

# **Estudio de un Caso RCM: SISTEMA DE LUBRICACION DEL TURBO-GENERADOR**

## **CONTENIDO**

**1º Parte: Planteo del Problema y Análisis de Funciones**

**2º Parte: Análisis de Modos de Falla y Efectos**

**3º Parte: Hojas de Decisión**



# Sistema de Lubricación - Planteo del Problema

## 1 Introducción

Se le pide que use RCM para determinar los requerimientos de mantenimiento del sistema de lubricación de una serie de turbo-generadores de una plataforma petrolífera. Cada turbina del generador principal es una turbina de ciclo abierto de único eje con un régimen nominal de 4 MW efectivo a una temperatura ambiente de 15°C. La velocidad del eje de salida es reducida a 1.500 rpm. Un sólo botón de arranque inicia la secuencia de comienzo de la turbina.

El diagrama que sigue muestra el sistema de lubricación de una de esas turbinas, del cual se le pedirá analizar los requerimientos de mantenimiento utilizando RCM.

Sin embargo, antes de hacerlo, es importante considerar el contexto operacional del equipo, porque éste define sus funciones y las prestaciones asociadas que se esperan de él. Esto a su vez, dicta las consecuencias del fallo, que en última instancia gobiernan la selección de las tareas de mantenimiento.

El contexto operacional varía de una plataforma a otra. También cambia con el paso del tiempo, ya sea porque las demandas de producción cambian o porque el equipo evoluciona. (Este proceso de evolución afecta a las consecuencias operacionales del fallo en particular). Como resultado de ello, se debe subrayar que el análisis que se haga durante este ejercicio será válido sólo para los elementos designados del equipo en el contexto descripto. El análisis casi seguro producirá resultados diferentes para un equipo similar en diferentes plataformas, o para los mismos elementos si se analizan en otra ocasión. Por esta razón, el contexto operacional del equipo elegido para este ejercicio que se describe ampliamente en los párrafos siguientes, deberá tenerse en cuenta siempre cuando se consideren las conclusiones obtenidas durante este ejercicio.

## 2 El Contexto Operacional de la Turbina

La plataforma en la que están montadas las turbinas es una de las dos que están próximas entre sí en un gran yacimiento petrolífero. En cada plataforma están ubicadas tres series de turbo-generadores, y los seis generadores en total están conectados en paralelo, usando cables submarinos. De esta forma, cada plataforma puede suministrar electricidad a la otra a la vez que satisface sus propios requerimientos. La naturaleza de los equipos instalados en las dos plataformas es tal que la demanda total de electricidad no excederá de 16,5 MW en un futuro previsible.

Cada turbo-generador está aislado acústicamente y está montado con un sistema Halon de extinción de fuegos.

Las turbinas producen un máximo de 3,7 MW bajo las condiciones ISO y la temperatura del escape no excede de 470°C. Esta producción se consigue inmediatamente después de una revisión total, y disminuye hasta el 10% cuando se hace la siguiente revisión. En estas circunstancias, cinco de las seis turbinas en las dos plataformas son capaces de soportar la demanda máxima real en cualquier momento sin necesidad de perder carga.

Si dos de las seis turbinas tuvieran que pararse en un momento de alta demanda global, la primera carga que

tendría que rebajarse sería la de inyección del agua (que consume hasta 4,8 MW en las dos plataformas). El Director de Explotación nos ha informado que la pérdida de inyección de agua se puede tolerar hasta cuatro días sin ninguna dificultad, siempre que no haya más paradas que afecten a la inyección del agua por un período siete veces más largo que la pérdida original. En otras palabras, la producción sólo será afectada seriamente si dos de las seis turbinas se tienen que detener simultáneamente durante más de cuatro días.

(La pérdida de tres de las seis turbinas significará normalmente que habrá que cesar de perforar y/o licuar el gas natural por lo menos en una de las dos plataformas. Un equipo de perforación cuesta \$ 40.000 al día).

De las turbinas que hablamos, generalmente no más de dos deben ser reparadas por año y tampoco deben demorar más de un mes. Esto significa que una de las seis turbinas estará fuera de servicio por reparación dos meses al año en total, pero normalmente no en demanda pico. Sobre esta base, el análisis asume que:

- El sistema generador puede tolerar *dos* paradas de turbinas simultáneas, siempre que por lo menos una de estas paradas lleve menos de cuatro días en repararse.
- Es muy poco probable que ocurran *tres* paradas de cualquier duración a la vez, especialmente de tal forma que tenga que rebajarse la carga durante más de cuatro días.

En otras palabras, se asume que cualquier modo de falla que cause que una de estas turbinas tenga que pararse pero que se tarde menos de cuatro días en reparar, no tendrá consecuencias *operacionales*. Por el contrario, cualquier parada de cuatro o más días se considera que tendrá consecuencias operacionales. (Esto no tiene nada que ver con la evaluación de las consecuencias para la seguridad, ocultas, operacionales o no, de cada falla. Estas están sujetas a criterios diferentes)

## 3 El Sistema de Lubricación

El aceite de lubricación es suministrado a los rodamientos de la turbina de gas, los rodamientos del generador y la caja reductora. El sistema incluye un depósito de aceite, bombas de suministro de aceite, filtros y refrigeradores de aceite.

La estructura de la base de la turbina forma el depósito del aceite, que contiene unos 2.500 litros de lubricante. El aceite retorna directamente al tanque una vez que haya pasado por los rodamientos. El depósito está equipado con un calentador controlado termostáticamente para mantener la temperatura del aceite por encima de 10°C. **El tanque se ventea a la atmósfera mediante un tubo con una arrestallama.**

El aceite de lubricación es suministrado al sistema por la bomba principal de aceite durante su funcionamiento normal. Esta es una bomba a engranajes accionada a través de un contra-eje del tren de engranajes y está montada sobre la caja reductora con bridas. Cuando la bomba principal está funcionando, el aceite se bombea desde el depósito a través de una válvula antirretorno OL1 a la tubería de aspiración de la bomba. El aceite es entonces suministrado al sistema a través de dos enfriadores de aceite



y un filtro doble. La presión de salida de la bomba principal de aceite está limitada por PSV1, que pasa el exceso de aceite de nuevo a la aspiración de la bomba.

Durante el arranque y hasta que alcanza la velocidad de régimen, o durante el período de detención y enfriamiento después de una parada (se considera “frío” cuando los indicadores de temperatura de gases de escape dan una lectura de 130°C), el aceite de lubricación es suministrado al sistema mediante una bomba auxiliar. Esta bomba está accionada por un motor eléctrico de CA y suministra el aceite directamente del tanque, a través de la válvula antirretorno OL2 a la tubería de salida de la bomba principal. La bomba auxiliar se detiene cuando la turbina alcanza 1.300 rpm durante el arranque, y vuelve a funcionar otra vez cuando la velocidad desciende de 1.300 rpm durante la detención de la turbina.

