

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM COMO FILOSOFÍA DE
MANTENIMIENTO PARA LA ESTACION TURBOCOMPRESORA DE GAS
NATURAL PALOMINO

ORLANDO ENRIQUE FERRANS TEPEDINO
CARLOS MIGUEL SALAS FERNANDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2010

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM COMO FILOSOFÍA DE
MANTENIMIENTO PARA LA ESTACION TURBOCOMPRESORA DE GAS
NATURAL PALOMINO

ORLANDO ENRIQUE FERRANS TEPEDINO
CARLOS MIGUEL SALAS FERNANDEZ

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

Director: JOHN JAIRO TORRES RAMIREZ
Ingeniero Mecánico
Especialista en Gerencia de Mantenimiento
MBA Executive

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2010

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

PROMIGAS S.A. E.S.P., quien hizo posible la realización de esta especialización y en particular al ingeniero Carlos Moreno Aguas, Gerente de Mantenimiento, por su apoyo incondicional en la terminación de esta especialización.

A los ingenieros John Jairo Torres, Coordinador de Mantenimiento de Estaciones Compresoras de PROMIGAS S.A. E.S.P., y Fernando Schettini, Profesional de Mantenimiento de Estaciones Compresoras, quienes con su dirección y aportes hicieron posible desarrollar este proyecto.

A nuestros padres y hermanos quienes por su constante apoyo y dedicación para poder culminar esta meta.

CONTENIDO	pág.
INTRODUCCION	21
1. MARCO CONCEPTUAL	23
1.1. PROMIGAS SA. E.S.P.	23
1.2. POLÍTICA CORPORATIVA DE PROMIGAS S.A E.S.P	24
1.3. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	27
1.3.1. Filosofía de mantenimiento	28
1.3.2. Planes de mantenimiento	28
1.3.3. Programación y planeación del mantenimiento	31
1.3.3.1. Sistema computarizado de mantenimiento	33
1.3.3.2. Sistema de órdenes de trabajo	34
1.3.3.3. Historia de mantenimiento	39
1.3.3.4. Actividades adicionales	39
1.3.4. Indicadores de gestión.	40
1.4. ESTACION COMPRESORA PALOMINO	41
1.4.1. Ubicación geográfica	41
1.4.2. Condiciones medioambientales	42
1.4.3. Límites de la estación	42
1.4.4. Operación general de la estación	43
1.4.4.1. Personal de operación y mantenimiento de la estación	44
1.4.4.2. Tiempos de parada	44

1.4.5. Diagrama de bloques de estaciones y sistemas	45
2. MARCO TEORICO	47
2.1. Historia del RCM	47
2.2. Evolución del RCM	50
2.2.1. Primera generación	50
2.2.2. Segunda generación	51
2.2.3. Tercera generación	52
2.2.3.1. Nuevas expectativas	52
2.2.3.2. Nuevas investigaciones	53
2.2.3.3. Nuevas técnicas	53
2.3. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM	54
2.3.1. Definiciones del equipo o del sistema	56
2.3.2. Funciones y parámetros de funcionamiento	56
2.3.2.1. El contexto operacional	56
2.3.2.2. Funciones primaria	57
2.3.2.3. Funciones secundaria	57
2.3.2.4. Registro de las funciones en la hoja de información del RCM	57
2.3.3. Fallas funcionales	58
2.3.4. Modos de falla	60
2.3.4.1. Registro de las de modos de falla en la hoja de información del RCM	61
2.3.4.2. Por que analizar los modos de fallas	62
2.3.4.3. ¿Cuánto detalle de los modos de falla?	62

2.3.5. Efectos de falla	63
2.3.5.1. Evidencia de falla	64
2.3.5.2. Riesgo para la seguridad y el medio ambiente	65
2.3.5.3. Daños secundarios y efectos en la producción	66
2.3.5.4. Acciones correctivas	67
2.3.5.5. Registro de los efectos de falla en la hoja de informe del RCM	67
2.3.6. Consecuencias de falla	68
2.3.6.1. Consecuencia de falla oculta.	68
2.3.6.2. Consecuencias ambientales y para la seguridad	70
2.3.6.3. Consecuencias operacionales	71
2.3.6.4. Consecuencias no-operacionales	71
2.3.7. Diagrama de decisiones de RCM	72
2.3.7.1. Integración de consecuencias y tareas	72
2.3.7.2. El proceso de decisión de RCM	72
2.3.7.3. Consecuencia de falla	74
2.3.7.4. Tareas proactivas	76
2.3.7.5. Las preguntas “a Falta de”	78
2.3.7.6. Tarea propuesta	78
2.3.7.7. Intervalo inicial	79
2.3.7.8. “Puede ser realizado por”	80
3. CONTEXTO OPERACIONAL TURBOCOMPRESOR	82
3.1. Turbina de gas	83
3.1.1.1. Compresor axial y sistema antisurge en la turbina	84

3.1.1.2. Alabes variables	88
3.1.1.3. Válvula de purga de aire	90
3.1.1.4. Drive de accionamiento de accesorios	91
3.1.1.5. Cámara de combustión	92
3.1.1.6. Turbina productora de gas	94
3.1.1.7. Turbina de potencia	101
3.2. SISTEMA DE ARRANQUE	104
3.3. SISTEMA DE LUBRICACIÓN	108
3.3.1. Tanque de aceite lubricante	108
3.3.2. Circuito de la bomba de respaldo (BP903)	111
3.3.3. Circuito de la bomba de pre/poslubricación (P902)	113
3.3.4. Circuito de la bomba principal (P901)	117
3.3.5. Filtración de aceite	120
3.3.6. Lubricación de los componentes	121
3.4. SISTEMA DE COMBUSTIBLE	123
3.4.1. Secuencia de encendido de la turbina	131
3.4.2. Secuencia de aceleración de la turbina	132
3.5. SISTEMA DE SELLO SECO	134
3.5.1. Aire de sello	134
3.5.2. Gas de sello	136
3.5.3. Fuga primaria de los sellos	139
3.5.4. Fugas secundarias de los sellos	140

3.6. COMPRESOR DE PROCESO	141
3.6.1. Control de bombeo del compresor de proceso	145
3.6.2. Transductor electro-neumático	148
3.6.3. Regulador de presión	148
3.6.4. Válvula solenoide	149
3.6.5. Válvula de descarga rápida	149
3.6.6. Transmisor de posición	150
3.6.7. Actuador de la válvula de control de recirculación	150
3.6.8. Cuerpo de la válvula de control de recirculación	150
3.6.9. Transmisor de presión de succión	150
3.6.10. Transmisores de presión de succión y de descarga del compresor	151
3.6.11. Indicadores y protecciones del compresor de proceso.	151
3.7. CABINA Y EQUIPO AUXILIAR	154
3.7.1. Cabina	155
3.7.1.1. Equipo eléctrico e iluminación	155
3.7.1.2. Paneles y puertas de la cabina	156
3.7.1.3. Junta de expansión	156
3.7.1.4. Silenciador del escape	156
3.7.1.5. Silenciadores de entrada de aire y del escape de la ventilación	156
3.7.1.6. RTD de alarma de alta temperatura	156
3.7.1.7. Riel de grúa	157
3.7.1.8. Patín del equipo auxiliar	157
3.7.1.9. Tiro de chimenea del escape con protección contra la lluvia	157

3.7.2. Ventilador	157
3.7.2.1. Persianas de ventilación	158
3.7.3. Sistema de detección de fuego	158
3.7.3.1. Detectores de llamas UV	159
3.7.3.2. Detectores de calor	160
3.7.3.3. Controlador del sistema de detección de fuego	160
3.7.4. Sistema de supresión de incendios	161
3.7.5. Sistema de detección de gas	162
4. ANALISIS DE RCM PARA LA ESTACION COMPRESORA PALOMINO	165
4.1. HOJA DE INFORMACIÓN	165
4.2. HOJA DE DECISIÓN	167
4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	170
4.4. SEGUIMIENTO, MEDICION Y ANALISIS DE RCM	171
5. DIAGNOSTICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	173
6. CONCLUSIONES	178
BIBLIOGRAFIA	180

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Transporte de gas natural por sectores en MPCD	23
Tabla 2. Hoja de información del sistema de arranque	166
Tabla 3. Hoja de decisión del sistema de arranque de la turbina	168
Tabla 4. Tareas por frecuencia del plan propuesto por RCM	170
Tabla 5. Tipos de tareas de acuerdo a la filosofía de Promigas	173
Tabla 6. Tipos de tareas de acuerdo a RCM	174
Tabla 7. Total de tipo de tareas por plan de mantenimiento	176

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Planes de mantenimiento de Promigas S.A. E.S.P.	30
Figura 2. Organigrama de la gerencia de mantenimiento	32
Figura 3. Ciclo de orden de trabajo preventivo	36
Figura 4. Ciclo orden de trabajo correctivo	36
Figura 5. Ubicación geográfica de la estación compresora Palomino	42
Figura 6. Sistemas de la estación turbocompresora Palomino	46
Figura 7. Expectativas de mantenimiento creciente	52
Figura 8. Cambio en los puntos de vistas sobre las fallas de los equipos	53
Figura 9. Evolución de las técnicas de mantenimiento	54
Figura 10. Diagrama del proceso de RCM	55
Figura 11. Registro de funciones en la hoja de información de RCM	58
Figura 12. Registro de fallas funcionales en la hoja de información de RCM	60

Figura 13. Registro de modos de falla en la hoja de información de RCM	61
Figura 14. Tiempo de parada de máquina vs. tiempo de reparación	67
Figura 15.Registro de los efectos de fallas en la hoja de información RCM	68
Figura 16. Hoja de decisiones de RCM	72
Figura 17. Correlación de referencias entre la hoja de información y la hoja de decisión	73
Figura 18. Registros de las consecuencias de falla en la hoja de decisión	75
Figura 19. Consecuencia de falla	76
Figura 20. Criterio de factibilidad técnica	77
Figura 21. Preguntas “a falta de”	78
Figura 22. Registro en la hojas de decisiones de “a realizar por”	80
Figura 23. Turbocompresores estación compresoras Palomino	82
Figura 24. Sistemas de la estación turbocompresora Palomino	83
Figura 25. Turbina productora de gas	84
Figura 26. Vista compresor axial	86
Figura 27. Alabes variables	88

Figura 28. Actuador alabes variables	89
Figura 29. Válvula de purga	90
Figura 30. Drive de accionamiento de accesorios	91
Figura 31. Cámara de combustión	92
Figura 32. Escape	94
Figura 33. Turbina productora de gas	95
Figura 34. Turbina de potencia	101
Figura 35. Diagrama del sistema de arranque	105
Figura 36. Motores de arranque gemelos	106
Figura 37. Corte de un compresor centrifugo	142
Figura 38. Corte transversal de un compresor centrifugo	142
Figura 39. Componentes internos del compresor centrífugo	143
Figura 40. Diagrama de la válvula de control de recirculación	147
Figura 41. Componentes asociados de la válvula control de recirculación	148
Figura 42. Cabina de la unidad turbocompresora	155

Figura 43. Diagrama de flujo proceso de seguimiento, medición y análisis de RCM

172

Figura. 44. Distribución de las actividades del plan de mantenimiento actual 176

Figura 45. Distribución de las actividades del plan de mantenimiento propuesto

176

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagrama de decisiones de RCM	182
Anexo B. Diagrama del sistema de lubricación	184
Anexo C. Diagrama del sistema de combustible	185
Anexo D. Diagrama del sistema de sello seco	186
Anexo E. Hoja de información del sistema de arranque de la turbina	187
Anexo F. Hoja de decisión del sistema de arranque de la turbina	196
Anexo G. Plan de mantenimiento actual de la estación turbocompresora Palomino	200
Anexo H. Plan de mantenimiento que resulta del ejercicio de aplicar la metodología de RCM a la estación turbocompresora Palomino	212

RESUMEN

TITULO: METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM COMO FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTACION TURBOCOMPRESORA DE GAS NATURAL PALOMINO*

AUTORES: ORLANDO ENRIQUE FERRANS TEPEDINO, CARLOS MIGUEL SALAS FERNANDEZ**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM, Promigas S.A. E.S.P., Estación Turbocompresoras Palomino, Plan de Mantenimiento.

DESCRIPCION: El objeto de la presente monografía es aplicar los conocimientos obtenidos a lo largo del ciclo de la especialización en Gerencia de Mantenimiento, en especial las asignaturas enfocadas hacia estrategias gerenciales en mantenimiento centrado en confiabilidad.

Mediante la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a la estación turbocompresora de Palomino, ubicada en el corregimiento de Palomino, se busca redefinir la estrategia de mantenimiento para estos equipos de manera que se logren optimizaciones financieras y técnicas, éstas últimas a nivel de confiabilidad y mantenibilidad.

El proyecto consta de las siguientes etapas: identificación de la empresa Promigas S.A. E.S.P. , su organización de mantenimiento y una introducción a la estación turbocompresora Palomino, la cual es objeto de estudio; recopilación bibliográfica sobre la metodología de RMC, la cual incluye definición de funciones principales, fallas funcionales, modos y efectos de falla, y otros conceptos básicos requerido para la implementación; descripción y estudio del contexto operacional de cada uno de los sistema que compone la estación; y, finalmente, la aplicación de la lógica de RCM.

Como resultado de este estudio se entrega un diagnostico del plan de mantenimiento actual, un proceso para el seguimiento, medición y análisis de la ejecución de las tareas de RCM y se desarrolla un nuevo plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM el cual será propuesto a la organización para que sea implementado.

* Monografía

** Facultad: Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: John Jairo Torres Ramirez, Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: METHODOLOGY TO IMPLEMENT RCM AS A MAINTENANCE STRATEGY IN THE PALOMINO NATURAL GAS TURBOCOMPRESOR STATION.*

AUTHORS: ORLANDO ENRIQUE FERRANS TEPEDINO, CARLOS MIGUEL SALAS FERNANDEZ**

KEY WORDS: Reliability Centered Maintenance, RCM, Palomino Turbo compressor Station, Maintenance Plan.

SUBJECT: The object of the present monograph is to apply the knowledge obtained throughout the cycle of the specialization in Maintenance Management, especially the subjects focused towards managemental strategies in reliability centered maintenance.

By means of the implementation of the methodology of reliability centered maintenance (RCM) to the Palomino turbocompressor station, we look forward to redefine the strategy of maintenance for these equipment so that financial and technical optimizations are obtained, these last concerning reliability and maintainability.

The project consists of the following stages: identification of the company Promigas S.A.E.S.P. , its maintenance organization and a brief description of the Palomino turbocompressor station, which is the main purpose of this paper; a bibliographical compilation on the RMC methodology, which includes definition of main and secondary functions, failure mode and effects and other basic concepts required for its implementation; description and study of the operational context of each one of the system that composes the station; and, finally, the application of the RCM logic.

As a result of this study is given a diagnosis of the present maintenance plan, a process for follow up, measurement and analysis of RCM task completion and a new maintenance plan based on the RCM methodology is developed which will have to be implemented.

* Monograph

** School of Physic-Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: John Jairo Torres Ramirez. Mechanical Engineer

INTRODUCCION

Promigas S.A. E.S.P. es una de las empresas líder en el transporte y distribución de gas natural en territorio Colombiano y su principal objetivo es satisfacer las necesidades de todos sus clientes, con los más altos niveles de calidad, seguridad, continuidad en el servicio y cumplir las metas de rentabilidad esperadas por sus accionistas.

El sistema de transporte y la distribución de gas de Promigas S.A E.S.P cuenta con las estaciones compresas de Ballena, Palomino, Caracolí, La Heroica y Sahagún. Para mantener esta infraestructura se tiene diseñado un plan de mantenimiento basado en los lineamientos del fabricante y enfocado hacia prácticas predictivas, preventivas y correctivas.

El objeto de este proyecto de grado es establecer una metodología para la implementación de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) como filosofía de mantenimiento aplicada a las estaciones turbocompresoras, iniciando por la estación Palomino que de acuerdo a los estudios de criticidad presenta el nivel más alto.

Para esto se deben cumplir varias etapas que van desde el diseño de métodos de seguimiento, medición y análisis de RCM, pasando por la identificación de cada uno de los sistemas y subsistemas que los componen hasta la definición de cada una de las funciones para luego establecer y analizar las fallas funcionales, modos y efectos de falla con el objeto de determinar las tareas de mantenimiento a ejecutar de acuerdo a la lógica de RCM.

Este proyecto se encuentra estructurado de la siguiente manera: En el primer capítulo se realiza una descripción de Promigas S.A. E.S.P. y de su organización de mantenimiento actual; el segundo capítulo explica los fundamentos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM); en el capítulo tres se describe el funcionamiento de la turbina de gas; en el capítulo cuatro se presenta el análisis de RCM aplicado a la unidad turbocompresora de la estación Palomino; finalmente en el capítulo cinco se realiza un diagnóstico del plan de mantenimiento que actualmente se tiene y el que se desea implementar a través del RCM.

Con la implementación de RCM en la compañía, se busca redefinir la estrategia de mantenimiento para los equipos que conforman la estación turbocompresora Palomino para optimizar los costos de mantenimiento e incrementar los niveles de confiabilidad y mantenibilidad de los sistemas.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. PROMIGAS SA. E.S.P.

Promigas S.A E.S.P. nació hace 35 años en Colombia con el objeto de transportar y distribuir Gas Natural, convirtiéndose en una de las empresas más antigua en América Latina en dedicarse a esta actividad. Ocupando un privilegiado lugar en el ámbito empresarial colombiano, promoviendo la masificación del gas natural en la Costa Norte y parte del interior del país.

El gasoducto posee una capacidad máxima de transporte de 475 MPCD y entrega aproximadamente el 41% del gas consumido en el país.

A continuación se presenta un resumen del volumen promedio día transportado por Promigas durante los últimos siete años Tabla 1.

Tabla 1. Transporte de gas natural por sectores en MPCD

Sectores de consumo	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Eléctrico	191,5	168,9	160,1	155,4	158,5	127,2	120,2
Industrial	117,7	115,4	117,5	126,2	126,6	130,0	124,9
Doméstico	27,4	28,2	29,3	27,0	27,9	29,8	30,7
GNCV	7,4	8,4	8,9	13,2	15,3	17,2	18,5
Total sectores	344,2	321,0	316,0	321,9	328,2	304,2	292,4

Las estaciones compresoras a lo largo del gasoducto están construidas para cumplir con los requerimientos de flujo y presiones requeridos por parte de los clientes.

Actualmente Promigas posee 5 estaciones compresoras que ordenadas en sentido del flujo del gas son:

- Estación Turbocompresora Ballena.
- Estación Turbocompresora Palomino.
- Estación Turbocompresora Caracolí.
- Estación Motocompresora “La Heroica”.
- Estación Motocompresora Sahagún.

Las Estaciones Turbocompresoras de Ballena, Palomino y Caracolí trabajan con equipos de compresión muy semejantes. De igual manera sucede con las Motocompresora “La Heroica” y Sahagún.

1.2. POLÍTICA CORPORATIVA DE PROMIGAS S.A E.S.P

Promigas S.A. E.S.P ha dispuesto como política corporativa la siguiente:

“Es nuestro compromiso diseñar, construir, operar y mantener sistemas de transporte y distribución de 5gas natural que garanticen un servicio continuo, confiable y seguro y la lealtad de nuestros clientes, mediante el cumplimiento de los requisitos legales, normas y estándares nacionales e internacionales aplicables, la prevención, la mitigación y el control de los riesgos y el mejoramiento continuo de nuestros procesos.

Promovemos y practicamos la prevención de la contaminación y la preservación del ambiente, la seguridad en el trabajo, la calidad de vida de los empleados y de

la comunidad, la ética empresarial y la responsabilidad social, principios que rigen todas nuestras acciones.

También orientamos nuestros esfuerzos al gerenciamiento de nuestros activos y al crecimiento de nuestras inversiones, a fin de generar valor, asegurar la solidez financiera y la sostenibilidad del negocio en el tiempo.”

Dentro de la política corporativa hay diferentes sistemas de gestión que permitan la realización de un proceso de mejora continua enmarcado dentro del ciclo PHVA del Sistema Estratégico Integral (SEI). Los sistemas de gestión que apuntan hacia la razón de ser de la implementación de RCM en las estaciones compresoras son los siguientes:

- Gestión de calidad: Trabajamos permanentemente en el fortalecimiento de nuestro sistema de gestión de calidad para garantizar el mejoramiento continuo de nuestros procesos y la prestación de servicios a nuestros clientes en forma oportuna, segura y confiable. Para ello nos comprometemos a:
 - Promover la cultura de la calidad basada en los ocho principios: enfoque hacia el cliente, liderazgo, participación del personal, orientación hacia los procesos, enfoque de sistema para la gestión, mejora continua, enfoque basado en hechos para la toma de decisiones, relación mutuamente beneficiosa con los proveedores.
 - Gestionar e implementar la documentación de los procesos como parte importante de nuestro conocimiento.
 - Fomentar y practicar la filosofía de medición de los procesos y la mejora continua de los mismos para alcanzar su eficiencia, eficacia, y efectividad.

Las políticas de Calidad en Promigas son manejadas bajo el criterio de Normas internacionales tales como la ISO 9001.

- Gestión de Salud Ocupacional, seguridad y asuntos ambientales: En Promigas desarrollamos las actividades asociadas al transporte y distribución de gas natural, preservando la salud e integridad de nuestra gente, contratistas y comunidad y en armonía con los ecosistemas en donde interactuamos. Esto nos compromete a:

- Identificar, prevenir y minimizar en forma continua los impactos ambientales y riesgos ocupacionales que se puedan presentar en el desarrollo de nuestras actividades y afectar la salud y vida de las personas.

- Promover una cultura de prevención entre nuestro equipo humano, contratistas y comunidades, a partir del refuerzo de actitudes y comportamientos sanos, seguros y en armonía con el medio ambiente.

Las políticas de gestión ambiental en Promigas son manejadas bajo el criterio de Normas internacionales tales como la NTC ISO 14001. De igual manera las políticas de seguridad y salud ocupacional son manejadas bajo estándares internacionales tales como la NTC OHSAS 18001

- Gestión de riesgo: En Promigas gestionamos los riesgos para minimizar la probabilidad de su ocurrencia y reducir los efectos que puedan afectar a las partes interesadas y la continuidad del negocio. Para ello nos comprometemos a:

- Identificar los riesgos a los cuales nos encontramos expuestos, evaluarlos e implementar las mejores opciones para su tratamiento.

- Establecer controles adecuados y monitorear su efectividad.

- Consolidar una cultura de gestión de riesgos en la organización.

En la Estación compresora el producto que se está sacando es gas natural a alta presión. Por tales razones existen dos grandes riesgos:

- Riegos de Incendio: en la Estación compresora el producto que se está manejando es un combustible que podría llegar a formar atmósferas explosivas al fugarse y combinarse con el Oxígeno del aire.

- Riesgo de explosión: El combustible que maneja la Estación esta a elevadas presiones y es probable que se presenten explosiones.

- Gestión de integridad: En Promigas garantizamos la integridad de nuestros sistemas de transporte y distribución de gas natural, previniendo fugas o rupturas que pudieran causar efectos adversos sobre los empleados, los clientes, la comunidad y el ambiente. Para esto nos comprometemos a:

- Diseñar, construir, operar y mantener nuestra infraestructura de transporte y distribución de gas natural, con un enfoque centrado en la integridad.

- Identificar, evaluar, mitigar y controlar los riesgos que puedan afectar la integridad de la infraestructura.

- Evaluar y controlar los cambios tecnológicos que puedan impactar la integridad de la infraestructura y su entorno.

1.3. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La gestión de mantenimiento es un medio para lograr el objetivo estratégico corporativo “Alcanzar la Excelencia Operacional”. Ésta soporta todas las

actividades orientadas a lograr que el transporte y la distribución de gas natural se realicen dentro de los parámetros de seguridad, confiabilidad y eficiencia.

Promigas tiene estructurada su gestión de mantenimiento de la siguiente manera:

- Filosofía de mantenimiento.
- Planes de mantenimiento.
- Planeación y programación del mantenimiento.
 - Sistema computarizado de mantenimiento.
 - Sistema de órdenes de trabajo.
 - Historia de mantenimiento.
 - Actividades adicionales.
- Indicadores de gestión.

1.3.1. Filosofía de mantenimiento. La Gerencia de Mantenimiento contempla dentro de su filosofía los tres tipos de mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo.

Con el objeto de verificar la efectividad de los planes de mantenimiento se tiene una clasificación adicional, la cual agrupa los tipos de mantenimiento mencionados así: mantenimiento planeado, mantenimiento no planeado.

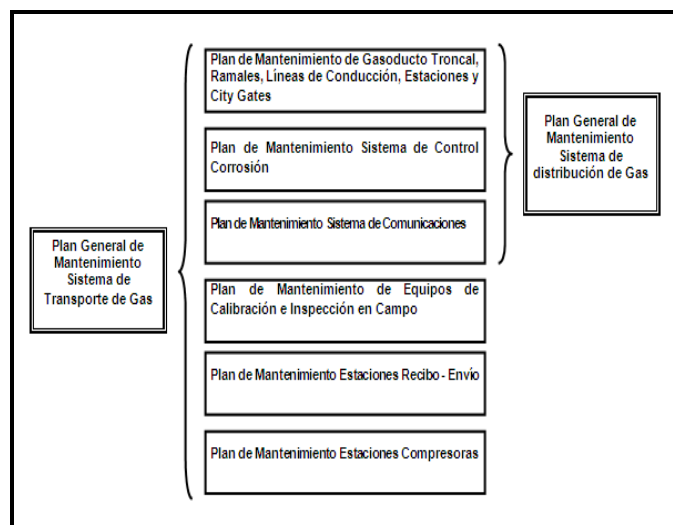
1.3.2. Planes de mantenimiento. Para el desarrollo de los planes de mantenimiento aplicados a la infraestructura de transporte y distribución de gas natural y equipos relacionados se considera:

- Inventario detallado de los equipos: Para conocer y controlar la infraestructura que hace parte del sistema de transporte y distribución de gas natural e instalaciones relacionadas.
- Necesidades de mantenimiento: Se establecen con base en las recomendaciones del fabricante, estadísticas de mantenimiento, normas nacionales e internacionales, severidad del medio ambiente, entorno y experiencia en el negocio, asignando a cada tipo de equipo un plan de mantenimiento.
- Procedimientos, formatos e instrucciones: Se cuenta con estos recursos para el óptimo desarrollo de las actividades, incluyendo las operaciones a realizar ordenadas cronológicamente y los formatos a diligenciar como soporte de la ejecución de la actividad.
- Inventario de materiales y repuestos: Se tienen definidos los *stocks* mínimos de materiales y repuestos para la correcta ejecución de las actividades de mantenimiento contempladas en el plan y para la atención de emergencias. La consecución y disponibilidad de materiales y repuestos marcan un aspecto clave en el proceso de planeación y programación de actividades.
- Competencias del personal: Se cuenta con personal experto, altamente calificado y entrenado, ya que Promigas es consciente de que el nivel de experiencia y habilidades de la fuerza de trabajo de mantenimiento puede tener una influencia significativa en los sistemas de mantenimiento empleados. Para garantizar las competencias del personal, el grupo de soporte técnico y administrativo elabora anualmente el Plan de Desarrollo de Competencias, con base en el diagnóstico de competencias realizado por cada Coordinador de la Gerencia de Mantenimiento. Este plan incluye un máximo de horas técnicas que puede recibir cada persona adscrita a la Gerencia.

- Regulaciones: El Plan de Mantenimiento se elabora teniendo en cuenta todas las normas y estándares establecidos por los entes reguladores para la industria del gas en Colombia y lo estipulado en las licencias ambientales emanadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Sistema de Gestión de Integridad de la Infraestructura (SIGII): Sistema que contempla todas las actividades de inspección, prevención y detección necesarias para valorar y mitigar los riesgos a que están expuestos los sistemas de transporte y de distribución de gas natural en acero, con el propósito de minimizar la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de incidentes de integridad, minimizar las pérdidas y mejorar la seguridad, ubicando y utilizando con efectividad los recursos para la realización de dichas actividades

Para atender funcional e integralmente las necesidades de cada equipo e instalación, la Gerencia de Mantenimiento ha diseñado planes de mantenimiento específicos como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Planes de mantenimiento de Promigas S.A. E.S.P.



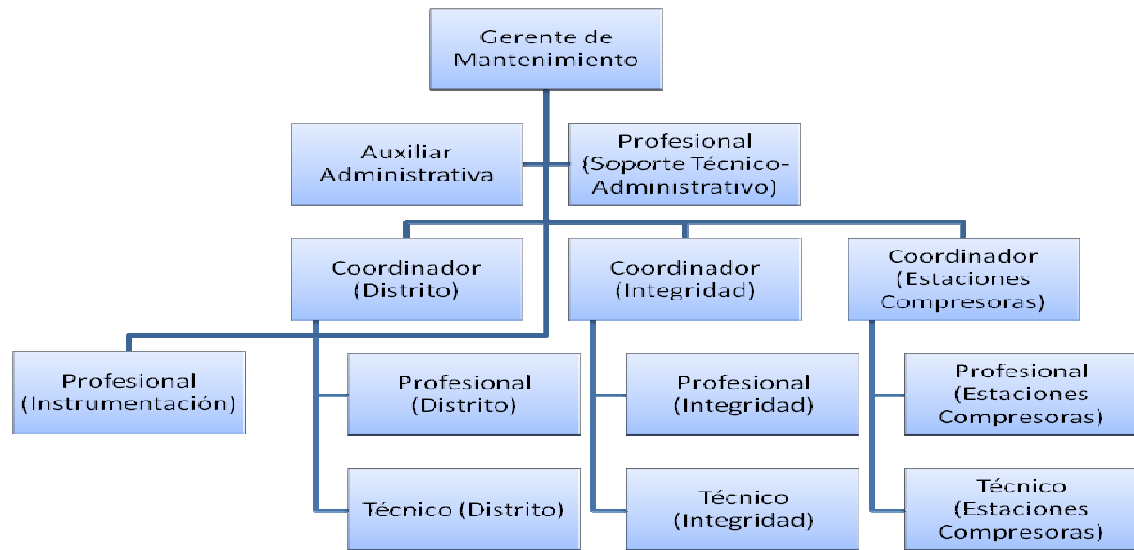
1.3.3. Programación y planeación del mantenimiento. La Gerencia de Mantenimiento, para todas las actividades de mantenimiento de sus instalaciones y equipos considera que la eficacia se logra en gran parte con una correcta planeación y una oportuna programación.

