajo su propia potencia.

### **3.2.2. Sistema de gas combustible**

El sistema de combustible regula la presión y el flujo de gas para controlar la potencia de la turbina.

El sistema de gas combustible y de aire, conjuntamente con el sistema de control, programan automáticamente el flujo de combustible durante la aceleración de la turbina y el funcionamiento con carga. El sistema también proporciona un control limitador del flujo de combustible por excesos de temperatura y sobre velocidad, y una parada automática en caso de falla.

El sistema de combustible consta de los siguientes sistemas interrelacionados:

- **Sistema de dosificación de combustible**

El sistema de dosificación de combustible consta de las válvulas de corte, los múltiples de suministro, las válvulas de control de flujo y los inyectores de combustible. El sistema de control monitorea el sistema de dosificación de combustible para regular el flujo de combustible y cambiar la velocidad ( $N_{gp}$ ) y la temperatura ( $T_5$ ) de la turbina.

- **Sistema piloto**

La presión del sistema piloto se suministra desde una entrada en el múltiple de suministro de combustible o desde una fuente externa de aire comprimido. El sistema piloto suministra presión a las válvulas de corte de combustible de accionamiento neumático. Cada válvula de corte de accionamiento neumático está conectada a una válvula solenoide. Cuando es activada por el sistema de control, la válvula solenoide se abre para permitir el paso de presión piloto para abrir la válvula de corte. Cuando la válvula solenoide se cierra, se ventea la presión piloto y se cierra la válvula de corte. El sistema piloto es un sistema de corte de combustible de doble seguridad, en caso de una falla del sistema de control.

- **Sistema de aire del compresor (presión  $P_{cd}$ )**

El sistema de aire del compresor de la turbina suministra aire de descarga del compresor ( $P_{cd}$ ) a varios sistemas. La tubería está conectada a las lumbreras del compresor de la turbina que distribuyen la presión neumática a los componentes del sistema. En el sistema de combustible, la presión  $P_{cd}$  se mide para determinar la dosificación del flujo de combustible, para purgar las tuberías y los inyectores de combustible, y cerrar las válvulas de drenaje del difusor del escape. Al 50% de la carga de la turbina, el sistema de combustible cambia al modo de bajas emisiones (SoLoNOx). Se reduce el flujo de combustible a través del múltiple piloto, y se incrementa la entrada de presión de aire  $P_{cd}$  a

los inyectores de combustible. Esto empobrece la mezcla de combustible-aire permitiendo así a la turbina alcanzar las bajas emisiones a carga plena.

### **3.2.3. Sistema de control TurboTronic™**

El control de los parámetros de funcionamiento tales como temperaturas, presiones, flujo, velocidad y vibración es crítico para evitar daños a la turbina y al generador. El arranque y la parada requieren procesos controlados en secuencia.

Un controlador lógico programable, que es una computadora adaptada a las tareas de control, controla los sistemas de la turbomaquinaria. El controlador, algunas veces también llamado procesador, lee el estado de dispositivos de entrada, como los botones del panel de control, toma decisiones y ajusta los dispositivos de salida como indicadores, posicionadores o bobinas de calor.

El sistema TurboTronic™ controla y protege el conjunto turbogenerador.

Las cuatro funciones provistas por el sistema de control son las siguientes:

- **Secuencia**

Lo elementos claves de esta función son arranque, carga, parada y pos lubricación.

- **Control**

Una vez que el conjunto turbocompresor ha completado la secuencia de arranque y se alcanza el funcionamiento en estado estacionario, el sistema de control mantiene el equipo dentro de las condiciones de funcionamiento especificadas.

- **Protección**

El sistema de control protege al turbogenerador mediante el monitoreo de la velocidad, las temperaturas, las presiones y otras variables. La mayoría de las variables cuentan con límites que inician una respuesta por parte del sistema de control. Por lo general, un nivel iniciará una alarma, y un segundo nivel iniciará una parada automática del turbogenerador.

- **Visualización**

El sistema de control envía al sistema de visualización señales que representan los valores que indican la condición de funcionamiento del turbogenerador. La Guía del operador de sistemas incluye una descripción detallada del Sistema de monitoreo y pantallas de visualización.

### **3.2.4. Sistema de control eléctrico**

El sistema eléctrico de 24 Vcd monitorea la turbina y al generador y controla las paradas. Durante el funcionamiento, el sistema de control eléctrico protege el equipo de peligros tales como la sobre velocidad, la alta temperatura de la turbina, la baja presión del aceite lubricante, la alta temperatura del aceite y demás anomalías.

El sistema de control se opera desde las consolas de monitoreo. Un monitor con botones y lámparas indicadoras anuncia la condición de funcionamiento de la turbina.

El control de los parámetros de funcionamiento tales como temperaturas, presiones, flujo, velocidad y vibración es crítico para evitar daños a la turbina y al generador. El arranque y la parada requieren procesos controlados en secuencia.

Un controlador lógico programable, que es una computadora adaptada a las tareas de control, controla los sistemas del turbogenerador. El controlador, algunas veces también llamado procesador, lee la condición de los dispositivos de entrada, como los botones del panel de control, toma decisiones y ajusta los dispositivos de salida como indicadores, posicionadores o bobinas térmicas. Los sensores de presión y temperatura, tomas de velocidad y vibración, y otros sensores transfieren la información medida al controlador a través de módulos analógicos de entrada. Los ajustes de los interruptores, así como otras entradas de dos estados, se envían al controlador a través de módulos de entradas discretas. El controlador evalúa estas entradas y envía comandos, a través de módulos de salida, a dispositivos de control tales como posicionadores y solenoides.

Los módulos de comunicación acomodan la transmisión de datos entre dispositivos de control utilizando formatos de datos disimilares, como por ejemplo, los datos de control transmitidos al controlador vía Ethernet o mediante redes de datos.

Los equipos de control y soporte están alojados en las cajas de empalmes u otras áreas no peligrosas. Los instrumentos y dispositivos de control están situados dentro y alrededor del turbogenerador.

A continuación se incluye un resumen de las funciones del sistema de control eléctrico:

- **Conjunto del controlador**

El controlador del sistema Logix5000™:

- Controla el arranque, el funcionamiento y la parada de la turbina.

- Utiliza programas almacenados de control de software.
- Monitorea las condiciones de funcionamiento y solicita datos.
- Envía comandos para regular, velocidad, temperatura, carga y demás condiciones.
- Envía datos de condición y funcionamiento a los dispositivos de visualización.

El conjunto del controlador incluye:

- Bastidor/fuente de alimentación eléctrica.
- Módulo controlador.
- Módulos de comunicaciones.

El conjunto del controlador se comunica con la turbo maquinaria y los dispositivos de control manual a través de Módulos Flex I/O distribuidos.

El controlador recibe entradas de:

- El panel de control de la turbina, a través de módulos de entrada.
- La instrumentación para medición de procesos, a través de módulos de entrada.
- La computadora de visualización, a través de los módulos de comunicaciones.

Módulos de entrada distribuidos:

- Reciben datos discretos (de dos estados, CONEXIÓN o DESCONEXIÓN), Normalmente desde un interruptor.

### **3.2.5. Sistema de aceite lubricante**

El sistema de aceite lubricante suministra aceite lubricante filtrado a los cojinetes de la turbina y a varios componentes del turbogenerador, dentro de los límites de

temperatura y presión de funcionamiento. El sistema de control de la turbomaquinaria monitorea el sistema de aceite lubricante que consta de un tanque de aceite lubricante, el sistema de enfriamiento de aceite, bombas, filtros, dispositivos de control de presión y válvulas de control de temperatura.

El sistema de aceite lubricante comprende tres sistemas relacionados entre sí (ver figura 10):

- **Sistema de aceite de pre/poslubricación**

Suministra aceite lubricante a los cojinetes de la turbina y el equipo impulsado antes del arranque de la turbina y después de la parada de la turbina. Este sistema funciona con independencia de la bomba principal de aceite lubricante. El sistema de control puede activar el sistema de aceite de pre/poslubricación para proporcionar aceite lubricante temporalmente en caso de que falle la bomba principal de aceite lubricante.

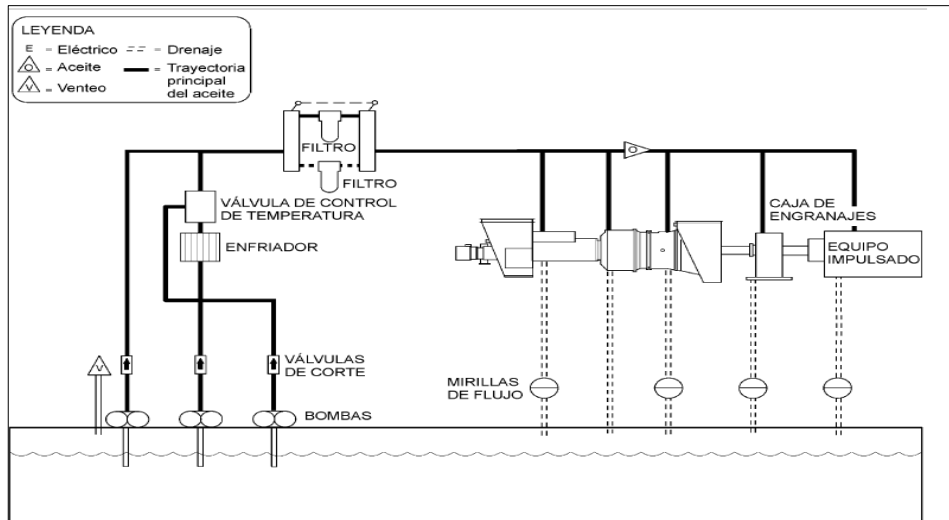
- **Sistema de aceite lubricante principal**

Suministra aceite lubricante a los cojinetes del turbogenerador, mientras que está en marcha. El sistema consta de bomba(s) con tanque, válvulas de control de temperatura y presión, filtros, sistema de enfriamiento de aceite lubricante, múltiples de suministro y tuberías de retorno.

- **Sistema de poslubricación de respaldo**

Suministra aceite lubricante a los cojinetes del turbogenerador, si falla el sistema de pre/poslubricación

**Figura 10. Sistema de aceite lubricante típico**



Fuente: Instrucciones de mantenimiento, volumen II, Pág. 6.4

### 3.2.6. Cabina y equipo auxiliar

El turbogenerador está protegido por una cabina autónoma afianzada al patín. Para el funcionamiento seguro del equipo, la cabina está equipada con un sistema de ventilación y un sistema de detección de incendios y gas.

A continuación se listan los sistemas de la cabina:

- **Sistema de detección de incendios y gas**

El sistema de detección de incendios y gas monitorea y protege el interior de la cabina. Combina la detección de incendios y de calor, la detección de gas, la descarga del agente extintor, y las alarmas sonoras y visuales conectadas entre sí en el lazo de la red de funcionamiento local (LON).

Cuando se detecta un incendio, se producen los eventos siguientes:

1. Se desactivan los equipos eléctricos (División 1 ó 2, según corresponda).

2. Se detiene el ventilador de la cabina.
3. Se cierran las persianas contra incendios.
4. Se descarga el agente extintor de incendios.
5. Se detiene la turbina (parada con enclavamiento)

- **Componentes de la cabina**

La estructura de la cabina va montada en el patín del turbogenerador y es soportada por un bastidor de gran capacidad. Los lados de la cabina están provistos de paneles desmontables y/o puertas para permitir el acceso a los componentes principales para fines de inspección y mantenimiento.

- **Equipo auxiliar**

El equipo auxiliar está compuesto por las siguientes subsecciones: sistema de entrada de aire y sistema de escape.

### **3.2.7. Turbina de gas**

El aire se succiona hacia el compresor de la turbina a través de la entrada de aire, donde se comprime. El combustible se añade al aire comprimido en la cámara de combustión y se enciende. Después de la combustión, los gases calientes se expanden a través de las toberas de la turbina e impulsan los rotores de la turbina.

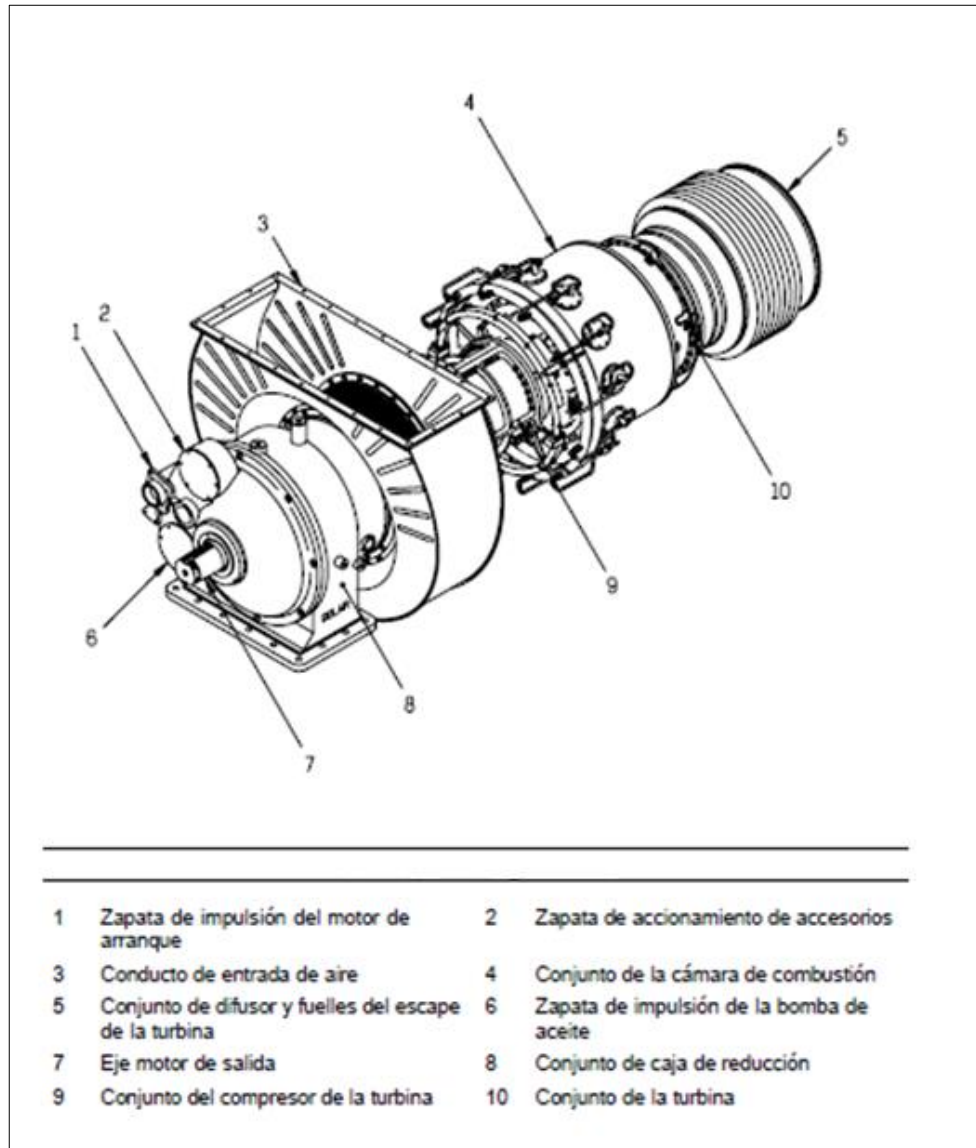
El aire y los gases de combustión se descargan en la atmósfera a través del sistema de escape.

Los subconjuntos principales de la turbina incluyen, (ver figura 11)

- Entrada de aire
- Compresor
- Difusor del compresor

- Cámara de combustión anular
- Turbina
- Difusor del escape
- Colector del escape

**Figura 11. Turbina de GasTaurus 60S**



Fuente: Instrucciones de mantenimiento, volumen II, Pág. 8.2

### **3.2.8. Generador**

El generador transforma la energía mecánica provista por la turbina de gas en energía eléctrica. También se emperna a las zapatas de montaje elevadas en la base, para quedar alineado con la unidad de engranajes.

Durante el funcionamiento del generador, la alimentación de corriente alterna de tres fases, generada en el devanado de la excitatriz (Figura 12) se aplica al rectificador en donde es convertida en potencia de corriente continua. La entrega de corriente continua del rectificador rotatorio entonces se aplica como corriente de excitación del campo para los devanados del campo rotatorio del generador.

Con este arreglo, los devanados del campo del generador principal giran y su inducido se mantiene estacionario, mientras que el campo del excitador permanece estacionario pero su inducido gira con el eje del rotor del generador principal. Como resultado de esto, se forma un conjunto rotatorio único, compuesto por: el inducido del excitador, el rectificador del excitador y los devanados del campo del generador principal. Lo anterior, simplifica en gran medida todas las conexiones eléctricas dentro del conjunto del generador.

Dos transformadores suministran las señales de potencial de barra y corriente al regulador. La salida principal del generador es controlada por la corriente del campo del generador. A su vez, la corriente del campo del generador es controlada por el circuito de la excitatriz sin escobillas. A través del regulador, el transformador de alimentación eléctrica suministra voltaje al campo de la excitatriz. Este circuito detectará y luego corregirá las variaciones del potencial de barra.