La presión de salida de la bomba auxiliar está limitada por PSV2, que pasa el exceso de aceite de nuevo a la aspiración de la bomba. En la tubería de salida de la bomba auxiliar hay un desvío a la tubería de aspiración de la bomba principal para cebarla durante la secuencia de arranque.

Si la bomba auxiliar falla, se dispone de una bomba de emergencia accionada por un motor de CC para suministrar el aceite *sólo* a los rodamientos “calientes” de la turbina durante el período de parada y enfriamiento. Esta bomba suministra el aceite directamente desde el tanque, a través de un filtro y una **válvula antirretorno a resorte PSV3**. La presión de salida de la bomba de emergencia está limitada por PSV4, que pasa el exceso de aceite al lado de aspiración de la bomba. Al suministro de aceite de esta bomba se le impide el paso al resto del sistema, mediante una válvula antirretorno OL3.

La temperatura del aceite suministrado a las turbinas no debe exceder 50°C, por eso el sistema está equipado con dos enfriadores de aceite en paralelo. Cada enfriador se puede parar sin que se tenga que parar la turbina. Los enfriadores están refrigerados por el sistema principal de agua de mar de la plataforma. El agua de mar se suministra a los enfriadores a una presión de 410 kPa (60 psi), por lo que la presión de aceite en los enfriadores se mantiene a 480 kPa (70 psi) mediante la válvula reguladora piloto PCV2 y un regulador de presión posterior PCV3 para asegurar que las fugas de aceite vayan al agua ante una fuga en alguna tubería de los enfriadores.

Los filtros de aceite dobles (de 8 mm) disponen de un medidor de presión diferencial PI4. Cada uno de ellos es capaz de filtrar el flujo completo por sí solo, y la conmutación se hace manualmente. Este filtro no dispone de un bypass.

La válvula de control de presión PCV1 aguas abajo de los enfriadores mantiene la presión del aceite de los rodamientos a 340 kPa (50 psi) haciendo que el exceso de aceite regrese al tanque. El sistema está equipado con dos interruptores automáticos por caída de presión PS1A y PS1B que desconectan la turbina si la presión del aceite disminuye por debajo de 240 kPa (35 psi) en el funcionamiento normal. Estos interruptores actúan independientemente el uno del otro, y normalmente están en posición cerrada.

El sistema también está equipado con dos presostatos automáticos por caída de presión independientes PS2A y PS2B y ambos deben cerrarse para transmitir una señal de

habilitación al sistema de control cuando la presión alcanza 170 kPa (25 psi) durante el ciclo de arranque.

El termostato TS1 envía una señal que hace sonar una alarma en la sala de control principal si la temperatura del aceite pasa de 65°C, y el TS2 envía una señal que detiene la turbina si la temperatura del aceite pasa de 71°C.

El sistema incluye indicadores de presión y temperatura local, como se muestra en el esquema.

El depósito de aceite contiene un calefactor que se activa si la temperatura de aceite del depósito disminuye por debajo de 10°C. El depósito también tiene un respiradero.

## 4 Tiempo de Parada y Disponibilidad de Repuestos

El tiempo de parada asociado con la mayoría de los modos de falla de este ejercicio está afectado en gran medida por el lugar donde se almacena el repuesto. Si el repuesto está en tierra, el tiempo requerido para traerlo a la plataforma (especialmente en el caso de algunas piezas de turbina) puede ser mucho mayor que el de la reparación.

Sin embargo, y debido a limitaciones de peso, existe una política en vigor de almacenaje de repuestos que exige que se almacene sólo el mínimo indispensable de repuestos en la plataforma, de modo que cuando esté haciendo este ejercicio, asuma que sólo es probable que se almacene un repuesto en la plataforma si es pequeño y de uso muy frecuente (a no ser que se diga lo contrario).

El tiempo de parada se incrementa de 4 a 24 horas si se tiene que traer un repuesto por aire (si las inclemencias del tiempo lo permiten), y de 24 horas a 4 días si el repuesto se tiene que traer por mar.

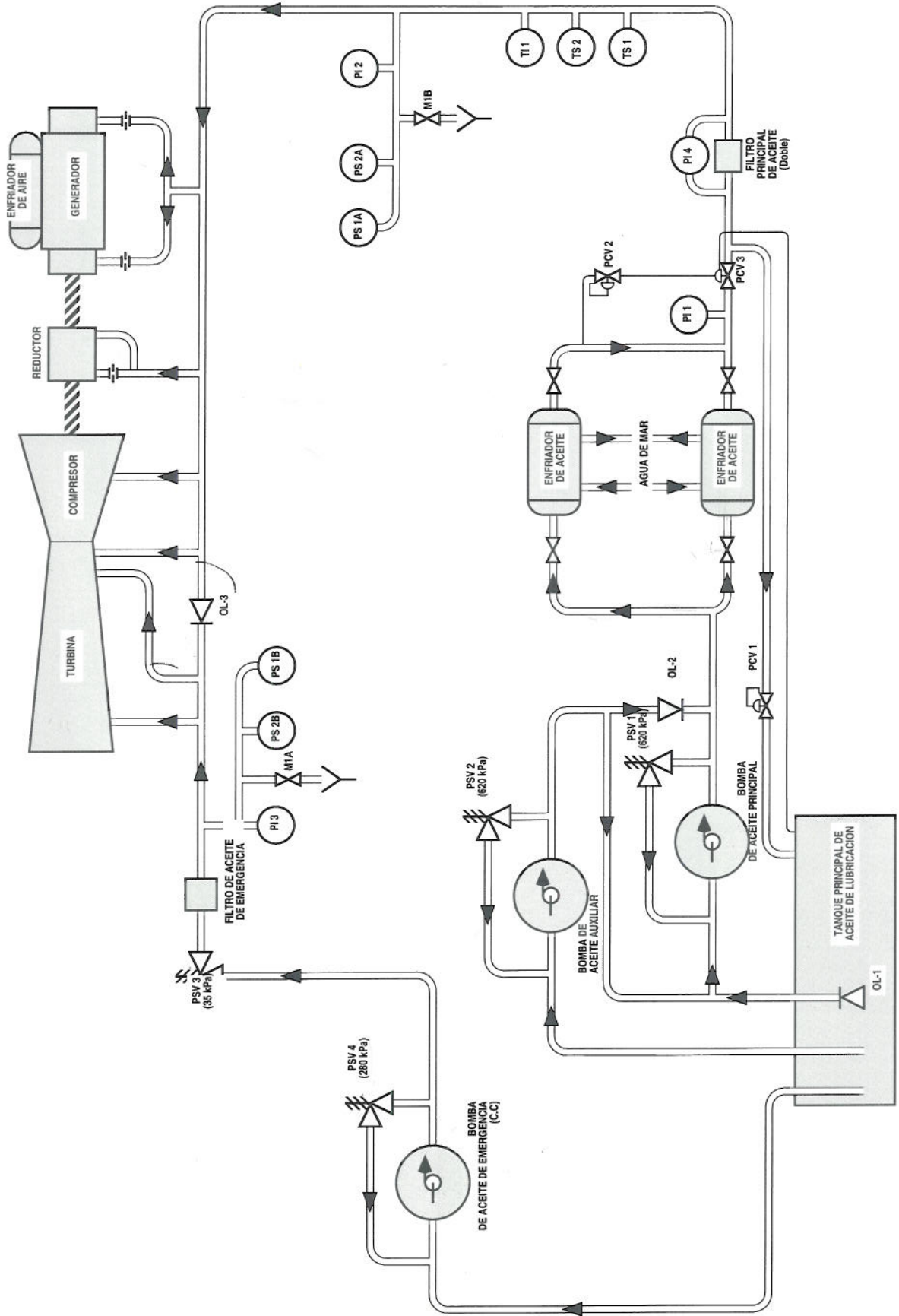
El peso máximo que normalmente puede traer en helicóptero es de 100 Kg, pero se puede aumentar a 200 Kg en emergencias. La experiencia del pasado indica que los helicópteros no han dejado de volar a la plataforma por más de cuatro días en un año cualquiera. Es muy raro que los helicópteros no puedan volar durante más de dos días consecutivos cuando existe una emergencia.