Toda actividad de mantenimiento debe ser previamente planeada y programada para su ejecución, a excepción de aquellas que por su ocurrencia requieran atención inmediata.

La función básica de planeación es ejecutada por el grupo de soporte técnico y administrativo de la Gerencia de Mantenimiento. La programación semanal y diaria de actividades particulares es responsabilidad de cada uno de los Coordinadores de la Gerencia. La orden de trabajo se utiliza como único documento para la ejecución de las actividades y elementos PEP (Plan de la Estructura del Proyecto) para el caso de proyectos de inversión.

La estructura técnica / administrativa para llevar a cabo todas las actividades de mantenimiento se muestra en la figura 2, y es la siguiente:

Figura 2. Organigrama de la gerencia de mantenimiento



- **Coordinadores (Distrito):** Su responsabilidad es programar diaria y mensualmente, coordinar y controlar la ejecución de las actividades contenidas en las órdenes de trabajo emitidas mensualmente. Toda actividad no contemplada en las órdenes de trabajo, y que fue realizada por necesidades inmediatas, debe ser reportada en el sistema a través del mismo mecanismo.

Adicionalmente, los Coordinadores son responsables del control de la ejecución de los proyectos de inversión a su cargo, de acuerdo con el cronograma definido para cada una de las actividades que hacen parte de los mismos. Para el desarrollo de las actividades antes mencionadas los Coordinadores cuentan con el apoyo de Profesionales.

- **Grupo de soporte técnico y administrativo:** Prepara el Plan de Mantenimiento con base en las recomendaciones expuestas en el capítulo 1.3.2. Esta información se ingresa al software de mantenimiento, el cual procesa y emite las órdenes de trabajo que son enviadas mensualmente a los Coordinadores. Una vez recibida la información sobre el desarrollo de las actividades, las

órdenes de trabajo y los avances de los proyectos de inversión, este grupo evalúa el cumplimiento del objetivo propuesto y consolida la información en un informe mensual de resultados dirigido al Gerente de Mantenimiento.

- Personal ejecutor: Recibe y ejecuta cada una de las labores descritas en la orden de trabajo y las contempladas en los proyectos de inversión. Como resultado de su observación y experiencia está obligado a reportar al Coordinador toda novedad o sugerencia que considere oportuna y necesaria.

1.3.3.1. Sistema computarizado de mantenimiento. Para la gestión de mantenimiento se tiene implementado el módulo PM (Mantenimiento de Planta) y PS (Proyectos de Inversión) de SAP. La funcionalidad básica de estos módulos se fundamenta en el control, la planeación y la programación del trabajo y el manejo de costos.

➤ Control del trabajo

Se realiza por medio de órdenes de trabajo para todas las actividades, ya sean planeadas o no planeadas, y para el caso de proyectos de inversión por medio de elementos PEP (Plan de la Estructura del Proyecto). Además, se cuenta con:

- Base de datos de incidentes de falla (árbol de falla).
- Inventario de equipos y su ficha técnica.
- Codificación de equipos. A cada equipo se le asigna un TAG que consta de un código funcional más un consecutivo.

- Codificación de actividades aplicadas por tipo de equipo.
- Referencia de procedimientos y formatos necesarios para la ejecución y el reporte de actividades contempladas en el Plan de Mantenimiento vigente.
- Planeación y programación del trabajo.
 - Evaluación de cargas de trabajo por oficio (puesto de trabajo), que permite identificar faltantes o excedentes de mano de obra para reasignar recursos.
 - Manejo del tiempo estándar para la ejecución de la tareas.
 - Integración con almacén para verificar en línea la disponibilidad de un repuesto o material requerido para las actividades de mantenimiento,
 - Integración con gestión de compra de bienes, para generar una solicitud de pedido de un repuesto o de un servicio.
 - Integración con la Gerencia Comercial para la facturación de actividades a terceros.
- Manejo de costos.
 - Costo total de un trabajo bajo los ítems de mano de obra, materiales y servicios contratados.
 - Costo de mano de obra discriminado en costos por actividad realizada y costo por desplazamiento.
 - Costos de mantenimiento a nivel de equipos o localizaciones.
 - Costos de mantenimiento por actividad.
 - Control presupuestal.

1.3.3.2. Sistema de órdenes de trabajo. Sistema en el que el documento primordial utilizado para la función del mantenimiento es la orden de trabajo.

El programa de mantenimiento bajo el esquema de órdenes de trabajo aplica a todas las actividades de mantenimiento realizadas en el gasoducto troncal y los ramales y equipos relacionados, exceptuando los proyectos de inversión, los cuales son manejados a través de elementos PEP (Plan de la Estructura del Proyecto) en el módulo de proyectos (PS) de SAP.

Un sistema de mantenimiento a través de órdenes de trabajo proporciona una eficaz herramienta para la aprobación, la planeación, la programación, el monitoreo, el control y la documentación de sus actividades.

➤ Ciclo de una orden de trabajo

El ciclo de una orden de trabajo es el que se ilustra en las figura 3 y 4 y comprende las siguientes etapas:

- Identificación: La etapa de identificación tiene como entradas:

Plan general de mantenimiento.

Situación en campo.

Figura 3. Ciclo de orden de trabajo preventivo

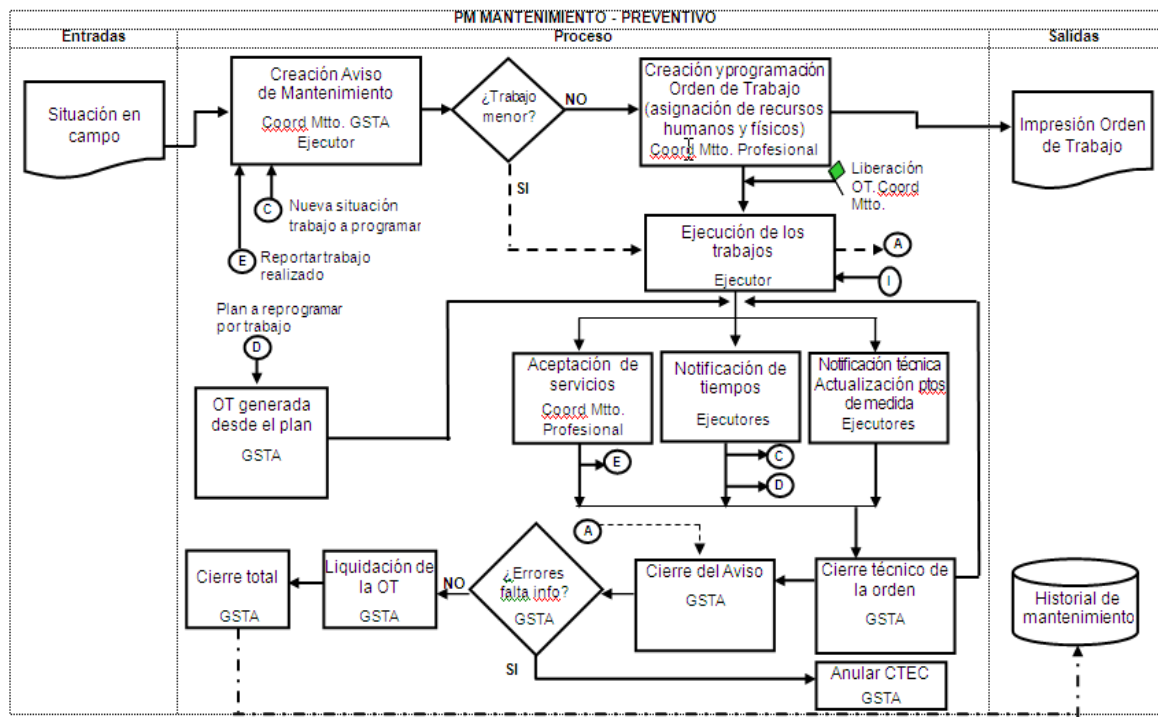
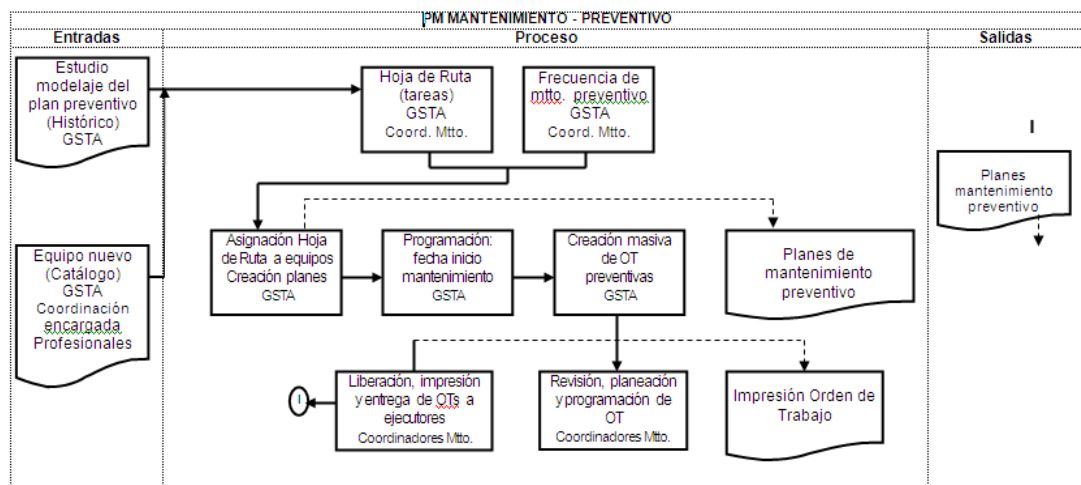


Figura 4. Ciclo orden de trabajo correctivo



- Planeación: Durante este proceso se asigna a cada equipo o ubicación técnica un plan de mantenimiento, de acuerdo con las necesidades determinadas en el proceso de identificación, y se establecen los ciclos (frecuencias) para su ejecución.

En este punto del proceso se realiza la generación masiva de las órdenes de trabajo y se convierte en el eje principal del módulo de mantenimiento PM de SAP.

Para el caso de situaciones correctivas reportadas, como avisos de mantenimiento en la etapa de identificación, es necesario decidir si los trabajos correctivos a realizar se ejecutan a través del aviso reportado o si se genera una orden de trabajo a partir de éste. Los criterios para generar una orden de trabajo son determinados dependiendo de si para la ejecución de los trabajos se requieren recursos materiales y/o servicios a contratar, o reporte de tiempo por parte del personal ejecutor.

- Programación: Una vez generadas las órdenes de trabajo, se inicia el proceso de programación, en el que se asignan los recursos humanos y físicos requeridos para su ejecución. Se balancean y equilibran equitativamente los recursos, para optimizar tanto el tiempo como el costo y así obtener los resultados esperados por Promigas.
- Ejecución: Finalizada la programación se entregan las órdenes de trabajo a las personas responsables de su ejecución (personal interno o personal contratista). La ejecución de todas las actividades está enmarcada en las normas de seguridad, los requisitos de calidad y los procedimientos establecidos.

- Documentación: Todos los trabajos realizados deben ser reportados mensualmente haciendo uso de los formatos relacionados en cada orden de trabajo.

En esta etapa se realizan en el sistema las notificaciones de tiempo y técnicas. En la notificación de tiempo se incluyen las horas, la tarifa y la persona que participó en la ejecución de la orden, y la notificación técnica incluye la actualización de puntos de medida para cada tipo de equipo.

- Evaluación: Una vez se tienen todos los documentos de actividades realizadas en un período, cada Coordinador de la Gerencia debe revisar la conformidad de en el uso de los registros y entregar un informe los primeros 12 días de cada mes al grupo de soporte técnico y administrativo, el cual contiene la relación de actividades ejecutadas en el mes y las justificaciones a las actividades programadas no realizadas.

El grupo de soporte técnico y administrativo revisa en los soportes entregados por cada Coordinación el cumplimiento de las actividades programadas en el mes, para luego proceder con el cierre técnico de la orden de trabajo, en los 5 días siguientes a la entrega del informe. Además, verifica los reportes de cualquier anomalía o novedad presentada durante la ejecución de los trabajos, los cuales reporta cada Coordinador a través de avisos de mantenimiento en SAP.

- Registros: Todas las actividades de mantenimiento pueden ser consultadas físicamente en el Centro de Administración de Documentos o digitalmente a través de OnBase. Esta última se puede realizar bajo los campos de No. de la orden, equipo o ubicación técnica, tipo de mantenimiento y nombre de la actividad.

La información física es archivada en folders por gasoducto y por actividad. Cada gasoducto y actividad tiene un código asignado por la Gerencia de Ingeniería y el grupo de soporte técnico y administrativo, respectivamente, el cual está impreso en cada orden de trabajo. Estos códigos se encuentran consignados en campos específicos del equipo y de la hoja de ruta en PM SAP.

1.3.3.3. Historia de mantenimiento. Todas las actividades de mantenimiento que se realizan se documentan, analizan e ingresan al módulo de mantenimiento para conformar el historial de instalaciones y equipos.

La historia de mantenimiento es una herramienta de gestión de gran valor que ayuda a identificar problemas repetitivos, los cuales exigen mayores esfuerzos de mantenimiento, y también es un apoyo importante en la solución de los problemas que se presenten.

Para el propósito anterior es necesario suministrar en cada uno de los formatos establecidos, información completa y precisa de las actividades de mantenimiento realizadas. El análisis posterior, previo al ingreso al software, asegura una historia confiable de cada uno de los equipos.

1.3.3.4. Actividades adicionales. Para el sostenimiento de la gestión de mantenimiento se realizan actividades adicionales como:

- Revisión y actualización del Plan de Mantenimiento: Esta actividad es realizada anualmente por el grupo de soporte técnico y administrativo en conjunto con los coordinadores de distrito, y el registro de su ejecución es el mismo Plan de Mantenimiento.

- Revisión de procedimientos: Esta actividad es realizada cada dos años y tiene como objeto garantizar que todos los procedimientos utilizados por el personal ejecutor sean exactos, precisos y acordes con las condiciones reales de operación.

Cada procedimiento tiene asociado un responsable de su revisión anual, y para garantizar el cumplimiento de esta actividad por parte de la persona designada se tiene establecido un programa de revisión, controlado por el grupo de soporte técnico administrativo, quienes mensualmente emiten una programación que debe ser cumplida.

- Revisión y actualización Manual de Administración de Mantenimiento: Esta actividad es realizada anualmente por el grupo de soporte técnico y administrativo, y el resultado de su ejecución queda reflejado en la nueva versión del documento en el aplicativo para manejo de documentos.
- Manejo y control de acción de mejora de mantenimiento (GAM), recomendaciones de auditorías y *Hazop*: Las observaciones y no conformidades generadas por auditorías técnicas y las recomendaciones de *Hazop* son manejadas a través de avisos en el *software* PM de SAP. El seguimiento a éstas se realiza mensualmente, con base en la programación inicial realizada por el responsable de solucionar las mismas.

1.3.4. Indicadores de gestión. Para medir la efectividad y la eficiencia de las diferentes actividades realizadas como parte del proceso de gestión de mantenimiento, se tienen identificados diferentes indicadores con sus respectivas metas.

Estos indicadores miden la gestión de equipos, costos, mano de obra, operación y mantenimiento, desde las siguientes perspectivas:

- Perspectiva financiera operativa.
- Perspectiva clientes operativos.
- Perspectiva procesos internos operativos.

Los indicadores son actualizados mensualmente y su registro se lleva en el tablero de gestión de la Gerencia de Mantenimiento, en el que se puede apreciar su comportamiento mes a mes en relación con la meta o el parámetro de referencia identificado.

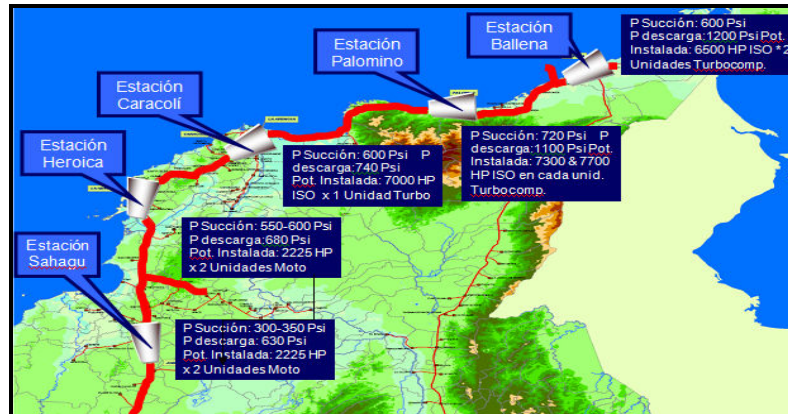
La información para alimentar estos indicadores es suministrada por los diferentes coordinadores o emitida por el grupo de soporte técnico y administrativo, quienes además se encargan de consolidarla y actualizarla en los archivos respectivos.

1.4. ESTACION COMPRESORA PALOMINO

1.4.1. Ubicación geográfica. La Estación de Compresión Palomino se encuentra ubicada a la altura del Km. 119 del Gasoducto Ballena-Cartagena.

Se localiza en el corregimiento de Palomino, municipio de Dibulla en el departamento de la Guajira tal como se muestra en el mapa de la figura 5.

Figura 5. Ubicación geográfica de la estación compresora Palomino



1.4.2. Condiciones medioambientales. Las condiciones ambientales que se encuentran en la Estación de Compresión Palomino, evidencian una tendencia hacia un alto porcentaje de humedad relativa contenida en el aire, con un porcentaje de cerca del 85%, y una temperatura ambiente promedio de 32 °C.

Debido a la cercanía de zonas costeras la estación Palomino maneja altos niveles de salinidad.

1.4.3. Límites de la estación. La Estación compresora Palomino tiene sus límites entre el punto donde entra el gas para su posterior compresión en la “válvula de succión de la Estación” (SDV 101) y el punto donde se descarga el gas que se dirige hacia el gasoducto Palomino-Bureche, en cual se halla una válvula denominada “válvula de descarga de la Estación” (SDV 102).

Dentro de estas dos válvulas están comprendidas las unidades turbocompresoras las cuales serán de estudios en este trabajo. Estas han divididas por sistemas con el objetivo de facilitar el análisis, de tal manera que cada uno de ellos se implemente de forma separada.

1.4.4. Operación general de la estación. La Estación Palomino tiene una capacidad de compresión de diseño de aproximadamente 417 MPCSD a una presión de succión de 740 PSI y descarga de 1014 PSI, el diseño contempla la operación de los dos Turbocompresores en paralelo para lograr la citada capacidad.

La Estación Palomino se construyó para incrementar la capacidad de transporte del sistema en momentos de alta demanda de gas natural en la Costa Atlántica, principalmente para la generación de energía eléctrica en las Centrales Termoeléctricas de Barranquilla, cuando falle el sistema de interconexión de energía con el interior del país. Por esta razón, no se opera de manera continua. El índice de utilización promedio del 2009 ha sido de 34.55%.

La Estación se encuentra en operación desde el año 1999 y las condiciones de operación normal de la turbomaquinaria son las siguientes:

- Presión de succión: 650 a 790 Psig (dispara a 600 Psig)
- Presión de descarga: 900 a 1050 Psig. (disparo a 1115 Psig)
- Temperatura de succión: 84.5 °F.
- Temperatura de descarga después de enfriadores: 98 a 104 °F.

La Estación Palomino se considera como una estación asistida automáticamente; en la cual se cuenta con dispositivos y sistemas automáticos que reciben la orden física del operador de la estación para ejecutar funciones tales como apertura y cierre de válvulas, comandos de encendido y apagado para los Turbocompresores, generadores de energía, compresores de aire, calentador del patín de gas combustible. Actualmente la estación tiene la opción de encendido remoto y monitoreo desde el Centro Principal de Control de Barranquilla, sin embargo por filosofía de operación se realiza el encendido local de los equipos con la asistencia de un operador.

El sistema de control de la estación ejecuta el encendido automático de los generadores de energía eléctrica de acuerdo con los requerimientos de energía, y las secuencias de anunciación de alarmas y generación de paradas de los Turbocompresores ante condiciones de funcionamiento anormales.

1.4.4.1. Personal de operación y mantenimiento de la estación. Debido a que la estación no funciona de manera continua, los operadores no permanecen diariamente en ella.

Cuando es necesario colocarla en funcionamiento, se dirige a la estación un operador para el horario diurno y un operador para el horario nocturno.

La Coordinación de Mantenimiento Estaciones Compresoras cuenta con cuatro técnicos con competencias en el mantenimiento y operación de los equipos de la estación; así como con las herramientas necesarias para la corrección de averías. Este personal atiende las labores de mantenimiento de las estaciones compresoras de Ballena, Palomino y Caracolí. El personal se encuentra de manera temporal en el horario diurno en cualquiera de estas estaciones dependiendo de la planeación mensual del mantenimiento, realizando las tareas de inspección y mantenimiento a los equipos. En horas de la noche se encuentran ubicados en Riohacha, a aproximadamente una hora y cuarto de viaje por carretera.

1.4.4.2. Tiempos de parada. Este tiempo de parada se ve influenciado en gran medida por dos factores, los cuales son la disponibilidad de repuestos y la disponibilidad del personal de mantenimiento en la estación.

En la estación se cuenta con un almacén en el cual se encuentra gran cantidad de repuestos para los equipos, por lo cual el tiempo de parada no se afecta por los

requerimientos de repuestos que se encuentren en stock en la estación. Sin embargo, algunos repuestos específicos necesarios para la corrección de fallas, se encuentran en stock en el almacén de la Estación Ballena, y en este caso, si la falla se presentara durante el día el tiempo de parada se incrementa en 3 horas para llevar el repuesto de la Estación Ballena a la Estación Palomino. En cambio, si la falla se presenta durante la noche, el tiempo de parada se incrementa en 8 horas, necesarias para dirigirse hacia la Estación Ballena con el personal de seguridad y luego llevar el repuesto hasta la Estación Palomino.

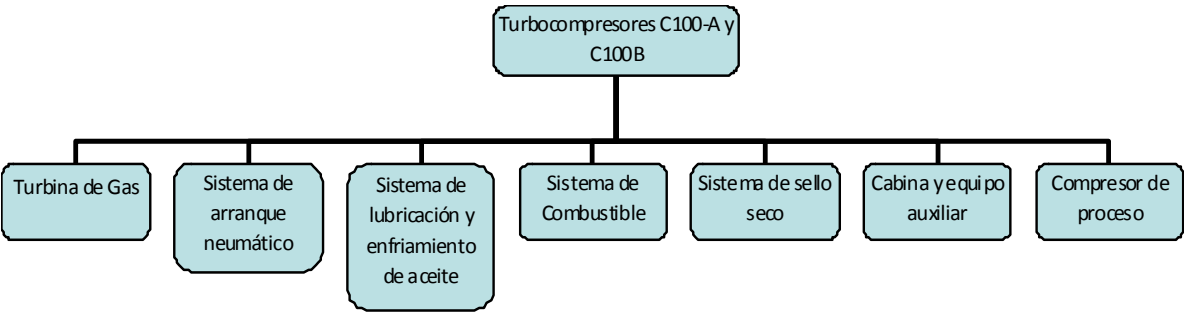
En el punto de la disponibilidad del personal de mantenimiento, se estima que si los técnicos no se encuentran en la estación el tiempo de parada se incrementa en 3 horas si deben desplazarse desde la Estación Ballena, en una hora y treinta minutos si deben hacerlo desde Riohacha; y en cuatro horas y media si deben desplazarse desde Barranquilla.

1.4.5. Diagrama de bloques de estaciones y sistemas. La Estación Palomino ha sido clasificada en sistemas de acuerdo a las funciones y características operacionales de los equipos.

Los sistemas se han dividido para analizarlos independientemente, de tal manera que se faciliten los análisis y además se pueda implementar después de su culminación.

La Estación compresora de gas de Palomino se ha dividido en 7 sistemas que se analizarán independientemente. Estos sistemas se muestran en la figura 6.

Figura 6. Sistemas de la estación turbocompresora Palomino



2. MARCO TEORICO

2.1. Historia del RCM

Al final de 1950, la aviación comercial estaba sufriendo mas de 60 accidentes por millón de despegue, si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, esta sería aproximadamente dos accidentes aéreos diariamente en el mundo. Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de 1950 eran causados por fallas en los equipos. El hecho de que una cifra tan alta de accidentes fuera provocado por fallas en los equipos implicaba que al menos inicialmente, tenía que hacer énfasis en la seguridad de los equipos.

Todos esperaban que los motores y las otras partes importantes se deterioraran después de cierto tiempo. Esto condujo a creer que las reparaciones periódicas impedirían que las piezas se gastaran y así prevenir las fallas. En esos días, mantenimiento significaba hacer reparaciones periódicas. Cuando la idea no parecía estar funcionando, cada uno asumía que estaban realizando los trabajos tardíamente; después que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, lo gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, que los porcentajes de las fallas no se reducían y por lo contrario se incrementaban.

De esta manera RCM tienes sus inicios a principio del 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue realizado por la industria de la Aviación Civil Norteamericana y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento no eran solamente costosas, si no también altamente peligrosas. Ello inspiro a la industria avaluar en serie de “grupos de Dirección de Mantenimiento” (**Maintenace steering Groups - MSG**) para reexaminar todo lo

que ellos estaban haciendo para mantener todos sus aviones funcionados. Estos grupos estaban formados por los representantes de los fabricantes de los aviones, las aerolíneas y la FAA (Fuerza Aérea Americana).

La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial ha pasado por un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “la forma más segura de viajar” esa es la historia del RCM.

El RCM es uno de los procesos desarrollado durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de las fallas. De estos procesos, el RCM es el más efectivo.

A medida de 1970, el gobierno Norte Americano quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento en las aeronaves, y solicitaron un reporte sobre este a la Industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap United Airlines. Ellos lo titularon **RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE** (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978 y aun hasta la fecha sigue siendo uno de los documentos mas importantes en la historia de los manejos de los activos físicos. Está disponible en el servicio de información técnica nacional del Gobierno de Norteamérica.

“El informe desarrollado por Nowlan y Heap represento un avance en la filosofía MSG-2 y fue usada y fue usada como base para el MSG-3, el cual fue difundido en 1980 como: Documento para la Planeación del Programa de Mantenimiento para Fabricantes/Aerolíneas. El MSG-3 fue influenciado por el libro Nowlan y Heap (1978), esta ha sido revisada tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en 2001. Hasta la presente es usada para desarrollar programas

de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevo tipos de aeronaves (incluyendo recientemente el Boeing 777 y el Airbus 330/340)¹

El departamento de defensa de los Estados Unidos aprendió de la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y busco beneficiarse de esta experiencia. Una vez que el ministerio de defensa publico el libro de Nowlan y Heap, el ejército Norteamérica decidió utilizar procesos RCM para su propio uso: Uno para el ejército, uno para la fuerza aérea y otra para las fuerzas armadas.

En la década de 1990 el concepto de RCM se hizo más popular y empezaron a aparecer varias metodologías de mantenimiento que sus autores lo llamaban RCM, pero estos métodos eran muy distante de los métodos originalmente propuestos, así que surgió la necesidad de sacar una normatividad cuando una metodología podía llamarse RCM.

En 1996 la SAE empezó a trabajar en un modelo afín con el RCM, invitando a un grupo de representantes de la aviación, de la armada Estadounidenses y comunidad de naves para que le ayudaran a desarrollar una norma para el programa de mantenimiento programado. Estos representantes de la armada se había estado reuniendo previamente, por cerca de un año, para desarrollar un proceso RCM que pudiera ser común en la aviación y los buques. Es así como ellos habían hecho una considerable cantidad de trabajo antes de empezar a reunirse bajo es auspicio de la SAE.

A finales de 1997, se unió a este grupo un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria. En esta ocasión, se dieron cuenta que era

¹ Copias del MSG 3. 2001 se encuentra en el Air Transport Association, Washington, DC.

mejor enfocarse enteramente en el RCM. Entonces el grupo encontró un mejor enfoque para esta norma en 1990, presentado a la SAE para ser sometida en votación.

“La norma aprobada por la SAE”² no representa un proceso de RCM estándar, su título es “Criterio de Evaluación Para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)”, si los criterios no lo satisface, no debería llamarse “proceso RCM”, esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplan con la norma SAE no sean procesos RCM válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término de RCM que el término de RCM no debería ser aplicado a tales procesos.