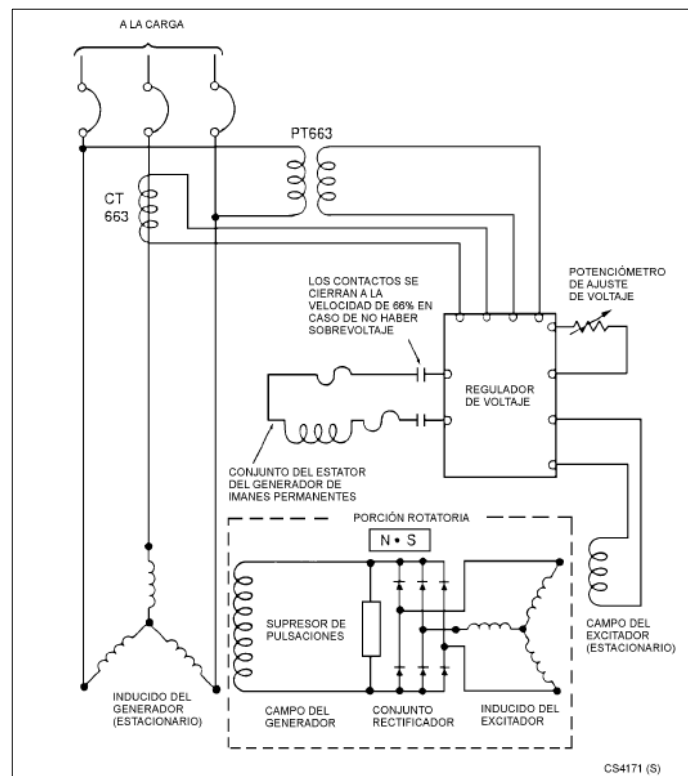
Según se indica en lo anterior, todos los generadores de corriente alterna requieren que la corriente continua (excitación) sea aplicada a los devanados del rotor (bobinas de campo) para establecer el flujo magnético para el funcionamiento

del generador. La cantidad de corriente continua que entra al campo de la excitatriz determinará el voltaje de salida de la excitatriz; a su vez, la salida de la excitatriz, aplicada al campo del generador, controlará el voltaje de salida del generador principal.

Cuando la salida de voltaje está dentro de los parámetros de funcionamiento correctos y el generador alcanza la velocidad de 100 por ciento, el regulador de voltaje toma control de la excitación y el voltaje.

Un transformador compensador de corrientes cruzadas suministra las señales apropiadas al regulador para acomodar el reparto de la carga reactiva entre múltiples unidades en paralelo.

**Figura 12. Sistema típico de generador, excitatriz y regulador de voltaje**



Fuente: Instrucciones de mantenimiento, volumen II, Pág. 9.4

### 3.2.8.1. Descripción de los componentes

La figura 13 muestra un generador típico.

- **Rotor**

El rotor está dinámicamente equilibrado de tal manera que el grado de desequilibrio dinámico produce una mínima vibración. Se tienen ventiladores de rotor eficientes que mueven aire de enfriamiento a través del generador y alrededor del rotor. Los rotores tienen devanados de campo con arrollamientos en capas, que son luego cementados con resina de alta resistencia y curados a alta temperatura.

El rotor está en equilibrio eléctrico y mecánico en todas las velocidades, hasta el 125 por ciento de la velocidad de régimen.

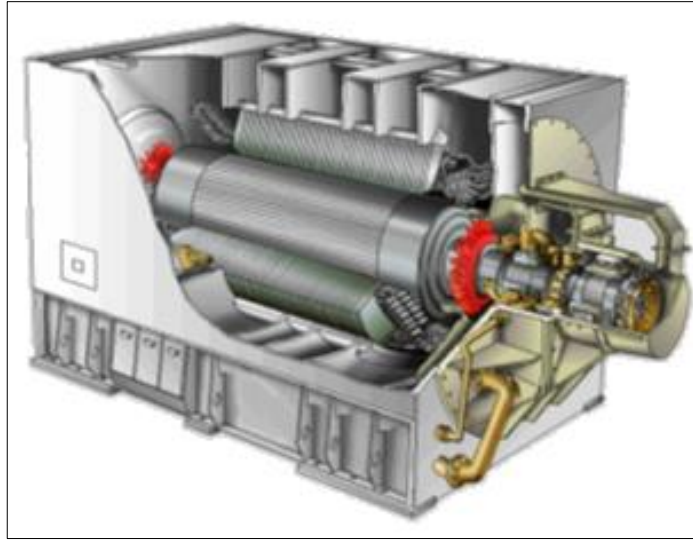
- **Estatore**

El estator está hecho de laminaciones de acero de silicona de alto grado, que son perforadas con precisión y aisladas individualmente.

Los devanados, de tipo conformado en ranuras revestidas, son tratados repetidamente con barniz sintético termocurado a alta temperatura para la máxima resistencia a la humedad, alta fuerza dieléctrica y alta capacidad de adhesión. Los devanados también son apuntalados para soportar cargas súbitas tales como el arranque de motor y los cortocircuitos.

Se pueden suministrar calentadores antihumedad para reducir al mínimo la condensación durante las paradas.

**Figura 13. Generador**



Fuente: Entrenamiento de turbogeneradores por Elite Training

- **Eje**

El diámetro del eje es suficiente para proporcionar la rigidez necesaria y evitar los problemas de torsión. A cada sistema turbogenerador se le da una prueba de análisis torsional.

- **Armazón**

El armazón es de acero de servicio pesado, fabricado con soldaduras profundas y refuerzos internos para mayor rigidez y fuerza. Se proveen cáncamos de levantamiento.

- **Excitatriz**

La excitatriz giratoria sin escobillas, con una excitatriz piloto generadora de imán permanente (siglas en inglés, PMG), provee la corriente de excitación para las bobinas de campo del generador. El generador es de tipo trifásico, de corriente alterna, con bobinas de campo giratorias, y la unidad de la excitatriz está montada directamente sobre el eje del rotor del generador.

La unidad de la excitatriz consiste en dos piezas básicas: un pequeño generador de corriente alterna trifásico, con inducido giratorio, y una porción de rectificador de puente de tipo diodo de onda completa, que gira junto con el inducido. El excitador piloto es un generador de imán permanente - PMG que gira con el eje del rotor del generador principal. Suministra corriente de excitación a los devanados del campo del excitador a través del regulador de voltaje. La unidad del excitador también requiere corriente continua para la excitación de sus propios devanados del campo estacionario; esta corriente continua es suministrada por un excitador piloto que es simplemente un generador de imán permanente - PMG que está montado sobre, y gira junto con el eje del rotor principal.

#### **4. ANTECEDENTES DEL RCM**

A finales de 1950 la aviación comercial estaba registrando gran cantidad de accidentes debido a las fallas en los equipos, por este motivo el enfoque principal se centró en la seguridad de los mismos; inicialmente se pensaba que al realizar el cambio periódico de piezas se podían prevenir las fallas.

Sin embargo este mantenimiento basado en reparaciones periódicas no dio los resultados esperados, por el contrario se observó que los porcentajes de fallas en vez de reducir aumentaban.

RCM se originó a finales de 1960, ya que la industria de la Aviación Civil Norteamericana comprende que muchas de sus prácticas de mantenimiento eran costosas y peligrosas; lo anterior inspiró para que se crearan grupos de dirección de mantenimiento (Maintenance Steering Groups – MSG) con el fin de reevaluar todo lo que se estaba realizando para mantener las aeronaves operativas. Estos grupos estaban conformados por representantes de los fabricantes de aviones, las aerolíneas y la fuerza aérea americana (FAA).

Con la llegada del RCM el mantenimiento en la aviación comercial sufrió una transformación, dejó de basarse en supuestos y tradiciones para convertirse en un proceso más analítico y sistemático; esto hizo de la aviación comercial una de las formas más seguras de viajar.

El primer escrito lo realiza ATA (Air Transport Association) en Washington en 1968, conocido con el nombre de MSG-1. Posteriormente actúa el departamento de defensa de USA y por comisión F. Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) en 1978, que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento.

El documento MSG-2 fue presentado en 1970 para generalizar en toda la industria aeronáutica el uso de los procedimientos desarrollados en el MSG-1, en este segundo documento se incorporó una herramienta llamada árbol de decisión lógico el cual es un diagrama que suministra una secuencia de preguntas relacionadas con una serie de posibles eventos y sus consecuencias; la respuesta a cada pregunta conduce a una acción o a la próxima pregunta.

El RCM se puede definir como una metodología usada para determinar lo que debe hacerse, para asegurar que cualquier activo físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en condiciones normales de operación.

A comienzos de 1980 John Moubray y sus asociados empezaron a trabajar en el sector minero y manufacturero aplicando RCM, posteriormente en 1990 se incluyó en el diagrama de decisión la pregunta E la cual hace referencia al medio ambiente; lo anterior ya que se le da la misma prioridad que a la seguridad. Con la modificación anterior, el nombre cambia de RCM a RCM2.

Con la importancia que juega el RCM en la gestión de activos muchas organizaciones empezaron a aplicarlo y con el creciente reconocimiento mundial se vio la necesidad que crear una norma, en 1999 la Society Automotive Engineers publica la norma SAE JA 1011 "Criterio de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)".

## 5. ASPECTOS TEÓRICOS DEL RCM

El RCM es usado como guía para diseñar actividades de mantenimiento con sus frecuencias y será aplicado a los activos más importantes de una compañía en su contexto operacional. Su éxito se basa en aplicar rigurosamente el análisis funcional de los activos en su contexto y además debe ser realizado por un grupo de trabajo, formado por personal de la planta que conoce, opera y mantiene los equipos, además de algunos especialistas dependiendo del área que se esté revisando.

Según Moubray<sup>3</sup>, el mantenimiento centrado en confiabilidad es un método empleado para determinar la estrategia de mantenimiento para cualquier activo en su contexto operacional. Entendiéndose por mantenimiento (UNE-EN 13306:2002) las combinaciones de las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida, que se encargan de mantenerlo cumpliendo la función para la cual fue diseñado.

El aplicar correctamente el método de RCM, permite a una organización que lo implemente, identificar estrategias que garanticen que se cumplen los estándares de producción y que la rentabilidad de sus activos sea máxima.

Resumiendo las características generales del RCM tenemos:

- Herramienta que permite ajustar las estrategias de mantenimiento al entorno operacional de los equipos.
- Metodología, basada en un proceso sistemático que permite generar planes óptimos de mantenimiento y cambios de cultura en la organización.
- Los resultados de la aplicación RCM tendrán su mayor impacto en equipos complejos, como por ejemplo, equipo rotativos mayores.

---

<sup>3</sup> MOUBRAY. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance) RCM II. Ed en Español. Carolina del Norte: Aladon LLC, 2004. 433 p.

- Los resultados se verán a mediano plazo.

La metodología RCM se basa en un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas<sup>4</sup>:

1. ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en su actual contexto operativo (funciones)?
2. ¿En qué formas no puede cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?
5. ¿En qué forma es importante cada falla (consecuencias de la falla)?
6. ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores)?
7. ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada (acciones por defecto)?

Estas preguntas se van respondiendo metódicamente a medida que avanza el proceso del RCM.

El RCM viviente consta de 4 pasos, que deben ser dinámicos y continuos<sup>5</sup>:

1. Validar las decisiones de mantenimiento contra lo que está ocurriendo realmente en la planta.
2. Reconsiderar esas acciones por otras mejores, retroalimentándose de lo que ocurrió y lo que está ocurriendo.
3. Ajustar la estrategia de mantenimiento, con lo que reconsidera del punto 2.
4. Documentar y mantener actualizada la base de datos de RCM y CMMS.

---

<sup>4</sup> PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Primera Edición Julio 2012, Sevilla España. 117p.

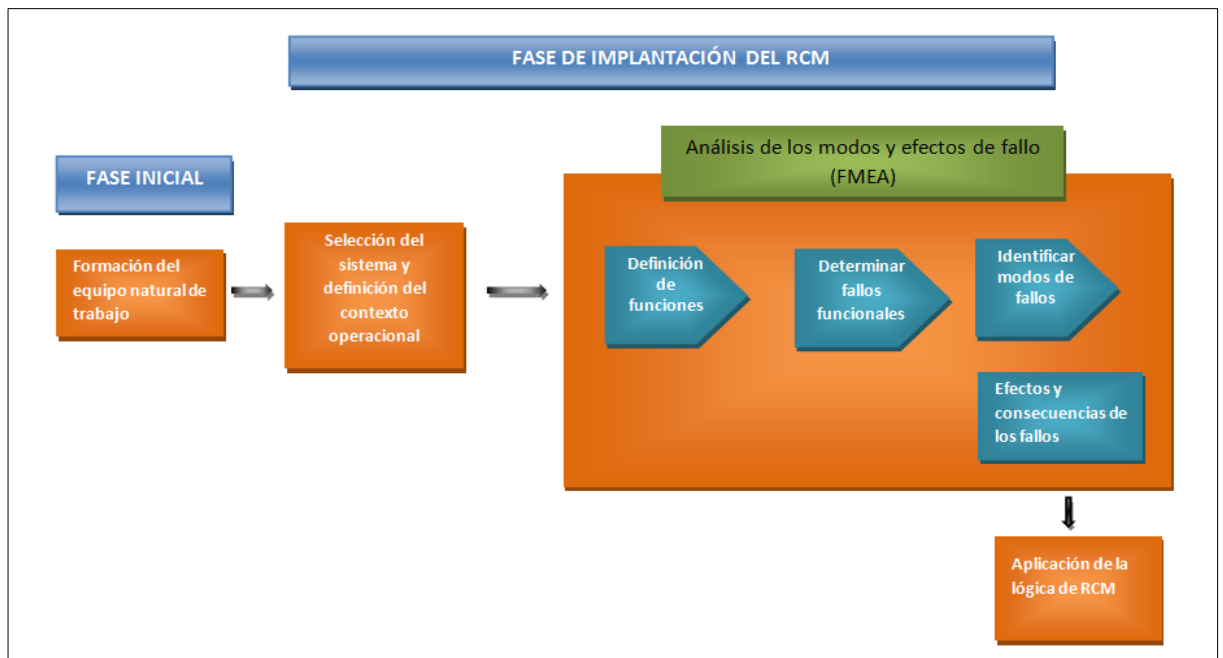
<sup>5</sup>SIGÜENZA GLEZ, Guillermo; Junio de 2008. Porque implementar el RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD. Tomado de la página de internet: <http://www.industrialtijuana.com/pdf/CC08.pdf>

## 6. IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

Antes de iniciar el análisis de las necesidades de mantenimiento en una organización, es importante conocer el tipo de activos físicos que se tienen (registro completo de equipos) y definir cuáles de estos van a ser sometidos a revisión mediante la metodología del RCM.

El proceso de implementación del RCM comprende dos (2) grandes fases, estas se ilustran en la figura 14.

**Figura 14. Flujograma de implantación del RCM**



Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. 1ª Ed. Sevilla: Ingeman, 2012. P 118.

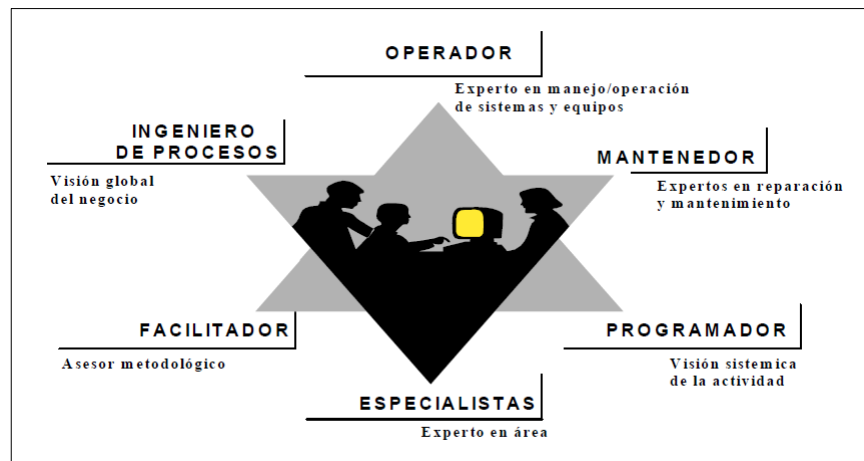
A continuación se describe cada una de las etapas que hacen parte del proceso de implementación del RCM indicado en la figura 14.

## 6.1. FORMACIÓN DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO DEL RCM

Para responder las siete (7) preguntas básicas del RCM, se debe crear un equipo natural de trabajo el cual está conformado por personas de diferentes departamentos (mantenimiento, producción, operación, etc.) de la organización; lo anterior con el fin de que todos los puntos de vista sean contemplados al momento de realizar el análisis.

Esto no significa formar grupos de menos de 4 ni más de 7 personas, lo ideal es que este grupo esté formado por 5 o 6 personas (ver figura 15).

**Figura 15. Integrantes de un equipo natural de trabajo de RCM**



Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. 1ª Ed. Sevilla: Ingeman, 2012. P 119.

Según Moubray<sup>6</sup>, este grupo debe incluir los siguientes participantes:

<sup>6</sup> MOUBRAY. Op. cit., p. 433.

- **Personal de Operación:** Experto en manejo de sistemas y equipos, las personas que viven el día a día de la operación de los equipos son una valiosa fuente de información.
- **Personal de Mantenimiento:** Expertos en reparación y mantenimiento de sistemas y equipos.
- **Ingeniero de Procesos:** Aporta visión global de los procesos.
- **Programador:** Aporta visión sistémica de la actividad.
- **Especialista Externo:** Experto en un área específica. En ocasiones, también es interesante incluir al fabricante de equipos.
- **Facilitador:** Asesor experto en la metodología RCM.