## 5 El Problema

Se le pide que utilice RCM para determinar los requerimientos de mantenimiento de este sistema. El ejercicio se llevará a cabo en los tres pasos siguientes:

- 1º Paso: determine las funciones del sistema
- 2º Paso: liste las fallas funcionales asociadas con cada función, y liste los modos de falla que probablemente causen cada falla funcional, junto con sus efectos.
- 3º y 4º Paso: utilice el Diagrama de Decisión RCM para seleccionar una política adecuada para tratar cada modo de falla.

Se le pide comenzar por el 1º Paso. Para comenzar necesitará decidir el nivel de análisis apropiado (en otras palabras, si es necesario subdividir el sistema, y en ese caso cómo). Luego, deberán listarse las funciones. Cuando lo haga, recuerde listar los parámetros de funcionamiento deseados desde el punto de vista del personal que utiliza/opera el sistema. Por favor intente también *cuantificar* tantos parámetros de funcionamiento como pueda.



## GRUPO TURBOGENERADOR DE 4 MW Sistema de Lubricación



## 1º Paso: Funciones del Sistema de Lubricación de la Turbina

- 1 Suministrar aceite a los rodamientos del Turbogenerador y caja reductora a una presión nominal de 50 psi (340 kPa)(mínimo 35 psi - 240 kPa)
- 2 Suministrar aceite a los rodamientos y caja reductora a un mínimo de 25 psi (170 kPa) durante la secuencia de arranque
- 3 Suministrar aceite a los rodamientos y caja reductora a una presión nominal de 50 psi (340 kPa) (mínimo 35 psi - 240 kPa) cuando se detiene la turbina y la temperatura de los gases de escape superan los 130°C
- 4 Ser capaz de suministrar aceite a los rodamientos calientes de la turbina ante una falla de energía de (CA) o si la bomba auxiliar falla durante la secuencia de parada
- 5 Enfriar al aceite de lubricación a 50°C (máximo 71°C) en presencia de un enfriador de reserva
- 6 Asegurar que el aceite suministrado a todos los componentes no esté contaminado
- 7 Ser capaz de transmitir una señal de parada si la presión baja de 35 psi (240 kPa) durante la operación normal
- 8 Cerrar un circuito de habilitación solamente si la presión de aceite alcanza 25 psi (170 kPa) durante el arranque
- 9 Ser capaz de transmitir una señal de alarma si la temperatura del aceite sobrepasa 65°C
- 10 Ser capaz de transmitir una señal de detención si la temperatura del aceite sobrepasa 71°C
- 11 Asegurar que la presión de aceite no caiga por debajo de 70 psi (480 kPa) en los enfriadores de aceite
- 12 Asegurar que la presión de aceite no exceda 90 psi (620 kPa)
- 13 Indicar la presión de aceite dentro del 5% de la presión de operación real
- 14 Indicar la temperatura de aceite dentro del 5% de la temperatura de operación real
- 15 Contener el aceite a una temperatura mínima de 10°C
- 16 Ser capaz de ventear el aire del tanque de aceite a la atmósfera
- 17 Evitar que las llamas retornen al tanque en caso de incendio



Grupo Turbogenerador de 500hp

Realizado por

Fecha

Hoja 1

COMPONENTE

Sistema de Lubricación

Revisado por

Fecha

de 8

FUNCION

1 Suministrar aceite a los rodamientos del Turbogenerador y caja reductora a una presión nominal de 50 psi (340 kPa)(mínimo 35 psi - 240 kPa)

FALLA FUNCIONAL

A La presión de aceite suministrada a los rodamientos y caja reductora baja de 35 psi (240 kPa)

MODO DE FALLA (Causa de la falla)

1 Engranajes de bomba principal desgastados

2 Pernos de acople de la bomba principal de aceite cortados

3 Válvula antirretorno OL2 trabada en posición abierta por objeto extraño

4 Filtro de aceite tapado

EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)

Al desgastarse los engranajes, la presión de salida de la bomba desciende. PCV2 cierra gradualmente PCV3 para mantener la presión en los enfriadores. Esto hace que la presión aguas abajo de PCV3 baje, y por lo tanto PCV1 comienza a cerrar la línea de retorno al tanque para mantener la presión en los rodamientos. Finalmente PCV1 cierra totalmente la línea de retorno, y así la presión indicada en PI2 y PI3 comienza a caer debajo de 50 psi (340 kPa), mientras que la presión en los enfriadores se mantiene en 70 psi (480 kPa). Si no se toma ninguna acción, la presión finalmente cae por debajo de 35psi (240kPa), cuando PS1A o B envía una señal de detención al sistema de control (ver función 7). Se enciende una luz de "baja presión de aceite de lubricación" en la sala de control. La bomba auxiliar se activa cuando la velocidad de la turbina cae por debajo de 1300 rpm y restituye la presión a 50 psi (340 kPa) hasta que la temperatura de gases de escape (TGE) baja de 130°C. El tiempo de parada para reemplazar la bomba de aceite es de 24 horas.

La presión de aceite baja en los enfriadores y entonces PCV2 cierra el suministro de aceite aguas abajo de PCV3. PS1A o B envía una señal de detención al sistema de control (ver función 7). Se enciende una luz de "baja presión de aceite de lubricación" en la sala de control. La bomba auxiliar se activa cuando la velocidad de la turbina cae por debajo de 1300 rpm y restituye la presión a 50 psi (340 kPa) hasta que la TGE baja de 130°C. El tiempo de parada para reemplazar los pernos es de alrededor de 30 horas. (Esta falla ocurrió varias veces 10 años atrás, pero los pernos se modificaron y no han fallado desde entonces.)