2.2. Evolución del RCM

Desde la década de los `30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. El RCM está tornándose rápidamente en la piedra fundamental de la Tercera Generación, pero esta generación solo se puede ver en perspectiva, y a luz de la Primera y Segunda Generación.

2.2.1. Primera generación. La Primera Generación cubre el periodo que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial.

En esos días la industria no se encontraba tan mecanizada, por lo que el tiempo de paradas de la maquina no era de mayor importancia. Esto significa que la prevención de fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los

² “Criterios De Evaluación Para Procesos De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad (RCM)”, (SAE JAE 1011), commonwealth drive, Warrendale, PA15096, USA.

gerentes. A su vez la mayoría de los equipos eran simples y se encontraban sobredimensionados. Estos los hacías confiables y fácil de reparar. Como resultado no era necesario un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación.

2.2.2. Segunda generación. Durante la Segunda Guerra Mundial todo cambio drásticamente.

La presión de los tiempos de guerra aumento la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales. Esto llevo al aumento en la mecanización de las industrias. Ya en los años `50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquina y la industria empezó a depender de ellas.

Al incrementarse esa dependencia, comenzó a concentrarse la opinión en el tiempo de parada de las maquinas. Esto lleva a la idea de que las fallas en los equipos debían y podían ser prevenidas; dando lugar al concepto de mantenimiento Preventivo.

En la década de los sesentas esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados. El costo de mantenimiento comenzó a crecer rápidamente con relación a los otros costos operacionales. Esto llevo al desarrollo de sistemas de planeación de mantenimiento y control del mantenimiento.

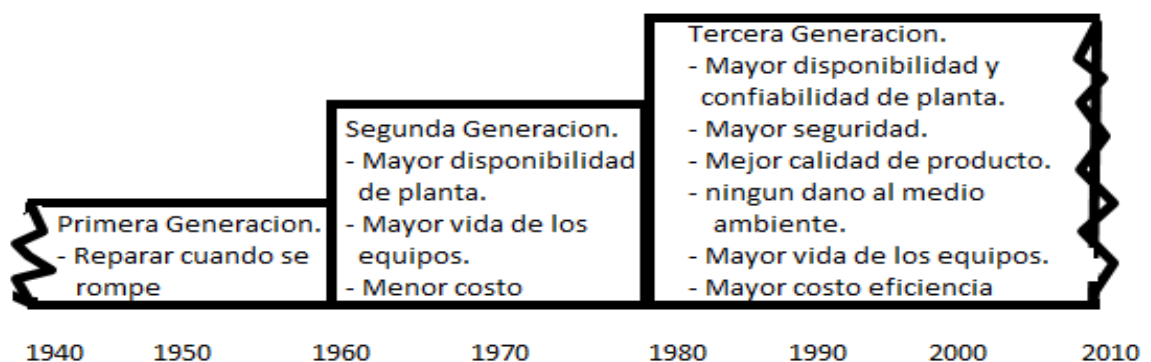
Por último la suma del capital ligado a activos fijos juntos con un elevado incremento en el costo de ese capital, llevo a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos y bienes.

2.2.3. Tercera generación. Desde mediados de la década de los sesentas el proceso de cambio de la industria ha adquirido aun más impulsos. Los cambios han sido clasificados como nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

2.2.3.1. Nuevas expectativas. La figura 7 muestra la evolución de las expectativas del mantenimiento.

El tiempo de parada de la maquina afecta considerablemente la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos de operacionales, y afectar el servicio al cliente. Actualmente el crecimiento en la mecanización y la automatización han tornado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores claves en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y la administración de edificios.

Figura 7. Expectativas de mantenimiento creciente

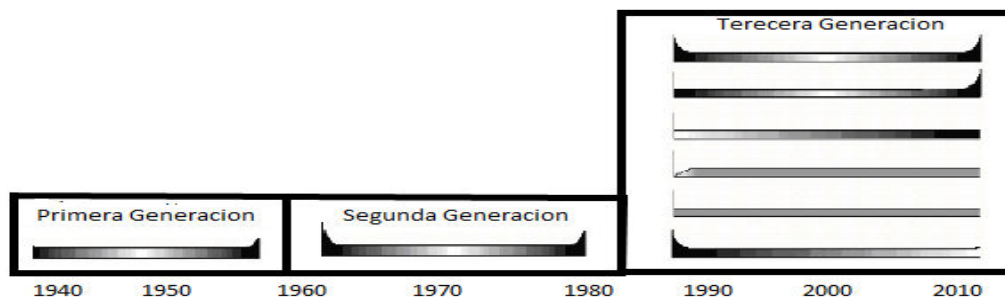


Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edicion en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.3.

2.2.3.2. Nuevas investigaciones. Más allá de las exigencias de las mayores expectativas, las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias más profundas referidas a la edad y las fallas.

En particular, parece haber menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y de la probabilidad de que esto fallen. En la figura 8 se muestra cómo ha cambiado el pensamiento con respecto al comportamiento de las fallas en los activos con respecto al tiempo.

Figura 8. Cambio en los puntos de vistas sobre las fallas de los equipos

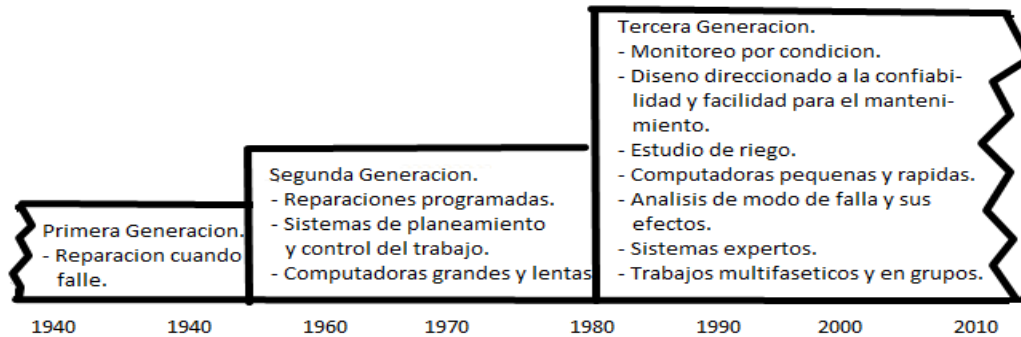


Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.4.

2.2.3.3. Nuevas técnicas. Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento.

Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos veinte años, y emergen aun más cada semana. En la figura 9 muestra como ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas.

Figura 9. Evolución de las técnicas de mantenimiento



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.5.

2.3. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM

El mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.

Para que un proceso de mantenimiento se considere como un proceso de RCM, según la norma SAE, este proceso debe tener los siguientes elementos:

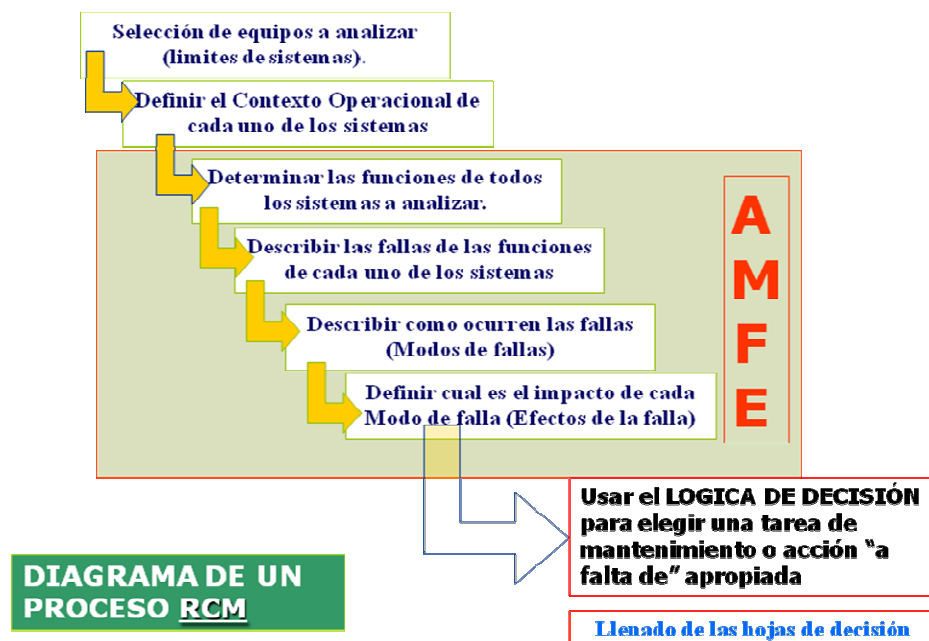
- Definición del equipo o del sistema.
- Definición de funciones del equipo.
- Descripción de las fallas funcionales.
- Descripción de los modos de falla.
- Descripción de efectos de falla.
- Aplicación lógica de RCM: Metodología para elegir las acciones más apropiadas de mantenimiento y las frecuencias de aplicación.
- Documentación del programa de mantenimiento: enfocado en la operación del equipo o sistema.

Estos elementos se resumen en las siete preguntas básicas de un proceso de RCM:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

En la figura 10, se muestra el proceso de RCM donde se puede observar las diferentes etapas que se deben realizar durante la aplicación de la metodología de RCM al sistema que se desee analizar.

Figura 10. Diagrama del proceso de RCM



2.3.1. Definiciones del equipo o del sistema. Dentro de los sistemas críticos se selecciona aquel que se piensa trabajar, luego se divide en subsistemas y así hasta que el subsistema se descomponga en el equipo que se desea trabajar.

Otro criterio importante es definir las fronteras, puesto que se debe conocer con exactitud que se quiere estudiar y que no, también porque es necesario tener certeza de las entradas y salidas del sistema y no traslapar sistemas consecutivos. Las fronteras se pueden definir de acuerdo a las funciones principales.

2.3.2. Funciones y parámetros de funcionamiento

2.3.2.1. El contexto operacional. Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo.

Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, a un cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos. Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción (2 ó 3 carillas) donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

Antes de poder aplicar un proceso para determinar que debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se necesita hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por eso el primer paso del proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamientos deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer pueden ser divididos en dos categorías: función primaria y secundaria.

2.3.2.2. Funciones primaria. Que en primera instancia resumen el por qué de la adquisición del activo. Esta categoría cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad del producto y servicio al cliente.

2.3.2.3. Funciones secundaria. La cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionados con el área de seguridad, control, confección, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de las regulaciones ambientales y hasta las apariencias de los activos.

2.3.2.4. Registro de las funciones en la hoja de información del RCM. Una definición funcional escrita adecuadamente –específicamente si está totalmente identificada- define con precisión los objetivos de desempeño.

Esto asegura que todos los involucrados conocen exactamente que se quiere, lo que a su vez asegura que las actividades de mantenimiento permanezcan enfocadas hacia las necesidades reales de los usuarios o clientes. También ayuda absorber variaciones originadas por cambios de expectativas sin hacer obsoleto todo el emprendimiento.

Las funciones se listan en la columna izquierda de la Hoja de Información de RCM. Las funciones primarias se escriben primero y se muestran como aparece en la figura 11.

Figura 11. Registro de funciones en la hoja de información de RCM

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO	
		COMPONENTE	
FUNCIÓN		Turbocompresor	
		Estación Compre	
1	Disminuir el nivel de ruido del turbocompresor a un mínimo de 75 db.		
2	Mantener iluminado el interior de la cabina, de acuerdo a los estándares de salud ocupacional.		

2.3.3. Fallas funcionales. Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y las expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Pero ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de la falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una

combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, necesitamos identificar que fallas pueden ocurrir.

Para estos es necesario tener muy claro los conceptos de falla y falla funcional para el RCM:

En el proceso de RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identificar las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de fallas son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo a los parámetros de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

En general una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

Sumando a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en que el activo no puede mantener los niveles de calidad y de precisión). Evidentemente esta solo puede ser identificada después de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Las fallas funcionales se describen en la segunda columna de la hoja de de trabajo de información del RCM. Son codificadas alfabéticamente, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Registro de fallas funcionales en la hoja de información de RCM

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO	
		<i>Turbocompresor - Cabina y equipos e</i>	
		COMPONENTE	
		<i>Estación Compresora Palomino</i>	
FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	
1	Disminuir el nivel de ruido del turbocompresor a un mínimo de 75 db.	A	No disminuye el nivel de ruido a un mínimo de 75 Db
2	Mantener iluminado el interior de la cabina, de acuerdo a los estándares de salud ocupacional.	A	No mantiene iluminado el interior de la cabina

2.3.4. Modos de falla. Como se menciona anteriormente, una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. A estos hechos se le denomina modos de falla.

Un modo de falla es conocido como cualquier evento que genera o causa una falla funcional en el activo físico.

Los modos de falla “razonablemente posibles” incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en un mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aun no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de los modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso anormal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores

humanos (por parte del operador y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar las causas de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugares de causas reales. Por otro lado es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles.

2.3.4.1. Registro de las de modos de falla en la hoja de información del RCM. La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional, como lo muestra la figura 13.

Figura 13. Registro de modos de falla en la hoja de información de RCM

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO		
		Turbocompresor - Cabina y equipos auxiliar		
		COMPONENTE		
		Estación Compresora Palomino		
FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)
1	Disminuir el nivel de ruido del turbocompresor a un mínimo de 75 db.	A	No disminuye el nivel de ruido a un mínimo de 75 Db	1 Puerta de cabina dejada abierta
2	Mantener iluminado el interior de la cabina, de acuerdo a los estándares de salud ocupacional.	A	No mantiene iluminado el interior de la cabina	1 Todos los bombillos de la cabina fallan
2	Mantener iluminado el interior de la cabina, de acuerdo a los estándares de salud ocupacional.	B	Mantiene iluminado el interior de la cabina con estándares menores a los de salud ocupacional	1 Bombillo de la cabina falla

La figura 13 también indica que, como mínimo, la descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y de un verbo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada, pero no tanto como para perder mucho tiempo en el propio proceso de análisis.

Los verbos que se usan para describir los modos de falla deben ser elegirse cuidadosamente, ya que tienen una influencia muy fuerte en los procesos posteriores de selección de políticas de manejo de fallas.

2.3.4.2. Por que analizar los modos de fallas. En la mayoría de los casos, los modos de fallas son discutidos, registrados y manejados luego de haber ocurrido. Tratar la falla después de que hayan ocurridos es por supuesto la esencia del mantenimiento reactivo.

Por otro lado, el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir como deberían ser manejados si llegan a ocurrir. Para ello debemos saber por adelantado que eventos pueden ocurrir. “Los eventos” en este contexto son los modos de falla. Entonces si deseamos aplicar un mantenimiento verdaderamente proactivo a cualquier activo físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que puedan afectarlo. El ideal sería identificarlos antes de que ocurriesen o al menos antes de que vuelvan a ocurrir.

Una vez que cada modo de falla ha sido identificado es posible considerar que sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si debería hacerse algo para anticipar, prever, detectar, corregir, o hasta rediseñar.

2.3.4.3. ¿Cuánto detalle de los modos de falla?. Ya mencionamos anteriormente que los modos de falla deben ser descritos con el detalle suficiente como para que

sea posible seleccionar una estrategia adecuada de manejos de fallas, pero no con tanto detalle como para que se pierda demasiado tiempo en el proceso de análisis.

En la práctica, puede ser sorprendentemente difícil encontrar un nivel de detalle adecuado. No obstante, es muy importante encontrarlo, ya que el nivel de detalle afecta profundamente la validez del AMFE y la cantidad y la cantidad de tiempo que requiere para hacerlo. Si se hace con poco detalle o pocos modos de fallas pueden llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por lo contrario, demasiados modos de fallas o demasiado detalle hace que el proceso de RCM lleve mucho más tiempo que el necesario. Lo que se conoce como parálisis por análisis.

Es por eso, que el nivel al que debería ser identificado un modo de falla es aquel en el cual es posible identificar una política de falla apropiada para el manejo de la falla. (Esto es válido tanto si se está llevando un AMFE antes de que ocurra la falla como si se hace un “análisis de causa raíz” después que ocurrió la falla.

2.3.5. Efectos de falla. El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla.

Esto se denomina Efecto de Falla. Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla. Notemos que el efecto de falla no es el mismo que la consecuencia de la falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde la pregunta ¿Qué importancia tiene?

La descripción de estos efectos de falla debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de la falla. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla
- Que debe hacerse para reparar una falla

2.3.5.1. Evidencia de falla. Los efectos de las fallas deben describirse de tal forma que permita a los analistas RCM decidir si, en circunstancias normales, será evidente para los operarios la pérdida de la función causada por ese modo de falla actuando por sí solo.

Asimismo la descripción debe indicar si la falla va acompañada o precedida por efectos físicos obvios, tales como ruidos fuertes, incendios, humos, fugas, olores extraños, o manchas de líquidos en el suelo. También debe indicar si la máquina se para como consecuencia de la falla.

Este es un modo de falla mucho más complejo que la mayoría de los modos de falla. Por eso la descripción de los efectos de la falla es más extensa de lo usual. La descripción promedio de un efecto de falla generalmente es de 20 a 60 palabras.

Cuando se describen los efectos de falla, no debe prejuizarse la evaluación de las consecuencias de las fallas usando palabras como “oculto” o “evidente”. Esto es parte del proceso de evaluación de las consecuencias, y si se usa de manera prematura podría influir incorrectamente sobre esa evaluación.

2.3.5.2. Riesgo para la seguridad y el medio ambiente. El diseño de las plantas industriales modernas han evolucionado de tal forma que solo una pequeña proporción de los modos de fallas presentan una amenaza directa para la seguridad o el medio ambiente.

No obstante, si existe amenaza directa para la seguridad de que alguien se lesione o muera como consecuencia directa de una de una falla, o que se infrinja una normatividad o reglamento del medio ambiente, la redacción del efecto de la falla debe explicar cómo esto podría ocurrir. Algunos ejemplos incluyen:

- Incremento del riesgo de incendio o explosiones
- El escape de productos químicos peligrosos
- Electrocución
- Caída de objetos
- Explosiones o estallidos
- Exposición a materiales muy calientes o fundidos
- Desintegraciones de grandes componentes rotativos
- Descarrilamientos o accidentes vehiculares
- Exposición a objetos cortantes o maquinas en movimientos
- Incrementos de los niveles de ruido
- Colapso de estructura
- Crecimiento bacteriano
- Ingreso de suciedad a productos alimenticios o farmacéuticos
- Inundaciones

Al hacer la lista de estos efectos, no se debe prejuzgar la evaluación de las consecuencias de la falla haciendo declaraciones como “esta falla puede perjudicar la seguridad”, ni “esta falla afecta el medio ambiente”, simplemente se

debe indicar que es lo que sucede y dejar la evaluación de las consecuencias hasta la etapa siguiente del proceso de RCM.

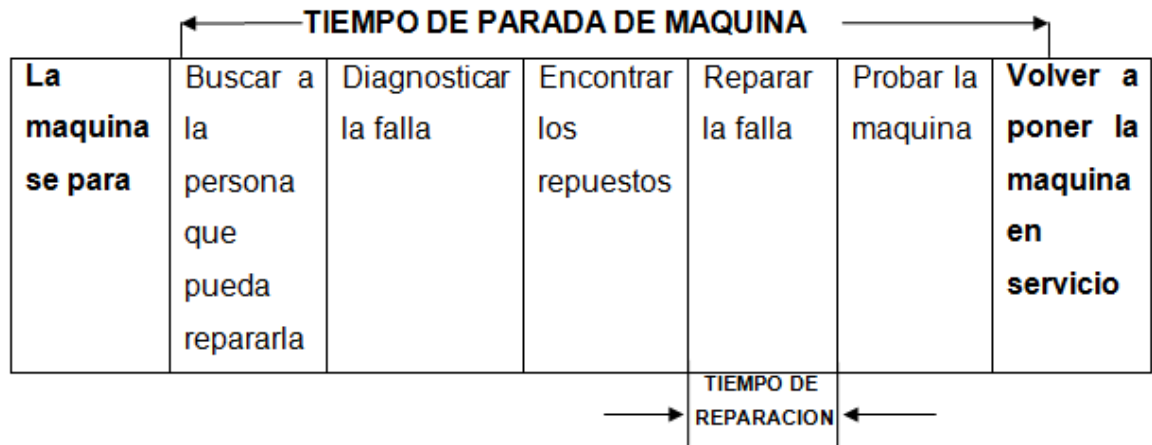
Obsérvese también que no nos estamos refiriendo solamente a posibles amenazas a nuestro propio personal, sino que también nos referimos a amenazas sobre la seguridad de nuestros consumidores y de la comunidad en conjunto.

2.3.5.3. Daños secundarios y efectos en la producción. La descripción de los efectos de falla debe aportar la máxima claridad posible para determinar cuáles son las consecuencias operacionales y no operacionales de la misma.

Para hacer esto, debe indicar como y durante cuánto tiempo queda afectada la producción (si es que resulta afectada). Generalmente esto tiene que ver con el tiempo de parada de maquina ocasionada por cada falla.

En este contexto, el tiempo de parada de la maquina es el tiempo total durante el cual la maquina probablemente permanece fuera de servicio en condiciones normales, desde el momento en que se produce la falla hasta el momento en que la maquina nuevamente se encuentra totalmente operativa. Como lo indica la figura 14, esto generalmente es mucho más que el tiempo neto de reparación. Es posible reducir las consecuencias operacionales de la falla tomando medidas para acortar el tiempo muerto; lo más común es reducir el tiempo que toca en encontrar los repuestos.

Figura 14. Tiempo de parada de máquina vs. tiempo de reparación



2.3.5.4. Acciones correctivas. Los efectos de falla también deben indicar que debe hacerse para reparar la falla. Esto debe incluirse cuando se indica el tiempo muerto.

2.3.5.5. Registro de los efectos de falla en la hoja de informe del RCM. Los efectos de falla se registran en la hoja de informe del RCM, ver figura 15, y se ubican al lado de los modos de fallas.

Figura 15.Registro de los efectos de fallas en la hoja de información RCM

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO		N°	Realizado por		Fecha	Hoja
		Turbocompresor - Turbina de gas potencia y compresor axial						
		COMPONENTE		Ref.	Revisado por		Fecha	de
		Estación Compresora Palomino						
FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)		EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)		
1	Suministrar un torque a un minimo de XX lb-f a 14300 rpm, al compresor de proceso (Turbina de potencia)	A	No produce torque en absoluto	1	Suministro de combustible falla	Se analiza en el sistema de combustible		

2.3.6. Consecuencias de falla. Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per se si no evitar o reducir las consecuencias en cuatro grupo, de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas
- Consecuencias ambientales y para la seguridad
- Consecuencias Operacionales
- Consecuencias No-Operacionales

2.3.6.1. Consecuencia de falla oculta. Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente).

Los sistemas de protección de los equipos son cada vez son más utilizados para intentar eliminar o disminuir las consecuencias de una falla. Estos dispositivos funcionan en una de cinco maneras:

- Alertar a los operadores ante condiciones anormales
- Detiene el equipo en caso de falla
- Eliminan o alivian las condiciones anormales que se siguen en una falla y que de otra manera podría causar daños más serios
- Asume el control de una función que ha fallado
- Previenen que surjan situaciones peligrosas.

La función esencial de estos dispositivos es la de garantizar que las consecuencias de las fallas de la función protegida sea mucho menos grave que se sería sin protección. Entonces cualquier dispositivo de seguridad es de hecho parte de un sistema con al menos dos componentes:

- El dispositivo de protección
- La función protegida.

La existencia de tales sistemas crea dos tipos de posibilidades de falla, dependiendo de si el dispositivo de seguridad tiene seguridad inherente o no.

➤ Los dispositivos de protección con seguridad inherente

Es aquel cuya falla se vuelve evidente por si misma al personal de operación en circunstancias normales.

➤ Los dispositivos de protección sin seguridad inherente

Es cuando en un sistema que contiene un dispositivo de seguridad no cuenta con seguridad inherente, es decir que el dispositivo no detecta algunas de las fallas que se pueden presentar en él.

➤ Mantenimiento de rutina y Funciones ocultas

En un sistema que incorpora un dispositivo de protección sin seguridad inherente, la probabilidad de una falla ocurra puede ser reducida de la siguiente manera:

- Reduciendo la frecuencia de falla de la función protegida.
Haciendo algún tipo de mantenimiento proactivo.
Cambiando la manera en que se opera la función protegida
Cambiando el diseño de la función protegida
- Incrementado la disponibilidad del diseño del dispositivo de protección
Haciendo algún tipo de mantenimiento proactivo
Verificando periódicamente si el dispositivo de protección ha fallado
Modificando el dispositivo de protección

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.

2.3.6.2. Consecuencias ambientales y para la seguridad. Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien y tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir una normatividad relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional, nacional e internacional.

Para modos de falla que tienen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, solo merece la pena realizar una tarea proactiva si reduce la probabilidad de una falla a un nivel tolerablemente bajo.

2.3.6.3. Consecuencias operacionales. Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción o las operaciones (volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo.

Para modos de falla que tienen consecuencias operacionales, solo merece la pena realizar una tarea proactiva si a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales mas el costo de reparar la falla que pretende evitar.

2.3.6.4. Consecuencias no-operacionales. Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni la seguridad ni la producción, de modo que solo involucra el costo directo de la reparación.

Para modos de falla que tienen consecuencias no operacionales, solo merece la pena realizar una tarea proactiva si, en un periodo de tiempo, cuestan menos que el costo de reparar las fallas que pretende prevenir.

2.3.7. Diagrama de decisiones de RCM

2.3.7.1. Integración de consecuencias y tareas. A través del diagrama de decisiones se integran todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única.

Esta estructura se muestra en la hoja de información del RCM, ver figura 16, y se aplica a cada uno de los modos de falla listados en la hoja de información RCM.

Figura 16. Hoja de decisiones de RCM

ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO															
HOJA DE DECISIÓN - TURBOCOMPRESOR - TURBINA DE GAS, POTENCIA Y COMPRESOR AXIAL															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM		ELEMENTO										Nº	Realizado por	Fecha	Hoja
		Turbocompresor - Turbina de gas potencia y compresor axial										Ref.	Revisado por	Fecha	de
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
		F	EF	FMI	H	S	F	O	Nº	Nº	Nº				H4

2.3.7.2. El proceso de decisión de RCM. La hoja de decisión permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión, y, en función de dichas respuesta, registra:

- Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con frecuencia será realizado y quien lo hará

- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

En el anexo A se muestra el diagrama de decisiones.

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. La columna F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utiliza para correlacionar las referencias de las hojas de información y las hojas de decisión, como lo muestra la figura 17.

Figura 17. Correlación de referencias entre la hoja de información y la hoja de decisión


Promigas

ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO
HOJA DE INFORMACIÓN - TURBOCOMPRESOR TURBINA DE GAS, POTENCIA Y COMPRESOR AXIAL

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO	N°	Realizado por		Fecha	Hoja
		<i>Turbocompresor - Turbina de gas potencia y compresor axial</i>					
		COMPONENTE	Ref.	Revisado por		Fecha	de
<i>Estación Compresora Palomino</i>							
FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)		EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)		
1	Suministrar un torque a un minimo de XX lb-ft a 14300 rpm, al compresor de proceso (Turbina de potencia)	A No produce torque en absoluto	1	Suministro de combustible falla	Se analiza en el sistema de combustible		


Promigas

ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO
HOJA DE DECISIÓN - TURBOCOMPRESOR - TURBINA DE GAS, POTENCIA Y COMPRESOR AXIAL

HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM		ELEMENTO		N°	Realizado por		Fecha	Hoja							
		<i>Turbocompresor - Turbina de gas potencia y compresor axial</i>													
		COMPONENTE		Ref.	Revisado por		Fecha	de							
<i>Estación Compresora Palomino</i>															
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias		H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"		Tareas Propuestas				Frecuencia inicial	A realizar por	
F	FF	FM	H	S	F	O	N°	N°	N°	H4	H5	S4			
1	A	1												Se analiza en el sistema de combustible	

Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren a las preguntas del Diagrama de Decisiones de RCM de la figura 16, de manera que:

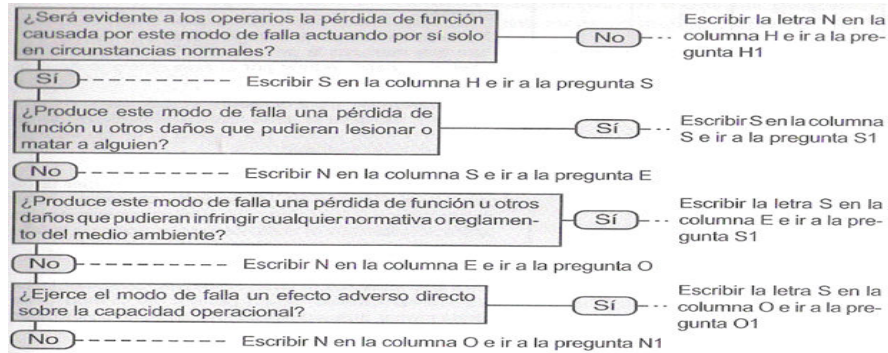
- Las columnas tituladas H (Health), S (Safety), E (Environment), O (Operational) y N (Non operational) son utilizadas para registrar las repuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, ETC) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.
- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas encabezadas con H4 y H5, o la 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 que debe hacerse, y quien ha sido seleccionado para realizarla.

La columna de “Tareas Propuestas” también se utiliza para registrar los casos en que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

2.3.7.3. Consecuencia de falla. Los significados precisos de las preguntas H, S, E y O se discutieron anteriormente y las preguntas que se realizan para cada modo de falla, y las respuestas se registran en la Hoja de Decisión basándose en lo que a continuación muestra la figura 18.