El objetivo del grupo de trabajo es determinar las necesidades de mantenimiento de un equipo o proceso mediante la aplicación de la metodología RCM, por otra parte; para que el proceso de implementación sea exitoso debe haber consenso entre los diferentes integrantes de dicho grupo.

## **6.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL**

En la implementación del RCM, el primer paso a dar es la selección de los sistemas o equipos a los cuales se les va a aplicar la metodología. Para establecer dichos sistemas o equipos, definir sus límites y estructura es necesario responder las siguientes dos (2) preguntas:

1. ¿Cuál debería ser el nivel de detalle que se requiere para realizar el análisis de los modos y efectos de falla del sistema seleccionado?
2. ¿Debería ser analizada toda el área seleccionada, y si no es necesario, que debería hacerse para seleccionar la parte a analizar y con qué prioridad deben analizarse cada una de las partes?

A continuación se definen algunos términos necesarios para entender el concepto de nivel de detalle:

- **Parte:** Representa el nivel más bajo de detalle al cual un equipo puede ser desensamblado sin que sea dañado o destruido. Ejemplos: engranajes, bolas de cojinetes, ejes, resistores, etc.
- **Equipo:** Nivel de detalle constituido por un grupo o colección de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, que cumple al menos una función relevante como ítem independiente. Ejemplos: válvulas, motores, bombas, compresores, etc.
- **Sistema:** Nivel de detalle constituido por un grupo lógico de equipos que cumplen una serie de funciones requeridas por una organización. Ejemplos: sistema de generación de vapor, de tratamiento de aguas, de condensado, de protección, etc.
- **Planta:** Nivel de detalle constituido por un grupo lógico de sistemas que funcionan en conjunto para proveer un producto o servicio por procesamiento o manipulación de materiales o recursos.
- **Complejo o Polígono Industrial:** Nivel de detalle constituido por un grupo lógico de plantas que funcionan en conjunto para proveer varios productos o servicios de una misma clase o de distintas clases. Ejemplo: un grupo de plantas de hidrógeno, azufre, etc., que constituyen un área denominada “Complejo de Refinería, Polígono Petroquímico, etc.”.

Los grupos de trabajo deben tener cuidado respecto a la selección del nivel de detalle que se espera del FMEA, lo anterior ya que si es alto puede llegar a ser irrealizable y si es bajo puede llegar a ser poco eficiente para la gestión del mantenimiento.

Los grupos de trabajo también deben identificar y jerarquizar según criticidad, todos los sistemas del área seleccionada.

### **6.2.1. Análisis de criticidad**

Esta técnica permite jerarquizar equipos, sistemas e instalaciones para optimizar la asignación de recursos económicos, humanos y técnicos. Un método cualitativo muy utilizado es la jerarquización mediante matrices de criticidad, este método integra la frecuencia de que se produzca una falla y el nivel de severidad que pueda traer la misma en el sistema a evaluar.

Para realizar un análisis de criticidad se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Definir alcance y propósito.
- Establecer criterios de importancia.
- Seleccionar un método de evaluación para jerarquizar los sistemas seleccionados.

Entre los criterios más utilizados en los procesos de criticidad se encuentran: Seguridad, Ambiente, Producción, Costos de operación y mantenimiento, frecuencia de fallas y tiempo promedio para reparar<sup>7</sup>.

Todo proceso donde se aplique la metodología RCM debe iniciar con la aplicación de las técnicas de criticidad.

“A continuación se presenta un modelo de jerarquización basado en la evaluación semi-cuantitativa del riesgo (se tomó como referencia la matriz de criticidad,

---

<sup>7</sup> PARRA MÁRQUEZ. Op. cit., p. 122.

diseñada para la industria del petróleo. El modelo propuesto está basado en la estimación del factor Riesgo a través de la siguiente expresión”<sup>8</sup>:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de Fallas} \times \text{Consecuencias}$$

Dónde:

Frecuencias de Fallas = # de fallas en un tiempo determinado

$$\text{Consecuencias} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + (\text{costo de Mtto.}) + \text{Impacto SAH})$$

Los factores de cada uno de los criterios a ser evaluados en la anterior expresión del riesgo se muestran en la figura 16.

**Figura 16. Criterios a evaluar – Matriz de criticidad**

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

Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) Nivel Expertos. Bogotá: Entrenamiento Certificado ASME, 2010. P 22.

<sup>8</sup> Ibíd., p. 123.

Los factores evaluados anteriormente se presentan en una matriz de 4 x 5, donde el eje vertical corresponde a la frecuencia y el eje horizontal a la consecuencia.

La matriz mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres áreas (ver figura 17).

**Figura 17. Matriz general de criticidad**

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) Nivel Expertos. Bogotá: Entrenamiento Certificado ASME, 2010. P 23.

Nomenclatura: C: Critico.  
 MC: Criticidad Media.  
 NC: No Critico.

### 6.2.2. Contexto operacional

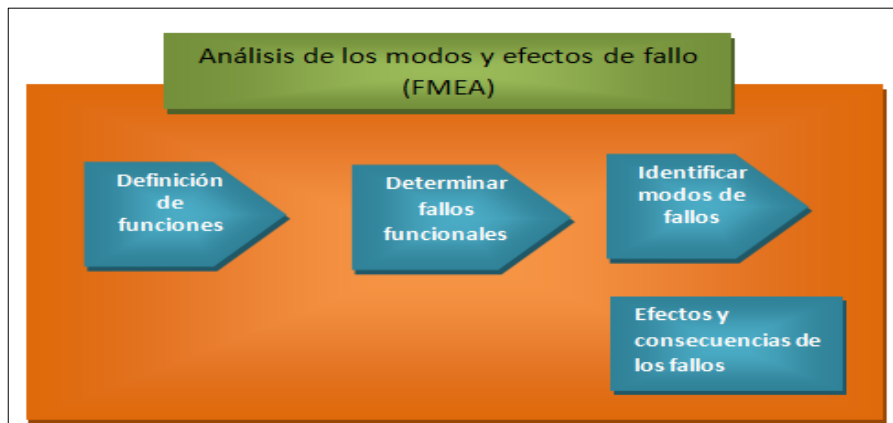
Indica las condiciones de operación del activo, y afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones. Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son:

- Aplicación.
- Turnos de trabajo.
- Sobrecargas.
- Condición física del lugar.

### 6.3. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (FMEA)

El análisis de los modos y efectos de falla (FMEA: Failures Modes and Effects Analysis) es la herramienta principal del RCM para optimizar la gestión de mantenimiento en una organización, ya que ayuda a responder las cinco (5) primeras preguntas básicas del RCM. El FMEA es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. En la figura 18, se observa el esquema de bajo el cual se realiza el análisis de los modos y efectos de falla (FMEA).

**Figura 18- Esquema de análisis de los modos y efectos de falla**



Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. 1ª Ed. Sevilla: Ingeman, 2012. P 128.

El objetivo básico del FMEA es encontrar todos los modos en los que pueda fallar un activo e identificar las posibles consecuencias en función de tres (3) criterios básicos en el RCM: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto a la producción.

Para cumplir este objetivo, el grupo de trabajo debe realizar el FMEA siguiendo la siguiente secuencia:

- Definir las funciones de los activos y sus estándares de operación.
- Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo.
- Definir los modos de falla asociados a cada falla funcional.
- Establecer los efectos y consecuencias asociados a cada modo de falla.

### **6.3.1. Definición de funciones y estándares de ejecución**

La descripción de la función de un activo debe consistir de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado, los que deben ser descritos tomando en cuenta el contexto operacional del activo. Todo activo físico tiene más de una función, frecuentemente varias, y todas ellas deben ser identificadas junto con sus parámetros de funcionamiento específicos.

Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias.

**Funciones Primarias:** Son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo, por eso se debe cuidar de definir las tan precisamente como sea posible. Las funciones primarias son fáciles de reconocer, de hecho el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria.

**Funciones Secundarias:** Se pretende que la mayoría de los activos cumplan una o más funciones además de la primaria, las cuales se conocen como funciones secundarias. La función o funciones secundarias son menos obvias que la principal, pero a veces requieren mayor atención y las consecuencias de falla de estas pueden ser de mayor gravedad que las primarias, por lo que deben ser claramente identificadas.

**Parámetros de Funcionamiento:** El objetivo del mantenimiento es asegurarse de que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, lo que puede definirse como parámetro mínimo de funcionamiento. Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos (2) formas:

- **Funcionamiento deseado:** Lo que el usuario quiere que haga.
- **Capacidad inicial:** Lo que puede hacer.

Cuando cualquier activo es puesto en funcionamiento, debe ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Los parámetros de funcionamiento los podemos subdividir en diferentes categorías:

- **Parámetros de funcionamiento múltiple**

Muchas descripciones de funciones incorporan generalmente varios parámetros de funcionamiento.

- **Parámetros de funcionamiento cuantitativos**

Deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que éstos pueden medirse (Ej.: temperatura, presión, velocidad, etc.).

- **Parámetros de funcionamiento absolutos**

Una descripción que no indica ningún parámetro de funcionamiento, por lo general implica que se trata de un absoluto (Ej.: contener un fluido).

### **6.3.2. Definición de fallos funcionales**

Un activo falla cuando no hace lo que el usuario desea que haga. Una falla funcional puede ser una pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos.

Cada activo tiene más de una función, por lo tanto al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de pérdida de una función específica y no con la falla del activo como un todo. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: “la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”<sup>9</sup>.

### **6.3.3. Definición de modos de fallos**

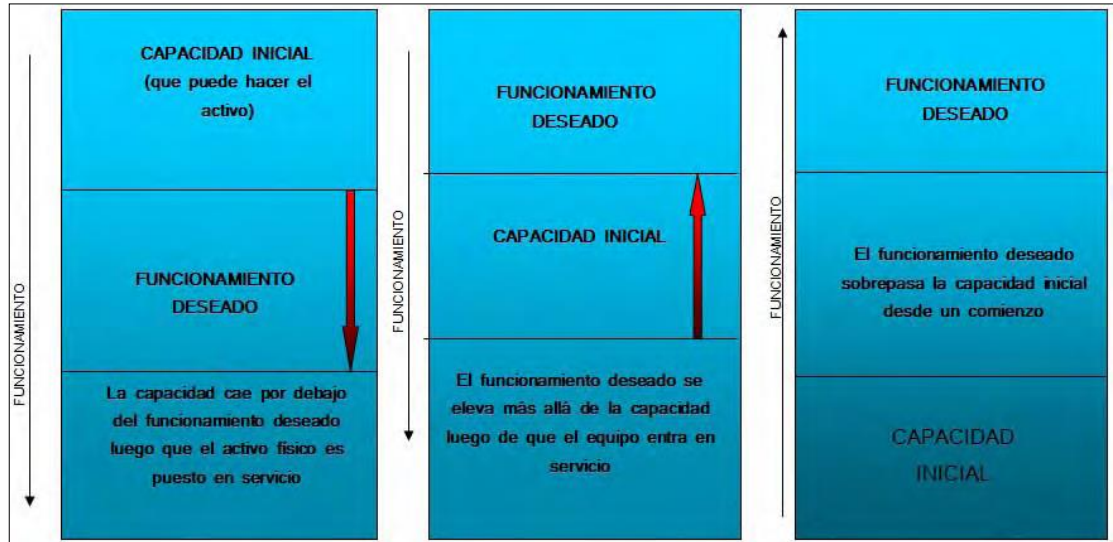
Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa una falla funcional. La descripción correcta de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo.

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres (3) grupos de la siguiente manera (ver figura 19):

---

<sup>9</sup>VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 43.

**Figura 19. Categorías de modos de falla**



Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 44.

- **Capacidad decreciente**

Cubre las situaciones en las que en un primer momento la capacidad está por encima del funcionamiento deseado, pero luego cae cuando el activo es puesto en servicio y queda por debajo del funcionamiento deseado, como se ilustra en la figura 19. Las cinco causas principales de pérdida de capacidad son: deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación, etc.), fallas de lubricación (falta y falla del lubricante), polvo o suciedad, desarme (falla en soldaduras, uniones, remaches, bulones, conexiones eléctricas, etc.), errores humanos (reducción de capacidad).

- **Aumento del funcionamiento deseado**

El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo se torna tan poco confiable que deja de ser útil, como se ilustra en la

figura 19. Ocurre debido a cuatro razones, tres de las cuales implican algún tipo de error humano: una sobrecarga deliberada constante, una sobrecarga no intencional constante, una sobrecarga no intencional repentina y procesamiento o material de empaque incorrecto.

- **Capacidad inicial fuera del rango desde el inicio**

A veces surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo, como lo ilustra la figura 19.

El nivel de detalle afecta profundamente la validez del análisis de modos de falla y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. La escasez de detalles y/o modos de falla puede llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que todo el proceso RCM lleve mucho más tiempo que el necesario. Esto significa que es esencial tratar de lograr un equilibrio correcto.

#### **6.3.4. Definición de los efectos y consecuencias de los modos de fallos**

En el proceso de implementación de RCM hay que hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla. Al describir los efectos de una falla, debemos incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas y debe hacerse constar lo siguiente:

- **La evidencia de que se ha producido una falla**

Debe permitir a los operarios si la falla será evidente para ellos en el desempeño de sus tareas normales. También debe indicar si va precedida por: ruidos, fuego, humo, fugas de fluidos, si se detiene el equipo, etc. Si se tratase de dispositivos de seguridad, debe detallarse que sucedería si fallase el

dispositivo protegido mientras el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla.

- **En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente**

Debe señalarse la manera en que pueda lesionarse o morir alguna persona o infringir alguna normativa o reglamento relativo al medio ambiente como consecuencia de una falla.

- **Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones**

Debe indicarse cómo y cuánto afecta, ya sea por parada de máquina o varias de ellas, interrupción líneas de proceso, etc.

- **Los daños físicos causados por la falla**

Cuantificar los daños.

- **Que debe hacerse para reparar la falla**

Cuáles son las medidas correctivas a tomar para repararla.

Las fuentes de información más comunes acerca de modos de falla y sus efectos son las siguientes:

- El fabricante o proveedor del equipo.
- Otros usuarios de la misma maquinaria.
- Personal de mantenimiento.
- Operadores del equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.

Las fuentes de información anteriores, son importantísimas a la hora de establecer un análisis RCM, pero no deben ser absolutas ni las únicas, ya que no siempre se

adecuarán a las funciones, parámetros de funcionamiento y contexto operacional del activo a analizar.

### **6.3.5. Definición de las consecuencias de falla**

Las consecuencias de las fallas se clasifican en cuatro categorías de importancia decreciente de la siguiente manera:

- **Consecuencias de la Falla Oculta**

Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas si la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por sí solo en circunstancias normales es evidente a los operarios.

- **Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente**

Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pudieran lesionar o matar a alguien; o infringir cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.

- **Consecuencias operacionales**

Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional afectando: el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incrementar el costo operacional.

- **Consecuencias no operacionales**

No ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación.

#### 6.3.5.1. Funciones ocultas y evidentes

Una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente será evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla. Esto significa que una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola.

#### 6.3.5.2. Fallas ocultas y dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad o de protección funcionan de cinco maneras:

- Alertar ante condiciones anormales de funcionamiento.
- Parar el equipo en caso de falla.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales originadas por una falla y de que otra manera podrían causar daños más serios.
- Asumir control de una función que ha fallado.
- Prevenir que surjan situaciones peligrosas.

#### 6.3.5.3. Prevención de la falla oculta

Para prevenir una falla múltiple, debemos asegurar que la función oculta no se encuentre en estado de falla y si cuando falla la función protegida. Hay que dar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable, entonces: "Para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable"<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Ibid., p. 48.

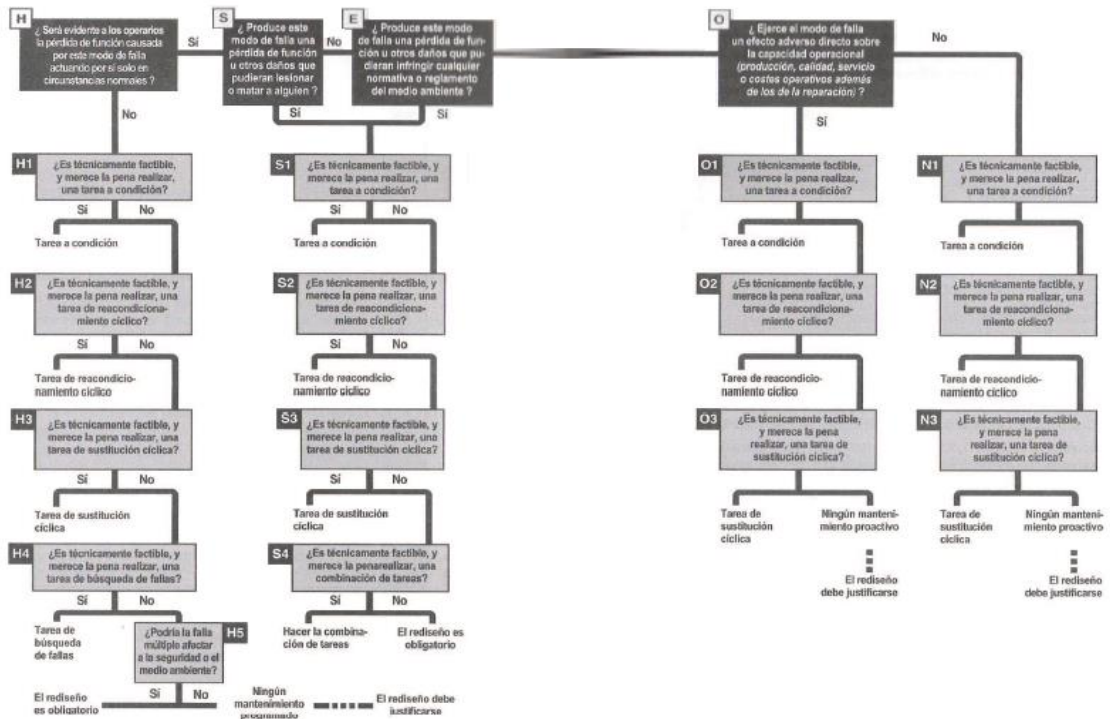
Si no es posible encontrar una manera adecuada de prevenir una falla oculta, todavía es posible reducir el riesgo de una falla múltiple revisando la función oculta periódicamente para saber si sigue funcionando. Si ésta revisión es llevada a cabo a intervalos adecuados y si la función es restaurada en cuanto se descubre que está defectuosa, todavía es posible asegurar altos niveles de disponibilidad.