El aceite recircula por la bomba principal en lugar de ser bombeado aguas abajo. La presión de aceite baja en los enfriadores y entonces PCV2 cierra el suministro de aceite aguas abajo de PCV3. PS1A o B envía una señal de detención al sistema de control (ver función 7). Se enciende una luz de "baja presión de aceite de lubricación" en la sala de control. La bomba auxiliar ingresa cuando la velocidad de la turbina cae por debajo de 1300 rpm y restituye la presión a 50 psi (340 kPa) hasta que la TGE baja de 130°C. Tiempo de parada para reemplazar OL2: alrededor de 3 horas.

La presión diferencial a través del filtro aumenta, lo cual es acusado en el manómetro diferencial. La presión aguas abajo del filtro decae - indicado en PI2 y PI3 - hasta que alcanza 35 psi (240 kPa), donde PS1A o B envía una señal de detención al sistema de control (ver función 7). Se enciende una luz de "baja presión de aceite de lubricación" en la sala de control. La bomba auxiliar ingresa cuando la velocidad de la turbina cae por debajo de 1300 rpm y restituye la presión a 50 psi (340 kPa) hasta que la TGE baja de 130°C. Sin embargo, la bomba auxiliar también está aguas arriba del filtro tapado, por lo tanto tampoco puede entregar una presión superior a 35 psi (240 kPa). PS1B lo sensa y envía una señal a la bomba de emergencia para complementar el suministro de aceite a los rodamientos de la turbina. El técnico cambia al otro filtro y arranca la turbina nuevamente en alrededor de 15 minutos. El filtro tapado se reemplaza más tarde.



Grupo Turbogenerador de 500hp

ELEMENTO		Realizado por	Fecha	Hoja
COMPONENTE		Revisado por	Fecha	de
Sistema de Lubricación				3 8



FUNCION		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	
2	Suministrar aceite a los rodamientos y caja reductora a un mínimo de 25 psi (170 kPa) durante la secuencia de arranque	A	Incapaz de suministrar aceite a 25 psi (170 kPa) a los rodamientos y caja reductora durante la secuencia de arranque	1	Falla la bomba auxiliar de aceite
				2	Falla el suministro de energía CA
				3	Válvula reguladora piloto PCV2 regulada muy alto
				4	Tubería obstruida por objeto extraño
3	Suministrar aceite a los rodamientos y caja reductora a una presión nominal de 50 psi (340 kPa) (mínimo 35 psi - 240 kPa) cuando se detiene a turbina y la temperatura de los gases de escape superan los 130°C	A	No suministra nada de aceite durante la secuencia de detención	1	Fallan ambas bombas, la auxiliar y la de emergencia
				2	Falla junta de tuberías aguas abajo de OL3

La presión de aceite no se eleva de cero en el arranque, el sistema de control no recibe la señal de habilitación de PS2A y 2B. El sistema de control aborta el arranque antes de enviar una señal al sistema hidráulico impulsor, y enciende una luz de "baja presión de aceite" en la sala de control. Tiempo de parada para reemplazar la bomba auxiliar: 24 horas.

(Se analiza aparte el suministro de energía (CA))

El regulador de presión posterior (PCV3) restringe al flujo demasiado, y la presión aguas abajo de PCV3 no alcanza 25 psi (170 kPa). El sistema de control no recibe la señal de habilitación de PS2A y 2B. El sistema de control aborta el arranque antes de enviar una señal al sistema hidráulico impulsor. Tiempo de parada para diagnosticar la falla y regular PCV2: hasta 4 horas.

Esta falla se sabe que ha ocurrido sólo cuando se olvidó algo en el sistema de lubricación luego de mantenimiento. La presión no alcanza 25 psi (170 kPa) en el arranque, por lo que PS2A y 2B no envían las señales de habilitación al sistema de control y el arranque es abortado, ó la presión cae por debajo de 35 psi (240 kPa) inmediatamente luego del arranque y la turbina es detenida por PS1A o B si el objeto extraño sólo es arrastrado a la posición donde causa la obstrucción luego del arranque. Una luz de "baja presión de aceite" se enciende en la sala de control, y puede tomar hasta 8 horas localizar y remover la obstrucción.

No se suministra aceite a los rodamientos calientes mientras se va deteniendo, por lo tanto no se los enfría ni lubrica. Si no se agarran totalmente, los rodamientos se dañan seriamente. Esto requiere una reparación completa de la turbina que toma tres semanas. (Ver también la función 2 anterior y la 4 más adelante)

PS1B sensa una presión inferior a 35 psi (240 kPa) y entonces el sistema de control enciende la bomba de emergencia. Sin embargo, ésta tampoco puede entregar aceite a través de la tubería averiada, por lo tanto los rodamientos no son enfriados ni lubricados. Si no se agarran totalmente, los rodamientos se dañan seriamente. Esto requiere una reparación completa de la turbina que toma tres semanas. Estas juntas están en las cercanías de la turbina, lo que quiere decir que la bomba de emergencia bombea aceite sobre la turbina caliente que puede incendiarse. Las fallas repentinas en las juntas se consideran poco probables, y se piensa que la mayoría de tales fallas irán precedidas por pequeñas pérdidas. Estas juntas son accesibles fácilmente, por lo tanto el tiempo de parada necesario para repararlas es difícil que supere las 2 horas.