Figura 18. Registros de las consecuencias de falla en la hoja de decisión



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.207.

La figura 19 muestra como las respuestas a estas preguntas se registran en la Hoja de Decisión. Notemos que:

- Cada modo de falla es ubicado en solo una categoría de consecuencias. Entonces, si es calificado como que tiene consecuencias ambientales, no evaluamos también sus consecuencias sus operacionales (al menos cuando realizamos el primer análisis de un activo físico cualquiera). Esto significa que, por ejemplo, si se registra una “S” en la columna “E”, no se registra nada en la columna “O”.
- Una vez que las categorías de fallas han sido categorizadas, el próximo paso es buscar una tarea proactiva adecuada. La figura 18 también resumen el criterio utilizado para decidir si merece la pena realizar tales tareas.

Figura 19. Consecuencia de falla

Referencia de información			Evaluación de consecuencias			
F	FF	FM	H	S	E	O
3	A	1	N			
5	B	2	S	S		
2	C	4	S	N	S	
1	A	5	S	N	N	S
1	B	3	S	N	N	N

Una falla oculta:
Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de esta falla a un nivel tolerable

Consecuencias para la seguridad:
Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable

Consecuencias para el medio ambiente:
Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable

Consecuencias operacionales:
Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un período de tiempo debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación de la falla que pretende prevenir

Consecuencias No-operacionales:
Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un período de tiempo debe costar menos que el costo de la reparación de las fallas que pretende prevenir

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.208.

2.3.7.4. Tareas proactivas. Las columnas de la octava a la decima son utilizadas para registrar si se ha seleccionado una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1, S1, O1 y N1 es utilizada para registrar si se pueden 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 y N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento programado apropiada para prevenir las fallas.
- La columna titulada H3, S3, O3 y N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir la falla.

En cada caso, una tarea solo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible. Estos criterios se resumen en la figura 20 y en esencia, para

que una tarea sea técnicamente factible y que merezca la pena, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que se aplican a esa categorías de tarea, y la tarea debe responder al mismo criterio de “merece la pena ser realizada” de la figura 19.

Si la respuesta a cualquiera de la pregunta es “no” o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente. Si todas las preguntas pueden ser contestadas afirmativamente, entonces se registra una “S” en la columna apropiada.

Figura 20. Criterio de factibilidad técnica

Figura 10.6:
Criterios de factibilidad técnica

H1	H2	H3
S1	S2	S3
O1	O2	O3
N1	N2	N3
S		
N	S	
N	N	S

¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir? :
¿Hay alguna clara 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 hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?

¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso en que afecte la seguridad)?
¿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 (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?

¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso de que afecte a la seguridad)?
¿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 (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.209.

Si se selecciona una tarea, se registra una descripción de la tarea y la frecuencia con la que debe ser realizada; sin embargo debemos tener en cuenta que si parece que una tarea de orden más bajo pudiera ser mas costo-eficaz que una tarea de orden más alto, entonces la tarea de orden más bajo también debe ser considerada, y elegirse la más eficiente de las dos.

2.3.7.5. Las preguntas “a Falta de”. Las columnas H5, H5 y S4 en la Hoja de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de” En la figura 21 nótese que la pregunta “a falta de” solo se pregunta si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas “no”.

Figura 21. Preguntas “a falta de”

Figura 10.7:
Las preguntas “a falta de”

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

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.210.

2.3.7.6. Tarea propuesta. Si durante el proceso de la toma de decisiones se ha seleccionado una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de falla, debe registrarse la descripción de la tarea en la columna titulada “tarea propuesta”.

Lo ideal es que la tarea fuese descrita con el mismo detalle y precisión en la hoja de decisión como en el documento que se le entrega a la persona que deba realizar la tarea. Si esto no es posible, entonces la tarea debe ser al menos descripta con el detalle suficiente como para que absolutamente clara para quien escriba la descripción detallada.

Si el proceso de decisión lleva un cambio de diseño, entonces la tarea propuesta debe proveer una descripción breve del cambio de diseño. La forma real del nuevo diseño debe dejarse en manos de los diseñadores.

Finalmente, si debe tomarse una decisión que permita que ocurra una falla, en la mayoría de los casos debe registrarse en la columna de “tareas propuestas” la frase “ningún mantenimiento programado”. La única excepción es la falla oculta en la que “el perfil de riesgo/confiabilidad es tal que no se requiera de la búsqueda de falla”.

2.3.7.7. Intervalo inicial. Los intervalos de tareas registradas en la hoja de decisión en la columna de “intervalo inicial” y se basa en lo siguiente:

- Los intervalos de las tareas a condición están determinados por el intervalo P-F
- Los intervalos de las tareas de reacondicionamiento programado y de sustitución cíclica dependen de la vida útil del elemento que consideramos
- Los intervalos de las tareas de búsqueda de falla están determinados por las consecuencias de la falla múltiple, que determinan la posibilidad necesaria, y el tiempo medio entre ocurrencias de la falla oculta.

Al completar la Hoja de Decisiones, debemos registrar cada intervalo de tarea de acuerdo con sus propios merito – en otras palabras, sin referencia a otra tareas. Esto es por qué la razón para realizar tareas a una frecuencia en particular puede cambiar con el tiempo y en realidad la razón para realizarla hasta podría desaparecer. Entonces, si la frecuencia de la tarea X está basada en la frecuencia de la tarea Y y la tarea Y luego es eliminada, la frecuencia de la X pierde el sentido.

Los intervalos de tareas pueden basarse en cualquier medida apropiada de exposición al esfuerzo. Esto incluye tiempo de calendario, tiempo de funcionamiento, producción o flujo de producción, o cualquier otra variable medible que tenga relación directa con el mecanismo de la falla.

2.3.7.8. “Puede ser realizado por”. La última columna de la hoja de decisión se utiliza para la anotación de quien debe realizar cada tarea, ver figura 22. Notemos que en el proceso de RCM considera este tema para un modo de falla a la vez.

Figura 22. Registro en la hojas de decisiones de “a realizar por”

ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO															
HOJA DE DECISIÓN - TURBOCOMPRESOR - TURBINA DE GAS, POTENCIA Y COMPRESOR AXIAL															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM		ELEMENTO				Nº	Realizado por					Fecha	Hoja		
		Turbocompresor - Turbina de gas potencia y compresor axial													
		COMPONENTE				Ref.	Revisado por					Fecha	de		
		Estación Compresora Palomino													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	F	O	Nº	Nº	Nº	H4	H5	S4			
1	A	1											Se analiza en el sistema de combustible		

Las tareas pueden ser adjudicadas a mantenimientos, operadores, inspectores de seguro, personal de calidad, técnicos especializados, proveedores, inspectores de estructuras y técnicos de laboratorio.

3. CONTEXTO OPERACIONAL TURBOCOMPRESOR

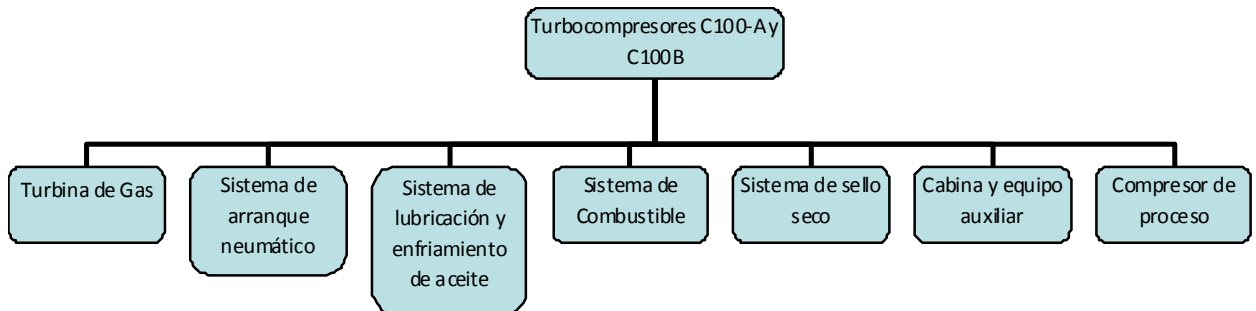
El sistema de compresión de la Estación Palomino, ver figura 23, consta de dos paquetes Turbocompresores Solar Turbines Taurus 60, los cuales comprimen el gas proveniente de la estación Ballena. De acuerdo con la demanda del Gas Natural en la Costa Atlántica. Los Turbocompresores pueden operar en forma individual o en paralelo, para obtener la máxima capacidad de transporte.

Figura 23. Turbocompresores estación compresoras Palomino



Cada paquete del Turbocompresor se dividió en subsistemas de acuerdo con los componentes y las funciones desarrolladas para la operación del Turbocompresor, ver figura 24. Estos subsistemas se mencionan a continuación:

Figura 24. Sistemas de la estación turbocompresora Palomino



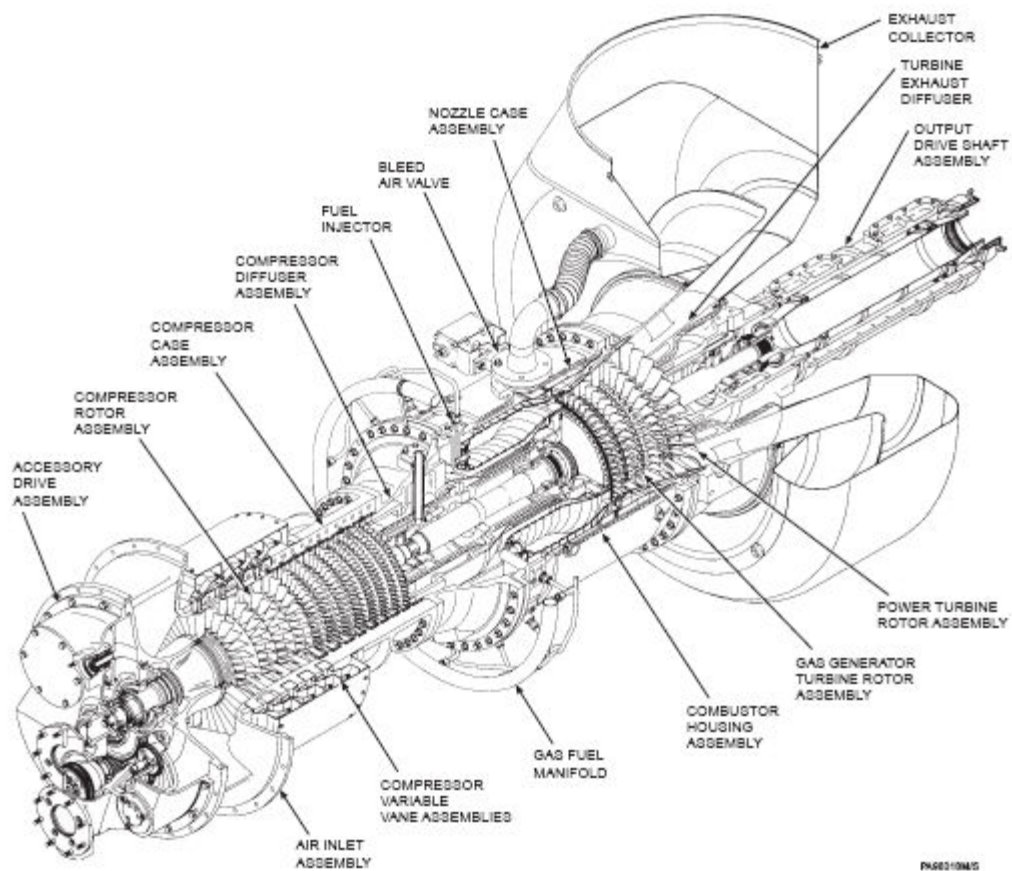
3.1. Turbina de gas

La turbina consta de seis conjuntos principales: el compresor axial, el sistema de alabes variables, la válvula de purga, la caja de accesorios, la cámara de combustión, y la turbina productora de gas como tal.

La turbina de gas es la unidad propulsora del compresor centrífugo. El aire filtrado entra en la sección del compresor axial a través de éste y 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 y accionan los rotores correspondientes a la turbina productora de gas y a la turbina productora de potencia. La turbina productora de gas acciona el compresor axial y los accesorios. La turbina productora de potencia proporciona la energía al compresor centrífugo de proceso. El aire y los gases de combustión se descargan en la atmósfera a través del sistema de escape.

Los componentes principales incluyen un conjunto de entrada de aire, un conjunto compresor axial multi-etapa, un conjunto difusor del compresor, un conjunto de cámara de combustión anular, turbina productora de gas y turbina de potencia, un difusor del escape y un colector del escape. Ver figura 25

Figura 25. Turbina productora de gas



3.1.1.1. Compresor axial y sistema antisurge en la turbina. Este sistema tiene como función básica proveer el aire para la combustión, suministrar aire de enfriamiento, aire para los sellos de laberinto y suministrar aire de control para la combustión.

Fuera de la cabina existen 64 filtros de aire los cuales poseen un sistema auto-limpiante y se encuentran montados sobre el ducto de admisión de aire que no permiten el paso de partículas mayores 1 μm .

El sistema tiene dos interruptores indicadores de presión diferencial, que envían la señal a un control. La alarma por alta presión diferencial tiene un setting de 10 Psid y un disparo a 20 Psid.

En la admisión del aire hay un ducto en forma de espiral con 360 de giro, con rejillas que impiden el paso de objetos extraños de hasta 1/8 in. En el ducto de admisión del aire existe una RTD (RT339), que el sistema de control utiliza posteriormente para sensar la temperatura de entrada de aire al compresor axial (T1).

Un transmisor de presión diferencial en la admisión del aire (TPD358), ubicado aguas abajo del ducto de la admisión de aire, detecta la diferencia entre la presión del aire ambiente y la presión del aire aguas debajo de los filtros y envía una señal correspondiente al sistema de control para su monitoreo, además una válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI931-7) se usa para que el transmisor pueda aislarse del sistema. La diferencia máxima debería entre 2.5 – 4 in H2O, en caso de caída de presiones mayores afectaran la eficiencia del equipo.

El ducto está provisto de una válvula de retención del drenaje de la entrada de aire (VCH930), ubicada en la tubería de drenaje, se abre a una presión de apertura inicial de 0.5 Psig para drenar líquidos del ducto de admisión del aire.

Una válvula solenoide de corte de agua de lavado (L390-1), está ubicada aguas arriba del múltiple de agua de lavado, es una válvula solenoide de dos vías y normalmente cerrada. Al energizarse, la válvula solenoide se abre para permitir que pase el agua de lavado al múltiple de lavado con agua de la turbina de flujo axial. Al desenergizarse, la válvula solenoide se cierra para cortar el suministro de agua de lavado.

Sobre la carcasa de admisión de aire están montados el sello de aceite, los cojinetes del rotor del compresor axial y el conjunto de drive de accesorios.

El compresor axial, figura 26, tiene 12 etapas y proporciona el flujo de aire de 39 lb/s de aire, para el proceso de combustión y para el enfriamiento de los componentes de la turbina.

A la salida del compresor se encuentra un difusor, desde la descarga del compresor, hasta la entrada de la cámara de combustión, para disminuir la velocidad del flujo de aire y aumentar la presión del aire entre 137 psig. Esta presión es conocida como PCD

El aire usado es aproximadamente $\frac{1}{4}$ del flujo para la combustión y $\frac{3}{4}$ restantes para enfriar los gases de combustión y el revestimiento.

Figura 26. Vista compresor axial



El aire que suministra el compresor axial puede subdividirse en dos, aire primario y aire secundario. El aire primario es usado para ser mezclado con el gas y ser quemado. El aire secundario fluye por algunos agujeros en los revestimientos que entran por la parte posterior evitando que las llamas entren en contacto directo con los revestimientos y ayudando a que la combustión sea completa, además de ayudar con la disipación de calor en la cámara de combustión.

Una válvula manual de purgado (VH930), normalmente cerrada, tipo compuerta, está instalada para dirigir el aire de purgado proveniente de los compresores de aire de la estación, hacia el sistema autolimpiante de los filtros en la admisión de aire.

El aire comprimido suministrado por el compresor axial también cumple otras funciones como:

- Suministrar aire a los sellos de laberinto para impedir el paso de aceite hacia turbina de potencia, cámara de combustión y turbina productora de gas.
- Enfriar los discos del rotor y las boquillas de la primera etapa de la turbina hasta 1600 F.
- Suministrar aire para control de la relación aire / combustible entre 100-130 psig.

El aire de control de combustible es llevado por una tubería a un múltiple de aire, previsto de un manómetro de aire de descarga (PI930).

Un transmisor de presión de descarga del compresor de la turbina (TP349), ubicado aguas abajo de la turbina en la línea de presión PCD, detecta la presión de descarga del compresor axial y envía una señal correspondiente al sistema de control para su monitoreo. La válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI931-3) se usa para que el transmisor y un manómetro de presión de descarga del compresor de la turbina (PI930) de la turbina puedan aislarse del sistema.

3.1.1.2. Alabes variables. El mecanismo de alabes variables, figura 27, previene la condición de bombeo (Surge) en el compresor axial durante la aceleración de la turbina, en conjunto con la válvula de purga.

Figura 27. Alabes variables

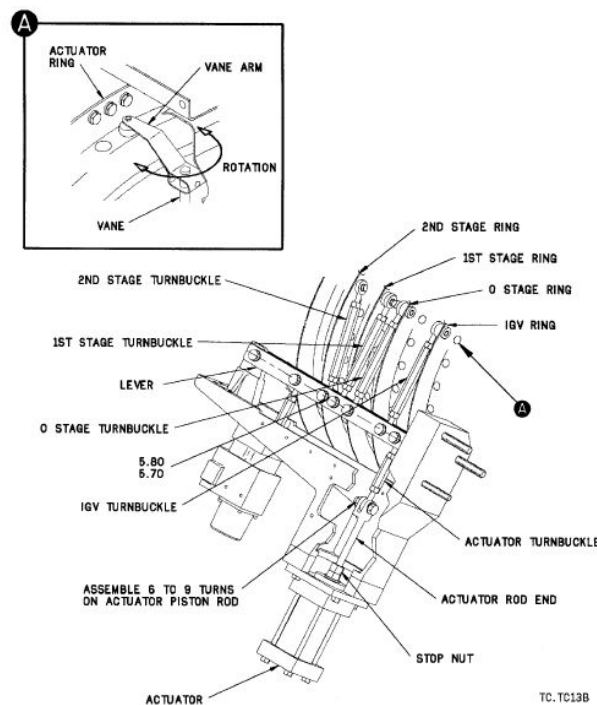


El sistema de alabes variables compensa aerodinámicamente las etapas de baja presión del compresor axial, con las etapas de alta presión. Las etapas de baja presión se realinean para mantener un flujo de aire equilibrado, con lo que se evita la condición de bombeo en el compresor. La velocidad corregida se utiliza para compensar los efectos de los cambios en la densidad del aire a través de la gama

Los alabes son accionados mediante un actuador hidráulico L339, figura 28, que recibe una señal de 4-20 mA del controlador. La apertura de los alabes variables es una función lineal de la velocidad de giro de la turbina productora. Los alabes comienzan a abrirse cuando la turbina productora de gas alcanza el 80% Ngp corregida y están completamente abiertos cuando se alcanza el 92% Ngp corregida.

El sistema que acciona los alabes variables es accionado por un cilindro hidráulico que mueve un conjunto de varillaje, que a su vez mueve los alabes.

Figura 28. Actuador alabes variables



El aceite para el accionamiento del cilindro hidráulico CYL901, es suministrado por la bomba principal P901 del sistema de lubricación

De la línea principal de suministro de la bomba P901, hay una derivación que envía aceite para el accionamiento del sistema de alabes variables y para la válvula de purga de aire. Esta derivación tiene un filtro FS903 que impide que entren partículas mayores a 10 μm .

El cilindro es controlado por una servo válvula, situada aguas arriba del cilindro. Esta válvula acciona un actuador de pistón con eje de salida y un mecanismo de retroalimentación. El actuador de control proporciona aceite al cilindro CYL901, para posicionar los alabes directores según se requiera. La articulación de

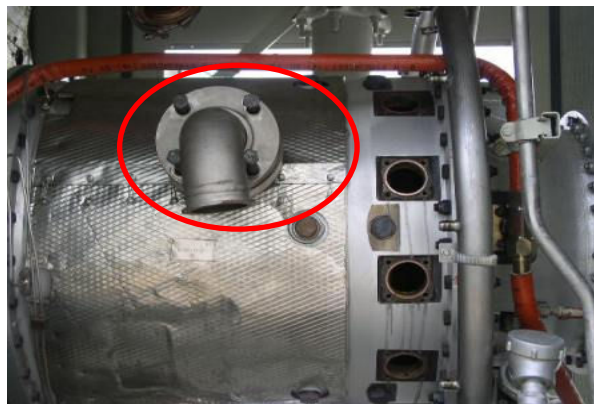
retroalimentación desde el cilindro CYL901 envía al actuador información sobre la posición del cilindro.

El sistema de control detecta la velocidad Ngp y la temperatura T1 y proporciona esta información al controlador. El controlador procesa las señales, genera un requisito de demanda de posición y provee una señal al servo actuador de los alabes variables. El servo actuador controla la presión de aceite al actuador de los alabes directores y los posiciona en el ángulo correcto.

3.1.1.3. Válvula de purga de aire. La válvula de purgado (PCV942), figura 29, es movida por un actuador hidráulico, que está normalmente cerrado.

La válvula de purga desvía el aire de la cámara de combustión, al sistema de escape de gases directamente. Esta válvula trabaja en conjunto con los alabes variables para evitar la condición de bombeo (Surge) en el compresor axial.

Figura 29. Válvula de purga



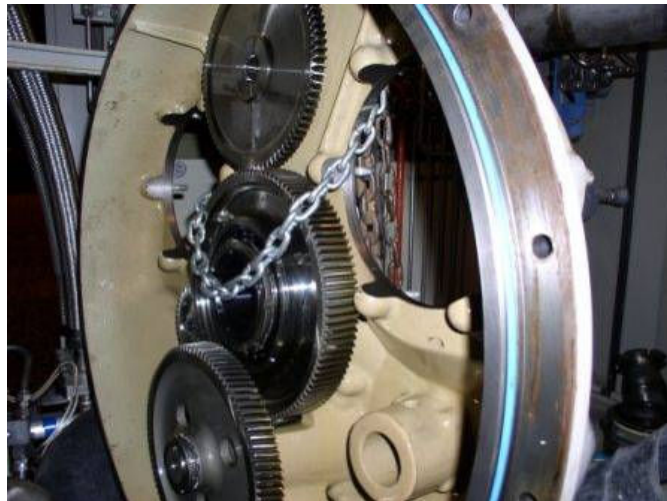
La válvula de purga está montada directamente en la turbina, aguas abajo de la válvula solenoide de control direccional de la válvula de purgado (L338). El aire de

descarga del compresor se desvía hacia el colector del escape, a velocidades de la turbina aproximadamente al 78 %; la válvula de purgado se cierra a velocidad de la turbina del 80 %.

El actuador hidráulico de la válvula de purga recibe el aceite a una presión entre 45 – 55 psig de la bomba de aceite principal del sistema de lubricación. Este actuador tiene un mecanismo que permite modificar la carrera de la válvula.

3.1.1.4. Drive de accionamiento de accesorios. El drive de accionamiento de accesorios, figura 30, es un conjunto de engranajes montado en la entrada de aire cuya función principal es transmitir torque a varios elementos montados sobre el eje principal.

Figura 30. Drive de accionamiento de accesorios



Una de sus funciones es transmitir el torque generado por el motor de arranque para mover la turbina durante la secuencia de arranque (6223 RPM).

El conjunto de engranajes transmite también torque a la bomba de aceite de sello mecánico (2100 RPM) y la bomba de aceite de lubricación (2100 RPM).

3.1.1.5. Cámara de combustión. Una vez el aire es comprimido entra a la cámara de combustión, figura 31, donde se mezcla con el combustible, mediante la operación de 12 inyectores.

Figura 31. Cámara de combustión



Durante la secuencia de arranque de la turbina, un quemador FO931-1 que es alimentado por una tubería de gas derivada de la línea principal de combustible, ubicada en la parte superior de la cámara de combustión, es encendido por una bujía. La bujía recibe corriente directa, de un transformador, que es alimentado a su vez por el banco de baterías a 24 Vdc.

La cámara de combustión también cuenta con un puerto para inspección con boroscopio, pines de refuerzo y un recubrimiento térmico en la pared de la cámara.

El quemador a su vez enciende la mezcla de gas y aire que entra en la cámara de combustión. El quemador se apaga cuando la combustión se convierte en auto-sostenible.

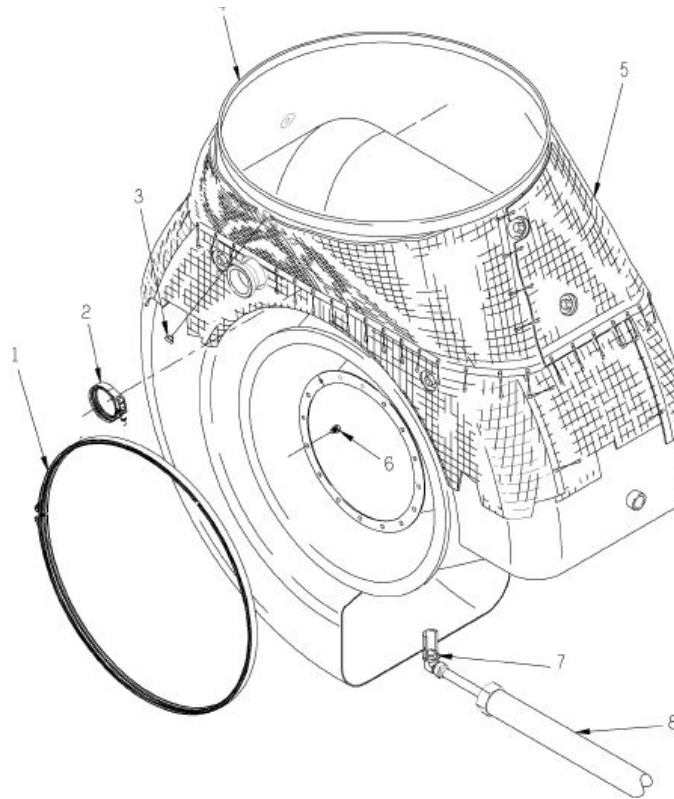
Los gases de combustión son usados para dos propósitos. Un tercio de la energía producida es usada para mover la turbina de potencia y los dos tercios restantes son usados para mover el compresor axial y el drive de accesorios.

Todos los gases de combustión son conducidos sin restricciones a un colector de escape, figura 32, a 12 m de altura, el cual ayuda a disminuir la velocidad y la temperatura de los gases y posteriormente liberarlos a la atmósfera.

Existen dos válvulas de drenaje del colector escape (PCV941-1 y PCV941-2), normalmente abiertas, ubicadas aguas abajo de la cámara de combustión de la turbina y del colector del escape en la tubería de drenaje del condensado.

Las válvulas de control de presión se cierran durante el funcionamiento a una presión P_{cd} preajustada (2-5 Psig) y bloquean el drenaje de líquidos. A una presión inferior, las válvulas de control de presión se abren para permitir el drenaje de los líquidos acumulados hasta un punto de recolección del condensado.

Figura 32. Escape



El escape está aislado con láminas de acero inoxidable para evitar lesiones por contacto con superficies calientes.

3.1.1.6. Turbina productora de gas. Antes del arranque de la turbina productora de gas, figura 33, se realiza un giro de purgado que consiste en la rotación del rotor del productor de gas con el motor de arranque.

Este giro desarrolla un flujo de aire a través del compresor para purgar el gas que se puede haber acumulado en la turbina y en los ductos de admisión y de escape. En re-arranques con la turbina caliente, el flujo de aire enfría la sección caliente de

la turbina. El giro de purgado también reduce la deformación del rotor que se pudo haber producido durante un largo período de inactividad.

Figura 33. Turbina productora de gas



Al arrancar el turbocompresor un temporizador de giro (CRANK_TIME) arranca. El mensaje de visualización de "estado de giro de purgado" se muestra en la pantalla de operación, mientras la turbina productora de gas se esté purgando. El indicador de ARRANQUE (DS114) parpadea a alta frecuencia. La turbina productora de gas comienza a aumentar la velocidad y cuando alcanza el 15 % Ngp, el temporizador de purgado de la turbina (PURGE_TIMER) inicia su conteo.

El giro de purgado continúa durante 100s para purgar todo el gas que pueda haberse acumulado en la turbina, en los ductos de admisión y en los ductos de escape. Este período se fija en función del caudal en el ducto de escape. Durante

el giro de purgado, las válvulas de combustible permanecen cerradas y el sistema de encendido está desactivado.

El temporizador de giro termina su conteo 100 s y se verifica que la velocidad del productor de gas (Ngp) es superior al 15 %. Si la velocidad Ngp no es superior al 15 %, se anuncia una falla de "no gira" y se cancela el arranque. Después del conteo final del temporizador de purgado, el ciclo de arranque continúa.