#### **6.4. PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO (ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN DEL RCM)**

Una vez realizado el FMEA, el grupo de trabajo, deberá realizar el tipo de tarea que ayude a prevenir que aparezca el modo de falla identificado, utilizando el árbol lógico de decisión del RCM (ver figura 20), herramienta que permite seleccionar la tarea más adecuada, para evitar los posibles efectos de cada modo de falla. Una vez seleccionada el tipo de actividad adecuada se debe, se procede a especificar la acción de mantenimiento a ejecutar y la frecuencia de ejecución de la misma.

El RCM clasifica las actividades de mantenimiento en dos (2) grandes grupos; las actividades proactivas (preventivas) y las actividades reactivas, estas últimas se realizarán solo si una falla del equipo no afecta la seguridad de las personas, el medio ambiente o producción; lo mismo que si no se encuentra una actividad adecuada de mantenimiento preventivo. Cada grupo de actividades de mantenimiento tienen sus respectivos tipos de tareas, los cuales se detallan en los siguientes puntos.

**Figura 20. Lógica de la selección de estrategias de mantenimiento (árbol lógico)**



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance) RCM II. Ed en Español. Carolina del Norte: Aladon LLC, 2004. P 204-205.

### 6.4.1. Actividades de mantenimiento preventivas (Proactivas)

Son tareas comenzadas antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Son las que comúnmente se denomina mantenimiento preventivo y predictivo, aunque el RCM utiliza los términos de mantenimiento a condición, reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclica.

Cuando se pregunta si una tarea proactiva es técnicamente factible, se está simplemente preguntando si a la tarea le es posible prevenir o anticipar la falla en cuestión. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y de la tarea.

Cualquier tarea proactiva sólo merece la pena ser realizada si resuelve adecuadamente las consecuencias de la falla que se pretende evitar.

Esto ciertamente supone que es posible anticipar o prevenir la falla. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que pretende evitar.

- **Fallas potenciales**

La figura 21 muestra lo que sucede en los estados finales de la falla.

**Figura 21. Curva e intervalo P-F**



Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 49.

Se llama curva P-F, porque muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto en que puede ser detectada (P) y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose, generalmente muy rápido, hasta que llega al punto de falla funcional (F).

El punto en el proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial. En otras palabras una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir.

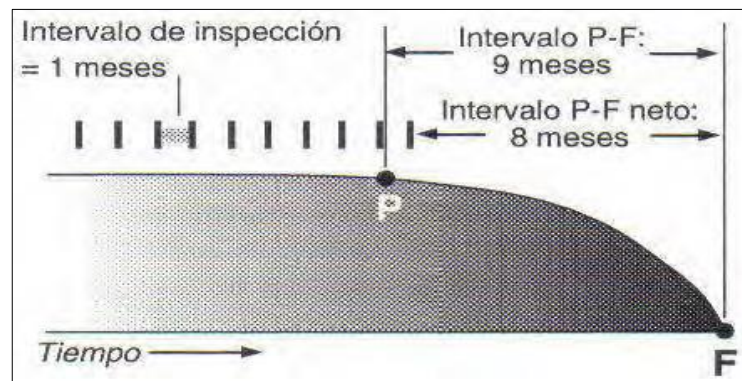
- **El intervalo P-F**

Además de la falla potencial en sí misma, se necesita considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto en el que ocurre una falla potencial y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Como lo muestra la figura 22 este rango se conoce como el intervalo P-F. El intervalo P-F, permite decir con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición.

Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F. En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto.

El intervalo P-F es el mínimo intervalo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la figura 22, la que muestra una falla con un intervalo P-F de nueve meses, lo que indica que si el elemento es inspeccionado mensualmente, el intervalo P-F es de 8 meses.

**Figura 22. Intervalo P-F Neto**



Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 50.

Ahora las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico**

El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente. Una definición específica sería: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamble completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento”<sup>11</sup>.

La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está gobernada por la edad en la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son satisfactoriamente determinadas sobre la base de antecedentes históricos confiables.

Las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- Que la mayoría de las piezas sobrevivan a ésta edad.
- Se restaura la resistencia original de la pieza a la falla.

Aunque sea técnicamente factible, puede que no merezca la pena el reacondicionamiento cíclico porque puede que otras tareas sean aún más

---

<sup>11</sup> *Ibid.*, p. 51.

efectivas. Algunas de las razones por las que no vale la pena realizar reacondicionamiento cíclico son:

- Una reducción en el número de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, porque queremos eliminar totalmente estas fallas.
  - Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un período de tiempo, el costo de realizar la tarea de reacondicionamiento cíclico es menor al costo de permitir que ocurra la falla.
- **Tareas de sustitución cíclica**

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original.

Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico, la frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la edad a la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

Las tareas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles bajo las siguientes circunstancias:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad.

- **Tareas a condición**

Las tareas a condición son conocidas como mantenimiento predictivo, ya que se evalúa el estado del componente y se decide cuál acción tomar.

Las tareas a condición son técnicamente factibles si:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.
- El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de alguna utilidad, o lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional.

Las cuatro categorías principales de técnicas a condición son las siguientes:

- **Técnicas de monitoreo de condición**

Implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos y sus fallas potenciales. Algunas de ellas son clasificadas como de efectos: dinámicos, de partículas, químicas, físicas, de temperatura, eléctricas, etc.

- **Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.**

- **Técnicas de monitoreo de los efectos primarios**

Que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipo de monitoreo de procesos.

- **Técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos.**

Las tareas a condición deben satisfacer los siguientes criterios para que justifique su ejecución:

- Si una falla es oculta, no tiene consecuencias directas: Entonces una tarea a condición cuya intención es prevenir una falla oculta, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptablemente bajo. En la práctica, debido a que la función es oculta, muchas de las fallas potenciales que normalmente afectan a las evidentes también serán ocultas.
  - Si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: sólo merece la pena realizar una tarea a condición si fiablemente da suficiente advertencia de la falla como para que se pueda actuar a tiempo para evitar las consecuencias para la seguridad o el medioambiente.
  - Si la falla no afecta a la seguridad, la tarea debe ser eficaz en cuanto a los costos: O sea a lo largo de un período de tiempo el costo de realizar la tarea a condición debe ser menor al costo de no hacerla.
- **Selección de tareas proactivas**

Muchas veces es difícil decidir si una tarea proactiva es técnicamente factible. Las características de la falla rigen esta decisión, y generalmente son lo suficientemente claras como para que la decisión sea simplemente cuestión de sí o no, ahora decidir si merece la pena ser realizadas suele requerir más deliberación. El orden básico de preferencia para seleccionar tareas proactivas es el siguiente: tareas de condición, Tareas de reacondicionamiento cíclico, Tareas de sustitución cíclica, Búsqueda de fallas ocultas

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- Generalmente son realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras funciona: Rara vez interfieren en el proceso de producción y son fáciles de organizar.

- Identifican condiciones específicas de falla potencial: De modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo, lo que reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- El identificar el punto de falla potencial en los equipos: Les permite cumplir con casi toda su vida útil.

#### **6.4.2. Actividades de mantenimiento correctivas (Reactivas)**

Cuando las actividades de mantenimiento proactivo no son técnicamente factibles o no son efectivas, el método RCM propone que se evalúe la posibilidad de realizar tareas correctivas (reactivas). Las actividades de mantenimiento correctivo se dividen en dos (2) categorías:

- **Actividades de Rediseño**

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un cambio en un plano o una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una diferente, o el cambio de lugar de una máquina.

- **Actividades de Mantenimiento No Programado**

(no realizar mantenimiento programado).

Sólo es válido si:

- No puede encontrarse una tarea cíclica apropiada para una función oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.

- No puede encontrarse una tarea proactiva que sea eficaz en cuanto a costos para fallas que tienen consecuencias operacionales o no operacionales.

## 6.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 6.5.1. Hoja de información de RCM

Aquí se muestra una hoja típica de un análisis RCM, figura 23, la que se divide en cuatro columnas donde quedan registrados la descripción de funciones, la pérdida de la función (total o parcial), las causas de la falla y las consecuencias de la falla. Las funciones son enumeradas en orden de importancia, o primarias y secundarias. Las Funciones y los Modos de Falla son registrados numéricamente mientras que las Fallas Funcionales son registradas mediante letras.

**Figura 23. Estructura de la Hoja de Información de RCM**

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR		
		SUBSISTEMA:		GENERADOR		
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)
Generador						

### 6.5.2. Hoja de Decisión de RCM

La Hoja de Decisión de RCM está dividida en dieciséis columnas, figura 24. Las columnas tituladas F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias entre las Hojas de Información y las Hojas de Decisión.

**Figura 24. Estructura de la Hoja de Decisión de RCM**

RCM - HOJA DE DECISIÓN								SISTEMA:			TURBOGENERADOR			
								SUBSISTEMA:			GENERADOR			
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias					H1	H2	H3	Acción a Falta de	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3					
							N1	N2	N3	H4	H5	S4		

### 6.5.3. Diagrama de Decisión

El Diagrama de Decisión de RCM (figura 20), integra todos los procesos de decisión en un marco de trabajo estratégico y estructurado; y da respuesta a las preguntas formuladas en el:

- Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas.

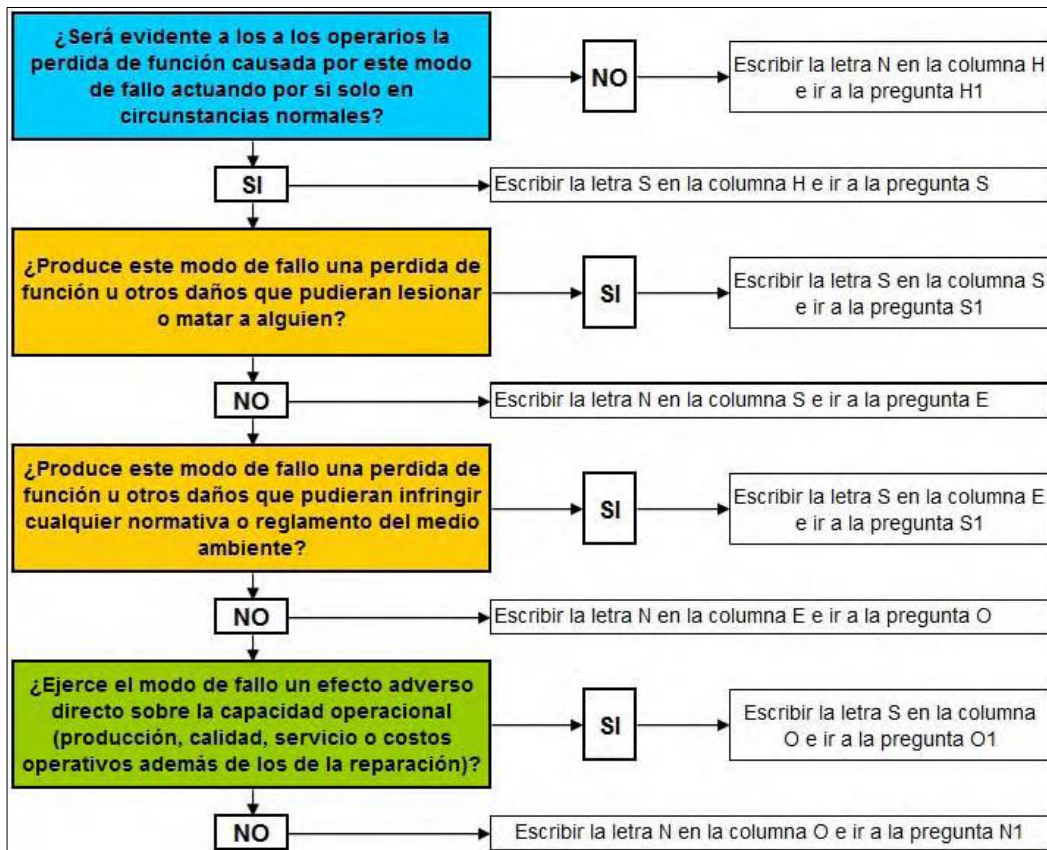
Los siguientes ítems describen paso a paso cómo realizar la evaluación de las consecuencias de las fallas, la factibilidad técnica de asignársele tareas y que debe hacerse si no se encuentra una tarea apropiada.

### 6.5.4. Evaluación de las consecuencias de la falla

La figura 25 clasifica todas las fallas basándose en sus consecuencias. Al hacerlo así, separa las fallas ocultas de las fallas evidentes, y luego ordena las consecuencias de las fallas evidentes en un orden de importancia decreciente.

Las columnas tituladas H, S, E, O y N de la figura 20; que son detalladas en la figura 25; son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.

**Figura 25. Como se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión**



Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 75.

La figura 26, muestra cómo se registran las respuestas a estas preguntas en la hoja de decisión.

Cada modo de falla es ubicado en una sola categoría de consecuencias. Entonces si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no se evalúan sus consecuencias operacionales.

**Figura 26. Resumen de las consecuencias de falla**

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				
F	FF	MF	H	S	E	O	
3	A	1	N				→ <b>Una falla oculta:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva (predictiva o preventiva) debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de una falla múltiple.
5	B	2	S	S			→ <b>Consecuencias para la seguridad:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por sí sola.
2	C	4	S	N	S		→ <b>Consecuencias para el medio ambiente:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir el riesgo a un nivel tolerable de esta falla por sí sola.
1	A	5	S	N	N	S	→ <b>Consecuencias operacionales:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación que pretende prevenir a través de un período de tiempo.
1	B	3	S	N	N	N	→ <b>Consecuencias no operacionales:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo de reparación que pretende prevenir a través de un período de tiempo.

Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 76.

### 6.5.5. Factibilidad técnica de tareas proactivas

De la octava a la décima columna de la Hoja de Decisión, son utilizadas para registrar si ha sido seleccionada una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.
- La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas.

- La columna titulada H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible.

Para que una tarea sea técnicamente factible y merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra la figura 27, que se aplican a ésta categoría de tareas, y la tarea debe responder al criterio de “merece la pena ser realizada” también de la figura 27. Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es negativa o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente.

**Figura 27. Criterios de factibilidad técnica**

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			<p><b>¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la consecuencia de la falla?</b> ¿Hay alguna condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?</p>
N	S		<p><b>¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla?</b> ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?</p>
N	N	S	<p><b>¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla?</b> ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de ésta edad?</p>

Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 77.

Si se selecciona una tarea, se registra una descripción de la tarea; con el suficiente detalle y precisión para que quede lo suficientemente claro a la persona que realizará la tarea y la frecuencia con la que debe ser realizada.

### 6.5.6. Las preguntas “a falta de”

Las columnas tituladas H4, H5 y S4 en la hoja de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. La figura 28 muestra cómo se responden a éstas tres preguntas. Nótese que estas preguntas sólo se harán si las respuestas a las tres preguntas previas de factibilidad técnica de las tareas proactivas fueron todas negativas.

Figura 28. Las preguntas “A Falta de”

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1 O1 N1	S2 O2 N2	S3 O3 N3	H4	H5	S4
3	A	1	N				N	N	N	S		
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?</p> <p>Registrar "Si" si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable</p>												
4	B	4	N				N	N	N	N	S	
4	C	2	N				N	N	N	N	N	
<p>¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?</p> <p>Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es "No". Si la respuesta a esta pregunta es "Si", el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es "No, la acción "a falta de" es <b>no realizar mantenimiento preventivo</b>, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												
5	B	2	S	S			N	N	N		S	
2	A	5	S	S			N	N	N		N	
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?</p> <p>Responder "Si", si una combinación de <b>dos o más</b> tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es "No", el rediseño es obligatorio.</p>												
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N			
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N			
<p>En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada</p> <p>Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												

Fuente: VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. P 78.

Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas encabezadas con H4, H5 o S4 son las que permiten registrar esas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y quién ha sido seleccionado para realizarla. La columna de “Tareas Propuestas” también se utilizan para registrar los casos en los que se requiere rediseño o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

En el capítulo 8, se muestra la aplicación de la metodología RCM, al generador de la ampliación del sistema de generación de la facilidad de producción de petróleo de Floreña.

## 7. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM

El uso del RCM se ha ampliado en los últimos años a una gran variedad de industrias y cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes:

A. Mayor seguridad y protección del medio ambiente, debido a:

- La seguridad y medio ambiente está por encima de la producción y por ende hay mejora sustancial en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- La disposición de nuevos dispositivos de seguridad, si esto ayuda a evitar impactos en la vida de las personas y el medio ambiente, no se tolera el no tomar acción.
- La relevancia que se da a los sistemas de protección, hace que se diseñen tareas de búsqueda de fallas ocultas, para evitar que se produzcan fallas múltiples. Esta es uno de las fortalezas del RCM.
- Disminución de las fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

B. Mejora los rendimientos operativos, a consecuencia de:

- Mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos y por ello menos tiempo gastado en solución de fallas.
- Ampliación de los Intervalos entre las revisiones.
- Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas.
- La eliminación de componentes poco fiables.
- Un conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.