Grupo Turbogenerador de 500hp

Sistema de Lubricación

ELEMENTO		Realizado por		Fecha		Hoja 4	
COMPONENTE		Revisado por		Fecha		de 8	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	
3	Suministrar aceite a los rodamientos y caja reductora a una presión nominal de 50 psi (340 kPa)(mínimo 35 psi - 240 kPa) cuando se detiene a turbina y la temperatura de los gases de escape superan los 130°C (Continuación)	B	Suministra aceite a los rodamientos calientes sólo durante la secuencia de parada	1	Falla la bomba auxiliar	PS1B sena una presión inferior a 35 psi (240 kPa) y entonces el sistema de control enciende la bomba de emergencia que suministra aceite sólo a los rodamientos calientes. P13 indica presión positiva pero no P12. PS1A sena baja presión de aceite y enciende una luz de "baja presión de aceite" en la sala de control. Tiempo de parada para reemplazar el conjunto de la bomba auxiliar: hasta 24 horas.	
4	Ser capaz de suministrar aceite a los rodamientos calientes de la turbina ante una falla de energía de CA o si la bomba auxiliar falla durante la secuencia de parada.	A	Incapaz de suministrar aceite a los rodamientos calientes cuando se lo requiere	1	Falla suministro de energía CA	(Se analiza aparte el suministro de energía (CA)) Si la presión baja de 35 psi (240 kPa) durante la secuencia de parada, PS1B envía una señal al sistema de control para encender la bomba de emergencia. Si esta bomba no arranca, los rodamientos no son enfriados ni lubricados. Esto generalmente daña a los rodamientos lo suficiente como para necesitar cambiarlos, lo cual requiere una reparación de 3 semanas. Tiempo de parada para reemplazar la bomba de emergencia solamente: 24 horas.	
5	Enfriar el aceite de lubricación a 50°C (máximo 71°C) en presencia de un enfriador de reserva	A	No enfría el aceite en absoluto	2	Filtro de aceite de emergencia tapado	Si la presión baja de 35 psi (240 kPa) durante la secuencia de parada, PS1B envía una señal al sistema de control para encender la bomba de emergencia. Si el filtro está tapado, los rodamientos son lubricados y enfriados inadecuadamente. Esto daña a los rodamientos lo suficiente como para necesitar cambiarlos, lo cual requiere una reparación de 3 semanas. Toma 30 minutos cambiar el filtro.	
		B	Enfría en ausencia de un enfriador de reserva (el enfriador en servicio falla y el enfriador de reserva lo reemplaza)	3	OL3 falla abierta	Si la presión baja de 35 psi (240 kPa) durante la secuencia de parada, PS1B envía una señal al sistema de control para encender la bomba de emergencia. Si OL3 falla abierta, el aceite mas bién es bombeado al sistema primario de lubricación antes que a los rodamientos de la turbina, y los rodamientos son lubricados y enfriados inadecuadamente. Esto daña a los rodamientos lo suficiente como para necesitar cambiarlos, lo cual requiere una reparación de 3 semanas.	
				4	Falla suministro de energía CC	(Se analiza aparte el suministro de energía (CC)) La temperatura de aceite se eleva y la alarma de "temperatura de aceite alta" avisa en la sala de control a los 65°C, a esta altura los operadores cambian al enfriador de reserva. Este no funcionaría tampoco, y en este caso los operadores apagan la turbina manualmente ó el sistema de control lo hace automáticamente cuando la temperatura sube hasta 71°C. (Se analiza aparte sistema de enfriamiento de agua).	
				1	Falla sistema de enfriamiento de agua de mar	Fluye menos refrigerante por las tuberías, perjudicando la eficiencia del enfriamiento. La temperatura se eleva y la alarma de "temperatura de aceite alta" avisa en la sala de control a los 65°C, a esta altura los operadores cambian al enfriador de reserva sin apagar la turbina. Si los operadores no responden a la alarma, el sistema de control apaga la turbina automáticamente cuando la temperatura sube hasta 71°C. Tiempo para limpiar las tuberías: alrededor de 24 horas.	

Grupo Turbogenerador de 500hp

ELEMENTO		Realizado por	Fecha	Hoja
COMPONENTE		Revisado por	Fecha	de
Sistema de Lubricación				5
				8



FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	N° RCM06S	Realizado por	Fecha	Hoja	
COMPONENTE		Sistema de Lubricación		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	Ref	Revisado por	Fecha	de	
5	Enfriar el aceite de lubricación a 50°C (máximo 71°C) en presencia de un enfriador de reserva (Continuación)	B	Enfría en ausencia de un enfriador de reserva (el enfriador en servicio falla y el enfriador de reserva lo reemplaza)	2	Falla carcaza de enfriamiento por corrosión				
		C	Incapaz de enfriar el aceite si el enfriador en servicio falla (pérdida de capacidad de reserva mientras funciona el de servicio)	1	Falla carcaza de enfriador de reserva				
6	Asegurar que el aceite suministrado a todos los componentes no esté contaminado	A	Capaz de suministrar aceite, conteniendo partículas mayores a 8 micrones, a los rodamientos y caja reductora	1	Pérdida de tuerca mariposa de la malla del filtro				
		B	Aceite contaminado con agua de mar	1	Pérdida de un tubo del enfriador en el momento que la presión del agua de enfriamiento es mayor a la presión de aceite				
<b>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</b>									
<p>El agua de enfriamiento cae en cascada al vacío y se suspende el enfriamiento. Suena la alarma de "temperatura de aceite alta" a los 65°C y la turbina se detiene a los 71°C. Los operadores cierran el suministro de agua y cambian al otro enfriador, lo cual lleva 15 minutos. Tiempo para reemplazar el enfriador: 24 horas.</p> <p>La suciedad en la parte exterior de los tubos perjudica la transferencia de calor, reduciendo la eficiencia del enfriamiento. La alarma "temperatura de aceite alta" avisa en la sala de control a los 65°C, a esta altura los operadores cambian al enfriador de reserva sin apagar la turbina. Si los operadores no responden a la alarma, el sistema de control apaga la turbina automáticamente cuando la temperatura sube hasta 71°C. Tiempo para limpiar las tuberías y carcaza utilizando solvente: hasta 36 horas.</p> <p>La carcaza del de reserva es probable que sufra sólo los modos de falla 5-B-1 o 5-B-3 anteriores. A su vez esto sólo importa si la carcaza del que está en servicio falla, y en tal caso la turbina es detenida hasta que se repara una de las dos carcazas. Esto puede llevar hasta 36 horas.</p> <p>Si los vástagos de las válvulas no son engrasados, se corroen y finalmente se agarran. Esto hace imposible cambiar de un enfriador a otro, haciendo que la turbina deba ser detenida hasta que las válvulas sean destrabadas o cambiadas, lo cual lleva alrededor de tres horas.</p> <p>El filtro es salteado y la presión diferencial cae a cero (indicándolo en el manómetro diferencial). Las partículas mayores a 8 mm pueden pasar el filtro, lo cual puede acelerar el desgaste de los rodamientos y caja reductora. Hay un filtro de reserva por lo tanto se puede ajustar la tuerca sin detener la turbina.</p> <p>La malla del filtro está diseñada para soportar presiones de hasta 140 psi (970 kPa), y las válvulas de alivio de la bomba se abren a 90 psi (620 kPa). Esto significa que es probable que las mallas se rompan sólo si son dañadas antes de la instalación. (Esto ha ocurrido en el pasado). La única evidencia externa del filtro roto sería una caída brusca de la presión diferencial a cero. Hay un filtro de reserva por lo tanto se puede montar una nueva malla sin detener la turbina.</p> <p>Esta falla funcional sólo puede suceder si hay una pérdida de un tubo (ver también modo de falla 15-A-2) cuando la presión de aceite en los enfriadores cae por debajo de la presión del agua de enfriamiento (ver función 1) o si la presión del agua de enfriamiento sobrepasa la presión de aceite en los enfriadores (se analiza aparte el sistema de enfriamiento de agua). Si esto ocurre, el agua se introduce en el aceite y el nivel de aceite en el tanque de aceite comenzará a elevarse rápidamente. El agua en el aceite interfiere en las propiedades de lubricación del aceite, dañando finalmente los rodamientos de la turbina. El 10% de los tubos pueden obtenerse sin afectar el funcionamiento de los enfriadores. La desobstrucción lleva alrededor de 24 horas.</p>									