La turbina productora de gas acelera hasta el punto de ajuste de la velocidad Ngp de vacío 72% Ngp (NGPJDLE) para el control de combustible. Cuando el modo de operación es normal, el control de combustible mantiene la velocidad de vacío durante un período de tiempo 5 minutos para calentar los componentes y estabilizar las temperaturas en todo el sistema. Si no se carga la turbina, después de los 5 minutos, se inicia una parada con enfriamiento sin enclavamiento. Si la turbina esta en modo de prueba se quedara en la velocidad de vacío 72% Ngp hasta que se cargue o se inicie una parada manual.

La diferencia de temperatura entre las RTD ubicadas en T5 se verifica cuando la velocidad Ngp es mayor que la velocidad de desacople o desembrague del motor de arranque (65% Ngp). Si la temperatura diferencial T5 es superior a (200° F) por encima del promedio de la temperatura T5 durante más de 5 segundos, se anuncia una alarma de alta temperatura diferencial T5.

Si cualquiera de los seis termopares T5 indica por debajo del promedio de temperatura T5, se anuncia una alarma de falla de termopar T5. Si dos o más termopares T5 indican (200 °F) por debajo del promedio de temperatura T5 durante 20 segundos, se anuncia una falla de múltiples termopares T5 y la turbina se para (parada con enfriamiento y con enclavamiento).

La vida útil prevista de la turbina se relaciona directamente con la temperatura en el difusor de la turbina de la primera etapa (T3). Sin embargo, con vistas a la proteger los termopares por efectos térmicos, el parámetro medido es la temperatura más baja en la tobera de la tercera etapa (T5). Durante las pruebas de la turbina, se determina con precisión la relación entre las temperaturas T5 y T3. Se utiliza esta relación para corregir la temperatura medida por el sistema de control y las correspondientes pequeñas diferencias en el rendimiento de la turbina. La temperatura T5 que se mide cuando la turbina funciona a la temperatura T3 nominal se denomina "T5 de base" y esta temperatura viene impresa en la placa de identificación de la turbina.

La parada de la turbina productora de gas puede iniciarse ya sea manualmente por el operador, o automáticamente por la función de protección del equipo lógico de la consola de control. La parada puede ser de dos tipos básicos, parada con enfriamiento y parada rápida.

La parada manual de la turbina productora de gas efectuada por el operador se inicia al activar manualmente ya sea los interruptores de parada normal, de parada de emergencia, o de parada de emergencia en el patín. Los interruptores de parada normal inician una parada con enfriamiento y los de emergencia y de parada por emergencia en el patín inician una parada rápida. Para las paradas normales, se debe retirar la carga del equipo antes de realizar la parada.

➤ Paradas con enfriamiento

✓ Inicio de la parada

Cuando se reciba la señal de parada, el comando de control de combustible se fija en la velocidad Ngp de vacío 72% y la velocidad se reduce mediante una rampa

0.4% por segundo. La turbina productora de gas se desacelera y los alabes variables cambian de posición de la manera correspondiente. La válvula de purgado se transfiere de la posición cerrada a abierta cuando se alcanza la velocidad Ngp del 78%.

Arranca el temporizador de enfriamiento y se ilumina el indicador de ENFRIAMIENTO (DS113).

✓ Descarga

Cuando la velocidad del productor de gas (Ngp) disminuye á un nivel inferior a la velocidad de carga (90%), se abre la válvula de derivación del compresor de gas de proceso.

Se apaga el indicador de (turbina) EN CARGA (DS159).

✓ Enfriamiento

Durante el ciclo de enfriamiento, el productor de gas se desacelera hasta el punto de ajuste de la velocidad Ngp de vacío 72% para enfriar y estabilizar las temperaturas en la turbina productora de gas y en los subsistemas.

Si se inicia un nuevo intento de arranque durante el enfriamiento, se cancela la parada y la turbina puede ponerse en línea una vez más.

Cuando el temporizador de enfriamiento termina su período de conteo 5 minutos, se efectúa la reposición del enclavamiento de arranque / parada. Se iluminan las lámparas EN PARADA (DS111) y PARADA (DS175) y se apaga la lámpara de ENFRIAMIENTO (DS113).

La rampa de combustible se desactiva y se cierran la válvula solenoide piloto primaria de corte de gas combustible (L341-1) y la válvula solenoide piloto secundaria de corte de gas combustible (L342-1). Se apaga la combustión y el productor de gas y la turbina de potencia giran libremente hasta detenerse por completo. Se cierran las válvulas de succión y de descarga del compresor de gas. Cuando la velocidad Ngp disminuye por debajo del nivel de desacople del motor de arranque 65%, el contador de HORAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA (M100) deja de registrar el tiempo de funcionamiento.

✓ Despresurización

Cuando la velocidad del productor de gas disminuye por debajo del 15%, el temporizador de giro libre (RUN_DOWN_T) inicia su conteo. La válvula de venteo de gas combustible se abre para purgar el gas atrapado entre las válvulas de combustible primaria y secundaria. Cuando el temporizador termina su conteo 5 minutos, se activa el circuito condicionado de (turbina) lista para arrancar, se cierra el venteo de gas combustible y se apaga el indicador de parada. El temporizador de manutención de presurización (PRESS_HOLD) inicia su conteo. Cuando finaliza el conteo del temporizador 1 hora, se abre la válvula solenoide de cierre de venteo (L560-2) y se despresuriza la carcasa del compresor. Cuando la presión disminuye a un nivel inferior al punto de ajuste del interruptor de presión (10 psig incrementando) de la carcasa del compresor (S360-1), se cierra la válvula solenoide del aire de separación.

➤ Parada rápida

El proceso de parada rápida incluye el inicio de la parada, la descarga del compresor de gas y la poslubricación del turbocompresor. A excepción de la parada rápida por falla, el control de respaldo lleva a cabo parte o toda la secuencia de parada.

✓ Parada rápida por falla

Al iniciarse una parada rápida por falla, se efectúa la reposición del enclavamiento de arranque/parada del microprocesador directamente. Como consecuencia, se elimina el período de enfriamiento de la turbina, se cierran inmediatamente las válvulas de combustible primaria y secundaria, así como las válvulas de succión y de descarga del compresor de gas.

La válvula de venteo del compresor de gas se abre tan pronto como se cierran las válvulas de succión y de descarga. El resto de la secuencia es igual que la de la parada con enfriamiento.

✓ Parada de emergencia manual del operador

Cuando la parada de emergencia manual efectuada por el operador se inicia, los enclavamientos de arranque/parada en el microprocesador y en el control de respaldo se reposicionan directamente. El resto de la secuencia de parada es igual que la secuencia de parada rápida por falla. Sin embargo, el intento de arranque no es igual.

El enclavamiento de respaldo bloquea el control normal de microprocesadores hasta que se efectúe la reposición del control de respaldo. Esto requiere que se reponga del control de respaldo con la llave selectora de REPOSICIÓN DE RESPALDO (S114), antes del arranque, situado en el panel de control de la turbina y debe ser rotado en sentido horario.

✓ Parada por falla de microprocesador

El controlador detecta las fallas de microprocesadores. Cuando se detecta una falla de microprocesador, el control de respaldo fija inmediatamente el

enclavamiento de parada rápida. Se cierran las válvulas de corte de combustible primaria y secundaria, así como los alabes directores, y se abre la válvula de purgado.

El temporizador de giro libre comienza su conteo, se abre la válvula de derivación del compresor de gas y se cierran las válvulas de succión y descarga.

3.1.1.7. Turbina de potencia. El cargado de la turbina de potencia, figura 34, incluye la aceleración hasta la velocidad de régimen 90% Ngp, el cargado del compresor de gas y la transferencia a la modalidad de control de estado estacionario.

Figura 34. Turbina de potencia



Después de un período de calentamiento se incrementa el comando del punto de ajuste de la velocidad Ngp para acelerar la turbina. La potencia aumenta y la

velocidad de la turbina de potencia también aumenta. Cuando la velocidad de la turbina de potencia (Npt) aumenta por encima del 60%, se fija el enclavamiento de la velocidad Npt. Si la velocidad Npt disminuye por debajo del 50% durante el funcionamiento, se indicará una falla de baja velocidad de la turbina de potencia y la turbina se parará.

El indicador de la turbina “EN CARGA” (DS159) se ilumina y el indicador de la turbina “LISTA PARA CARGAR” (DS186) se apaga. Se fijan los niveles de potencia y la turbina continúa funcionando a la velocidad de estado estacionario bajo el control de la función de control de flujo de combustible.

➤ Inicio del arranque

El proceso de inicio del arranque incluye la selección de los modos de control y funcionamiento, el inicio del arranque, la prelubricación del turbocompresor, el arranque de los ventiladores de la cabina, la prueba de las válvulas de corte de combustible, el funcionamiento del sistema de sello, el purgado y la presurización del equipo accionado, además de la verificación del estado previo al giro inicial.

✓ Selección de modalidad e inicio del arranque

La modalidad funcional se selecciona girando la llave selectora de DESCONEXIÓN /LOCAL/REMOTO (S101) a la posición LOCAL o REMOTO. La lámpara LOCAL/REMOTO (DS101 L ó DS101 R) se ilumina para indicar la modalidad de control de operación seleccionada.

El arranque se inicia al pulsar el interruptor de ARRANQUE (S110) o ARRANQUE REMOTO (S510). Esto fija el enclavamiento de arranque/parada que inicia la

secuencia de arranque. El indicador de (turbina) LISTA (DS177) se apaga y el indicador de EN ARRANQUE (DS114) parpadea a baja frecuencia.

✓ Armado eléctrico del la turbina

El sistema se arma al conectar la energía eléctrica y efectuar la reposición de todos los circuitos de protección.

❖ Conexión de la energía eléctrica

El sistema se energiza al cerrar los disyuntores de suministro de energía y de distribución (Series CB500 y CB200). Normalmente la alimentación de energía eléctrica al sistema permanece conectada, aun cuando el sistema no está en funcionamiento. El procedimiento de activación inicial se utiliza únicamente cuando se ha desconectado la energía eléctrica para llevar a cabo el mantenimiento o si el equipo ha estado parado durante un período de tiempo prolongado.

Al activarse los disyuntores de circuitos de alimentación (serie CB500), se suministra una alimentación de 24 V CC proveniente de la combinación del cargador de baterías (BC501) y las baterías (BT501) a los disyuntores de circuitos de distribución (serie CB200) y a la bomba de respaldo de CC, BP903 para el aceite de poslubricación.

Al activarse los disyuntores de circuitos de distribución (serie CB200), se suministra alimentación de 24 V CC a la computadora de la terminal de interfaz del operador las fuentes de alimentación al sistema de microprocesadores, las lámparas de CC de la consola de control, los circuitos de control de respaldo, el monitoreo de subsistemas, los módulos de la red Control-Net, los módulos y

detectores analógicos, la válvula electrónica de control de combustible y los ventiladores de enfriamiento del conjunto del PLC.

❖ Reposición de sistemas de protección

Se realiza la reposición de los sistemas de protección al girar la llave selectora de REPOSICIÓN DE RESPALDO (S214) (situada en el panel de control de la turbina), para restaurar el monitor de sobrevelocidad de respaldo y los circuitos de control de respaldo, y al pulsar el botón de REPOSICIÓN (S114) en el panel de control de la turbina para efectuar la reposición del equipo lógico de protección de controlador. El indicador de (turbina) LISTA (DS177) en la consola de control se ilumina, para indicar que se ha efectuado la reposición de todos los sistemas de protección y que el sistema está listo para iniciar el arranque.

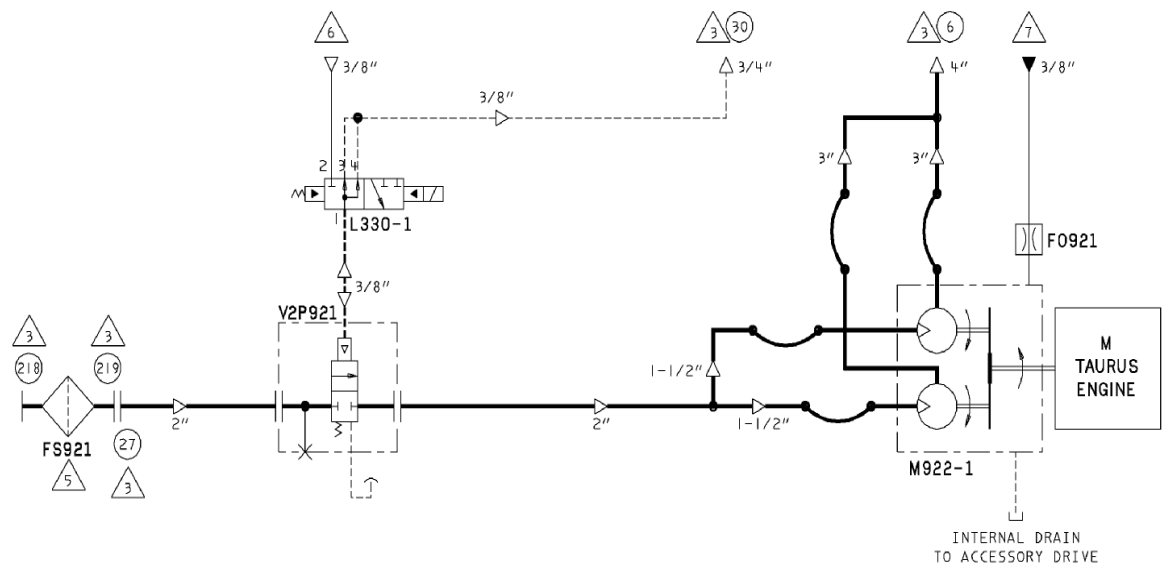
Si ocurre una falla antes del arranque, se indicará en la consola y deberá borrarse antes de que el sistema esté listo para su arranque. Si la condición corresponde a una falla de parada, la reposición del sistema de protección no se efectuará, el indicador de (turbina) LISTA no se iluminará y el arranque no podrá efectuarse hasta que se corrija la falla.

3.2. SISTEMA DE ARRANQUE

El sistema de arranque neumático de la turbina, figura 35, utiliza dos motores gemelos, figura 36, para iniciar la rotación de la turbina y transmitir el par de torsión de 220 lb-ft a través de un embrague y eje de sobremarcha común en la unidad de accionamiento de accesorios. La turbina requiere la ayuda del motor de arranque hasta que logra la velocidad autosostenible de 65% Ngp. Por lo tanto, el purgado de la turbina, el encendido inicial y la aceleración hasta la velocidad de 65% Ngp se logran con la ayuda del motor de arranque. Cuando la turbina de gas

logra la velocidad de 65% Ngp, se corta el suministro de gas a los motores de arranque y éstos dejan de rotar. El embrague de giro libre se desacopla y permite que la turbina continúe acelerando por sí misma hasta la velocidad de vacío. El sistema de arranque neumático utiliza un flujo nominal de 2600 CFM de gas natural proveniente a una presión de 170 a 225 Psig para el suministro de potencia neumática.

Figura 35. Diagrama del sistema de arranque



Fuente: Solar Turbines. Drawing No. 52591-C149535 2/2

En la entrada de la línea de suministro del gas de arranque está instalado una malla filtrante del gas de entrada (FS921), de 200 Mesh, situado fuera del patín y aguas arriba de la conexión de la turbomaquinaria, es una trampa en forma de "Y" con un drenaje y un tamiz cilíndrico lavable, que impide el paso de partículas mayores a 74 μm a las líneas del sistema de arranque. El conducto inferior del

conjunto tiene acoplado un tapón de drenaje que proporciona acceso al tamiz o filtro.

La válvula de corte de gas (V2P921), ubicada aguas arriba del motor de arranque neumático (M922-1), es una válvula normalmente cerrada de dos posiciones y dos vías. Al energizarse la válvula solenoide piloto de corte de gas (L330-1), la presión piloto se aplica para abrir la válvula de corte. Al desenergizarse la válvula solenoide piloto de corte de gas (L330-1), ventea la presión piloto y la presión del resorte interno cierra la válvula de corte.

Figura 36. Motores de arranque gemelos



Una válvula solenoide piloto de corte de gas (L330-1) de tres vías normalmente cerrada, controla el suministro de gas piloto a la válvula de corte de gas (V2P921). Al energizarse con 24 Vdc, permite que el gas la accione. La válvula solenoide (L330-1) se abre para permitir que la presión piloto (*proveniente del sistema de combustible y regulada por la válvula PCV931 a 80 PSIG*) abra la válvula de corte

V2P921. Al desenergizarse, la válvula solenoide se cierra para cortar la presión piloto y la presión del resorte interno cierra la válvula de corte V2P921 y ventear el gas que queda ubicado entre la válvula de corte V2P921 y la válvula solenoide L330-1 a la atmósfera.

El sistema de control eléctrico acciona automáticamente al sistema de arranque neumático durante la secuencia de arranque. Después de un ciclo de prelubricación de una duración de 30 segundos, la válvula solenoide piloto L330-1 es activada. Se admite presión piloto a la válvula de corte de gas V2P921, y dicha presión abre la válvula V2P921. El motor de arranque M922-1 comienza a hacer girar la turbina.

El giro de la turbina continúa hasta que la velocidad de la turbina llega al 65% Ngp, momento en que una señal desde el sistema de control eléctrico, se desactiva la válvula solenoide piloto L330-1. La presión piloto se ventea hacia la atmósfera y la presión de las muelles o resortes de la válvula de corte de gas, cierran la válvula de corte de gas V2P921. Los motores de arranque M922-1 se paran, y el embrague gira libremente.

El motor de arranque neumático (M922-1) está ubicado aguas abajo de la válvula de corte de gas combustible (V2P921) y montado sobre la caja del adaptador del arrancador, está compuesto de dos motores de arranque tipo turbina operados neumáticamente. Los motores neumáticos transmiten la potencia de arranque a la turbina de gas a través de una combinación de engranajes a un embrague común de cuñas, montado en el conjunto de accionamiento de accesorios. Mientras no se ha iniciado la combustión el embrague de cuñas gira en el mismo sentido de la turbina y permanece enganchado. Cuando el rotor comienza a girar más rápido que los motores arrancadores las cuñas se desenganchan y dejan de transmitir el par de torsión al eje.

La caja del adaptador del arrancador recibe aceite de lubricación a través de un orificio fijo de lubricación del embrague (F0921) y lo dirige al conjunto del embrague.

Cada motor de arranque consta de una turbina radial colocadas espalda contra espalda sobre un eje común. La energía de presión del gas suministrado es convertida a velocidad por toberas de entrada parcial que lo dirigen contra los alabes de las turbinas. El escape, desde el centro de las ruedas de turbina, se combina y se dirige al colector de escape ubicado en el extremo posterior. La alta velocidad del rotor de turbina se reduce mediante un conjunto de engranajes planetarios internos a una velocidad de 6000 rpm. Este conjunto de engranajes planetarios están inmersos en un sumidero de aceite que los lubrica. Cada cierto número de arranques este aceite debe ser cambiado.

3.3. SISTEMA DE LUBRICACIÓN

El sistema de lubricación, ver anexo B, tiene por objetivo proporcionar aceite lubricante para los cojinetes de la turbina, los cojinetes del compresor centrífugo, el lubricador del embrague de los motores de arranque neumático, y la caja de accionamiento de accesorios; También suministra aceite bajo presión regulada para controlar la posición del actuador de los alabes directores variables y del actuador de la válvula de purga.

3.3.1. Tanque de aceite lubricante. El tanque del aceite lubricante (R901), es un conjunto soldado, conformado por dos compartimentos: uno bajo la turbina y el otro debajo del compresor de proceso, cada uno con su respectiva base.

El tanque ubicado bajo el compresor centrífugo es conocido como “tanque de extensión” y en adelante se consideraran ambos como uno solo. Ambos tanques están conectados entre sí por tuberías y venteos para permitir que el aceite y los vapores generados se muevan sin restricciones entre ellos, durante la operación de la turbina. El tanque tiene un volumen de 624 galones.

Dentro del tanque hay bandejas de desaireación. Estas bandejas ayudan a separar el aire del aceite, que regresa de los cojinetes del turbocompresor.

El flujo de aire de los sellos de aire de la turbina ayudan a purgar los vapores de aceite potencialmente combustibles dentro del tanque de aceite, impulsándolos a través del venteo y del separador de aceite.

Los interruptores de nivel del tanque de aceite lubricante (S388-1, S388-2, S388-3), situados en el tanque del aceite lubricante (R901), son de tipo flotadores. Operan independientemente de acuerdo con el nivel del aceite lubricante en el tanque. El conmutador de nivel S388-1 se abre y activa un circuito de alarma de bajo nivel de aceite si la cantidad de aceite lubricante en el tanque disminuye por debajo de 464 galones (14,5 in). El conmutador de nivel S388-2 se abre y activa un circuito de falla de bajo nivel de aceite e inicia una parada de la turbina si el nivel del aceite continúa disminuyendo hasta 400 galones (12,5 in). El conmutador de nivel S388-3 se abre y activa un circuito de alarma de alto nivel de aceite lubricante si el nivel del aceite se eleva por arriba de 624 galones (19,5 in). Si el nivel se incrementa por arriba del nivel de alarma con la turbina en funcionamiento, se crea mayor presión en el tanque, lo cual puede causar un derrame de aceite al parar la turbina.

El aceite puede ser suministrado al tanque manualmente mediante un alimentador manual de aceite. En la línea de llenado del tanque del aceite lubricante existe una

mallas (FS901-3) de 24 mesh, que impide que partículas de tamaño mayor a 700 μm ingresen al tanque durante el llenado.

El tanque tiene un drenaje que permite evacuar el aceite del tanque, cuando se va a cambiar el aceite.

Un indicador de nivel del tanque de aceite lubricante (LG901), se encuentra soldado al lado del tanque del aceite lubricante (R901), éste es tipo reflector e incluye una válvula manual de aislamiento.

En el tanque está montada una RTD, RT390, montado en su respectivo termopozo (TW901). La RTD transmite señales proporcionales a la temperaturas detectadas al sistema de control para su monitoreo.

En caso de presentarse una fuga el aceite es retenido en la cabina del equipo, cuyos drenajes están conectados a un sistema de drenaje de aguas aceite. (Tanque API).

➤ Venteo del tanque de aceite lubricante

El aire de arrastre en el aceite lubricante debe ser venteado de forma segura a la atmósfera a través de un sistema de venteo del tanque, el cual usa una válvula de alivio y un arrestallamas.

El venteo tiene un filtro/separador del tanque (FSA901), diseñado para coleccionar hasta 98% del aceite vaporizado por las superficies calientes de los cojinetes. La corriente de aire de venteo entra por el fondo del recipiente y pasa por un elemento de fibra de vidrio donde se capturan el aceite condensado y el aire se

escapa por la parte superior del recipiente. El aceite recogido retorna al tanque de aceite.

Un arrestallamas del venteo del tanque FA901, ubicado aguas abajo del filtro FSA901 impide el retorno de llamas en caso de explosión.

Un interruptor de presión de alarma (S324-1), está montado para que el sistema de control anuncie una alarma si en el tanque se alcanza a detectar una presión de 8,5 in H₂O incrementando.

Un interruptor de presión de parada (S324-2), está montado para que el sistema de control anuncie una parada si este alcanza a detectar una presión en el tanque de 10 in H₂O incrementando.

Las restricciones en la tubería de venteo podrían hacer que aumentara la presión en el tanque. Esta condición puede hacer que el aceite lubricante entre en las vías de aire o combustión degradando los componentes.

3.3.2. Circuito de la bomba de respaldo (BP903). La bomba de respaldo (BP903), es una bomba de engranajes accionada por un motor eléctrico a 24 V DC (B322), que gira a 1750 rpm y suministra 16 gpm de aceite a 15 psig. La corriente eléctrica para esta bomba es suministrada por un banco de baterías.

La bomba proporciona aceite para la prelubricación y la poslubricación de los cojinetes de la turbina, durante la secuencia de arranque y la parada, si la bomba de pre/poslubricación (P902) sufre alguna falla y no puede entregar la presión de aceite correspondiente. La bomba de respaldo BP903 se encenderá y lubricará los cojinetes calientes 2, 3, 4 y 5 de la turbina con fines de enfriamiento.

En la succión de la bomba existe una válvula de bloqueo manual, normalmente abierta (VH904-2) que permite aislar la bomba BP903 y una malla de filtración FS902-3 de 6 mesh, que impide que partículas de tamaño mayor a 3360 μm ingresen al sistema.

La bomba BP903 tiene una válvula de alivio VR905 en la descarga, que conduce el aceite a la línea de succión de la bomba (verificar si este dirige el exceso de aceite al tanque), cuando la presión alcanza 20 psig. También tiene un manómetro PI903, en la descarga de la bomba, con válvulas VI903 que permite aislar este indicador.

En la descarga de la bomba de respaldo BP903, existe un filtro FS909 de 10 μm que impide que los contaminantes entren sistema de respaldo del aceite lubricante. El filtro también incorpora un pequeño pistón rojo dentro de un cilindro transparente en la parte superior del filtro que sirve como un indicador de presión diferencial. Cuando el pistón rojo está completamente visible, se debe cambiar el cartucho o elemento filtrante.

Una válvula cheque VCS903-1 ubicada aguas abajo del filtro evita el reflujo del aceite lubricante hacia la bomba de respaldo (BP903).

➤ Verificación de la bomba de respaldo BP903 en el arranque

Cuando se inicia la secuencia de arranque, el sistema de control prueba la bomba de respaldo BP903. La bomba BP903 enciende y comienza a elevar la presión, cuando alcanza 4 psig, el interruptor de presión S322-2 envía una señal de apagado a la bomba BP903 y el sistema de control enciende la bomba de Pre/Poslubricación P902. Si la bomba P902 alcanza 6 Psig se inicia el ciclo de prelubricación.

3.3.3. Circuito de la bomba de pre/poslubricación (P902). La bomba de pre/poslubricación (P902), es una bomba de engranajes impulsada por un motor eléctrico AC (B321) que gira a 1770 rpm, diseñado para funcionamiento continuo, con calentador antihumedad. La bomba proporciona aceite lubricante a 59 gpm a una presión de 15 psig.

En la succión de la bomba existe una malla de filtración FS902-2 de 6 mesh, que impiden que partículas de tamaño mayor a 3360 μm ingresen al sistema.

Aguas abajo de la bomba de pre/poslubricación está ubicado un manómetro PI902 que indica la presión de descarga de la bomba.

Después de la descarga de la bomba de pre/poslubricación P902, se encuentra una válvula de alivio VR902, que envía el aceite al tanque R901 cuando la presión excede los 20 psig.

Una válvula cheque VCS904 evita que el flujo inverso que se genere cuando la bomba principal de lubricación P901 esté funcionando, retorne a la bomba P902 y la averíe.

La bomba de pre/poslubricación dirige el aceite a la línea principal de lubricación, donde lubricará los dos cojinetes del compresor axial, cojinete de la turbina de potencia, cojinete de la turbina productora de gas, caja de accesorios, el sistema de arranque y los cojinetes del compresor de proceso (Centrifugo).

➤ Ciclo de prelubricación

Después de llevarse a cabo la verificación de la bomba de respaldo BP903, se enciende la bomba de Pre/poslubricación P902 e inicia su conteo el temporizador de invalidez de prelubricación, el cual da un tiempo de 60 segundos para que la bomba P902 alcance la presión de 6 psi. Cuando la bomba de pre/poslubricación P902 alcanza 6 Psig se inicia el conteo del temporizador de prelubricación (30 segundos)...

La turbina debe ser prelubricada a una presión superior a los 6 Psig continuamente durante el período de conteo del temporizador de prelubricación (30 segundos), por tal razón si esta presión cae por debajo de los 6 Psig el interruptor de presión S322-2 envía una señal que hace que el sistema de control aborte el arranque.

La prelubricación debe ocurrir dentro del período de activación del temporizador de invalidez de prelubricación (60 segundos). Si el temporizador de prelubricación finaliza su tiempo de activación antes de que se complete la prelubricación, se cancela el arranque y en la consola de control se anuncia una alarma de parada rápida sin enclavamiento por falla de prelubricación.

Si la presión del aceite lubricante se incrementa por arriba de 25 Psig en cualquier momento durante el ciclo de prelubricación, se anuncia una alarma de alta presión del aceite lubricante en la consola de control.

➤ Ciclo de poslubricación

El ciclo de poslubricación comienza cuando el temporizador de apagado ha terminado. Inicialmente la bomba P902 se desenergiza para hacer una prueba de la bomba BP903.

Un temporizador de caída de presión comienza a contar 30 segundos, para permitir que la presión caiga a 3 psig. Si el temporizador de caída de presión termina antes de que la presión disminuya a 3 psig, se muestra una alarma de falla en la bomba de respaldo que es mostrado en el panel de control.

Mientras la turbina está en la secuencia de poslubricación, si la bomba P902 no logra mantener la presión por encima del límite de parada por baja presión de lubricación de 4 psig, una alarma de falla en la bomba de pre/poslubricación es mostrado en el panel de control. En este punto entra a funcionar la bomba BP903 y la bomba P902 es desenergizada.

En el intervalo durante el cual la presión del aceite lubricante es menor que el límite de parada por baja presión del aceite lubricante de 4 psig, el temporizador de poslubricación se paraliza. Pueden ocurrir cinco situaciones distintas en la poslubricación, que se describen a continuación:

- ✓ Poslubricación después de las paradas, pero antes de que gire la turbina

Si se ha completado la prelubricación, pero el motor de arranque todavía no ha sido embragado, y la turbina está en estado de parada, el temporizador de giro libre no se restaura por lo que la lubricación de la turbina se paraliza. La poslubricación no se inicia a menos que la turbina haya estado en poslubricación antes del inicio del arranque cancelado. En este caso la lubricación continuara desde el tiempo que pasó desde que se inicio la secuencia de arranque.