- C. Un mayor control de los costos del mantenimiento, debido a:
- Menor mantenimiento rutinario innecesario.
  - Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada una clara comprensión de las consecuencias de las fallas y con ello mejor respuesta).
  - La prevención o eliminación de las fallas costosas.
  - Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
  - Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de las plantas.
  - Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitoreo de la condición.
  - Se detectan fallas potenciales antes de que se conviertan en fallas funcionales y de esta manera programar la parada.
- D. Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.
- E. Las hojas de información y decisión forman una base de datos de mantenimiento, que:
- Da trazabilidad a las razones para cada tarea de mantenimiento y podemos llegar hasta las funciones y el contexto operativo fácilmente. Por ello si el contexto operativo cambia es fácil identificar las tareas que son afectadas y proceder a revisarlas y ajustarlas.
  - Reduce los efectos de la rotación del personal y se hace menos vulnerable a estos cambios con el registro de la información en sistemas computarizados.
  - Suministra un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
  - La hoja de trabajo es una base valiosa para la introducción de sistemas expertos de mantenimiento.

- El proceso RCM conduce a la realización de planos y manuales más exactos.

F. Mayor motivación de las personas, debido a:

- Se da una mayor motivación del personal, especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un conocimiento más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

G. Más compromiso y mejor trabajo de grupo:

Esto se obtiene motivado por un enfoque altamente estructurado del RCM hacia el análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones. Lo anterior no solo alimenta el trabajo en equipo sino que mejora la comunicación y la cooperación entre:

- Las áreas: producción u operación así como los de la función de mantenimiento.
- Personal de diferentes niveles: los gerentes los jefes de departamentos, técnicos y operarios.
- Especialistas internos y externos: los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.
- Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento y muchos ya son la meta de los programas de mejora.

## **8. MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FACILIDAD DE FLOREÑA**

Este modelo se propone como un plan piloto para la implementación de la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad para todos los sistemas de la Facilidad de Floreña, para la realización de este modelo se consultó:

- Información sobre la metodología RCM.
- Información de operación y mantenimiento del turbogenerador suministrada por el fabricante.
- PI&D's de la ampliación de la Facilidad.
- Filosofía de operación del sistema eléctrico.
- Histórico de fallas de equipos similares.

### **8.1. FORMACIÓN DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO**

Para el desarrollo de este modelo se recomienda la participación de las siguientes personas:

- Facilitador.
- Supervisor del área de generación.
- Operador de generación.
- Supervisor y/o técnico de mantenimiento del área que se está analizando.
- Especialista eléctrico.

## **8.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL**

El sistema seleccionado para realizar el modelo es el sistema de generación que será implementado en la Facilidad de Floreña, este sistema es crítico debido a que suministra energía a todos los equipos de la Facilidad; un “blackout” de este sistema genera la parada del proceso y por ende ocasiona pérdidas de producción y quemas de gas.

### **8.2.1. Contexto operacional**

Los generadores eléctricos son usados en la industria para la generación de su propia energía, en empresas que no están en el sistema interconectado nacional. Para el caso del modelo, se generará energía a 4160 Vac para alimentar los equipos de la ampliación de Floreña.

### **8.2.2. Descripción general del sistema de generación**

El sistema de generación está compuesto por una turbina marca SOLAR Turbines, Taurus 60S, acoplada a un generador, marca Kato de 5500 KW. La turbina trabaja en ciclo simple, es decir; el aire tomado por el compresor axial llega a las cámaras de combustión y se mezcla con el gas y se quema, produciendo un flujo constante de gases, que en las ruedas de la turbina se convierte en potencia mecánica, que se aplica al generador para producir energía eléctrica. Los gases son expulsados a la atmósfera por el exhosto.

### **8.2.3. Parámetros del proceso**

- Potencia: 5500 KW (efectiva).
- Voltaje: 4160 Vac (+/- 5%) variación de voltaje.

- Frecuencia: 60 Hz (+ /- 2%).
- Rotor: Polos salientes.
- Excitatriz: PMG.
- Velocidad: 1800 RPM.
- No. de Polos: 6.
- No. de Fases: 3.
- FP: 0,8.
- Presión de gas combustible: máxima 175 psi, mínima 150 psi.
- Presión de aire instrumentación: 150 psi.

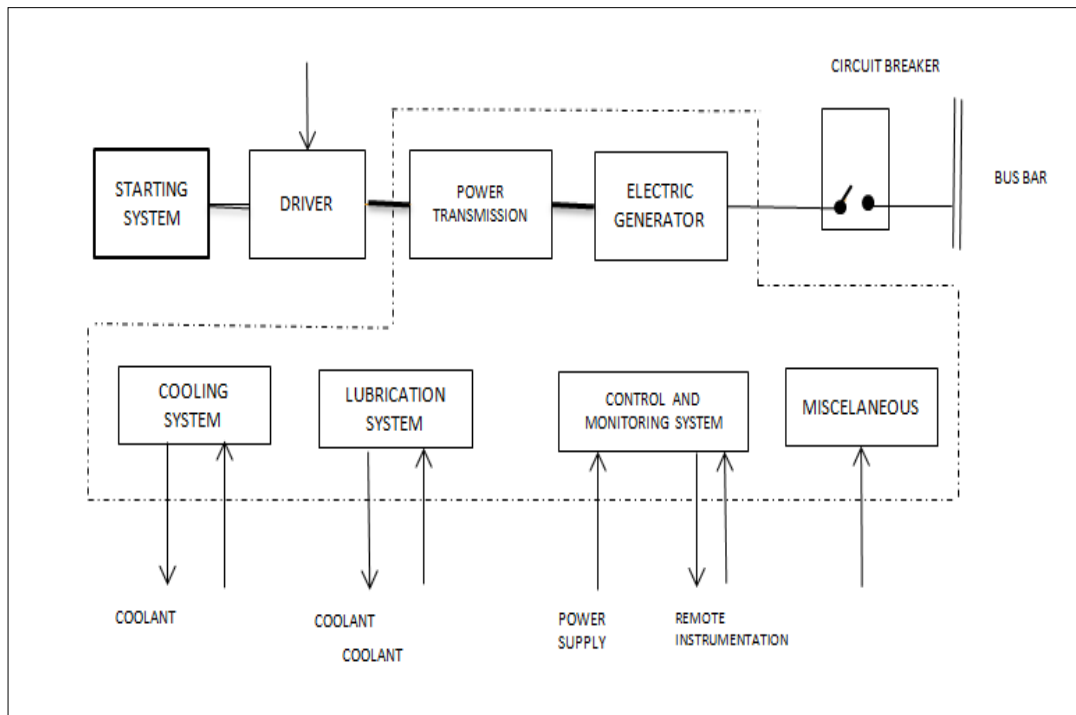
#### **8.2.4. Sistemas y componentes principales**

- Transmisión de energía.
- Generador eléctrico.
- Control y monitoreo.
- Sistema de lubricación.
- Sistema de refrigeración.
- Misceláneos.

#### **8.2.5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida**

Los límites del modelo se ilustran en la figura 29:

**Figura 29. Equipment boundary – Electric generators**



Fuente: Norma ISO 14224, Pág. 25.

### **8.3. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)**

Para el desarrollo del FMEA se siguió la siguiente secuencia (ver tabla 2):

- Se definió la función del generador y sus componentes principales.
- Se definió la falla funcional asociada a cada función.
- Se definió el modo de falla asociado a cada falla funcional.
- Se establecieron las consecuencias asociadas a cada modo de falla.

**Tabla 2. Hoja de información RCM**

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR		
		SUBSISTEMA:		GENERADOR		
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)
Generador						
		1A	Falla de funcionamiento en demanda	1A1	Falla del sistema de control	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar componente
				1A2	Falla del sistema de excitación	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar componente
				1A3	Falla de PTs & CTs	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar componente

#### 8.4. APLICACIÓN DE LA LÓGICA RCM (ARBOL DE DECISIÓN)

La hoja de decisión RCM que se muestra en la tabla 3, permite ver las respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisión y en función de ellas registrar:

- ¿Qué mantenimiento será realizado, con qué frecuencia y quien lo hará?
- ¿Qué fallas son lo suficientemente serias que justifiquen hacer búsqueda de fallas ocultas o rediseño?
- Casos en los que se toma la decisión de trabajar a falla.



## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 9.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se indica el plan de mantenimiento resultante de aplicar la metodología de RCM, para el turbogenerador y los sistemas auxiliares de la ampliación del sistema de generación de la facilidad de Floreña. Para la elaboración del mismo se consideraron las siguientes premisas:

- **Programa de mantenimiento recomendado por el fabricante (Solar Turbines A Caterpillar Company):**

Durante el primer año de trabajo del equipo, se deben seguir las recomendaciones de mantenimiento dadas por el fabricante en el volumen II (Instrucciones de Mantenimiento); lo anterior para efectos de aplicación de la garantía.

- **Condiciones ambientales del sitio donde va a trabajar el equipo:**

El equipo trabajara en el piedemonte llanero, específicamente en el corregimiento El Morro, este se encuentra ubicado entre los 700 y 500 msnm con temperaturas medias de 23 a 30 °C y un régimen de lluvias biestacional de 3.000 a 4.000 mm de precipitación anualy clima húmedo. Debido a lo anterior se deben contemplar algunas rutinas adicionales de mantenimiento.

### 9.2. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Al aplicar la metodología RCM al turbogenerador de la ampliación del sistema de generación de la facilidad de Floreña se obtienen los siguientes resultados:

- Frecuencias de las tareas.
- Tipos de tareas.
- Plan de mantenimiento.

### 9.2.1. Frecuencia de las tareas

En la tabla 4, se observan las frecuencias de las tareas resultantes de la aplicación de la metodología RCM.

**Tabla 4. Frecuencia de las tareas**

Ítem	Frecuencia
1	Diario
2	Mensual
3	Semestral
4	Anual
5	2 Años
6	4 Años (MOH)
7	Según Estrategia de Rotación
8	Cada Arranque

Las actividades cuya frecuencia de ejecución es diaria, deben ser realizadas por el operador del área de generación y tienen como finalidad la verificación de las condiciones operacionales (identificación de ruidos anormales, fugas, roces, etc.), la toma de datos y el análisis de las tendencias.

Las actividades cuya frecuencia de ejecución es 4años (MOH), corresponden a las realizadas durante el mantenimiento mayor de la turbina. Esta frecuencia en la turbina, es recomendada por el fabricante.

Las actividades cuya frecuencia de ejecución es según estrategia de rotación, aplican a aquellos equipos que cuentan con Back Up. Esta estrategia debe ser definida en conjunto con la compañía operadora.

### 9.2.2. Tipos de tareas

En la tabla 5, se puede observar los tipos de tareas resultantes de aplicar la metodología de RCM.

**Tabla 5. Tipos de tareas**

Ítem	Tipo de Tarea	Plan RCM
1	Mantenimiento a Condición	43
2	Reacondicionamiento Cíclico	23
3	Sustitución Cíclica	12
4	Búsqueda de Fallas	6
5	Rediseño	2
6	Ningún Mantenimiento Programado	2
	Total	88

En la tabla 5, se puede observar que el total de actividades del plan de mantenimiento es de 88 entre los diferentes tipos de tareas, de los cuales los porcentajes son, 49% es mantenimiento a condición, 26% es reacondicionamiento cíclico, 14% es sustitución cíclica, 7% es búsqueda de fallas.

Los tipos de tareas definidas en el plan de mantenimiento, se definen brevemente a continuación:

- **Mantenimiento a Condición:** corresponden a todas las actividades de mantenimiento predictivo.

- Reacondicionamiento Cíclico: corresponden a actividades de mantenimientos preventivos rutinarios.
- Sustitución Cíclica: corresponden a actividades de mantenimientos preventivos rutinarios, donde se realiza cambio de elementos.
- Búsqueda de Fallas: corresponde a mantenimiento de inspección y pruebas funcionales.
- Rediseño: no tiene equivalente esta actividad en el plan de mantenimiento, esta actividad debe ser ejecutada por el área de proyectos.
- Ningún Mantenimiento Programado: no tiene equivalente esta actividad en el plan de mantenimiento.

### 9.2.3. Plan de mantenimiento

Parte del plan de mantenimiento resultante de aplicar la metodología de RCM, se presenta en la tabla 3, el plan completo se puede ver en el anexo B.

**Tabla 6. Plan de mantenimiento propuesto**

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Generador	Revisar funcionamiento del sistema de control del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Realizar termografía a los paneles de control del turbogenerador y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Generador	Revisar funcionamiento del sistema de excitación del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del puente rectificador del sistema de excitación y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	Anual	Técnico Electricista
Generador	Realizar termografía al panel de excitación del turbogenerador y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento de los PTs & CTs y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	Anual	Técnico Electricista

### **9.3. AUDITORIA DEL RCM**

Las auditorias del proceso de RCM, deben realizarse una vez se termine el proyecto y se presente el plan de mantenimiento propuesto, preferiblemente en las próximas dos (2) semanas, ya que el grupo tiene fresco todo el conocimiento adquirido durante el desarrollo del proceso y es más fácil y rápido realizar los ajustes que se requieran. Los principales documentos que el auditor revisara serán, la hoja de información, la hoja de decisión y el plan de mantenimiento propuesto.

El proceso de RCM debe ser un sistema vivo, por lo tanto se debe tener un plan de mediciones y análisis del mismo con cierto periodo de tiempo, ejemplo: semestral, el cual se puede implementar a través de auditorías, con el fin de retroalimentar el plan de mantenimiento con las fallas que ocurran y no fueron identificadas inicialmente, además de otras mejoras de acuerdo al cumplimiento de metas. Esta retroalimentación debe modificar la hoja de trabajo de RCM, con el fin de mantenerla actualizada y así dejar documentado el cambio para efectos de trazabilidad.

Antes de comenzar el proceso de implementación, se recomienda hacer una auditoria para validar/aprobar el plan de mantenimiento por parte del gerente responsable o un delegado. Con las recomendaciones de la revisión anterior se debe actualizar el plan de mantenimiento propuesto y posteriormente establecer el plan de auditorías (técnicas y de gestión) con el fin de mejorar el proceso con base en los hallazgos y recomendaciones.

De igual forma, cada vez que se ejecuten los diferentes tipos de tareas de mantenimiento se deben registrar las mismas en el sistema CMMS, EAM o ERP; de tal forma que se analice esta información y se emitan recomendaciones que se usen para actualizar los planes de mantenimiento.

## 10. CONCLUSIONES

Al finalizar la elaboración y el análisis de este documento, se concluye lo siguiente:

- Se hizo una introducción a los conceptos básicos de la metodología RCM y su importancia en las diferentes industrias, adicionalmente se identificó el marco normativo que la rige.
- Se desarrolló la metodología RCM y se obtuvo una estrategia de mantenimiento centrada en minimizar las fallas funcionales y optimizar los costos de mantenimiento del generador de la ampliación del sistema de generación de la facilidad de producción de petróleo de Floreña, la cual será propuesta para ser implementada.
- Se observa que del total de las actividades del plan de mantenimiento propuesto el 49% corresponden a mantenimiento a condición, el 26% a reacondicionamiento cíclico, el 14% a sustitución cíclica y el 7% a búsqueda de fallas. Lo cual indica que la estrategia de mantenimiento obtenida está más enfocada hacia el mantenimiento proactivo, es decir; que se van a requerir menos paradas de equipo y por ende se tendrá mayor tiempo de producción, menor gasto en mano de obra y repuestos ya que los mismos se utilizaran en casi toda su vida útil.
- El proceso de RCM por sí solo no garantiza el cumplimiento de las metas de mantenimiento, para que dicho proceso sea efectivo es necesario involucrar al personal de mantenimiento y operación, esto permitirá tener una visión más clara del contexto operacional de los equipos y facilitara la consecución de los objetivos de la organización.

## 11.RECOMENDACIONES

Una vez finalizado este proyecto y analizando la estrategia que resulta como modelo, se recomienda:

- El plan de mantenimiento fue realizado con base a información emitida por el fabricante para construcción, entre esta se tiene PI&D's, planos e información técnica; por lo tanto el plan propuesto debe ser confrontado con lo construido físicamente y con los planos As-Built para que quede ajustado a la realidad.
- El paso siguiente después de la estrategia de mantenimiento recomendada es el estudio de los repuestos para tener un Min-Max acorde a la estrategia, lo mismo que preparar los procedimientos de Mantenimiento y Operación, para luego confrontarlos con lo que realmente quede construido y probado durante el comisionamiento y arranque.
- Una vez revisada y ajustada la estrategia a lo construido, se debe hacer el cálculo de las horas hombre requeridas para ejecutar la estrategia de mantenimiento.
- Las pruebas y datos del comisionamiento y arranque, deben ser registradas en el Sistema de Gestión de información de Mantenimiento, con el fin de que sean usadas como guía de comparación en futuros mantenimientos.
- Para que sea más productivo y aprovechar mejor el tiempo de los técnicos de CBM se recomienda, establecer rutas de monitoreo termográfico, lubricación, vibraciones, etc., de acuerdo al tipo y ubicación geográfica de los equipos.