**Grupo Turbogenerador de 500hp**

**Sistema de Lubricación**

N° **RCM06S**

Ref **3ª Edición**

Realizado  
por

Revisado  
por

Fecha

Fecha

Hoja

de

6

8

ELEMENTO		COMONENTE		EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)		
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	N°	Realizado por	Fecha	
				Revisado por	Fecha	
7	Ser capaz de transmitir una señal de parada si la presión baja de 35 psi (240 kPa) durante la operación normal	A Incapaz de transmitir una señal de parada si cae la presión de aceite	1	Ambos presostatos PS1A y 1B incapaces de enviar una señal al bajar de 35 psi (240 kPa) (fallan cerrados o mal ajustados)		Si la presión baja de 35 psi (240 kPa) sin apagar la turbina, el bajo suministro de aceite puede causar una avería mayor de los rodamientos y caja reductora, que a su vez necesitará una reparación de 3 semanas. Tiempo de parada para reemplazar los presostatos: alrededor de 3 horas.
8	Cerrar un circuito de habilitación solamente si la presión de aceite alcanza 25 psi (170 kPa) durante el arranque	A Capaz de transmitir una señal de habilitación cuando la presión de aceite es menor de 25 psi (170 kPa) en el arranque	1	Ambos presostatos PS2A y 2B fallan cerrados o mal ajustados		Si la presión no alcanza 25 psi (170 kPa) antes de que la turbina comience a girar y se le permite continuar la secuencia de arranque, la turbina gira varios centenares de vueltas con muy poco o casi nada de aceite, causando serios daños a los rodamientos y caja reductora. Tiempo de parada para reemplazar estos presostatos: alrededor de 3 horas.
9	Ser capaz de transmitir una señal de alarma si la temperatura del aceite sobrepasa 65°C	A Incapaz de transmitir una señal si la temperatura del aceite sobrepasa 65°C	1	Termostato TS1 ajustado muy alto		La temperatura del aceite normalmente es de 50°C. Si excede los 65°C sin aviso (ver función 5 anterior), TS2 enviará una señal de parada al sistema de control cuando la temperatura alcanza 71°C. La temperatura es indicada por T11 en el tablero de control local. Tiempo de parada para ajustar el termostato: alrededor de 3 horas.
10	Ser capaz de transmitir una señal de detención si la temperatura del aceite sobrepasa 71°C	A Incapaz de transmitir una señal de parada si la temperatura de aceite sobrepasa 71°C	1	Termostato TS2 ajustado muy alto		La temperatura del aceite normalmente es de 50°C. Si excede los 65°C, TS1 da aviso (ver función 5 anterior), y los operadores toman acción para corregir la falla. Si TS1 está fallado o ignorado y TS2 falla, la temperatura se eleva hasta que los sensores de temperatura de los rodamientos apagan la turbina. La temperatura es indicada por T11 en tablero de control local. Tiempo para ajustar el termostato: 3 horas.
11	Asegurar que la presión de aceite no caiga por debajo de 70 psi (480 kPa) en los enfriadores de aceite	A La presión de aceite cae por debajo de 70 psi (480 kPa) en los enfriadores	1	Falla el sistema de presión posterior (PCV2 y PCV3) en los enfriadores de aceite de modo que PCV3 se abre totalmente		La presión de aceite cae por debajo de la presión del agua de enfriamiento (60 psi - 410 kPa), y si un tubo de enfriamiento está pinchado, el agua (de mar) puede introducirse en el aceite. (La presión de los enfriadores se ve en P11). Si esto ocurre, el nivel de aceite en el tanque de aceite comenzará a elevarse rápidamente. El agua en el aceite interfiere en las propiedades de lubricación del aceite, dañando finalmente los rodamientos de la turbina. Tiempo de parada para reparar este sistema de regulación de presión: de 3 a 5 horas.
12	Asegurar que la presión de aceite no exceda 90 psi (620 kPa)	A La presión de aceite excede 90 psi (620 kPa) mientras la turbina opera sobre 1300 rpm	1	Falla válvula de alivio de la bomba de aceite principal en posición cerrada		El sistema de lubricación aguas abajo de la bomba de aceite es expuesto a la presión total generada por los impulsores de la bomba. PCV3 y PCV1 se abren totalmente para tratar de cooperar, pero la presión igualmente se eleva bastante más allá de 90 psi (620 kPa). La presión excesiva forzará demasiado aceite a través de los sellos de los rodamientos de la turbina, afectando a los álabes. La alta presión finalmente puede causar la falla en algún punto débil de las tuberías, aunque se piensa que esto sólo ocurriría luego de dos o tres días. La alta presión puede verse en los manómetros P11, P12 y P13. La válvula está situada dentro de la bomba, por lo tanto se debe cambiar la bomba completa - tiempo de parada 24 horas.

**Grupo Turbogenerador de 500hp**

<b>ELEMENTO</b>	<b>N°</b>	<b>RCM06S</b>	<b>Realizado por</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hoja</b>
<b>COMPONENTE</b>	<b>Ref</b>	<b>3ª Edición</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Fecha</b>	<b>de</b>
<b>Sistema de Lubricación</b>					<b>7</b> <b>8</b>



FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	
12	Asegurar que la presión de aceite no exceda 90 psi (620 kPa) (Continuación)	B	La presión de aceite excede 90 psi (620 kPa) mientras la turbina opera debajo de 1300 rpm	1	Falla válvula de alivio de la bomba auxiliar en posición cerrada	Realizado por	El sistema de lubricación aguas abajo de la bomba de aceite es expuesto a la presión total generada por los impulsores de la bomba. PCV3 y PCV1 se abren totalmente para tratar de cooperar, pero la presión igualmente se eleva bastante más allá de 90 psi (620 kPa). Esta situación sólo dura mientras la bomba auxiliar trabaja durante la secuencia de arranque (3 minutos) y la de parada (15 minutos), por lo tanto solo es probable que debilite el sistema sin romper necesariamente nada. La válvula está situada dentro de la bomba, por lo tanto se debe cambiar la bomba completa - tiempo de parada 24 horas.
13	Indicar la presión de aceite dentro del 5% de la presión real	A	No indica la presión dentro del 5% de la presión de operación real	1	Deriva de los indicadores respecto a la posición correcta	Revisado por	Los operadores reciben información errónea y por lo tanto pueden tomar acción (o no tomarla) basados en ésta. En el caso de baja presión, el sistema también está protegido por presostatos que detienen la turbina. Estos manómetros pueden reemplazarse en 30 minutos sin detener la turbina. (Ambos manómetros, P12 y P13 están midiendo la presión del aceite suministrado a los rodamientos.)
14	Indicar la temperatura de aceite dentro del 5% de la temperatura de operación real	A	No indica la temperatura dentro del 5% de la presión de operación real	1	Deriva de los indicadores respecto a la posición correcta		Los operadores reciben información errónea y por lo tanto pueden tomar acción (o no tomarla) basados en esta. En el caso de alta temperatura, el sistema está protegido por una alarma y termostato que detienen la turbina. Estos indicadores pueden reemplazarse en 30 minutos sin detener la turbina.
15	Contener el aceite a una temperatura mínima de 10°C	A	No contiene el aceite	1	Pérdidas por soldaduras del tanque de aceite por corrosión		El aceite se derrama al vano bajo la sala de turbinas y finalmente se escurre a un depósito secundario bajo la plataforma. Si el tanque se vacía completamente las bombas de aceite funcionan en vacío y PS1A o B detienen la turbina. Tampoco habrá aceite para la bomba de emergencia, por lo tanto los rodamientos y la caja reductora no serán lubricados ni enfriados durante la secuencia de parada, causando serios daños a los rodamientos y caja reductora. Sin embargo, es muy probable que se note una pérdida de aceite del tanque antes de que se vacíe. Son necesarios 4 días de parada para tomar las medidas de seguridad sobre el tanque y reparar la pérdida.
				2	Falla tubo enfriador de aceite		La presión de aceite es superior a la presión de agua, por lo tanto el aceite se introduce en el agua de mar y por consiguiente al mar. El nivel del tanque de aceite baja más rápido que de costumbre. (Se llevó a cabo una evaluación sobre el medio ambiente estipulando que no pueden derramarse más de 20 litros de aceite por mes de cualquier enfriador de aceite al agua de enfriamiento. El sistema de lubricación de la turbina consume normalmente 40 litros de aceite por mes.) El 10% de los tubos pueden obstruirse sin afectar el funcionamiento de los enfriadores. La desobstrucción lleva alrededor de 24 horas limpiarlo.
				3	Ver modos de falla 1-A-5 y 3-A-2 anteriores		

**ELEMENTO**  
**Grupo Turbogenerador de 500hp**

**COMPONENTE**  
**Sistema de Lubricación**

N° **RCM06S**

Ref **3ª Edición**

Realizado por

Fecha

Hoja **8**

Revisado por

Fecha

de **8**

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	
15	Contener el aceite a una temperatura mínima de 10°C (Continuación)	B	Temperatura de aceite capaz de bajar más de 10°C	1	Falla del calefactor sumergido		Si la temperatura ambiente baja de 10°C, la viscosidad del aceite es tan alta que la caída de presión a través del filtro no permite alcanzar los 25 psi aguas abajo del filtro durante la secuencia de arranque. PS2A y 2B no cierran, la señal de habilitación para el arranque no es transmitida, y el sistema de control aborta la secuencia de arranque. Una luz de "temperatura de aceite baja" se enciende en la sala de control, y puede verse la temperatura baja en T11. Lleva 24 horas reemplazar el calentador sumergido. (La temperatura ambiente no baja de 10°C en la sala de turbinas a menos que la calefacción se apague en invierno, lo cual ocurre sólo si la plataforma se para totalmente.)
16	Ser capaz de ventear el aire del tanque de aceite a la atmósfera	A	Incapaz de ventear el aire del tanque de aceite a la atmósfera	1	Venteeo del tanque de aceite bloqueado por material extraño		El tanque debe estar a presión atmosférica para permitir que pequeñas cantidades de aire fluyan hacia afuera a través de los sellos de la turbina y del compresor, asegurando que el aceite no fluya dentro de la turbina. Si el venteeo está tapado, el flujo hacia afuera se detiene y el aceite entra al compresor de la turbina, afectando a los álabes y finalmente reduciendo la eficiencia de la turbina. Tiempo de parada para limpiar el venteeo: alrededor de 2 horas.
17	Evitar que las llamas retornen al tanque en caso de incendio	A	Incapaz de evitar que retornen las llamas al tanque	1	Arrestallama corroida o perdida		Un incendio en la sala de turbinas puede inflamarse al aceite lubricante empeorando mucho más la situación. Tiempo para cambiar la malla antillama: 1 hora.



## 3º Paso: Sistema de Lubricación de la Turbina Aplicación del Diagrama de Decisión RCM2

En esta parte del ejercicio se le pide que aplique la lógica de decisión de RCM2 a algunos de los modos de falla del sistema de lubricación de la turbina. Los modos de falla que se le pide analizar en este punto son aquellos asociados con las funciones 1, 2, 3, 5 (sólo la falla funcional B), 15 (sólo la falla funcional A) y 16 de las Hojas de Trabajo de Información que se repartió anteriormente.



HOJA DE DECISION  
RCM II

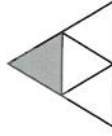
© 1999 ALADON LLC

ELEMENTO  
Grupo Turbogenerador de 5000 hp

N° RCM06S

Fecha

Hoja 1



COMPONENTE  
Sistema de Lubricación

Ref.

Realizado por

Fecha

de

2

Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
	F	H	S	H1	H2	H3	H4				H5
1	A	1	S	N	N	S			Registrar la presión de aceite de P12 y P13 y dar aviso si es inferior a 40 psi (210 kPa)	trimestral	Operador
1	A	2	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
1	A	3	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
1	A	4	S	N	N	S			Registrar la presión diferencial y dar aviso si es mayor a 10 psi (70 kPa)	semanal	Operador
1	A	5	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
1	A	6	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
1	B	1	S	N	N	S			Revisar calibre de los orificios de lubricación de los rodamientos del generador	c/5 años	Téc. Mecánico
1	C	1	S	N	N	S			Registrar la presión de P12 y P13 y dar aviso si es inferior a 55 psi (380 kPa)	Mensual	Operador
2	A	1	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
2	A	2	S	N	N	N			(Se analiza aparte el suministro de energía CA)		
2	A	3	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
2	A	4	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
3	A	1	S	N	N	N			Ver Función 4 más adelante		
3	A	2	S	S	N	S			Revisar si hay pérdidas por las juntas entre OL3 y la turbina	semanal	Téc. Mecánico
3	B	1	S	N	N	N			Ningún mantenimiento programado		
3	B	2	S	N	N	N			(Se analiza aparte el suministro de energía CA)		
4	A	1	N	N	N	N		S	Detener la turbina y cambiar a la bomba auxiliar manualmente cuando la temperatura de los gases de escape bajen a 150°C. Verificar que la bomba de emergencia entregue 35 psi en P13. (si no lo hace en 15 segundos, arrancar de nuevo la bomba auxiliar inmediatamente)	anual	Téc. Eléctrico
4	A	2	N	N	N	N		S	Como para 4-A-1	c/2 años	Téc. Eléctrico
4	A	3	N	N	N	N		S	Como para 4-A-1, y verificar si la bomba de emergencia por si sola entrega cero psi en P12 / c	10 años	Téc. Eléctrico
4	A	4	S	N	N	N			(Se analiza aparte el suministro de energía CC)		
5	A	1	S	N	N	S			(Se analiza aparte el sistema de enfriamiento de agua de mar)		
5	B	1	S	N	N	S			Registrar la temperatura del aceite y dar aviso si supera los 55°C	trimestral	Operador
5	B	2	S	N	N	S			Inspeccionar si hay corrosión por dentro de las carcazas de los enfriadores de agua	c/3 años	Inspector de Aseguramiento de Calidad
5	B	3	S	N	N	S			Registrar la temperatura del aceite y dar aviso si supera los 55°C	trimestral	Operador
5	C	1	N	N	N	S		S	Cambiar al enfriador de reserva por 1 hora y avisar si la temperatura de aceite supera los 50°C	semestral	Operador
5	C	2	N	N	N	S		S	Engrosar los vástagos de las válvulas de la carcaza del enfriador y maniobrarlas	c/2 años	Téc. Mecánico
6	A	1	N	N	N	S		S	Registrar la presión diferencial del filtro principal de aceite y dar aviso si es cero	Mensual	Operador
6	A	2	N	N	N	S		S	Registrar la presión diferencial del filtro principal de aceite y dar aviso si es cero	c/10 años	Operador
6	B	1							(Ver modo de falla 15-A-2 y la función 11)		