- ✓ Poslubricación después de paradas desde velocidades inferiores a 5% Ngp

Si el motor de arranque se inició, pero la turbina se apaga, antes del 5% NGP, el temporizador de arranque estará reseteado por lo que se encenderá la bomba P902 y se inicia el conteo del temporizador de poslubricación, al terminar el conteo (55 minutos), la bomba P902 se detiene. La poslubricación no iniciará a menos que haya habido prelubricación anterior a la iniciación de la falla del arranque, en este caso, la cantidad de tiempo que pasó desde que se inició la secuencia de arranque, hasta que se alcanzó las 5 % NGP

- ✓ Poslubricación después de paradas desde velocidades superiores a 5% Ngp, pero inferiores a la velocidad de encendido inicial

Si la turbina se apaga durante una señal de apagado normal, pero aun no se ha alcanzado el estado de "lightoff", el motor se lubricará el tiempo que tarde la velocidad en caer por debajo del 5% NGP, mas 55 minutos. La poslubricación no iniciará a menos que haya habido prelubricación anterior a la iniciación de la falla del arranque, en este caso la lubricación continuará desde el tiempo que pasó desde que se inició la secuencia de arranque.

- ✓ Poslubricación después de paradas que ocurren después de lograrse el encendido inicial

Si la turbina ha logrado el encendido inicial (definido como la temperatura promedio de T5 que sobrepasa 400 °F), se requiere una poslubricación completa. La poslubricación completa dura 55 minutos, con las siguientes presiones de alarma y parada:

- a) Parada por baja presión del aceite de poslubricación - 6 Psig
- b) Alarma por baja presión del aceite de poslubricación - 8 Psig.

c) Alarma por alta presión del aceite de poslubricación - 25 Psig.

✓ Poslubricación en caso de incendio

Generalmente, si se inicia una parada de la turbina debido a un incendio, la turbina se lubrica hasta que el temporizador de giro libre termina su conteo. La poslubricación luego se pospone hasta un máximo de 6 minutos. Sin embargo, la poslubricación puede ser iniciada manualmente durante este intervalo de tiempo al aceptarse y restaurarse la alarma. Después de completarse los 6 minutos, se inicia la poslubricación. Si no se desea la poslubricación, se puede detener la poslubricación manualmente. Si la turbina dura más de 6 minutos sin poslubricación, en la consola de control se anuncia la alarma: *“posible falla de los cojinetes”*.

3.3.4. Circuito de la bomba principal (P901). La bomba principal (P901) es una bomba de aceite hidráulica de tipo de tomillo que suministra el flujo en función de las rpm de la turbina, sin embargo ésta envía 280 gpm de aceite a 150 Psig cuando alcanza las 2000 rpm, es decir la mayor velocidad de la turbina.

La bomba está instalada en la caja de engranajes de accionamiento de accesorios, impulsada directamente a través del eje de la turbina de gas. Una tubería de retorno desde el cabezal del sistema de lubricación se conecta al lado de la entrada de la bomba para mantener la bomba cebada para el arranque.

Esta bomba tiene una malla de filtración FS902-1 montado dentro del tanque de 6 mesh, que evita que partículas mayores a 3360 μm ingresen al sistema.

La bomba principal tiene orificios fijos de purgado de aire (FO903-1, FO903-2), instalados en la succión (FO903-1) y en la descarga (FO903-2). El orificio FO903-1 purga aire de la bomba principal como ayuda en el cebado de la bomba. El orificio FO903-2 ceba a la bomba antes de un arranque o después de períodos largos sin funcionar.

En la línea principal hay una derivación que envía aceite filtrado hacia los actuadores del sistema de alabes variables y al actuador de la válvula de purga de aire.

Aguas abajo de la descarga de la bomba principal P901, un indicador de presión PI901-1 indica la presión de lubricación, el cual cuenta con un sistema de válvulas VI902-1, que permite aislar este manómetro.

Entre el momento de completarse el ciclo de prelubricación, 10 segundos después de lograrse la velocidad de desembrague del motor de arranque (65% Ngp), si la presión es inferior a 41 Psig, en la consola de control se anuncia una alarma de baja presión del aceite lubricante. Si la presión es inferior a 25 Psig, se inicia una parada rápida sin enclavamiento. No se tiene una alarma de alta presión del aceite lubricante.

➤ Regulación de presión

La presión está regulada por la válvula principal de control de presión del aceite lubricante (PCV901), la cual compara la presión a la entrada del cojinete de la turbina de potencia con una presión seteada en la válvula. En operación a temperatura normal 147 F ésta abre a 55 Psig conduciendo el aceite al tanque, regulando la presión que va hacia los cojinetes del compresor axial, turbina, caja de engranajes de accionamiento de accesorios.

Una válvula principal de alivio VR901, aliviará la presión de la línea principal de suministro de aceite, si esta sobrepasa 150 psig y descargará el aceite al tanque.

➤ Regulación de temperatura

El control de temperatura de aceite de lubricación de la turbina se hace por medio de una válvula térmica TCV901 de tres vías y tres posiciones, que incluye un termostato para detectar la temperatura del aceite (flujo de la descarga de la bomba y flujo del enfriador) y enviar el aceite al circuito correspondiente de acuerdo a su posición. Las tres posiciones son:

1. Envía el aceite sin pasar por el circuito de enfriamiento a los cojinetes de la turbina si la temperatura es menor 140 F
2. Envía una parte del aceite por el circuito de enfriamiento y una parte a los cojinetes de la turbina, si la temperatura es igual a 140 F
3. Envía todo el aceite por el circuito de enfriamiento, cuando la temperatura es mayor a 140 F.

El circuito de enfriamiento tiene dos RTD, una en la succión RT327-14, y una en la descarga RT327-15, estas RTD detectan las temperaturas antes y después de enfriamiento del aceite lubricante.

El sistema de regulación de temperatura de aceite también cuenta con dos indicadores de temperatura, uno antes de enfriamiento TI327-12 y uno después de enfriamiento TI327-13, estos indicadores muestran la temperatura en campo.

El aceite es enfriado en un enfriador de aire/aceite HX901, situado aguas abajo del conjunto de control de temperatura del aceite lubricante. En este intercambiador, el aceite es enfriado desde 165 a 160°F hasta 145– 140 F. El enfriador de aceite cuenta con una válvula de drenaje en caso de fugas en los tubos del enfriador. El

enfriador incluye un motor ventilador (B598-1), El motor del ventilador B598-1 tiene un interruptor de vibración que apaga el motor cuando la vibración alcanza 3 G y envía una alarma de alta vibración al panel de control.

Después del circuito de enfriamiento una válvula de flujo unidireccional (cheque) VCS901 evita que el flujo de la bomba P902 ingrese hacia la válvula de control VMF921 y la descarga de la bomba principal de aceite P901.

3.3.5. Filtración de aceite. La etapa de filtración está compuesta por dos filtros FS901-1 y FS901-2, ubicados aguas abajo de la válvula de control de la temperatura (TCV901), donde cada filtro contiene elementos filtrantes sustituibles, que impiden el paso de partículas de un tamaño de 5µm o más.

El flujo de aceite lubricante, se selecciona manualmente mediante la válvula de selección del filtro de aceite de lubricación (VT901) de dos posiciones que puede ser dirigido por uno o por el otro. Se tiene una placa de información fijada a la palanca para indicar el filtro FS901-1, FS901-2 en uso. Estos solo filtran el flujo que viene de la bomba principal P901 o de la bomba pre/poslubricación P902.

Cada filtro cuenta con una válvula de drenaje VH902-3 y VH902-4 y dos válvulas manuales VH902-1 y VH901-2 normalmente cerradas. Estas válvulas se abren para permitir ventear el aire de los filtros FS901-1, FS901-2 al llenarse.

También existe una válvula manual de llenado de compensación de presión (VH903) que está montada sobre una línea que conecta las carcasas de los filtros con el fin de equilibrar las presiones después del reemplazo de algún elemento. La válvula manual de llenado de compensación de presión (VH903-1), está situada entre los filtros principales de aceite (FS901-1, FS901-2), es una válvula manual tipo compuerta de tapón completamente cerrada. La válvula manual se utiliza para igualar la presión del aceite lubricante que entra a los filtros FS901-1, FS901-2.

Cuando la válvula manual se cierra, el flujo de aceite lubricante se dirige a uno de los filtros FS901-1, FS901-2, según se determine mediante la válvula de selección del filtro de aceite de lubricación (VT901). Cuando la válvula manual se abre, se permite que el aceite se purgue de la entrada del filtro seleccionado y que pase hacia el otro filtro.

Los filtros de aceite tienen un manómetro de presión diferencial PDI902 que indica la caída de presión a través de los filtros. También cuenta con un conjunto de válvulas VI901-1 que permiten asilar el indicador del circuito. En esta instalación también está montado el interruptor de presión S397-1 que envía una señal de alarma al sistema de control cuando la presión diferencial está por encima de 30 Psid

3.3.6. Lubricación de los componentes. Un manómetro del cabezal de aceite lubricante (PI901), indica la presión del aceite lubricante en la entrada de los cojinetes de los compresores. La válvula VI901-2 se utiliza para aislar el manómetro del sistema para la calibración, pruebas o sustitución.

Un transmisor TP380, está ubicado aguas arriba de los cojinetes de la turbina, para detectar la presión del aceite lubricante y enviar una señal correspondiente al sistema de control para su monitoreo.

Después de la etapa de filtración de aceite se encuentra un indicador de temperatura (TI902) que muestra la temperatura del aceite de lubricación y una RTD, RT380 que envía la señal de temperatura de aceite al sistema de control, para su monitoreo y además se genera una alarma en el sistema de control si la temperatura del aceite alcanza 155 °F y una parada si la temperatura del aceite alcanza 165 °F.

Aguas debajo de la RTD (RT380) el aceite es llevado a un múltiple de lubricación; será conducido a los 2 cojinetes del compresor axial, cojinete de la turbina de potencia, cojinete de la turbina productora de gas, caja de accesorios, el sistema de arranque y los cojinetes del compresor de proceso (Centrifugo)..

Sobre el múltiple, aguas arriba de los cojinetes 1 y 2 del compresor de proceso, existe un orificio fijo FO901 que limita el paso de aceite a 30 psi.

Una vez que el cojinete 1 es lubricado, el aceite se lleva a una línea de retorno al tanque. Sobre esta línea de retorno está montado un mirilla de flujo de aceite FG901-7, y luego una RTD RT327-7, situado en la tubería de drenaje del aceite lubricante del extremo de descarga del compresor. La RTD detecta la temperatura del drenaje del aceite lubricante, y transmite señales proporcionales a las temperaturas detectadas al sistema de control para su monitoreo. Aguas arriba de el RT327-7 el aceite es llevado a la extensión del tanque de aceite R901.

Una vez que el cojinete 2 es lubricado, el aceite se lleva a una línea de retorno al tanque. Sobre esta línea de retorno está montado un mirilla de flujo de aceite FG901-7, y luego una RTD RT327-6, situado en la tubería de drenaje del aceite lubricante del extremo de succión del compresor que envía una señal proporcional al sistema de control su monitoreo. Aguas arriba de el RT327-7 el aceite es llevado a la extensión del tanque de aceite R901.

Del múltiple de aceite se toma una línea que lo lleva al cojinete 3 de la turbina de potencia. Sobre esta línea hay montada una válvula cheque, VC903-2. El aceite lubrica el cojinete 3 ubicado del lado de la turbina de potencia. Una vez el cojinete es lubricado, el aceite se lleva a una línea de retorno al tanque. Sobre esta línea de retorno está montado un mirilla de flujo de aceite FG901-4, y luego una RTD RT327-4 que envía una señal proporcional de al sistema de control para su monitoreo. Aguas arriba del RT327-4 y de allí el aceite es llevado al tanque de aceite R901.

Del múltiple de aceite se toma una línea que lo lleva a los cojinete 4 y 5 de la turbina productora de gas. Sobre esta línea hay montados una válvula cheque, VC903-3. El aceite lubrica el cojinete 4. Una vez el cojinete es lubricado, el aceite se lleva a una línea de retorno al tanque. Sobre esta línea de retorno está montada una mirilla de flujo de aceite FG901-3. Aguas arriba de la mirilla FG901-3 el aceite es llevado al tanque de aceite R901.

Una vez el cojinete 5 es lubricado, el aceite se lleva a una línea de retorno al tanque. Sobre esta línea de retorno está montado un mirilla de flujo de aceite FG901-2 y luego una RTD RT327-2 que envía una señal proporcional al sistema de control para el monitoreo de la temperatura. Aguas arriba de el RT327-7 el aceite es llevado al del tanque de aceite R901.

Una vez el aceite lubrica el drive de accesorios, el aceite se lleva a una línea de retorno al tanque. Sobre esta línea de retorno está montada una mirilla de flujo de aceite FG901-1 y luego una RTD RT327-1 que envía una señal al controlador.

Aguas arriba de el RT327-1 el aceite es llevado al tanque de aceite R901.

Del múltiple de aceite se toma una línea que lubrica el sistema de arranque. Una vez lubricado el aceite regresa a la entrada de la mirilla FG901.

El sistema de control emite una alarma si en cualquiera de los retornos de aceite de los rodamientos al tanque la temperatura es mayor a 250 F.

3.4. SISTEMA DE COMBUSTIBLE

El sistema de gas combustible, ver anexo C, junto con el sistema de aire y el sistema de control eléctrico, suministra y modula el flujo de combustible durante la aceleración y el funcionamiento normal del turbocompresor. El sistema de combustible incluye:

- Admisión de gas combustible.
- Control y dosificación de gas combustible.
- Control piloto para el funcionamiento de las válvulas de corte accionadas por gas.

El gas combustible ingresa al sistema a una presión de 200 psig y es enviado hacia un orificio fijo medidor de flujo de gas combustible (FO930) de 1,375 in de diámetro. La caída de presión a través del orificio se usa para la medición y monitoreo del flujo del gas combustible, usando un transmisor electrónico de presión diferencial (TPD586) instalado en paralelo con este. La válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI931-4) se usa para que el transmisor pueda aislarse del sistema. El sistema puede consumir a máxima capacidad hasta 1.7 MPCD.

Después del medidor de flujo de gas hay un detector de temperatura de gas combustible (RTD) (RT386) el cual mide la temperatura del gas combustible en la admisión. El detector de temperatura por resistencia está montado en el termopozo (TW931-1).

Hay un indicador de presión de gas combustible de la turbina (PI931), ubicado aguas abajo de la conexión de gas combustible de la turbomaquinaria. El manómetro indica la presión del gas combustible que entra al sistema. La válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI931-1) se utiliza para que el manómetro pueda aislarse del sistema.

Existe un transmisor de presión de gas combustible (TP386), ubicado aguas abajo de la conexión del gas combustible de la turbomaquinaria que detecta la presión de suministro del gas combustible que se aplica a la válvula de corte primaria (V2P931) y envía una señal correspondiente al sistema de control para su monitoreo. El sistema de control da una alarma por baja presión a 185 psig, alarma por alta presión a 215 psig, señal de apagado por baja presión a 180 psig y señal de apagado por alta presión a 220 psig.

Aguas abajo del transmisor de temperatura RT386 hay una malla de filtración (canastilla) FS931 ubicado antes de la conexión a la turbocompresor, consiste en una trampa en forma de "Y" con un drenaje y un filtro cilíndrico desmontable y lavable de 200 mesh. La malla protege al sistema de gas combustible contra los contaminantes de la corriente de gas. El conducto inferior del conjunto tiene acoplado un tapón de drenaje que proporciona acceso al filtro.

De la línea principal se deriva una línea de gas de pilotaje que alimenta las válvulas solenoides de las válvulas de corte primaria y secundaria, y la línea de gas del sistema de arranque.

Esta línea de pilotaje está prevista de un filtro de gas piloto (FS932) que permite presiones hasta de 225 Psig sin averiarse, el filtro impide el paso de partículas mayores a 10 μm , tiene forma de "T" con un elemento desmontable. El filtro protege al sistema de gas piloto contra los contaminantes y líquidos en la corriente de gas.

Luego del filtro de la línea de gas piloto (FS932) hay una válvula de control reductora de presión (PCV931) que mantiene la presión piloto a 80 Psig para accionar las válvulas de gas piloto. Luego de la válvula reductora de presión está instalado un orificio fijo de presión piloto (FO937), que restringe el flujo de gas

piloto a las válvulas solenoides piloto primaria y secundaria de corte de gas combustible (L341-1 y L342-1).

En diferentes momentos durante el arranque, funcionamiento y parada de la turbina, la válvula solenoide (L341-1) de la válvula de corte primaria (V2P931) y la válvula solenoide (L342-1) de la válvula de corte secundaria (V2P932) se activan o desactivan para aplicar o aliviar la presión piloto y abrir o cerrar las válvulas de corte.

La válvula solenoide piloto primaria de corte de gas combustible (L341-1) de 3 vías normalmente cerrada, permite que la presión piloto abra la válvula de corte primaria de gas combustible (V2P931) al energizarse el solenoide a 24 VCC. Cuando la válvula solenoide piloto L341-1 se desenergiza, se ventea a la presión piloto y los resortes internos cierran la válvula de corte V2P931.

La válvula solenoide piloto secundaria de corte de gas combustible (L342-1) de 3 vías normalmente cerrada, permite que la presión piloto abra la válvula de corte secundaria de gas combustible (V2P932) al energizarse el solenoide a 24 VCC. Cuando la válvula solenoide piloto L342-1 se desenergiza, se ventea a la presión piloto y los resortes internos cierran la válvula de corte V2P932.

Las válvulas V2P931 y V2P932 son normalmente cerradas. Durante la secuencia de arranque se realiza una verificación de las válvulas corte de gas. Si el interruptor de presión del gas combustible (S342-1) detecta 45 psi entre la línea de las dos válvulas, se energiza y se abre la válvula solenoide de venteo del gas combustible (L341-3), de dos vías y normalmente cerrada. Para descargar el gas, el temporizador de retardo de verificación de presión (GASVENTTMR) inicia el conteo 10 segundos.

La válvula de corte V2P931 se abre y admite combustible al interruptor de presión de gas combustible al S342-1 y a la válvula de corte V2P932. El interruptor de presión S342-1 se cierra al alcanzar una presión de 45 Psig. Esto verifica la apertura de la válvula de corte V2P931 y permite la continuación de la secuencia de arranque. Si no se cierra el interruptor de presión S342-1, se iniciará una indicación de falla de válvula de gas combustible y la cancelación de la secuencia de arranque.

5 segundos después de abrirse, la válvula de corte V2P931 se cierra; si se abre el interruptor de presión S342-1, indica que hay una fuga a través de la válvula de corte V2P932 y se iniciará una indicación de falla de válvula de gas combustible y la parada de la turbina.

Al concluir su intervalo el temporizador, se abre la válvula de corte V2P932. Con la válvula de corte V2P931 cerrada y se permite que escape el gas atrapado hacia el sistema de combustible. El interruptor de presión S342-1 se abre a una presión decreciente de 42 Psig para indicar que la válvula de corte V2P931 está completamente cerrada y que la válvula de corte V2P932 está abierta. Si no se abre el interruptor de presión S342-1, se iniciará una indicación de falla de válvula de gas combustible y la parada de la turbina 15 segundos después de que concluya el contador del temporizador. Además, la válvula L341-3 a los 45 psig. ventea el gas del sistema de combustible durante el apagado del turbocompresor.

Una válvula de alivio del sistema piloto (VR931), está ubicada aguas abajo del orificio fijo de presión piloto (FO937), la cual limita la presión del sistema piloto hasta 100 Psig en caso de que se produzca una falla en la válvula de control de presión (PCV931).

De la línea principal de gas combustible se deriva una línea que lleva el gas al quemador FO931-1, que enciende la combustión, la cual tiene una válvula de

reductora de presión del gas combustible (PCV930), que se encarga de regular la presión del combustible desde 200 Psig hasta 7-18 Psig.

Después de regulada la presión de gas combustible por la válvula PCV930, una válvula de retención (cheque) de gas combustible al quemador (VCS933-2), evita el contraflujo de gas combustible del quemador hacia el sistema de gas combustible.

Existe una válvula de corte de gas L340-1, ubicada aguas arriba del orificio fijo del conjunto del gas combustible del quemador (FO931-1), la cual es una válvula de dos vías normalmente cerrada que permite o restringe el flujo de gas al quemador FO931-1. Al energizarse desde el controlador cuando se arranca la máquina, la válvula solenoide se abre para permitir el flujo de gas combustible al conjunto de quemador. Al desenergizarse desde el controlador cuando T5 alcanza 400 F, la válvula solenoide se cierra para cortar el flujo de gas al conjunto de quemador.

Luego de la solenoide (L340-1), está instalado un orificio fijo medidor de flujo de gas combustible (FO931-1), ubicado en el conjunto del quemador; es un orificio fijo que restringe el flujo de gas combustible al conjunto del quemador, el cual está unido por pernos a una protuberancia de montaje en la carcasa de la cámara de combustión.

El quemador de encendido consiste en una caja, un manguito perforado, un tubo del quemador, dos entradas de combustible, un orificio fijo para el conjunto del quemador de gas combustible (FO931 -1) y una bujía de encendido (E340). La bujía de encendido se extiende al interior del manguito del tubo del quemador y el tubo se proyecta a través del revestimiento de la cámara de combustión. El aire de la cámara de combustión entra en el tubo del quemador a través de los lados perforados del manguito del quemador. El gas combustible que llega al quemador viene de la válvula solenoide del quemador (L340-1), a través de una tubería externa y se mezcla con el aire de combustión. La bujía de encendido enciende la

mezcla. La llama penetra en la cámara de combustión e inicia la propagación del frente de llama a medida que se enriquece la mezcla de aire/combustible.

Sobre la línea principal de combustible existe una válvula de control del gas combustible (EGF931), situada aguas abajo de la válvula de corte secundaria para el gas combustible (V2P932), la cual es una servo válvula eléctrica de circuito cerrado que controla el flujo del gas combustible a la turbina. El sistema de control provee una señal analógica proporcional de 4 hasta 20 mA hacia la válvula.

A medida que el pistón de la válvula se mueve a su posición ordenada, el resorte del mecanismo de retroalimentación empieza a crear una fuerza igual en sentido opuesto. Esta fuerza de retroalimentación equilibrará la fuerza generada eléctricamente por la señal de entrada. Como resultado, el movimiento del pistón de la válvula se detendrá en una posición proporcional a la corriente de la señal de entrada. A cada señal de entrada proveniente de la unidad de control, le corresponde una sola posición del pistón de la válvula, en donde la fuerza del resorte de retroalimentación equilibra exactamente la fuerza de deflexión impuesta en el inducido por la bobina del motor par.

Durante la secuencia de encendido, desde el momento en que el quemador se enciende, la válvula se energiza mediante una señal que se incrementa desde el sistema de control. La válvula se abre gradualmente, lo cual enriquece la mezcla de Aire/Combustible hasta que la combustión puede propagarse uniformemente desde el quemador. Esta acción evita que el encendido inicial pase a un estado de bombeo ("surge").

Cuando la temperatura de la turbina alcance 204 °C (400 °F), la válvula recibirá señales para abrirse gradualmente hasta alcanzar una velocidad de 72% Ngp.

En la línea principal, después de la válvula de control del gas combustible (EGF931), hay una derivación hacia un interruptor de presión de parada por alto flujo de combustible en el arranque (S341-1), es un interruptor de presión bipolar de dos vías y de acción rápida. El interruptor de presión monitorea la salida de la válvula de control del gas combustible EGF931 durante la secuencia de encendido. Si la presión de salida excede 12 psig incrementando, una alarma de mal funcionamiento de la válvula EGF931 es mostrada en el panel de control y la secuencia de arranque es abortada.

El flujo de gas combustible llega a la cámara de combustión del múltiple del sistema de gas combustible, el cual comprende un conjunto de tubos que van a la cámara de combustión por medio de los inyectores de combustible, los cuales tienen un orificio fijo de flujo de gas combustible (FO941-1) que restringe el flujo de gas.

El sistema de combustible tiene transmisor de presión diferencial de dosificación de flujo de gas combustible (TPD341-3) ubicado en una derivación después de la válvula de control de flujo de gas combustible (EGF931). El transmisor TPD341-3 detecta la diferencia entre la presión del gas combustible hacia la turbina y la presión de la cámara de combustión de la turbina (Pcd). El transmisor envía una señal al sistema de control para controlar la válvula de control del gas combustible (EGF391) manteniendo una relación Aire/combustible óptima.

El sistema de combustible tiene un sistema de detección extinción de llama de combustión compuesto por un interruptor de presión diferencial que indica la extinción fortuita de la llama (S349), tipo bipolar, de dos vías y de acción rápida montado paralelamente al orificio fijo retraso de período de extinción fortuita (FO940). El interruptor de presión se utiliza para iniciar una parada por falla cuando se produce una caída de presión diferencial a través del interruptor de presión debido a pérdidas súbitas de presión Pcd en la turbina. Una lenta caída de

presión Pcd (lo cual sucede cuando se tiene una reducción de la carga) no accionará al interruptor de presión (no se indica extinción fortuita de la llama). El interruptor de presión se accionará cuando la presión diferencial sobrepase 4 PSID decreciendo.

La presión diferencial a través del interruptor de presión (S349) se produce debido a que el orificio fijo FO940 limita la rapidez de degradación de la presión en el volumen calibrado sobre el lado alto del interruptor de presión. La lenta degradación de la presión permite que el interruptor de presión permanezca energizado 10 segundos después de una rápida pérdida de presión Pcd debido a una posible extinción fortuita de la llama.

Durante el arranque u operación a velocidades superiores al 65 %, si el actuador de combustible principal sobrepasa el 95 % de su límite de aceleración y la presión Pcd se reduce más allá del punto de ajuste del interruptor de presión S349, durante 0,25 segundos, el interruptor de presión S349 se acciona, anunciándose la falla de extinción fortuita de la llama y la turbina se detiene. La relación tiempo/presión 16 psi/s es una característica física de una extinción fortuita de la llama.

Un orificio fijo de purgado de presión Pcd (FO939), está ubicado en la tubería de drenaje del condensado, restringiendo la formación del condensado en el conjunto de tubería de alimentación de Pcd mediante una presión de aire de purgado Pcd constante en la línea de drenaje.

3.4.1. Secuencia de encendido de la turbina. Una vez completado el giro de purgado, se activan la válvula solenoide de corte de gas del quemador (L340-1), el excitador de encendido (G340) y la rampa de control del combustible.

Las válvulas de corte V2P931 y V2P932 se abren y el gas fluye hasta el interior del sistema. El gas combustible fluye hacia el quemador y es encendido por la bujía de encendido (E340) en presencia del aire en la cámara de combustión. Si después de diez segundos no se ha alcanzado 400 F en T5, se muestra una falla de encendido. Si hay combustión, la llama del quemador se propaga en el flujo de aire al interior del revestimiento de la cámara de combustión de la turbina. La presión incrementante del gas cierra el interruptor de presión S342-1 para desarmar el circuito de fallas en las válvulas de gas combustible.

3.4.2. Secuencia de aceleración de la turbina. Después del encendido, la temperatura de la turbina aumenta rápidamente y rebasa el punto de ajuste de la temperatura T5, normalmente fijado en 400 °F en ese momento la rampa se detiene, el excitador de encendido G340 y la válvula solenoide L340-1 se desenergizan, y el quemador de gas se apaga.

Hasta ese momento la válvula de control de combustible EGF931 estaba en posición de combustible mínimo, pero después de alcanzar los 400 F se recibe comandos para posicionarse en la condición de inicio de rampa de arranque, después de lo cual se abre gradualmente. La temperatura de la turbina se incrementa gradualmente, acercándose a nivel del punto de ajuste de control de temperatura T5, a los 72 % Ngp en modo manual y 1400 F en modo automático.

La válvula de control de gas combustible se abre gradualmente por acción del actuador de combustible principal que sigue la rampa de apertura desde la posición mínima a la posición de apertura del 50 % en un período de 3,5 segundos. A medida que la válvula de control de gas combustible se abre, el combustible fluye por el múltiple y los inyectores de gas combustible hacia el interior de la cámara de combustión.

Se inicia la rampa de combustible y la válvula de control de gas combustible se abre gradualmente por acción del actuador del combustible principal. Se abre gradualmente hasta la posición de máxima abertura durante un período de 40 segundos. El incremento del flujo de combustible aumenta la temperatura T5 y acelera el productor de gas.

Durante la aceleración, a medida que aumenta la presión de descarga del compresor (Pcd), se incrementa la presión del gas combustible aguas abajo al regulador de combustible. Con la presión en aumento y la válvula de control de gas combustible abriéndose gradualmente, la turbina acelera uniformemente con la temperatura T5 en aumento a menos de 150 °F por segundo para prevenir daños de sobre-temperatura; la máxima temperatura T5 es 1400 °F

La función de combustible máximo (T1J-OOP) limita la posición de máxima abertura de la válvula de estrangulamiento basada en la temperatura T1. Esto se establece mediante la reducción desde la posición completamente abierta, a los 100°F, La reducción resultante en el flujo de combustible corresponde al movimiento de la línea de bombeo con respecto a las temperaturas del aire de entrada.