- Como va a operar un turbogenerador junto con los dos (2) motogeneradores existentes, se debe tener en cuenta la estrategia de rotación con el fin de generar la estrategia de mantenimiento, para el generador que quede como Back Up.
- El fabricante en su plan de mantenimiento, indica que el MOH a la turbina se le debe hacer a las 30.000 horas de trabajo. Por lo tanto se recomienda revisar y hacer los estudios que sean necesarios con el fin de utilizar las partes que serán cambiadas en el MOH la mayor parte de su vida útil, es decir el MOH será realizado a las 35000 horas o más, lo cual conlleva a disminuir los costos en mantenimiento, especialmente en este caso, sustitución cíclica. Con este cambio, lograremos optimizar los costos y obtendremos mayor disponibilidad de los equipos.

## BIBLIOGRAFIA

FERRANS TEPEDINO, Orlando Enrique y SALAS FERNÁNDEZ, Carlos Miguel. Metodología para la implementación de RCM como filosofía de mantenimiento para la estación turbocompresora de gas natural Palomino. Trabajo de grado Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 230 p.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 2ª Ed. Medellín: Coldi, 2012. P 297-322.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance) RCM II. Ed en Español. Carolina del Norte: Aladon LLC, 2004. 433 p.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224. 1ª Ed. La organización, 1999. 71 p.

PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. 1ª Ed. Sevilla: Ingeman, 2012. P 115-151.

PINZÓN AVILA, Alexander. Diseño de un plan de gestión para el mantenimiento centrado en confiabilidad para el centro de generación eléctrica a base de gas de la empresa Copower Ltda. Trabajo de grado Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011. 109 p.

SIGÜENZA GLEZ, Guillermo; Junio de 2008. Porque implementar el RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD. Tomado de la página de internet: <http://www.industrialtijuana.com/pdf/CC08.pdf>

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, INC. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. SAE JA1012. USA: SAE, 2002. 62 p.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, INC. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. SAE JA1011. USA: SAE, 1999. 30 p.

SOLAR TURBINES A CATERPILLAR COMPANY. Guía del operador de sistemas conjunto generador impulsado por turbina de gas Taurus™ 60S Equion Energía Limited. Volumen I. San Diego: Solar Turbines Incorporated, 2011. P 1.1-4.47.

SOLAR TURBINES A CATERPILLAR COMPANY. Instrucciones de mantenimiento conjunto generador impulsado por turbina de gas Taurus™ 60S Equion Energía Limited. Volumen II. San Diego: Solar Turbines Incorporated, 2011. P 1.1-9.44.

VÁSQUEZ OYARZÚN, David Esteban. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería Civil Mecánica, 2008. 120 p.

## ANEXO A. HOJA DE TRABAJO RCM

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN										SISTEMA:		TURBOGENERADOR				
		SUBSISTEMA:		GENERADOR			Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por		
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5				S4	
Generador																							
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +2%, 5500 KW efectivos	1A	Falla de funcionamiento en demanda	1A1	Falla del sistema de control	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar componente	1	1A	1A1	S	N	N	S	S							1. Revisar funcionamiento del sistema de control del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Realizar termografía a los paneles de control del turbogenerador y reportar hallazgos	1. Diario 2. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM
				1A2	Falla del sistema de excitación	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar componente	1	1A	1A2	S	N	N	S	N	S						1. Revisar funcionamiento del sistema de excitación del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del puente rectificador del sistema de excitación y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar 3. Realizar termografía al panel de excitación del turbogenerador y reportar hallazgos	1. Diario 2. Anual 3. Mensual	1. Operador 2. Técnico electricista 3. Analista CBM
				1A3	Falla de PTs & CTs	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar componente	1	1A	1A3	S	N	N	S	N	S						1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento de los PTs & CTs y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	1. Anual	1. Técnico electricista





RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN				SISTEMA:				TURBOGENERADOR								
		SUBSISTEMA:		GENERADOR							SUBSISTEMA:				GENERADOR								
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por	
							F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
Generador																							
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +2%, 5500 KW efectivos	1C	Ruidos Mecánicos	1C1	Cojinetes secos o ruidosos	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Vibración, ruido y alta temperatura Medida Correctiva: Reemplazar cojinetes	1	1C	1C1	S	N	N	S	S							1. Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación tales como: cojinetes secos o ruidosos, mala alineación del gear box al generador, desbalanceo dinámico, roce del rotor sobre el estator y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones a los cojinetes del generador, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Diario 2. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM
				1C2	Mala alineación del gear box al generador	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Realizar la alineación del equipo	1	1C	1C2	S	N	N	S	S							1. Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación tales como: cojinetes secos o ruidosos, mala alineación del gear box al generador, desbalanceo dinámico, roce del rotor sobre el estator y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones a los cojinetes del generador, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Diario 2. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM
				1C3	Desbalanceo dinámico	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Realizar el balanceo del equipo	1	1C	1C3	S	N	N	S	S									1. Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación tales como: cojinetes secos o ruidosos, mala alineación del gear box al generador, desbalanceo dinámico, roce del rotor sobre el estator y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones a los cojinetes del generador, establecer tendencias y reportar hallazgos

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA: TURBOGENERADOR		SISTEMA: TURBOGENERADOR		RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA: TURBOGENERADOR		TURBOGENERADOR													
		SUBSISTEMA: GENERADOR		SUBSISTEMA: GENERADOR				SUBSISTEMA: GENERADOR		GENERADOR													
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias		H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por				
							F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3				H4	H5	S4	
Generador												Generador											
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +2%, 5500 KW efectivos	1C	Ruidos Mecánicos	1C4	Bobina del rotor en cortocircuito	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Sustituir la bobina	1	1C	1C4	S	N	N	S	S					1. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones a los cojinetes del generador, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Mensual	1. Analista CBM		
				1C5	El rotor rosa sobre el estator	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Asegurar que la posición radial y axial del rotor dentro del estator sea correcta	1	1C	1C5	S	N	N	S	S					1. Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación tales como: cojinetes secos o ruidosos, mala alineación del gear box al generador, desbalanceo dinámico, roce del rotor sobre el estator y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones a los cojinetes del generador, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Diario 2. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM		
		1D	No hay tensión de salida	1D1	Regulador de voltaje no conectado o defectuoso	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No hay generación de energía eléctrica Medida Correctiva: Comprobar, reparar y/o cambiar según corresponda	1	1D	1D1	S	N	N	S	S					1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar calibración del regulador de voltaje, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos 2. Realizar termografía al panel eléctrico auxiliar del generador, reportar hallazgos	1. 2 Años 2. Mensual	1. Técnico electricista 2. Analista CBM		
				1D2	Círculo abierto o cortocircuito en los rectificadores rotatorios	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No hay generación de energía eléctrica Medida Correctiva: Comprobar, reparar y/o cambiar según corresponda	1	1D	1D2	S	N	N	S	N	N	S				1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado de los rectificadores rotatorios, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 4 Años (MOH)	1. Técnico electricista	

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR												
		SUBSISTEMA:		GENERADOR					SUBSISTEMA:		GENERADOR												
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por					
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2				H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4	
Generador							Generador																
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +2%, 5500 KW electivos	1D	No hay tensión de salida	1D3	Circuito abierto en el campo del generador	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No hay generación de energía eléctrica Medida Correctiva: Comprobar, reparar y/o cambiar según corresponda	1	1D	1D3	S	N	N	S	N	N	S				1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado de los rectificadores rotatorios, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 4 Años (MOH)	1. Técnico electricista	
				1D4	Conexiones sueltas entre el estator de la excitatriz y el regulador de voltaje	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No hay generación de energía eléctrica Medida Correctiva: Comprobar conexiones y ajustar	1	1D	1D4	S	N	N	S	N	N	S				1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado de los rectificadores rotatorios, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 4 Años (MOH)	1. Técnico electricista	
				1D5	Supresor de pulsaciones en cortocircuito	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar y/o sustituir si es necesario	1	1D	1D5	S	N	N	S	N	S						1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del supresor de pulsaciones, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 2 Años	1. Técnico electricista
				1D6	Devanado de la excitatriz en cortocircuito	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Reparar y/o reemplazar el rotor según corresponda	1	1D	1D6	S	N	N	S	N	N	S					1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del supresor de pulsaciones, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 4 Años (MOH)	1. Técnico electricista
		1E	Desviación de tensión (baja, alta o fluctuando)	1E1	Falla del sistema de excitación (AVR, PMG, rectificadores rotatorios, etc.)	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Revisar, reparar y/o cambiar componente según corresponda	1	1E	1E1	S	N	N	S	N	S					1. Revisar funcionamiento del sistema de excitación del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del puente rectificador del sistema de excitación y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Técnico electricista	

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN				SISTEMA:				TURBOGENERADOR										
		SUBSISTEMA:		GENERADOR							SUBSISTEMA:				GENERADOR										
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de				Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por				
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5				S4			
Generador							Generador																		
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +2%, 5500 KW electivos	1E	Desviación de tensión (baja, alta o fluctuando)	1E2	Sobrecarga	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Aumento de temperatura en los devanados del estator Medida Correctiva: Disminuir la carga hasta el valor de régimen	1	1E	1E2	S	N	N	S	S							1. Verificar condiciones operacionales del generador y disminuir la carga hasta el valor de régimen, identificar causa de la sobrecarga y reportar hallazgos	1. Diario	1. Operador		
				1E3	Fluctuaciones en la velocidad de la turbina	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Inestabilidad en el suministro de energía eléctrica Medida Correctiva: Revisar y/o corregir según corresponda	1	1E	1E3	S	N	N	S	S								1. Verificar condiciones operacionales del turbogenerador, identificar causas de las fluctuaciones del voltaje, tomar acciones de acuerdo a los hallazgos y reportar	1. Diario	1. Operador	
				1E4	Conexiones internas sueltas	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Inestabilidad en el suministro de energía eléctrica Medida Correctiva: Revisar y/o apretar conexiones según corresponda	1	1E	1E4	S	N	N	S	N	S								1. Revisar y ajustar conexiones internas del lazo de control/regulación de voltaje, identificar las causas de la fluctuación de voltaje, tomar acciones según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 2 Años	1. Técnico electricista
				1E5	Regulador de voltaje con ajuste incorrecto	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Inestabilidad en el suministro de energía eléctrica Medida Correctiva: Revisar y/o ajustar el regulador de voltaje	1	1E	1E5	S	N	N	S	N	S								1. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar calibración del regulador de voltaje, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	1. 2 Años	1. Técnico electricista
		1F	Sobrecalentamiento	1F1	Sobrecarga	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Incremento de temperatura en el generador por encima de lo normal Medida Correctiva: Disminuir la carga hasta el valor de régimen	1	1F	1F1	S	N	N	S	S							1. Verificar condiciones operacionales del generador y disminuir la carga hasta el valor de régimen, identificar causa de la sobrecarga y reportar hallazgos	1. Diario	1. Operador		

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN										SISTEMA:		TURBOGENERADOR										
		SUBSISTEMA:		GENERADOR			Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1		H2 S2 O2 N2		H3 S3 O3 N3		Acción a Falta de		Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por				
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	F	FF	FM	H	S	E	O							H4	H5	S4							
Generador																													
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +-2%, 5500 KW efectivos	1F	Sobrecalentamiento	1F2	Aberturas de ventilación obstruidas	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Incremento de temperatura en el generador por encima de lo normal Medida Correctiva: Revisar mecanismo de las rejillas y/o limpiar	1	1F	1F2	S	N	N	S	N	S												1. Revisar funcionamiento del sistema de ventilación del turbogenerador, tomar acción de acuerdo a los hallazgos y reportar 2. Revisar, limpiar, lubricar mecanismo de las rejillas de ventilación, verificar su correcto funcionamiento y reportar hallazgos	1. Diario 2. 2 Años	1. Operador 2. Técnico mecánico
				1F3	Bobinas de campo cortocircuitadas o a tierra	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Sustituir la bobina y/o el rotor según corresponda	1	1F	1F3	S	N	N	S	N	S												1. Revisar alarmas y funcionamiento del generador, tomar parámetros y establecer tendencias 2. Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del puente rectificador del sistema de excitación y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Técnico electricista
				1F4	Mala circulación de aire	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Incremento de temperatura en el generador por encima de lo normal Medida Correctiva: Revisar rejillas y/o hermeticidad de las puertas	1	1F	1F4	S	N	N	S	N	S												1. Revisar, limpiar, lubricar mecanismo de las rejillas de ventilación, verificar su correcto funcionamiento y reportar hallazgos	1. 2 Años	1. Técnico mecánico
				1F5	Alta temperatura ambiental	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Incremento de temperatura en el generador por encima de lo normal Medida Correctiva: Mejorar la ventilación	1	1F	1F5	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		1. Plan de mejora y/o rediseño: en temporadas de alta temperatura ambiente, el generador se sobre calienta, siendo necesario reducir carga, se requiere revisar diseño con el fin de poder disponer de la potencia máxima en períodos de alta temperatura ambiente. Este se debe validar una vez sea puesto el turbogenerador en servicio	1. No aplica	1. Proyectos



RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN								SISTEMA:		TURBOGENERADOR							
		SUBSISTEMA:		GENERADOR											SUBSISTEMA:		GENERADOR							
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por	
							F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				H5
<b>Generador</b>																								
1	Generar energía eléctrica a 4160 V +5%, 60 Hz +2%, 5500 KW efectivos	1G	Falla severa	1G4	Sobrecalentamiento prolongado	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Reparar el aislamiento del generador	1	1G	1G4	S	N	N	S	S								1. Verificar la causa del sobrecalentamiento del generador y tomar acción inmediata; poner en servicio el generador Back Up	1. Diario	1. Operador
				1G5	Voltaje excesivo	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el generador Medida Correctiva: Reparar el aislamiento del generador	1	1G	1G5	S	N	N	S	S									1. Verificar condiciones operacionales del turbogenerador, identificar causas de las fluctuaciones del voltaje, tomar acciones de acuerdo a los hallazgos y reportar	1. Diario
		1H	Falla de arranque en demanda (Back Up)	1H1	Falla sistema de arranque	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No se activa el generador Medida Correctiva: Revisar y/o reparar el sistema de arranque	1	1H	1H1	N					N	N	N	S				1. Realizar prueba funcional al generador Back Up, verificar condiciones operacionales, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Según estrategia de rotación	1. Operador
<b>Gear Box</b>																								
2	Transmitir el movimiento de la turbina al generador reduciendo la velocidad de 14951 rpm a 1800 rpm para un servicio de 60 Hz	2A	No transmitir el movimiento en forma normal	2A1	Problemas en los engranajes	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar engranajes	2	2A	2A1	S	N	N	S	S								1. Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación y reportar hallazgos encontrados 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones al gear box, establecer tendencias y reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM
				2A2	Problemas en los cojinetes	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alta vibración Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar cojinetes	2	2A	2A2	S	N	N	S	S									1. Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación y reportar hallazgos encontrados 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones al gear box, establecer tendencias y reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Mensual

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR														
		SUBSISTEMA:		GENERADOR					SUBSISTEMA:		GENERADOR														
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por				
							F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5				S4			
Gear Box													Gear Box												
2	Transmitir el movimiento de la turbina al generador reduciendo la velocidad de 14951 rpm a 1800 rpm para un servicio de 60 Hz	2A	No transmitir el movimiento en forma normal	2A3	Fugas de aceite lubricante	Evidente: Si Afecta HSE: Si Efecto operacional (Síntomas): Ninguno Medida Correctiva: Corregir fugas	2	2A	2A3	S	N	S		N	N	S							1. Inspeccionar tuberías y mangueras identificando fugas, vibraciones y/o desgastes, reportar hallazgos encontrados 2. Corregir fugas de aceite, si la fuga es mayor a 40 gotas por minuto se debe parar el equipo e intervenir de inmediato	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Técnico mecánico
				2A4	Falla en sensor de velocidad	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar sensor	2	2A	2A4	S	N	N	S		N	N	S							1. Revisar/calibrar/reemplazar sensor de velocidad según condición encontrada	1. 4 Años (MOH)
Sistema de Lubricación													Sistema de Lubricación												
3	Suministrar aceite a una presión de 55 Psig y a una temperatura de 60 °C para lubricar y enfriar los cojinetes de la Turbina, el Generador y el Gear Box, suministrar aceite para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos en los sistemas de aire y combustible, sistema de regulación de alabes del compresor axial, bombas de pre y pos lubricación en condiciones de arranque de la turbina	3A	No lubricar ni enfriar en operación del turbogenerador	3A1	Falla de la instrumentación asociada al nivel del aceite	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma y disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar instrumentos	3	3A	3A1	S	N	N	S		N	S							1. Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación (nivel de aceite), verificar si hay fugas en mangueras, tuberías, tomar parámetros operativos del turbogenerador, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Revisar/calibrar/reemplazar la instrumentación asociada al nivel del aceite y su respectivo lazo de control, transmisor de nivel del tanque (LT3100), alarma por bajo nivel a las 16" o 40,6 cm, shutdown por bajo nivel de aceite en 13" o 33 cm, alarma por alto nivel 19" o 48,3 cm	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Instrumentista