**HOJA DE DECISION  
RCM II**

**ELEMENTO  
Grupo Turbogenerador de 5000 hp**

N°	RCM06S	Realizado por	Fecha	Hoja
Ref.		Revisado por	Fecha	de

© 1999 ALADON LLC

**COMPONENTE  
Sistema de Lubricación**

Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial	A realizar por				
	F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2			H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4
7	A	1	N	N	N	N	N	N	N	N	S			c/2 años	Téc. Instrum.
8	A	1	N	N	N	N	N	N	N	N	S			c/4 años	Téc. Instrum.
9	A	1	N	N	N	N	N	S	S	N	S			c/4 años	Téc. Instrum.
10	A	1	N	N	N	N	N	S	S	N	S			c/2 años	Téc. Instrum.
11	A	1	N	N	N	N	N	S	S	N	S			trimestral	Operator
12	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N				
12	B	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N				
13	A	1	N	N	N	N	N	N	N	N	S			bianual	Téc. Instrum.
14	A	1	N	N	N	N	N	N	N	N	S			c/3 años	Téc. Instrum.
15	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	S			c/2 años	Téc. Instrum.
15	A	2	S	N	N	N	S	S	S	N	S			Mensual	Operator
15	B	1	N	N	N	N	S	N	N	S	S			c/10 años	Téc. Eléctrico
16	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	S			c/3 años	Téc. Mecánico
17	A	1	N	N	N	N	N	N	N	N	S			c/2 años	Téc. Mecánico

Los presostatos en este sistema son dispositivos conectados a alarmas que monitorean la presión de aceite e inician una acción (apagar la turbina y encender la bomba auxiliar) en respuesta a la baja presión. La baja presión es una condición física claramente identificable (en otras palabras, una falla potencial) que precede a la falla funcional de falta de presión, y si la turbina no es detenida cuando cae la presión, las consecuencias de la falta de presión son el daño de los rodamientos y varias semanas de parada. Esto significa que los presostatos pueden verse como dispositivos de "mantenimiento" desempeñando tareas a condición ("monitorear la presión de aceite") a intervalos ("continuamente") menores a P-F ("pocos minutos"). Si uno toma el punto de vista que uno debe olvidarse de todo el "mantenimiento" existente cuando hace un análisis RCM, entonces hablando estrictamente, uno debe asumir al comienzo del análisis que los presostatos no están. Si uno toma un punto de vista más allá, que el propósito principal de mantenimiento es evitar las consecuencias de las fallas, entonces la aplicación estricta de la lógica RCM (pregunta C1) de allí en adelante nos lleva a la conclusión de que los presostatos son verdaderamente necesarios, en otras palabras, que el "mantenimiento" existente es válido. RCM puede usarse en este sentido para validar la existencia de una gran cantidad de sistemas de aviso y detención.

1	A	3	S	N	N	N	S	S	S	N	S					PS1A y PS1B
1	A	5	S	N	N	N	S	S	S	N	S					PS1A y PS1B
1	A	6	S	N	N	N	S	S	S	N	S					PS1A y PS1B
3	B	1	S	N	N	N	S	S	S	N	S					PS1B

Monitorar la presión de aceite y apagar la turbina si cae por debajo de 35 psi (240 kPa)  
 Monitorar la presión de aceite y apagar la turbina si cae por debajo de 35 psi (240 kPa)  
 Monitorar la presión de aceite y apagar la turbina si cae por debajo de 35 psi (240 kPa)  
 Monitorar la presión de aceite cuando la turbina gire a menos de 1300 rpm y encender la bomba de emergencia si cae debajo de 35 psi (240 kPa)

Continuamente  
 Continuamente  
 Continuamente  
 Continuamente

## 4° Paso: Sistema de Lubricación de la Turbina Sistemas Redundantes y Protecciones

En esta parte del ejercicio, se le pide que aplique la lógica RCM2 a algunos modos de falla más del sistema de lubricación de la turbina. Los modos de falla en cuestión están listados a continuación, y están tomados de las Hojas de Información que se repartió anteriormente. Se llevó a cabo una evaluación probabilística de riesgos en este sistema que arrojó los niveles deseados de disponibilidad mostrados para cada modo de falla. También se conoce el tiempo medio entre la ocurrencia de cada falla (TMEF). Asuma, para el propósito de este ejercicio, que todos los modos de falla se ajustan a un patrón de falla aleatorio (Patrón E) a menos que se indique lo contrario.

Por favor note que casi todos los modos de falla listados abajo están relacionados de alguna forma a dispositivos de protección, no necesariamente son todas funciones ocultas, y en algunos casos, será más apropiado hacer una tarea de rutina antes que una búsqueda de fallas. *Por favor note también que todos los valores dados a continuación sólo están con el propósito de ilustración, y no deben ser utilizados en ninguna aplicación real de RCM2.*

Número de Modo de Falla	Disponibilidad Deseada	TMEF
4 - A - 1	99%	50 años
4 - A - 2	99%	100 años
4 - A - 3	99%	500 años
5 - C - 1	98%	12 años
5 - C - 2	98%	4 años
6 - A - 1	99%	4 años
6 - A - 2	99%	500 años
7 - A - 1	99% (cada presostato)	100 años
8 - A - 1	99% (cada presostato)	200 años
9 - A - 1	95%	40 años
10 - A - 1	97,5%	40 años
11 - A - 1	99,5%	25 años
13 - A - 1	95% (cada manómetro)	20 años
14 - A - 1	95%	30 años
15 - B - 1	95%	100 años
17 - A - 1	99%	100 años