La función de combustible mínimo limita la posición de cierre máximo de la válvula de estrangulamiento basada en una velocidad Ngp corregida y las características de extinción fortuita de la llama de la turbina. Esto se establece mediante un cálculo que utiliza la velocidad corregida. El cambio resultante en el flujo de combustible corresponde al movimiento de la línea de extinción fortuita de la llama con respecto a la velocidad y a las temperaturas del aire de admisión.

Asimismo, la velocidad de la turbina de potencia se ve afectada durante las condiciones transitorias. Normalmente, el compresor de gas está diseñado para cargar la turbina de potencia adecuadamente, asegurando un funcionamiento a

una velocidad inferior al límite máximo, aun cuando el productor de gas funcione a sus niveles de potencia máximos. No obstante, cuando se produce una descarga repentina de las condiciones transitorias, como, por ejemplo, cuando se abre una válvula de bombeo o de derivación, la velocidad de la turbina de potencia (Npt) puede incrementarse hasta llegar al límite. Cuando esto ocurre, la función de control de velocidad Npt reduce el flujo de combustible y limita la velocidad.

3.5. SISTEMA DE SELLO SECO

El sistema de sello seco, ver anexo D, comprende dos sub-sistemas relacionados: El sistema de aire de sello y el sistema de gas de sello. El sistema de aire de sello mantiene la separación entre el aceite lubricante de los cojinetes del compresor y los sellos secos de gas. El sistema de gas de sello mantiene una barrera entre el gas de proceso en el compresor y los cojinetes del compresor.

3.5.1. Aire de sello. Después de iniciarse la secuencia de arranque, cuando la presión de aceite de prelubricación alcanza un valor de 6 Psig el aceite pasa y presuriza los sellos de aire.

El aire pasa a través del sello hasta el eje corto del compresor y fluye en dos direcciones:

- *El flujo exterior:* Una presión mayor que la presión de fuga primaria, evita que el aceite lubricante de los cojinetes entre al área de los sellos secos del compresor. El aire de sello que se mezcla con el aceite lubricante es enviado a tanque, en donde es expulsado a través del venteo del tanque.
- *El flujo interior:* Una presión de aire de 25 a 30 Psid mayor que la presión del fuga de los sellos secundarios y evita que el gas de proceso contamine el aceite lubricante o pase al tanque de aceite lubricante o al área de la

turbomaquinaria. El aire de sello que se mezcla con el gas de los sellos secos secundarios de gas, se expulsa por la línea de venteo de los sellos secundarios.

El flujo de aire es suministrado por el sistema de aire comprimido de 80-120 psig e ingresa al sub-sistema de aire de sello por medio de una válvula de corte de aire VH963 manual, normalmente abierta.

Aguas abajo de la válvula de corte, el aire es filtrado mediante un filtro-coalescente FSA972 que evita que partículas de tamaño mayor a 0,1 μm ingresen al sistema y separa el agua y los contaminantes provenientes del aire comprimido. El filtro cuenta con una válvula de drenaje manual VH965-1 que se utiliza para retirar los líquidos retenidos. El filtro está provisto con un manómetro de presión diferencial PDI972, con su respectiva válvula de aislamiento VI961-6.

Después del filtro-coalescente de aire de sello, una válvula antirretorno (check) VCS964-2 evita que haya reflujo del aire hacia la línea de suministro.

Una válvula de control de presión diferencial (PCV968-1) del aire de sello, mantiene el control de presión diferencial entre la presión de suministro del aire de sello del compresor y la presión en el fuga secundario entre 25 y 30 PSID, con el objetivo de evitar fugas hacia de aceite hacia el compresor desde los cojinetes.

Luego de regular la presión del aire de sello este es enviado hacia la entrada los sellos de aire de separación del lado de la succión y de la descarga. Cada uno de estos sellos tiene sus respectivas trampas (FSA965-1 y FSA965-4), que se encargan de retener los posibles líquidos que fluyen hacia ellos el aire que se arrastró junto con el líquido retenido en la trampa es enviado hacia el tanque de aceite de lubricación, en donde es venteado.

La válvula de control de presión diferencial del aire de sello (PCV968-1), tiene instalado en paralelo los siguientes componentes:

- Un manómetro indicador de presión diferencial (PDI968-1), para tomar lectura de la presión diferencial entre el aire de sello y la fuga de los sellos secundarios.
- Un interruptor de presión diferencial de alarma por baja presión del aire de sello (S382-1); éste se activa a una presión diferencial decreciente de 18 Psid y el sistema de control anuncia una alarma. Se utiliza la válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI961 -5) para aislar el interruptor y el manómetro de presión diferencial.
- Un interruptor de presión diferencial de parada por baja presión del aire de sello (S383-1), se activa a una presión diferencial decreciente de 15 Psid y el sistema de control inicia una parada de la turbina.

3.5.2. Gas de sello. El flujo de gas de sellos se toma de la descarga del compresor de proceso y se disminuye a presión diferencial constante a través del orificio limitador de flujo y el sello de laberinto del compresor.

La presión en el lado de baja presión del pistón de compensación controla al regulador de presión diferencial para asegurar que la tasa de flujo de gas de sello filtrado a los sellos primarios sea siempre mayor que la fuga a través de los sellos de laberinto en 20 Psid.

El gas de sello entra a los sellos secos de gas, formando un sello entre los componentes rotatorios y no rotatorios del sello seco de gas.

El suministro de gas de sello se hace por medio de la válvula de corte de gas de sello (V2P963), normalmente cerrada accionada por presión de aire piloto y retorno por resorte. Cuando el sistema entra en funcionamiento es enviada una señal de control que energiza la válvula solenoide piloto de corte de gas de sello (L351) permitiendo así el paso de aire de sello que en este caso actúa como aire de pilotaje el cual es regulado por la válvula de control de presión PCV964 a 80 psig. Al desenergizarse la válvula solenoide piloto de corte (L351), la presión del aire se ventea y la presión del resorte interno cierra la válvula de corte.

Aguas debajo de la válvula de corte de gas una válvula antirretorno (cheque) VCS967-1 evita el reflujo de gas de sello hacia la línea de suministro de gas.

Dos filtros coalescentes (FSA973-1, FSA973-4), tipo "T" instalados en paralelo, aguas abajo de la válvula antirretorno (cheque) VCS967-1, se encargan de separar el agua y los posibles contaminantes de hasta 0.1 μm . arrastrado por el gas de sello. Cada filtro está provisto de mirillas (LG965-7, LG965-8) que permiten ver el nivel de líquido que puede ser drenados a través de válvulas manuales (VH965-8, VH965-9) normalmente cerradas. Cuatro válvulas manuales de aislamiento de filtros de gas de sello (VH967-1, VH967-2, VH967-3, VH967-4), ubicadas aguas arriba y aguas abajo de los filtros en pares se utilizan para aislar uno u otro filtro durante el mantenimiento.

En paralelo con los filtros de gas de sello se encuentra instalado un manómetro de presión diferencial PDI973-1 de los filtros de gas de sello (FSA973-1, FSA973-4) y un transmisor de presión diferencial de filtros de gas sello (TP379-1), el cual se encarga de detectar la presión diferencial en el filtro y enviar una señal al sistema de control para que éste emita una alarma si se alcanza una presión de 20 Psid. Un conjunto de válvulas de aislamiento de instrumentos (VI961-1) es usado para aislar el manómetro y el transmisor de presión diferencial.

Luego de la sección de filtración la presión del gas de sello pasa a ser regulada por medio de la válvula de control de presión diferencial del gas de sello (PCV963-1), la cual mantiene la presión de suministro de gas de sello al compresor en 20 Psid por encima de la presión de la fuga del sello de laberinto.

En paralelo con la válvula de control de presión diferencial del gas de sello (PCV963-1) se encuentran instalados los siguientes instrumentos:

- Un interruptor de presión diferencial (S346-4), se activa a una presión decreciente de 4 Psid, en la cual el sistema de control inicia una parada.
- Un interruptor de presión diferencial (S345-4), se activa a una presión diferencial decreciente de 7 Psid en la cual el sistema de control anuncia una alarma.
- Un manómetro de presión diferencial (PDI967-1), indica la presión diferencial entre la presión de suministro del gas de sello y la presión en el lado de baja presión del pistón de compensación.
- Una válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI961-3), utilizada para aislar el manómetro diferencial PDI967-1 y el interruptor de presión diferencial de alarma de baja presión diferencial del gas de sello (S345-4).

Dos orificios fijos de limitación de flujo de gas de sello (F0950-1, F0950-4), ubicados aguas abajo de la válvula de control de presión diferencial del gas de sello (PCV963-1), trabajan conjuntamente con la válvula de control de presión PCV963-1, limitando el flujo de gas de sello a los sellos secos primarios de gas de los lados de descarga y de succión en el compresor, y mantienen el flujo de gas por arriba de los requisitos mínimos de flujo.

3.5.3. Fuga primaria de los sellos. En el sistema de fuga primaria de los sellos se encuentra instalada una instrumentación en el venteo primario del sello del lado de la succión y otra equivalente del lado de la descarga; después de que el gas pasa por esta instrumentación, se dirige hacia tuberías que se unen formando una sola línea en donde se despiden los gases de los venteos primarios hacia la atmósfera.

La instrumentación de los venteos primarios está conformada por:

- Válvulas de alivio (VR940-1, VR940-4), conectadas en paralelo con los orificios fijos de medición de flujo de fugas a través los sellos primarios (FO963-1, FO963-4), se encargan de eliminar el exceso de presión en las líneas de venteo de la succión y de la descarga y cada una de ellas alivia la presión al alcanzar 30 psig.
- Medidores de flujo de venteos primarios (FM972-1, FM972-4), ubicados aguas abajo de los orificios fijos (FO963-1, FO963-4), se encargan de medir el flujo de las fugas de los sellos primarios en los sellos secos primarios de la succión y de la descarga del compresor.
- Manómetros diferenciales (PDI969-1, PDI969-4), conectados en paralelo con los orificios fijos de medición de fugas (FO963-1, FO963-4), indican la presión diferencial a través de los orificios fijos FO963-1, FO963-4. Esta presión diferencial es una indicación de las fugas a través de los sellos primarios.
- Interruptores de presión diferencial de alarma por alto flujo en los venteos de los sellos primarios (S384-1, S384-4), se activan a una presión diferencial incrementante de 8 Psid y el sistema de control anuncia una alarma.

- Interruptores de presión diferencial de parada por alto flujo en los venteos de los sellos primarios (S385-1, S385-4), se activan a una presión diferencial incrementante de 20 Psid y el sistema de control inicia una parada de la turbina sin enclavamiento.
- Las válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI961-2, VI961-4), se utilizan para aislar el manómetro diferencial (PDI969-1, PDI969-4) y el interruptor de presión diferencial de alarma de alto flujo en el venteo de los sellos primarios (S384-1, S384-4).

Luego de que se unen las líneas de venteos primario en la succión y la descarga los gases salen a la atmósfera a través de un arrestallamas de protección de venteo de sellos primarios (FA963-1) que evita la propagación de las llamas, a la vez que disipa el calor generado por las llamas, en las numerosas placas en el banco arrestallamas.

3.5.4. Fugas secundarias de los sellos. Como se vio, la presión de fuga de los sellos secundarios es usada para regular la presión del aire de sello de 25 a 30 Psid sobre ella.

En las líneas de los venteos secundarios están instalados tanques de drenajes R965-1 y R965-4, ubicados aguas abajo del compresor. Los tanques de drenaje contienen las acumulaciones de cualquier humedad en el sistema. Estos tanques también permiten estabilizar la presión de la fuga secundaria

Las mirillas de cristal de los drenajes de los venteos de los sellos secundarios (LG965-1, LG965-4) proporcionan una indicación visual del líquido en los tanques de drenaje.

Los tanques son drenados al abrir las válvulas manuales de los venteos de sellos secundarios (VH965-2, VH965-3), las cuales están normalmente cerradas.

Un interruptor de presión diferencial (S391-1), detecta el flujo de los sellos secundarios y envía una señal de alarma al sistema de control si el flujo sobrepasa 5 SCFM.

Luego de que se unen las líneas de venteos secundario en la succión y la descarga los gases salen a la atmósfera a través de un arrestallamas de protección de venteo de sellos secundarios (FA963-4) que evita la propagación de las llamas, a la vez que disipa el calor generado por las llamas, en las numerosas placas en el banco arrestallamas.

3.6. COMPRESOR DE PROCESO

El compresor de gas C336I, ver figuras 37, 38 y 39, es accionado por la turbina de gas Solar Taurus 60. Se dispone de un compresor por cada turbina el C100B de 170 - 224 MPCPD de 2 etapas y C100A de 120 – 200 MPCPD y de 4 Etapas. El compresor funciona a temperaturas de descarga de entre 150-175 F.

Figura 37. Corte de un compresor centrifugo

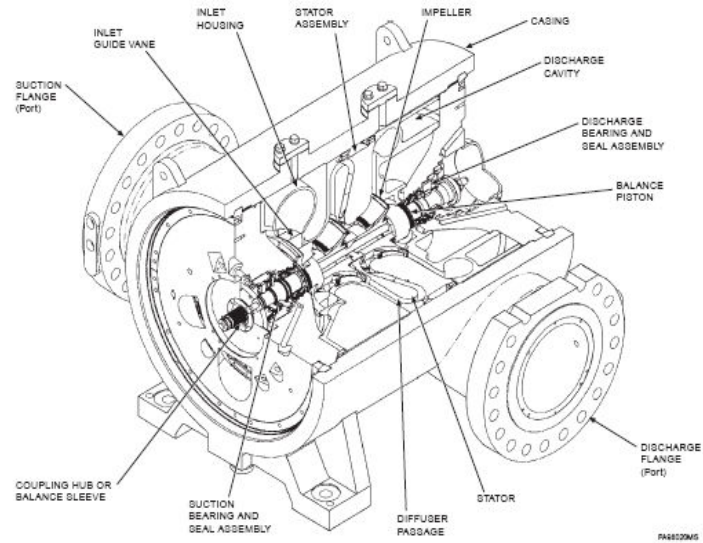


Figura 38. Corte transversal de un compresor centrifugo

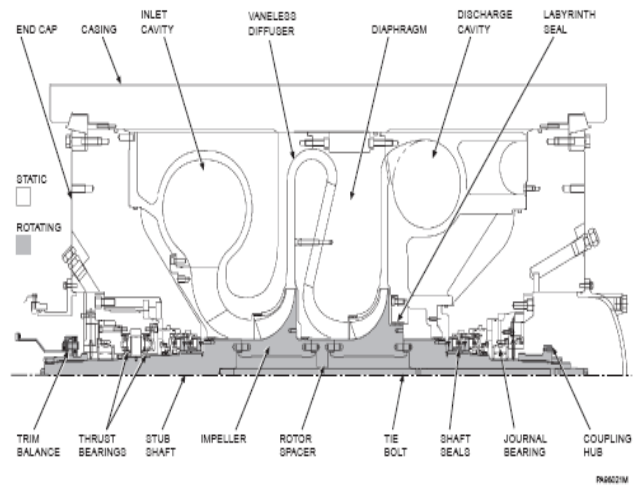
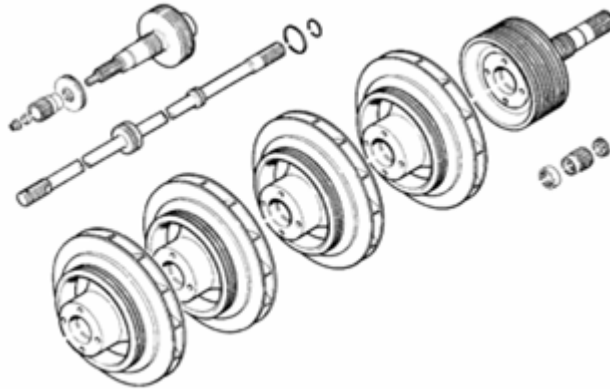


Figura 39. Componentes internos del compresor centrífugo



El compresor centrífugo cumple la función de comprimir gas natural entre 900 y 1050 psig.

El compresor tiene instalado cojinetes radiales de zapatas basculantes. Los cojinetes de zapatas basculantes soportan el conjunto del rotor en ambos extremos y mantienen la posición radial del conjunto del rotor con respecto a los componentes no giratorios del compresor. Además, dos cojinetes de empuje en el extremo de succión del compresor mantienen la posición axial del conjunto del rotor con respecto a los componentes no giratorios. Los cojinetes de empuje interior y exterior tienen un diseño de zapatas basculantes, auto-compensadas y con lubricación directa. A medida que funciona el compresor, existe un empuje aerodinámico que impulsa el rotor del compresor hacia el extremo de succión, el cual se compensa utilizando un pistón compensador en el extremo de descarga del rotor para proporcionar una fuerza aerodinámica opuesta a este empuje. En el lado interior del pistón, la presión del gas está casi a la presión de descarga total. En el lado exterior, la cavidad se vuelve a ventear a la succión del compresor mediante una tubería externa, de forma que la presión está esencialmente a la presión de succión.

El compresor está constituido por componentes aerodinámicos, que incluyen los componentes estacionarios y los componentes giratorios, todos encerrados en la carcasa del compresor.

Los componentes estacionarios incluyen los conjuntos de:

- Estatores
- Los sellos de laberinto de alabes y diafragmas
- Los espaciadores de paso internos y externos

El conjunto del estator de entrada está unido a la carcasa mediante piezas guía, y el conjunto del estator de salida o espaciador de paso se posiciona mediante piezas guía en la caja del pistón compensador, y se impide su giro mediante espigas. Cada conjunto de estator es sostenido por un piloto o guía, y todo el conjunto armado de componentes estacionarios (estatores y espaciadores exteriores) está firmemente afianzado entre sí por medio de espárragos, insertados a través de orificios en la periferia de cada conjunto estator. Este arreglo permite el armado de todos los componentes aerodinámicos fuera de la carcasa, lo cual da por resultado un conjunto modular, que puede ser alojado en la carcasa del compresor como una unidad completa.

Los componentes aerodinámicos giratorios son los que forman:

- El conjunto del rotor equilibrado. El conjunto del rotor consiste en un eje de entrada, un eje de salida, y 4 etapas (todas ellas con zonas con sellos de laberinto integrales),
- Un eje central y tuerca de ajuste.

En el caso de Palomino como se utiliza menos de un conjunto completo de impulsores, se instalan espaciadores de impulsor en lugar de los impulsores que faltan. Estos componentes se montan con encajes de interferencia para garantizar

la concentricidad. Todo el conjunto se mantiene firmemente unido mediante el eje central y la contratuerca, bajo tensión.

En todos los compresores centrífugos, las fugas que se producen de la parte de alta presión a la de baja presión de los impulsores del compresor dan lugar a una reducción del rendimiento. Los sellos de laberinto se utilizan para reducir estas fugas al mínimo. Las pistas de los sellos de laberinto están en la parte giratoria del compresor y el sello estacionario posee una pieza de suplemento de metal antifricción suave.

3.6.1. Control de bombeo del compresor de proceso. El sistema de control de bombeo está formado por dos sistemas interrelacionados:

- Un sistema con control proporcional e integral
- Un sistema detector de bombeo

El lazo de control de bombeo se inhabilita hasta que la velocidad de la turbina es mayor que un valor prefijado (90% N_{gp}); bajo de este valor prefijado, la válvula de control de recirculación está completamente abierta para permitir el máximo flujo de gas a través del compresor.

Por encima del valor prefijado, o velocidad de carga, el sistema de control de bombeo se habilita. La presión diferencial a lo largo del compresor es detectada por los transmisores instalados en las tuberías de succión y de descarga. El flujo a través del compresor viene determinado por la medición de la caída de presión a través de una placa de orificio en la tubería de succión al compresor.

Las señales de estos transmisores son procesadas por el sistema de control. Si el margen de bombeo desciende por debajo de un valor predeterminado, se envía

una señal al convertor electro-neumático. Dependiendo de la amplitud de la señal, el convertor hará que la válvula de control de recirculación se abra parcial o completamente.

Cuando se abre, una parte del gas del lado de descarga del compresor se vuelve a encaminar al lado de succión y el flujo de gas a través del compresor aumenta. Cuando desaparece la condición que originó el bombeo, la válvula de control de recirculación se cierra y el compresor reanuda el funcionamiento normal.

Además, la presión diferencial a través del orificio de flujo se utiliza para calcular la relación de cambio del flujo que va al compresor y se compara con un valor prefijado. Si el valor calculado es mayor que el valor prefijado (generalmente 25 por ciento por segundo), se cuenta un impulso y la válvula de control de recirculación se abre en un 15 %.

Si cinco de estos impulsos tienen lugar en 10 segundos, la turbina se para y aparece en la terminal de visualización un mensaje que indica que el compresor está en bombeo.

En la consola de control, en la pantalla de visualización de las válvulas de patio, el modo de secuencia de la válvula puede seleccionarse en AUTOMÁTICO o MANUAL. El modo AUTOMÁTICO es solamente para visualización y permite al operador monitorear las posiciones de las válvulas de patio. El modo MANUAL transfiere el control de las válvulas de patio al operador.

En modo MANUAL, la apertura y el cierre de la válvula de control de recirculación se controlan en el panel de control de la turbina. Si el compresor atraviesa el área de "BANDA MUERTA" ("DEADBAND") cerca de la línea de control de bombeo, el control de la válvula de control de recirculación vuelve automáticamente al microprocesador.

Cuando esto ocurre, aparece el mensaje INHIBICIÓN DEL MODO MANUAL en la pantalla de visualización de Control de bombeo.

El sistema de control de bombeo está formado por los siguientes componentes:

- Transmisores de presión en las líneas de succión y de descarga del compresor
- Transmisor de flujo a través de la placa del orificio de succión
- Sistema de control
- Válvula de control de recirculación y accesorios

En la Figura 40 aparece un diagrama de la válvula de control de recirculación y en la figura 41 sus componentes asociados.

Figura 40. Diagrama de la válvula de control de recirculación

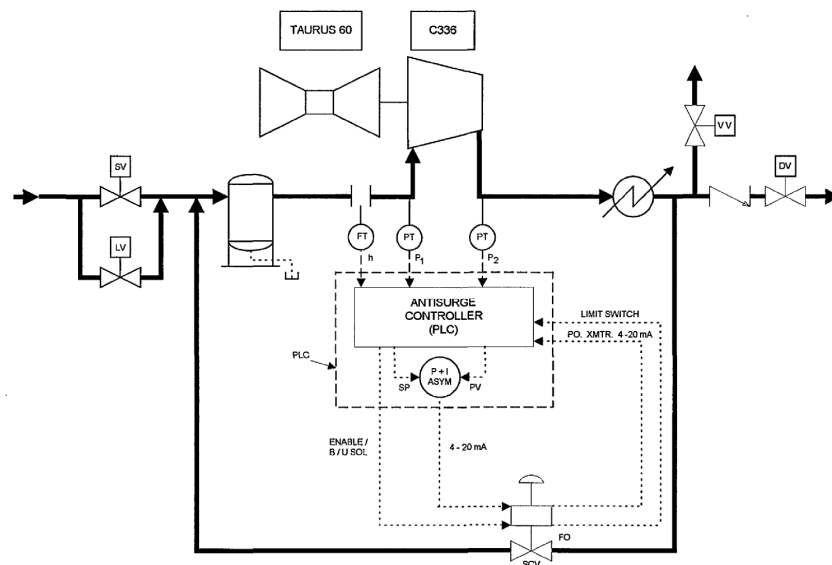
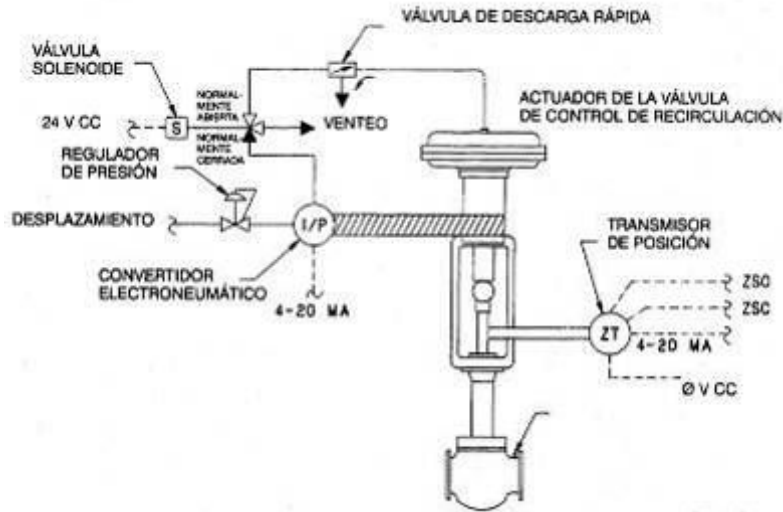


Figura 41. Componentes asociados de la válvula control de recirculación



3.6.2. Transductor electro-neumático. El transductor electro-neumático se utiliza para controlar la apertura y el cierre de la válvula de control de recirculación.

Se envía una señal de 4 a 20 mA desde el microprocesador al transductor, que corresponde a la cantidad en que se debería abrir la válvula de control de recirculación. La señal electrónica de 4 a 20 mA se convierte en una señal de presión neumática de 6 a 30 Psig. Cuanto más bloqueado esté el orificio, mayor será la presión y más cerrada estará la válvula. La señal de salida del conversor electro-neumático se transmite a través de la válvula solenoide a la cúpula del actuador de la válvula.

3.6.3. Regulador de presión. El regulador de presión está ubicado corriente arriba del conversor electro-neumático y garantiza una presión del aire constante al conversor. Se puede ajustar de 3 a 100 Psig. El regulador incluye una válvula de seguridad interna que se acciona a los 50 psig

3.6.4. Válvula solenoide. La válvula solenoide es una válvula de tres vías que controla el flujo de gas de control al actuador de la válvula de control de recirculación desde el conversor electro-neumático.

La válvula solenoide tiene tres funciones distintas e independientes:

1. Durante el arranque de la turbomaquinaria, la válvula solenoide se activa para permitir que la válvula de control de recirculación se cierre durante el ciclo de purga.
2. Una vez que la turbomaquinaria ha llegado a la velocidad de cargado preestablecida (90 %), se activa la válvula solenoide para habilitar el sistema de control de bombeo y la válvula de control de recirculación.
3. Como característica de doble seguridad, una vez que la turbomaquinaria se para normalmente o debido a una situación de emergencia, la válvula solenoide queda desactivada. Cualquier presión existente en la tubería entre la válvula solenoide y la válvula de escape rápido se descarga inmediatamente, lo que provoca que la válvula de control de recirculación se abra completamente.

3.6.5. Válvula de descarga rápida. La válvula de descarga rápida aumenta la velocidad de venteo del actuador de la válvula de control de recirculación. Cuando se detecta una pérdida de presión de 50 Psid entre la tubería entre el conversor electro-neumático y la válvula de descarga rápida, un diafragma se mueve para ventear la cúpula del actuador. El venteo rápido de la cúpula del actuador hace que la válvula de control de recirculación se abra completamente.

3.6.6. Transmisor de posición. El transmisor de posición está instalado en el conjunto de la válvula de control de recirculación y envía una señal de 4 a 20 mA al microprocesador, lo que indica el porcentaje en que está cerrada la válvula.

El transmisor tiene conmutadores de relé eléctrico integral, que se utilizan como contactos de válvula "completamente abiertos" y "completamente cerrados". Estos contactos envían señales discretas de 24 V CC al microprocesador para su visualización en la pantalla.

3.6.7. Actuador de la válvula de control de recirculación. El actuador de la válvula de control de recirculación controla la apertura y el cierre de la válvula de control de recirculación.

La presión del gas sobre la parte superior del actuador hace que el vástago de la válvula se deslice hacia abajo hasta cerrar la válvula. Una falta de presión del gas hace que la válvula regrese a una posición completamente abierta.

3.6.8. Cuerpo de la válvula de control de recirculación. El cuerpo de la válvula de control de recirculación controla el flujo del gas desde el lado de descarga al lado de succión del compresor. El cuerpo de la válvula posee un diseño de clavija equilibrada, con acción "pulsar para cerrar" (PDTC); por consiguiente, "la presión (de admisión) tiende a abrirla" (PTTO) la válvula.

3.6.9. Transmisor de presión de succión. El transmisor del flujo de succión convierte la presión diferencial que se produce a través de un orificio de la tubería de succión al compresor en una señal correspondiente de 4 a 20 mA. Un cambio en la presión diferencial hace que se mueva un diafragma del interior del transmisor. Este ligero movimiento se detecta como un cambio de la capacitancia

por el elemento de detección en el transmisor. El cambio en la capacitancia es amplificado y convertido en una señal proporcional de 4 a 20 mA y se envía al microprocesador para su análisis.

3.6.10. Transmisores de presión de succión y de descarga del compresor. Los transmisores de presión de succión y de descarga del compresor miden la presión diferencial a lo largo del compresor. Un cambio en presión hace que el diafragma dentro del transmisor se mueva. Este ligero movimiento es detectado como un cambio de la capacitancia por el elemento de detección del transmisor. El cambio en la capacitancia es amplificado y convertido en una señal proporcional de 4 a 20 mA y se envía al microprocesador para su análisis.

3.6.11. Indicadores y protecciones del compresor de proceso.

➤ Desplazamiento radial

El desplazamiento radial (vibración) del eje del rotor puede monitorearse en dos lugares mediante sensores de vibración, situados en el extremo corto del eje de succión y descarga y monitorea cualquier vibración en el eje X o en el eje Y.