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR										
		SUBSISTEMA:		GENERADOR					SUBSISTEMA:		GENERADOR										
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por			
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2				H3 S3 O3 N3	H4	H5
Sistema de Lubricación																					
3	Suministrar aceite a una presión de 55 Psig y a una temperatura de 60 °C para lubricar y enfriar los cojinetes de la Turbina, el Generador y el Gear Box, suministrar aceite para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos en los sistemas de aire y combustible, sistema de regulación de alabes del compresor axial, bombas de pre y pos lubricación en condiciones de arranque de la turbina	3A	No lubricar ni enfriar en operación del turbogenerador	3A2	Falla de la instrumentación asociada a la temperatura del aceite	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma y disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar instrumentos	3	3A	3A2	S	N	N	S	N	S				1. Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación (temperatura de aceite), verificar si hay fugas en mangueras, tuberías, tomar parámetros operativos del turbogenerador, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Revisar/calibrar/reemplazar la instrumentación asociada a la temperatura del aceite y su respectivo lazo de control, temperatura del cabezal de aceite (TE3200), alarma baja temperatura 110 °F o 43 °C, alarma alta temperatura 160 °F o 71 °C, shutdown por alta temperatura 165 °F o 74 °C	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Instrumentista
				3A3	Falla de la instrumentación asociada a la presión del aceite	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma y disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar instrumentos	3	3A	3A3	S	N	N	S	N	S					1. Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación (presión de aceite), verificar si hay fugas en mangueras, tuberías, tomar parámetros operativos del turbogenerador, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Revisar/calibrar/reemplazar la instrumentación asociada a la presión del aceite y su respectivo lazo de control, presión de venteo del tanque de lubricación (PS3100), 8,5' de agua incrementando y 7,5' de agua decreciendo, presión bomba de pre y post lubricación (PS3150), 6 Psig incrementando y 4 Psig decreciendo, test de la bomba DC de emergencia (PS3170), 8 +/- 1 Psig incrementando y 6 Psig decreciendo, activación de la bomba DC de emergencia (PS3200), 4 Psig decreciendo y 6 Psig incrementando	1. Diario 2. Anual

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN										SISTEMA:		TURBOGENERADOR									
		SUBSISTEMA:		GENERADOR			Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1		H2 S2 O2 N2		H3 S3 O3 N3		Acción a Falta de		Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por			
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	F	FF	FM	H	S	E	O							H4	H5	S4						
Sistema de Lubricación													Sistema de Lubricación															
3	Suministrar aceite a una presión de 55 Psig y a una temperatura de 60 °C para lubricar y enfriar los cojinetes de la Turbina, el Generador y el Gear Box, suministrar aceite para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos en los sistemas de aire y combustible, sistema de regulación de alabes del compresor axial, bombas de pre y pos lubricación en condiciones de arranque de la turbina	3A	No lubricar ni enfriar en operación del turbogenerador	3A4	Falla del sistema de presión diferencial de los filtros del sistema de lubricación	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma de alta presión diferencial Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar filtro	3	3A	3A4	S	N	N	S	N	S											1. Revisar/calibrar/reemplazar elemento en falla del sistema de presión diferencial de filtros y su respectivo lazo de control, transmisor de presión diferencial del filtro de aceite (PDT3240), alarma alta presión diferencial 30 Psid, reportar hallazgos 2. Revisar/calibrar/reemplazar elemento en falla del sistema de presión diferencial de filtros y su respectivo lazo de control, transmisor de presión diferencial del filtro de aceite (PDT3240), alarma alta presión diferencial 30 Psid, reportar hallazgos	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Instrumentista
				3A5	Falla en tuberías y acoples	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma y disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir conexiones de tuberías y acoples	3	3A	3A5	S	N	N	S	N	N	S										1. Revisar tuberías y acoples, ajustar de acuerdo a condición encontrada, reportar hallazgos encontrados	1. 4 Años (MOH)	1. Instrumentista, Mecánico
				3A6	Falla de la bomba principal de aceite	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma y disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y cambiar bomba principal de aceite	3	3A	3A6	S	N	N	S	S													1. Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación(bomba principal de aceite), tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos encontrados 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de bomba principal, llevar tendencias y reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Mensual

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR									
		SUBSISTEMA:		GENERADOR					SUBSISTEMA:		GENERADOR									
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por		
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2				H3 S3 O3 N3	H4
Sistema de Lubricación																				
3	Suministrar aceite a una presión de 55 Psig y a una temperatura de 60 °C para lubricar y enfriar los cojinetes de la Turbina, el Generador y el Gear Box, suministrar aceite para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos en los sistemas de aire y combustible, sistema de regulación de alabes del compresor axial, bombas de pre y pos lubricación en condiciones de arranque de la turbina	3A	No lubricar ni enfriar en operación del turbogenerador	3A7	Falla del sistema de refrigeración del aceite	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Alarma y disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir según condición encontrada	3	3A	3A7	S	N	N	S	S				1. Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación(motor ventilador refrigerador de aceite), tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de motor y ventilador, realizar MCE a motor eléctrico, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Diario 2. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM
		3B	No lubricar en condiciones de arranque y parada del turbogenerador	3B1	Falla del motor eléctrico y/o bomba pre y pos lubricadora	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No arranca el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir según condición encontrada	3	3B	3B1	N	N	N	S	S				1. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de motor y bomba, establecer tendencias y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo MCE (Motor Circuit Evaluation): medición de aislamiento eléctrico, índice de polarización (IP), capacitancia a tierra, desbalance resistivo e inductivo entre fases, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Cada arranque 2. Mensual	1. Analista CBM 2. Analista CBM

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN								SISTEMA:		TURBOGENERADOR									
		SUBSISTEMA:		GENERADOR											SUBSISTEMA:		GENERADOR									
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por			
							F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				H5	S4	
Sistema de Lubricación																										
3	Suministrar aceite a una presión de 55 Psig y a una temperatura de 60 °C para lubricar y enfriar los cojinetes de la Turbina, el Generador y el Gear Box, suministrar aceite para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos en los sistemas de aire y combustible, sistema de regulación de alabes del compresor axial, bombas de pre y pos lubricación en condiciones de arranque de la turbina	3B	No lubricar en condiciones de arranque y parada del turbogenerador	3B2	Falla del conjunto motor - bomba de corriente continua (emergencia)	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No arranca el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir según condición encontrada	3	3B	3B2	N	N	N	S	S									1. Realizar prueba funcional al conjunto motor - bomba de emergencia corriente directa, tomar parametros y reportar hallazgos 2. Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de motor y bomba de emergencia corriente directa, establecer tendencias y reportar hallazgos 3. Realizar monitoreo MCE (Motor Circuit Evaluation): medición de aislamiento eléctrico, índice de polarización (IP), capacitancia a tierra, desbalance resistivo e inductivo entre fases, establecer tendencias y reportar hallazgos 4. Realizar revisión y ajustes al cargador de baterías, tomar termografía al cargador y mantenimiento mensual al banco de baterías, establecer tendencias y reportar hallazgos	1. Diario 2. Mensual 3. Mensual 4. Mensual	1. Operador 2. Analista CBM 3. Analista CBM 4. Analista CBM	
				3B3	Falla en tuberías y acoples	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No arranca el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir conexiones de tuberías y acoples	3	3B	3B3	S	N	N	S	N	N	S								1. Revisar tuberías y acoples, identificar posibles, roces, desgaste, fugas de aceite y vibraciones en las mismas, ajustar de acuerdo a condición encontrada y reportar hallazgos	1. 4 Años (MOH)	1. Instrumentista, Mecánico
				3B4	Fugas de aceite lubricante	Evidente: Si Afecta HSE: Si Efecto operacional (Síntomas): Ninguno Medida Correctiva: Corregir fugas	3	3B	3B4	S	N	S			N	N	S								1. Inspeccionar tuberías y mangueras identificando fugas, vibraciones y/o desgastes, reportar hallazgos encontrados 2. Corregir fugas de aceite, si la fuga es mayor a 40 gotas por minuto se debe parar el equipo e intervenir de inmediato	1. Diario 2. Anual

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN				SISTEMA:			TURBOGENERADOR											
		SUBSISTEMA:		GENERADOR							SUBSISTEMA:			GENERADOR											
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por					
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4				H5	S4			
Sistema de Refrigeración							Sistema de Refrigeración																		
4	Enfriar el generador para que trabaje a carga nominal dentro de los parámetros establecidos, máximo 100 °C de temperatura	4A	No enfriar a el generador	4A1	Damper del ducto de enfriamiento del generador cerrados u obstruidos	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir según condición encontrada	4	4A	4A1	S	N	N	S	N	S							1. Limpiar mecanismo de las rejillas de ventilación, lubricar y verificar correcto funcionamiento y ajuste, reportar hallazgos	1. Anual	1. Técnico mecánico	
				4A2	Galerías de enfriamiento del estator y rotor obstruidas	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y corregir según condición encontrada	4	4A	4A2	S	N	N	S	N	S								1. Revisar y/o limpiar mecanismo galerías de enfriamiento del estator y rotor según lo que se encuentre	1. Anual	1. Técnico mecánico
				4A3	Alta temperatura ambiental	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Incremento de temperatura en el generador por encima de lo normal Medida Correctiva: Mejorar la ventilación	4	4A	4A3	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N			1. Plan de mejora y/o rediseño: en temporadas de alta temperatura ambiente, el generador se sobre calienta, siendo necesario reducir carga, se requiere revisar diseño con el fin de poder disponer de la potencia máxima en períodos de alta temperatura ambiente. Este se debe validar una vez sea puesto el turbogenerador en servicio	1. No aplica



RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN				SISTEMA:				TURBOGENERADOR									
		SUBSISTEMA:		GENERADOR							SUBSISTEMA:				GENERADOR									
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por	
							F	FF	FM	H	S	E	O	H4				H5	S4					
Sistema de F&G							Sistema de F&G																	
5	El sistema de detección de incendios y gas, monitorea y protege el interior de los compartimientos del turbogenerador. Combina la detección de incendios y de calor, la detección de gas y descarga el agente extintor CO2, dispara el turbogenerador y activa las alarmas sonoras y visuales	5A	No detectar gases, calor e incendios	5A2	Falla del controlador del sistema de protección contra incendios	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o reemplazar controlador	5	5A	5A2	S	N	N	S	N	S							1. Verificar alarmas, revisar estatus de sensores y del controlador del sistema de F&G, reportar hallazgos encontrados 2. Verificar ajuste de conexiones, terminales y RACK del sistema F&G, reportar hallazgos encontrados 3. Revisar y/o reemplazar controlador del sistema F&G según condición encontrada, reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Semestral 3. Anual	1. Operador 2. Instrumentista 3. Instrumentista
				5A3	Falla del sistema de extinción de incendios	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No definido Medida Correctiva: Revisar y/o reemplazar según condición encontrada	5	5A	5A3	N				N	N	N	S						1. Verificar alarmas, revisar estatus de sensores y del controlador del sistema de F&G, reportar hallazgos encontrados 2. Probar funcionamiento en vacío del sistema F&G sin disparo del agente extintor, verificar que las alarmas se visualicen en el panel de monitoreo, reportar hallazgos encontrados 3. Probar funcionamiento con disparo del agente extintor y reemplazo de cilindros, verificar que las alarmas se visualicen en el panel de monitoreo y que todas las persinas de los compartimientos se cierren, reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Semestral 3. Anual

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR													
		SUBSISTEMA:		GENERADOR					SUBSISTEMA:		GENERADOR													
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias			Acción a Falta de	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por							
							F	FF	FM	H	S	E	O					H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4 H5 S4			
Sistema de F&G							Sistema de F&G																	
5	El sistema de detección de incendios y gas, monitorea y protege el interior de los compartimientos del turbogenerador. Combina la detección de incendios y de calor, la detección de gas y descarga el agente extintor CO2, dispara el turbogenerador y activa las alarmas sonoras y visuales	5A	No detectar gases, calor e incendios	5A4	Falla de la lámpara estroboscópica y sirena	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): No hay indicación visual y auditiva de incendio Medida Correctiva: Revisar y/o reemplazar según condición encontrada	5	5A	5A4	N					N	N	N	S				1. Probar funcionamiento de las alarmas auditivas y visuales en vacío sin disparo del agente extintor, verificar que las alarmas se visualicen en el panel de monitoreo, reportar hallazgos encontrados	1. Semestral	1. Instrumentista
				5A5	Falla en las conexiones y contactos de los detectores	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o ajustar conexiones según condición encontrada	5	5A	5A5	S	N	N	S	N	S									1. Verificar funcionamiento del sistema de F&G en el panel del operador, revisar estatus de detectores de llama infrarrojo MIR (DTF6510/DTF6511/DTF6512), detector térmico TD (TS6540/TS6541/TS6543), detector de gas de rayos infrarrojos IR (DTG6561/DTG6567/DTG6571/DTG6572/DTG6573/DTG6581) 2. Verificar ajuste de conexiones, terminales y RACK del sistema F&G, reportar hallazgos encontrados

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA: SUBSISTEMA:		TURBOGENERADOR GENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA: SUBSISTEMA:		TURBOGENERADOR GENERADOR										
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por			
							F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2				N3	H4	H5
Sistema de F&G																					
5	El sistema de detección de incendios y gas, monitorea y protege el interior de los compartimientos del turbogenerador. Combina la detección de incendios y de calor, la detección de gas y descarga el agente extintor CO2, dispara el turbogenerador y activa las alarmas sonoras y visuales	5B	Activación falsa del sistema contra incendio	5B1	Falla de los detectores de llama infrarrojo (MIR), detector térmico (TD), detector de gas de rayos infrarrojos (IR)	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o reemplazar detectores en falla	5	5A	5A1	S	N	N	S	N	S				1. Verificar funcionamiento del sistema de F&G en el panel del operador, revisar estatus de detectores de llama infrarrojo MIR (DTF6510/DTF6511/DTF6512), detector térmico TD (TS6540/TS6541/TS6543), detector de gas de rayos infrarrojos IR (DTG6561/DTG6567/DTG6571/DTG6572/DTG6573/DTG6581) 2. Verificar ajuste de conexiones, terminales y RACK del sistema F&G, reportar hallazgos encontrados 3. Revisar/calibrar/reemplazar detectores de llama infrarrojo MIR (DTF6510/DTF6511/DTF6512), detector térmico TD compartimientos (TS6540/TS6541/TS6543), detector de gas de rayos infrarrojos IR (DTG6561/DTG6567/DTG6571/DTG6572/DTG6573/DTG6581) según condición encontrada, shutdown por alta temperatura 325 °F o 163 °C	1. Diario 2. Semestral 3. Anual	1. Operador 2. Instrumentista 3. Instrumentista
				5B2	Falla en las conexiones y contactos de los detectores	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o ajustar conexiones según condición encontrada	5	5A	5A5	S	N	N	S	N	S				1. Verificar funcionamiento del sistema de F&G en el panel del operador, revisar estatus de detectores de llama infrarrojo MIR (DTF6510/DTF6511/DTF6512), detector térmico TD (TS6540/TS6541/TS6543), detector de gas de rayos infrarrojos IR (DTG6561/DTG6567/DTG6571/DTG6572/DTG6573/DTG6581) 2. Verificar ajuste de conexiones, terminales y RACK del sistema F&G, reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Semestral	1. Operador 2. Instrumentista

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR											
		SUBSISTEMA:		GENERADOR					SUBSISTEMA:		GENERADOR											
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por				
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2				H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4
Sistemas Miscelaneos							Sistemas Miscelaneos															
1. Sistema de Deslastre de Carga							1. Sistema de Deslastre de Carga															
6	Preservar el sistema eléctrico de fenómenos incontrolados que conduzcan a desbalances, por pérdidas de generación o fraccionamiento de la red y que producen un descenso en la frecuencia promedio; límites de operación: tensión +/-5% (mínimo: 3952 V y máximo 4368 V) y frecuencia +/-2% (mínimo 58,8 Hz y máximo 61,2 Hz)	6A	No operación del sistema de deslastre de carga	6A1	Falla en la programación de la estrategia de deslastre de carga	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar estrategia	6	6A	6A1	N									1. Revisar funcionamiento del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados 2. Realizar pruebas funcionales al sistema de deslastre de carga, verificar que se visualicen las alarmas en el panel de control del operador y que se cumpla la estrategia de deslastre de carga	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Instrumentista, técnico electricista	
				6A2	Falla interna de tarjetas del sistema de deslastre de carga	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar tarjetas según condición encontrada	6	6A	6A2	S										1. Revisar funcionamiento del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados 2. Realizar pruebas funcionales al sistema de deslastre de carga, verificar que se visualicen las alarmas en el panel de control del operador y que se cumpla la estrategia de deslastre de carga	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Instrumentista, técnico electricista
				6A3	Falla en conexiones y contactos	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar según condición encontrada	6	6A	6A3	S	N	N	S	S							1. Revisar funcionamiento del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados 2. Realizar inspección termográfica a los paneles eléctricos del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados	1. Diario 2. Mensual

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN			SISTEMA: TURBOGENERADOR			RCM - HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA: TURBOGENERADOR															
SUBSISTEMA: GENERADOR			SUBSISTEMA: GENERADOR			SUBSISTEMA: GENERADOR			SUBSISTEMA: GENERADOR															
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias				Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por						
							F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2				H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4		
Sistemas Miscelaneos						Sistemas Miscelaneos																		
1. Sistema de Desastre de Carga						1. Sistema de Desastre de Carga																		
6	Preservar el sistema eléctrico de fenómenos incontrolados que conduzcan a desbalances, por pérdidas de generación o fraccionamiento de la red y que producen un descenso en la frecuencia promedio; límites de operación: tensión +/-5% (mínimo: 3952 V y máximo 4368 V) y frecuencia +/-2% (mínimo 58,8 Hz y máximo 61,2 Hz)	6B	Operación errónea del sistema de deslastre de carga	6B1	Falla en la programación de la estrategia de deslastre de carga	Evidente: No Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar estrategia	6	6A	6B1	N					N	N	N	S				1. Revisar funcionamiento del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados 2. Realizar pruebas funcionales al sistema de deslastre de carga, verificar que se visualicen las alarmas en el panel de control del operador y que se cumpla la estrategia de deslastre de carga	1. Diario 2. Anual	1. Operador 2. Instrumentista, técnico electricista
				6B2	Falla interna de tarjetas del sistema de deslastre de carga	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Disparo del turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar tarjetas según condición encontrada	6	6A	6B2	S							N	N	N	S				1. Revisar funcionamiento del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados 2. Realizar pruebas funcionales al sistema de deslastre de carga, verificar que se visualicen las alarmas en el panel de control del operador y que se cumpla la estrategia de deslastre de carga





RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR		RCM - HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:		TURBOGENERADOR											
		SUBSISTEMA:		GENERADOR				SUBSISTEMA:		GENERADOR											
Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. FM	Modo de Falla (Causa)	Efecto de la Falla (Consecuencia)	Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias		H1	H2	H3	Acción a Falta de	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por				
							F	FF	FM	H	S	E	O					N1	N2	N3	H4
3. Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador												3. Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador									
8	Monitorear y controlar las variables principales del turbogenerador	8A	No monitorear y controlar las variables principales del turbogenerador	8A3	Falla en cajas de paso, borneras y cableado	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el turbogenerador Medida Correctiva: Revisar y/o cambiar según condición encontrada	8	8A	8A3	S	N	N	S	N	S				1. Revisar/emplazar borneras, cableado y caja de paso según como se encuentre	1. Semestral	1. Instrumentista
					8A4	Error humano en la operación del equipo de monitoreo y control	Evidente: Si Afecta HSE: No Efecto operacional (Síntomas): Se dispara el turbogenerador Medida Correctiva: Entrenamiento periódico del personal	8	8A	8A4	S	N	N	S	N	N	N				1. Seguir los procedimientos y entrenamiento periódico de operadores

## ANEXO B. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Generador	Revisar funcionamiento del sistema de control del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Realizar termografía a los paneles de control del turbogenerador y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Generador	Revisar funcionamiento del sistema de excitación del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del puente rectificador del sistema de excitación y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	Anual	Técnico Eléctricista
Generador	Realizar termografía al panel de excitación del turbogenerador y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento de los PTs & CTs y reemplazar elementos de acuerdo a hallazgos y reportar	Anual	Técnico Eléctricista
Generador	Revisar funcionamiento del sistema de protección del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Realizar termografía al panel del relé de protección del turbogenerador y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Generador	Revisar y/o reparar estator y rotor del generador, realizar pruebas de aislamiento, barnizar, realizar balanceo dinámico del rotor, reportar hallazgos	4 Años (MOH)	Analista CBM, Técnico Eléctricista, Técnico Mecánico

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Generador	Revisar, medir resistencia de aislamiento, reparar y/o reemplazar cable de potencia según condición encontrada	4 Años (MOH)	Técnico Eléctricista
Generador	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones al conjunto gear box - generador, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Generador	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones a los cojinetes del generador, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Generador	Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación tales como: cojinetes secos o ruidosos, mala alineación del gear box al generador, desbalanceo dinámico, roce del rotor sobre el estator y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar calibración del regulador de voltaje, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	2 Años	Técnico Eléctricista
Generador	Realizar termografía al panel eléctrico auxiliar del generador, reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado de los rectificadores rotatorios, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	4 Años (MOH)	Técnico Eléctricista
Generador	Revisar, limpiar, ajustar conexiones, medir resistencia de aislamiento, verificar estado del supresor de pulsaciones, reemplazar según lo que se encuentre y reportar hallazgos	2 Años	Técnico Eléctricista
Generador	Verificar condiciones operacionales del generador y disminuir la carga hasta el valor de régimen, identificar causa de la sobrecarga y reportar hallazgos	Diario	Operador
Generador	Verificar condiciones operacionales del turbogenerador, identificar causas de las fluctuaciones del voltaje, tomar acciones de acuerdo a los hallazgos y reportar	Diario	Operador

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Generador	Revisar y ajustar conexiones internas del lazo de control/regulación de voltaje, identificar las causas de la fluctuación de voltaje, tomar acciones según lo que se encuentre y reportar hallazgos	2 Años	Técnico Eléctricista
Generador	Revisar funcionamiento del sistema de ventilación del turbogenerador, tomar acción de acuerdo a los hallazgos y reportar	Diario	Operador
Generador	Revisar, limpiar, lubricar mecanismo de las rejillas de ventilación, verificar su correcto funcionamiento y reportar hallazgos	2 Años	Técnico Mecánico
Generador	Revisar funcionamiento del generador, identificar las causas del sobrecalentamiento, tomar acción de acuerdo a los hallazgos y reportar	Diario	Operador
Generador	Revisar, limpiar, medir resistencia de aislamiento, reemplazar bobina y/o rotor completo según hallazgos y reportar	4 Años (MOH)	Técnico Eléctricista
Generador	Realizar monitoreo MCE (Motor Circuit Evaluation): medición de aislamiento eléctrico, índice de polarización (IP), capacitancia a tierra, desbalance resistivo e inductivo entre fases, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Generador	Evaluar la posibilidad de instalar un sistema de monitoreo en línea de descargas parciales en el estator del generador (plan de mejora)	No Aplica	Proyectos
Generador	Verificar la causa del sobrecalentamiento del generador y tomar acción inmediata; poner en servicio el generador Back Up	Diario	Operador
Generador	Realizar prueba funcional al generador Back Up, verificar condiciones operacionales, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Según Estrategia de Rotación	Operador
Gear Box	Verificar ruidos por condiciones inusuales de operación y reportar hallazgos encontrados	Diario	Operador

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Gear Box	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones al gear box, establecer tendencias y reportar hallazgos encontrados	Mensual	Analista CBM
Gear Box	Inspeccionar tuberías y mangueras identificando fugas, vibraciones y/o desgastes, reportar hallazgos encontrados	Diario	Operador
Gear Box	Corregir fugas de aceite, si la fuga es mayor a 40 gotas por minuto se debe parar el equipo e intervenir de inmediato	Anual	Técnico Mecánico
Gear Box	Revisar/calibrar/reemplazar sensor de velocidad según condición encontrada	4 Años (MOH)	Instrumentista
Sistema de Lubricación	Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación (nivel de aceite), verificar si hay fugas en mangueras, tuberías, tomar parámetros operativos del turbogenerador , establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Revisar/calibrar/reemplazar la instrumentación asociada al nivel del aceite y su respectivo lazo de control, transmisor de nivel del tanque (LT3100), alarma por bajo nivel a las 16" o 40,6 cm, shutdown por bajo nivel de aceite en 13" o 33 cm, alarma por alto nivel 19" o 48,3 cm	Anual	Instrumentista
Sistema de Lubricación	Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación (temperatura de aceite), verificar si hay fugas en mangueras, tuberías, tomar parámetros operativos del turbogenerador , establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Revisar/calibrar/reemplazar la instrumentación asociada a la temperatura del aceite y su respectivo lazo de control, temperatura del cabezal de aceite (TE3200), alarma baja temperatura 110 °F o 43 °C, alarma alta temperatura 160 °F o 71 °C, shutdown por alta temperatura 165 °F o 74 °C	Anual	Instrumentista
Sistema de Lubricación	Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación (presión de aceite), verificar si hay fugas en mangueras, tuberías, tomar parámetros operativos del turbogenerador , establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Sistema de Lubricación	Revisar/calibrar/reemplazar la instrumentación asociada a la presión del aceite y su respectivo lazo de control, presión de venteo del tanque de lubricación (PS3100), 8,5" de agua incrementando y 7,5" de agua decreciendo, presión bomba de pre y post lubricación (PS3150), 6 Psig incrementando y 4 Psig decreciendo, test de la bomba DC de emergencia (PS3170), 8 +/- 1 Psig incrementando y 6 Psig decreciendo, activación de la bomba DC de emergencia (PS3200), 4 Psig decreciendo y 6 Psig incrementando	Anual	Instrumentista
Sistema de Lubricación	Revisar/calibrar/reemplazar elemento en falla del sistema de presión diferencial de filtros y su respectivo lazo de control, transmisor de presión diferencial del filtro de aceite (PDT3240), alarma alta presión diferencial 30 Psid, reportar hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Revisar/calibrar/reemplazar elemento en falla del sistema de presión diferencial de filtros y su respectivo lazo de control, transmisor de presión diferencial del filtro de aceite (PDT3240), alarma alta presión diferencial 30 Psid, reportar hallazgos	Anual	Instrumentista
Sistema de Lubricación	Revisar tuberías y acoples, ajustar de acuerdo a condición encontrada, reportar hallazgos encontrados	4 Años (MOH)	Instrumentista, Técnico Mecánico
Sistema de Lubricación	Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación(bomba principal de aceite), tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos encontrados	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de bomba principal, llevar tendencias y reportar hallazgos encontrados	Mensual	Analista CBM
Sistema de Lubricación	Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de lubricación(motor ventilador refrigerador de aceite), tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de motor y ventilador, realizar MCE a motor eléctrico, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Sistema de Lubricación	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de motor y bomba, establecer tendencias y reportar hallazgos	Cada Arranque	Analista CBM

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Sistema de Lubricación	Realizar monitoreo MCE (Motor Circuit Evaluation): medición de aislamiento eléctrico, índice de polarización (IP), capacitancia a tierra, desbalance resistivo e inductivo entre fases, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Sistema de Lubricación	Realizar prueba funcional al conjunto motor - bomba de emergencia corriente directa, tomar parámetros y reportar hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones de motor y bomba de emergencia corriente directa, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Sistema de Lubricación	Realizar monitoreo MCE (Motor Circuit Evaluation): medición de aislamiento eléctrico, índice de polarización (IP), capacitancia a tierra, desbalance resistivo e inductivo entre fases, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Sistema de Lubricación	Realizar revisión y ajustes al cargador de baterías, tomar termografía al cargador y mantenimiento mensual al banco de baterías, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Sistema de Lubricación	Revisar tuberías y acoples, identificar posibles, roces, desgaste, fugas de aceite y vibraciones en las mismas, ajustar de acuerdo a condición encontrada y reportar hallazgos	4 Años (MOH)	Instrumentista, Técnico Mecánico
Sistema de Lubricación	Inspeccionar líneas y mangueras verificando si hay fugas, desgastes y/o vibraciones. Reportar los hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Lubricación	Corregir fugas de aceite, si la fuga es mayor a 40 gotas por minuto se debe parar el equipo e intervenir de inmediato	Anual	Técnico Mecánico
Sistema de Lubricación	Lubricar los rodamientos de los motores eléctricos de motor de arranque (M1300), bomba pre-post lubricación (M3150), bomba DC de emergencia (M3170), enfriador de aceite (M3220), motor enfriamiento compartimiento turbina (M6211)	Mensual	Técnico Mecánico
Sistema de Lubricación	Realizar prueba y calibración de las válvulas de seguridad PSV del sistema de lubricación principal (PSV3110), bomba de pre y post (PSV3150), bomba DC de emergencia (PSV3170)	Semestral	Técnico Mecánico

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Sistema de Lubricación	Revisar y probar válvulas cheques del sistema de lubricación principal (CV3200), bomba DC de emergencia (CV3170), bomba de pre y post lubricación (CV3150)	4 Años (MOH)	Técnico Mecánico
Sistema de Lubricación	Tomar muestra de aceite lubricante y realizar análisis de laboratorio, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Analista CBM
Sistema de Lubricación	Verificar nivel de aceite y reponer según lo que se encuentre	Mensual	Técnico Mecánico
Sistema de Refrigeración	Limpiar mecanismo de las rejillas de ventilación, lubricar y verificar correcto funcionamiento y ajuste, reportar hallazgos	Anual	Técnico Mecánico
Sistema de Refrigeración	Revisar y limpiar galerías de enfriamiento del estator y rotor, reportar hallazgos	Anual	Técnico Mecánico
Sistema de Refrigeración	Plan de mejora y/o rediseño: en temporadas de alta temperatura ambiente, el generador se sobre calienta, siendo necesario reducir carga, se requiere revisar diseño con el fin de poder disponer de la potencia máxima en períodos de alta temperatura ambiente. Este se debe validar una vez sea puesto el turbogenerador en servicio	No Aplica	Proyectos
Sistema de F&G	Verificar funcionamiento del sistema de F&G en el panel del operador, revisar estatus de detectores de llama infrarrojo MIR (DTF6510/DTF6511/DTF6512), detector térmico TD (TS6540/TS6541/TS6543), detector de gas de rayos infrarrojos IR (DTG6561/DTG6567/DTG6571/DTG6572/DTG6573/DTG6581)	Diario	Operador
Sistema de F&G	Verificar ajuste de conexiones, terminales y RACK del sistema F&G, reportar hallazgos encontrados	Semestral	Instrumentista
Sistema de F&G	Revisar/calibrar/reemplazar detectores de llama infrarrojo MIR (DTF6510/DTF6511/DTF6512), detector térmico TD compartimientos (TS6540/TS6541/TS6543), detector de gas de rayos infrarrojos IR (DTG6561/DTG6567/DTG6571/DTG6572/DTG6573/DTG6581) según condición encontrada, shutdown por alta temperatura 325 °F o 163 °C	Anual	Instrumentista

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Sistema de F&G	Verificar alarmas, revisar estatus de sensores y del controlador del sistema de F&G, reportar hallazgos encontrados	Diario	Operador
Sistema de F&G	Revisar y/o reemplazar controlador del sistema F&G según condición encontrada, reportar hallazgos encontrados	Anual	Instrumentista
Sistema de F&G	Probar funcionamiento en vacío del sistema F&G sin disparo del agente extintor, verificar que las alarmas se visualicen en el panel de monitoreo, reportar hallazgos encontrados	Semestral	Instrumentista
Sistema de F&G	Probar funcionamiento con disparo del agente extintor y reemplazo de cilindros, verificar que las alarmas se visualicen en el panel de monitoreo y que todas las persinas de los compartimientos se cierren, reportar hallazgos encontrados	Anual	Instrumentista
Sistema de F&G	Probar funcionamiento de las alarmas auditivas y visuales en vacío sin disparo del agente extintor, verificar que las alarmas se visualicen en el panel de monitoreo, reportar hallazgos encontrados	Semestral	Instrumentista
Sistema de Deslastre de Carga	Revisar funcionamiento del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados	Diario	Operador
Sistema de Deslastre de Carga	Realizar pruebas funcionales al sistema de deslastre de carga, verificar que se visualicen las alarmas en el panel de control del operador y que se cumpla la estrategia de deslastre de carga	Anual	Instrumentista, Técnico Eléctricista
Sistema de Deslastre de Carga	Realizar inspección termográfica a los paneles eléctricos del sistema de deslastre de carga, reportar hallazgos encontrados	Mensual	Analista CBM
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Revisar alarmas y funcionamiento del sistema de protección eléctricas del turbogenerador, tomar parámetros, establecer tendencias y reportar hallazgos	Diario	Operador

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Realizar prueba funcional del sistema de protección, tomar algunos ejemplos de funciones tales como falla, tierra devanado Generador, sobre corriente instantanea y temporizada, tomar datos, analizar y reportar hallazgos. Cambiar relé de protección si no es satisfactoria la prueba	Anual	Técnico Eléctricista
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Realizar inyección secundaria al relé de protección del turbogenerador, verificar datos de operación, cambiar si no esta dando los resultados esperados y reportar hallazgos	2 Años	Especialista
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Realizar termografía al panel del rele de protección, establecer tendencias y reportar hallazgos	Mensual	Análista CBM
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Revisar alarmas y funcionamiento del interruptor principal del turbogenerador, tomar parámetros y reportar hallazgos	Diario	Operador
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Realizar prueba funcional al interruptor principal del generador, tomar parámetros y reportar hallazgos	Semestral	Técnico Eléctricista
Sistema de Protecciones Eléctricas del Turbogenerador	Realizar ajustes a borneras, ajustes mecánicos, lubricar mecanismos, limpieza, pruebas de aislamiento de la camara de extinción del arco, pruebas en vacío del interruptor principal del generador, reportar hallazgos	Anual	Técnico Eléctricista
Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador	Evento externo	No Aplica	No Aplica
Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador	Reemplazar la batería del procesador ControlLogix-XT, batería de Litio AA de respaldo del programa almacenado	Anual	Técnico Eléctricista
Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador	Revisar/reemplazar las tarjetas y módulos del sistema de control eléctrico Logix5000™	4 Años (MOH)	Instrumentista

Sistema	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A Realizarse Por
Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador	Revisar/remplazar borneras, cableado y caja de paso según como se encuentre	Semestral	Instrumentista
Sistema de Control y Monitoreo del Turbogenerador	Seguir los procedimientos y entrenamiento periódico de operadores	No Aplica	No Aplica
Todos los Subsistemas	Revisar internamente las cajas de paso y distribución, cambiar borneras si se encuentran oxidadas, sellar entradas de humedad, colocar dentro de las cajas elementos que absorben la humedad, reportar hallazgos	Semestral	Técnico Eléctricista
Todos los Subsistemas	Realizar monitoreo y análisis de vibraciones al turbogenerador y sus equipos auxiliares rotativos, establecer tendencias y reportar hallazgos	Cada Arranque	Análista CBM