Cada uno de los sensores, el cable coaxial de interconexión, y los demás elementos del circuito en una caja de sensor, forman un circuito sintonizado de radiofrecuencia (RF), que está modulado en frecuencia mediante las variaciones en la separación entre la punta del sensor y la superficie del eje corto. La modulación de RF se convierte en una señal de tensión en mV proporcional al desplazamiento del rotor (vibración). La sensibilidad de los sensores es de 200 mV/mils. El GAP normalmente fijado entre el sensor y el eje es de 10 V.

Las señales de tensión se envían al monitor de la consola (a través de cable trifilar blindado que también lleva la alimentación desde una fuente de alimentación de corriente continua del panel del monitor 18- 24 VCC). El panel del monitor muestra los desplazamientos (hacia adelante y hacia atrás) en medidores en milésimas de pulgadas.

La vibración en el eje X y Y tienen fijada una alarma cuando el desplazamiento radial alcanza un valor de 2.0 mils

La vibración en el eje X y Y tienen fijada una parada sin enclavamiento cuando el desplazamiento radial alcanza un valor de 2.5 mils

➤ Desplazamiento axial

Un sensor de desplazamiento axial monitorea el desplazamiento axial del rotor. El sensor monitorea la distancia entre el sensor y el adaptador del lado de impulsión del rotor. Esta señal de desplazamiento axial se envía a la consola de control de sistema para su análisis.

El desplazamiento axial tiene fijada una alarma cuando se alcanza un valor de 12 mils

El desplazamiento axial tiene fijada una parada cuando se alcanza un valor de 17 mils

➤ Otros Instrumentos del compresor

En la descarga y la succión del compresor están instalados una serie de instrumentos:

- Un manómetro de descarga (PI964-1), ubicado aguas abajo del lado de descarga del compresor que indica la presión de descarga del gas que sale del compresor, está provisto de una válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI961-8).
- Un manómetro de succión (PI965-1), ubicado aguas abajo del lado de succión del compresor que indica la presión de succión del gas que entra al compresor. Este previsto de una válvula manual de aislamiento de instrumentos (VI961-7).
- Un transmisor de presión de succión (TP363-1), ubicado aguas abajo del lado de succión del compresor, para detectar la presión del gas de succión y envía una señal correspondiente al sistema de control, el cual genera una alarma por baja presión de succión a 650 psig y disparo a 630 psig.
- Un transmisor de presión de descarga (TP364-1), ubicado aguas abajo del lado de descarga del compresor, se encarga de detectar la presión del gas de descarga y envía una señal correspondiente al sistema de control, el cual genera una alarma por alta presión de descarga a 1110 psig y disparo a 1115 psig.
- Un detector de temperatura por resistencia RT364-1, situado en la brida de descarga del compresor detecta la temperatura de descarga del compresor y envía una señal al sistema de control para su monitoreo y emite una parada si la temperatura detectada alcanza 190 °F.

- Un interruptor de presión diferencial de presurización de carcasa (S360-1), que se acciona si la presión en la carcasa no aumenta por encima de 8 psig. Este interruptor no permitirá arrancar la bomba de prelubricación.
- Están instalados detectores de temperatura en los cojinetes de empuje y en los cojinetes de zapatas basculantes del compresor para detectar las temperaturas de los cojinetes. Las señales se envían a la consola de control del sistema para su monitoreo y análisis. El sistema de control activa una alarma cuando la temperatura alcanza 250 F en todos los cojinetes, también envía una señal de paro si la temperatura alcanza 260 F.
- Un sensor de monitoreo de velocidad (tipo transductor de ángulo de fase o key phasor) TAG cerca del adaptador del lado de descarga del rotor para proporcionar las señales rotacionales de velocidad y fase del compresor de gas a la consola de control del sistema. Este es usado cuando se requiere balancear el equipo.

3.7. CABINA Y EQUIPO AUXILIAR

La turbina y el equipo accionado están protegidos por una cabina, figura 42, provista de aislamiento térmico y contra el ruido. Las paredes y el techo de la cabina constan de una serie de paneles y puertas de acceso soportadas por un bastidor. Cada uno de estos paneles puede ser desmontado individualmente para tener un acceso completo a los componentes principales para facilitar la inspección y el mantenimiento, o el desmontaje de la turbina por un lado de la cabina.

Figura 42. Cabina de la unidad turbocompresora



El ruido al interior de la cabina es de 100 dB y en el exterior de la cabina es de 80 dB.

3.7.1. Cabina

3.7.1.1. Equipo eléctrico e iluminación. Comprenden los dispositivos accionados y controlados eléctricamente e integrados a la cabina, para mayor protección física, el cable blindado está dispuesto en bandejas de protección. El alumbrado del interior de la cabina es controlado mediante un conmutador localizado en la puerta de acceso.

3.7.1.2. Paneles y puertas de la cabina. Cada panel es recubierto de fibra de vidrio para aislarlo térmicamente y para atenuar el ruido producido por la turbina. Se proveen puertas para facilitar el acceso, la inspección y el mantenimiento. Están instaladas franjas aislantes entre los paneles para sellarlos, incrementar la atenuación del ruido y para contener el material extintor dentro de la cabina.

Las puertas de la cabina incluyen una manivela de seguridad que puede ser abierta desde el interior de la cabina. El dispositivo de apertura interior anula el mecanismo de cierre.

3.7.1.3. Junta de expansión. Una junta une el colector de escape con la turbina es un muelle metálico que permite dilataciones por efecto de la temperatura de hasta 25.4 mm

3.7.1.4. Silenciador del escape. La atenuación del ruido del escape se obtiene mediante el uso de un silenciador. Las cargas de expansión térmica se evitarán por medio de la instalación del amortiguador de ruidos.

3.7.1.5. Silenciadores de entrada de aire y del escape de la ventilación. La cabina con atenuación de ruido incluye silenciadores de entrada y de escape de aire en forma de codo. Los silenciadores contienen materiales ignífugos y también ayudan a reducir los ruidos producidos por la maquinaria.

3.7.1.6. RTD de alarma de alta temperatura. El detector de temperatura por resistencia (RTD) (RT396), instalado en la cabina, provee una indicación de alarma a 185 °F.

3.7.1.7. Riel de grúa. Un riel de grúa, apoyado sobre un armazón de mantenimiento de servicio pesado, ayuda en el desmontaje de la turbina por el lado de la cabina. Este es usado para cuando se desea montar el equipo de izado de 5 toneladas.

3.7.1.8. Patín del equipo auxiliar. Un patín de equipo auxiliar permite el montaje de equipos accesorios antes de la instalación, tales como ductos de filtro de entrada de aire, codo de transición y silenciador del escape.

3.7.1.9. Tiro de chimenea del escape con protección contra la lluvia. Se tiene instalado un tiro de chimenea del escape con protección contra la lluvia de tres pies de largo sobre el tiro del escape de la turbina para evitar que entre lluvia dentro de la turbina de gas.

3.7.2. Ventilador. Al fijarse el enclavamiento de arranque/parada, el ventilador de la cabina arranca. El temporizador de arranque del ventilador del venteo de la cabina (FAN1_START) inicia su conteo y se anuncia una alarma de baja presión en la cabina. Cuando se aumenta la presión más allá del punto de ajuste 0,25 pulgadas H₂O del interruptor del alarma de baja presión en la cabina (S396-2), la alarma asume de nuevo su condición inicial.

Cuando el temporizador de fallas para el ventilador termina su conteo 30 segundos, el interruptor del flujo del ventilador de venteo de la cabina (8396-1) comprueba el flujo. Si no se detecta menos de 1 pulgada H₂O, se anuncia una alarma de falla de ventilador primario de venteo. Arranca el ventilador de venteo de respaldo para la cabina y se anuncia que la alarma del ventilador de respaldo está en marcha.

El temporizador de arranque del ventilador 2 de venteo de la cabina (FAN2_START) inicia su conteo. Cuando la presión en la cabina se incrementa más allá del punto de ajuste del presóstato de la cabina, la alarma asume de nuevo su condición inicial.

El presóstato de flujo del ventilador de la cabina verifica el flujo. Si no se detecta ningún flujo cuando se termina el conteo del ventilador 2 de venteo de la cabina, se anuncia la falla total de los ventiladores de venteo de la cabina y se cancela el arranque.

El conjunto del ventilador de la cabina suministra aire a 3 in H₂O. El sistema cuenta con un ventilador de respaldo de venteo para activarse en caso de que el ventilador de la cabina no cumple con los requisitos de flujo de aire.

3.7.2.1. Persianas de ventilación. La cabina tiene persianas de ventilación normalmente abiertas. En caso de un incendio el sistema de supresión de incendio envía una señal que a una válvula solenoide que aviva un mecanismo que cierra las persianas.

3.7.3. Sistema de detección de fuego. Se tiene instalado en la cabina un sistema automático de detección de fuego controlado electrónicamente. El sistema primario de detección de fuego consta de detectores ultravioleta (UV), detectores térmicos separados, y un controlador montado en la consola de control. El sistema incluye el sistema de integridad óptica automática, el cual provee una verificación continua de las superficies ópticas, de la sensibilidad de los detectores y de los circuitos electrónicos del sistema de detección. También se incluye una identificación automática de fallas que provee una anunciación digital de la

condición del sistema en código numérico. El sistema secundario de detección consiste en detectores térmicos.

Al detectar un incendio el sistema de detección de fuego, las siguientes funciones ocurren:

1. Se desenergiza todo el equipo eléctrico (División 1 ó 2, según el caso).
2. Se paran todos los ventiladores del sistema de ventilación de la cabina.
3. Se rocía el agente extintor de fuego.
4. Se cierran todas las persianas contra incendios.
5. Se para la turbina (parada con enclavamiento).

Cuando se detecta un incendio, el respaldo inmediatamente fija el enclavamiento de parada rápida en el control de respaldo y la secuencia de parada continúa al igual que en una parada de emergencia manual, con excepción del ciclo de poslubricación y la parada de los ventiladores.

3.7.3.1. Detectores de llamas UV. El detector de la componente ultravioleta (UV) en los detectores de llamas maneja un rango de radiación UV de 1850 a 2450 angstrom.

La radiación del sol y de la mayoría de los dispositivos de iluminación artificial tales como lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio e incandescentes, no se extiende a la gama del espectro del detector. Sin embargo, los detectores son sensibles a la radiación UV generada por la soldadura de arco o por los rayos X.

Cuando la radiación UV llega al detector, se envía una señal al circuito comparador en el controlador. Si el ajuste de sensibilidad a la radiación UV del controlador se excede, se para la turbina de gas y se descarga el agente extintor.

El detector tiene un cuerpo cilíndrico de aluminio anodizado a prueba de explosiones, diseñado para soportar atmósferas con alto grado de salinidad y pH al igual que temperaturas y humedades extremas. Cada detector tiene una pequeña lámpara de prueba UV dentro de la caja. La lámpara es protegida por un escudo especial de tal manera que no haya radiación directa de la lámpara al tubo detector de UV.

La radiación UV de la lámpara de prueba pasa por la lente, se refleja en un espejo de aro biselado, y vuelve a pasar otra vez por la lente hasta el tubo sensor de UV del detector. Cada lámpara de prueba se pulsa con regularidad, nominalmente una vez por segundo. Si ocurre una falla en el sistema, se detecta y se registra en el panel de anunciación digital situado en el frente del controlador.

3.7.3.2. Detectores de calor. El detector de calor, o detector térmico, es un dispositivo sensible a cambios en la temperatura del aire circundante, en comparación con el detector UV que únicamente reacciona a la radiación generada por las llamas. Estos sensores actúan como un sistema de respaldo para los detectores UV. El sistema de supresión de incendios se activa si la temperatura del aire circundante sobrepasa el nivel preseleccionado de 325°F.

3.7.3.3. Controlador del sistema de detección de fuego. El controlador se puede posicionar en cualquiera de varias condiciones de estado, bien sea por operación del sistema o por acción del operador. Cualquier cambio en el estado del sistema interrumpirá el ciclo normal de exploración del microprocesador, y una lectura numérica aparecerá en la pantalla digital del controlador. La lectura aparecerá en forma de un código, el cual identificará el estado del sistema. Los cambios en el estado del sistema incluyen sucesos tales como una falla, una señal de incendio

de una de las zonas de detección, o un cambio en la posición de la llave con enclavamiento de selección del control de modo. Toda vez que ocurra un cambio de condición, el microprocesador se transferirá a la secuencia del sistema preseleccionada correspondiente.

Cuando se recibe una señal en el controlador de cualquier detector en el sistema, primero se compara con la información almacenada en el programa del sistema. La salida del detector es en forma de pulso, llamados también conteos, se miden en conteos por segundo. Si el conteo por segundo de la señal es inferior a la sensibilidad seleccionada fijada en el programa, en el anunciador inferior (CONDICIÓN DEL SISTEMA - "SYSTEM STATUS") aparecerá un número de código, mientras que el anunciador superior mostrará la primera zona afectada. Si la señal es mayor que la sensibilidad seleccionada, y continúa por un período mayor que el retraso de tiempo preseleccionado de 10 segundos, se genera una señal de fuego y se activa el sistema de extinción de fuego.

Una señal de fuego también accionará una alarma sonora y luminosa externa que indicará que se detectó fuego al interior de la cabina. La alarma puede ser silenciada también al pulsar el botón pulsador de PRUEBA/ACEPTACIÓN en el panel del controlador. La función de identificación automática de fallas está asociada con el anunciador inferior en el panel del controlador.

3.7.4. Sistema de supresión de incendios. El sistema de supresión contra incendios está diseñado para sofocar el fuego dentro de la cabina. Los fuegos rápidos, tales como los producidos por aceite lubricante, combustible o incendios repentinos, son apagados rápidamente al inundar el área de la cabina con una atmósfera inerte.

Después de una verificación de funcionamiento, el sistema de protección contra incendios queda armado. Una vez armado, el sistema de detección de fuego controla la activación normal del sistema. Sin embargo, el sistema puede activarse manualmente en caso de emergencia.

Si el sistema de detección de fuego (Z198-1) detecta alguna condición de incendio, las válvulas solenoide de descarga del sistema contra incendios rompen los sellos de las botellas de CO₂, los cabezales de control a prueba de explosión accionan a los cabezales de descarga en las botellas de descarga primaria y de descarga extendida y todo el contenido de estas botellas se dispersa en la cabina; conjuntamente se apagan los ventiladores y se cierran las persianas de ventilación de la cabina.

Se provee un conmutador de inhibir/automático del sistema contra incendio (S331) para desactivar las características automáticas del sistema de protección contra incendio durante el mantenimiento o servicio. Al colocarse el conmutador en la posición de INHIBIR, se interrumpe la operación automática del sistema de extinción de fuego.

Desde la periferia de los de los turbocargadores se puede accionar el sistema contraincendio de la cabina. De igual forma se puede inhibir el funcionamiento automático de la misma.

3.7.5. Sistema de detección de gas. El sistema de detección de gas es un sistema de monitoreo de gas combustible diseñado para monitorear en forma continua el nivel explosivo de la atmósfera dentro de la cabina.

Si el límite inferior de explosión (LEL) de la atmósfera se incrementa por encima de niveles predeterminados 30% de concentración, se inician alarmas visuales y

sonoras cuando la concentración alcanza 50% y se inicia la parada de la turbina, con el fin de proteger al personal y equipo.

El sistema consiste en uno o más conjuntos detectores de gas instalados en la cabina. Los detectores están cableados directamente al sistema de control.

El detector de gas combustible ("Smart Sensor") es un conjunto a prueba de explosión controlado por microprocesadores, que consiste en un sensor de detección y la caja del detector. Todos los circuitos electrónicos están ubicados dentro de la caja del sensor. La caja está provista de perforaciones de entrada roscadas para el conducto de los cables eléctricos, conexión para venteo/drenaje, y un conmutador magnético con un indicador luminoso integrado. El conmutador se usa durante la calibración del detector.

Una fuente de alimentación separada provee una corriente continua constante a un circuito constituido por un puente de Wheatstone, en el conjunto del detector. Una rama del puente está contenida en el sensor del detector y está formada por dos elementos en forma de perla en serie. La otra rama, ubicada en la tarjeta que contiene el circuito impreso en el alojamiento del detector, es un divisor resistivo. Las dos perlas en la porción detectara son calentadas por la corriente continua. Cuando el detector es expuesto al aire limpio, cualquier desviación del equilibrio en el puente es compensada por el programa del microprocesador.

Cuando una mezcla de gas Aire/Combustible se difunde hacia el interior del detector a través de un parallamas, se oxida sobre una de las perlas sensibles. Ésta es la perla activa, que ha sido tratada catalíticamente. La otra, de referencia, es inerte a los gases combustibles y su función es compensar las variaciones de temperatura, humedad y presión. La oxidación sobre la perla activa ocasiona un incremento de temperatura con el consiguiente cambio en su resistencia eléctrica, lo cual produce un desequilibrio en el circuito del puente de Wheatstone. La

diferencia entre las resistencias de la perla activa y la perla de referencia es proporcional a la concentración de gas combustible.

La señal producida por el desequilibrio del puente es convertida en una señal digital de manera tal que el programa en el microprocesador produce un señal de salida de 4 a 20 miliamperios, en relación directa con la concentración de gas.

Si cualquiera de los conductores del detector está abierto, o si la corriente continua que alimenta las unidades está por debajo del límite inferior, se crea una condición de falla (señal de salida cero). Esta condición de falla será indicada en el detector por una luz intermitente dentro del conmutador de calibración. Una vez calibrado de acuerdo al gas especificado por el usuario, el detector se autocalibra, y las verificaciones de calibración periódicas son simples de realizar, ya que no hay potenciómetros que ajustar.

El detector opera con corriente continua de 24 V provista por cualquier fuente de alimentación de CC con una capacidad mínima de 0,25 amperios. Para evitar una caída de tensión excesiva, la unidad suministra una señal constante de 4 mA por aproximadamente 45 segundos después de aplicar tensión por primera vez. De esta manera se evitan las falsas alarmas mientras los circuitos del detector se estabilizan.

Durante el período de demora inicial de 45 segundos la lámpara indicadora en el conmutador de calibración parpadeará pausadamente como indicación visual de que el detector está conectado pero aún no está en operación. Cuando el período de demora se completa la lámpara indicadora se apaga.

4. ANALISIS DE RCM PARA LA ESTACION COMPRESORA PALOMINO

Para realizar el análisis de RCM a las unidades turbocompresoras de la Estación Compresora Palomino se tomó como base los sistemas que fueron descritos en el contexto operacional contenido en el capítulo 3.

Luego de haber definido el contexto operacional, se diseñaron dos formatos específicos denominados “Hoja de Información” y “Hoja de Decisión” en donde se registró para cada sistema analizado la siguiente información:

- Hoja de información: función (principal y secundaria), falla funcional, modo de falla y efecto de falla.
- Hoja de decisión: referencia de información, evaluación de las consecuencias, tareas “a falta de”, tareas propuestas, frecuencia inicial y a realizar por.

Para efectos de este proyecto de grado, se presentarán únicamente los resultados de aplicar la metodología de RCM al sistema de arranque de la turbina de la estación compresora Palomino por tratarse de información confidencial que representa el *know how* técnico del negocio de Promigas S.A. E.S.P.

4.1. HOJA DE INFORMACIÓN

Este formato fue diseñado para registrar la información de las funciones (principales y secundarias) de cada sistema analizado, las diferentes fallas funcionales asociadas a las funciones previamente identificadas, los modos de falla para cada falla funcional contemplada y los efectos de cada falla.

Tomando como referencia el subsistema de arranque de la turbina explicado en el capítulo 3.2 se muestra como ejemplo el diligenciamiento de la hoja de información, ilustrado en la tabla 2

Tabla 2. Hoja de información del sistema de arranque



ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO
HOJA DE INFORMACIÓN - TURBOCOMPRESOR SISTEMA ARRANQUE

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO		Nº	Realizado por	Grupo de Análisis rcm2 - Configuración 1	Fecha	Hoja
		Turbocompresor - Sistema de Arranque						
		COMPONENTE		Ref.	Revisado por	CEM	Fecha	de
		Estación Compresora Palomino						
FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)		EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)		
1	Conducir 2600 CFM a un mínimo de 170 psi desde el cabezal de succión de la estación hasta los motores de arranque.	A	No suministra gas de arranque	1	Se analiza en el patín de gas de arranque			
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	1	Ver falla funcional 6A			
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	1	Ambos motores de arranque fallan	Cuando ambos motores de arranque fallan, no se transmite torque al turbocompresor por lo que este no arranca. Se muestra una alarma de falla en el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte en el ducto y se pueden generar multas en momento de alto		
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	2	Ausencia de aceite en el deposito de los motores de arranque	En cada arranque el gas consume parte del aceite que lubrica la rueda dentada y los rodamientos de los motores de arranque del turbocompresor. Después de un periodo de tiempo el deposito de aceite de los motores de arranque se vacía, los engranajes y roda		

Cada función, ya fuese principal o secundaria, se identificó con un número consecutivo iniciando con el 1. Las fallas funcionales asociadas a cada función se identificaron con letras, iniciando con la A. De igual manera que las funciones, los modos de falla se identificaron con números iniciando con el 1.

De esta forma, en la tabla 2, la combinación 2-A-1 corresponde a la función 2 (Transmitir un par de torsión de 300 – 380 lb-ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp), falla funcional A (No transmite un par de torsión al sistema de arranque) y modo de falla 1 (Ambos motores de arranque fallan)

En el anexo E se presenta la hoja de información para el sistema de arranque de la turbina de la estación compresora de Palomino.

4.2. HOJA DE DECISIÓN

Este formato fue diseñado para registrar las posibles combinaciones de funciones, fallas funcionales y modos de falla. Para cada tipo de combinación, se hace un análisis de consecuencias siguiendo la lógica explicada en el diagrama de decisiones de RCM.

En este se identifican las consecuencias teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La falla que se presenta es oculta o no
- Cuando se presenta la falla, esta trae repercusiones con la seguridad o el medio ambiente
- La consecuencia de la falla repercute en algún aspecto operacional o no.

Cada aspecto está representado por las letras H, S, E, O y N. Al aplicar la lógica de decisiones se van identificando las actividades o tareas que se deben realizar para evitar la falla funcional.

En la tabla 3, se muestra como referencia la aplicación de la lógica de decisiones para los datos del sistema de arranque de la turbina, mostrado en la tabla 2.

Como se puede ver para cada salida de la lógica se identifica la tarea a realizar. En el caso que se muestra, para la combinación 2-A-3 (No se transmite par de torsión al sistema de arranque debido a que se presenta falla cerrada de la válvula piloto de corte de gas de arranque) se llegó a las siguientes conclusiones:

- Es una falla oculta
- No produce una pérdida de función que pueda lesionar o matar a alguien.
- No produce una pérdida de función que pudiera infringir alguna normativa o reglamento del medio ambiente.
- Ejerce un efecto directo sobre la capacidad operacional.

Tabla 3. Hoja de decisión del sistema de arranque de la turbina



ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO
HOJA DE DECISIÓN - TURBOCOMPRESOR - SISTEMA DE ARRANQUE

HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM			ELEMENTO										Nº	Realizado por	Grupo de Análisis rcm2 - Configuración 1	Fecha	Hoja
			Turbocompresor - Sistema de Arranque										Ref.	Revisado por	CEM	Fecha	de
			Estación Compresora Palomino														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4					
1	A	1											Se analiza en el patín de gas combustible				
2	A	1											Ver falla funcional 6 A				
2	A	13	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado				
2	A	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar el nivel de aceite y si el nivel es menor al 50%, se debe completar el nivel de aceite en los motores de arranque hasta XX nivel.			800 horas	Técnico de mantenimiento
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado				

En este punto ya se tiene identificado que la falla tiene una consecuencia operacional, luego se debe evaluar desde esta perspectiva para identificar la tarea propuesta. Al hacer el análisis se determinó lo siguiente:

- No es técnicamente factible y no vale la pena realizar una tarea a condición.
- No es técnicamente factible y no vale la pena realizar una tarea de reacondicionamiento cíclico.
- No es técnicamente factible y no vale la pena realizar una tarea de sustitución cíclica.

Al llegar a este punto se concluye que la tarea propuesta es no realizar ningún mantenimiento programado.

De manera similar para la combinación 2-A-2, se realizó el mismo análisis y se llegó a lo siguiente:

- Es una falla oculta
- No produce una pérdida de función que pueda lesionar o matar a alguien.
- No produce una pérdida de función que pudiera infringir alguna normativa o reglamento del medio ambiente.
- Ejerce un efecto directo sobre la capacidad operacional.

De igual forma al presentar una falla operacional se hace seguir la misma ruta que la falla analizada anteriormente y se concluyó que se debe realizar una tarea a condición y ésta fue identificada como "Inspeccionar el nivel de aceite y si el nivel es menor al 50%, se debe completar el nivel de aceite en los motores de arranque hasta 90% del nivel" que debe realizarse cada ocho cientos (800) horas de operación de la máquina y su ejecución está a cargo del técnico de mantenimiento.

En el anexo F se encuentra la hoja de decisión para el sistema de arranque de la turbina de la estación compresora de Palomino.

4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

El resultado de aplicar la metodología de RCM a la estación turbocompresora de Palomino es la elaboración de un nuevo plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. En la tabla 4 se observa las nuevas tareas de mantenimiento, organizadas y agrupadas por frecuencias para los diferentes sistemas objeto de análisis

Tabla 4. Tareas por frecuencia del plan propuesto por RCM

Tareas por frecuencia
800 horas
2000 horas
2 meses
6 meses
4000 horas
Anual
8000 horas
1,5 años
2 años
3000 horas
5 años
A Condicion - en línea

Adicionalmente, en los anexos G y H se presentan respectivamente y de manera detallada, el plan de mantenimiento actual y el plan de mantenimiento que resulta

del ejercicio de aplicar la metodología de RCM a la estación turbocompresora Palomino.

4.4. SEGUIMIENTO, MEDICION Y ANALISIS DE RCM

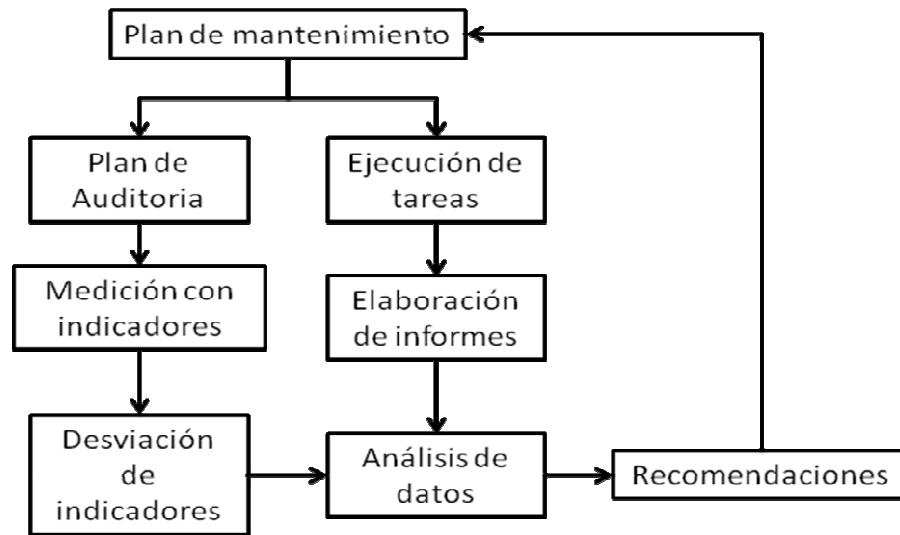
Por tratarse de un proceso dinámico, se diseñó el siguiente diagrama de flujo, ver figura 43, para el seguimiento, medición y análisis del plan de mantenimiento que resultó de la aplicación de la metodología de RCM.

El proceso inicia con el plan de mantenimiento; de este se deriva un plan de auditorías y la ejecución del plan de mantenimiento.

El plan de auditorías (técnicas y de calidad), con sus respectivos indicadores de gestión los cuales nos estarán dando las desviaciones a la meta que se establezca. A través de un análisis de los datos y desviaciones que se presenten, se deben generar planes de acción para mitigar dichos vacíos y que a su vez servirá de base para hacer retroalimentación y ajuste a los planes de mantenimiento.

De igual forma, a través de la ejecución de las tareas de mantenimiento quedan registradas en informes técnicos que deben ser analizados y de este análisis deben salir recomendaciones para nuevamente actualizar los planes de mantenimiento.

Figura 43. Diagrama de flujo proceso de seguimiento, medición y análisis de RCM



5. DIAGNOSTICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

El actual plan de mantenimiento de la estación turbocompresora Palomino, está enmarcado dentro de la filosofía de mantenimiento de Promigas S.A. E.S.P. descrita en el capítulo 1.3.1. Tal y como se describe, ésta contempla 3 tipos de mantenimiento: preventivo, predictivo y correctivo, ver tabla 5.

Tabla 5. Tipos de tareas de acuerdo a la filosofía de Promigas

TIPO DE TAREA.
Mantenimiento preventivo
Mantenimiento predictivo
Mantenimiento correctivo

De igual manera, estos planes de mantenimiento fueron desarrollados siguiendo los lineamientos expuestos en el numeral 1.3.2. Estos incluyen en casi su totalidad rutinas o necesidades de mantenimiento siguiendo las recomendaciones del fabricante, Solar Turbines, la experiencia propia de Promigas en el manejo de este tipo de equipos y estadísticas de fallas de los componentes.

Los tipos de tareas de mantenimiento para el manejo y prevención de ocurrencia de las fallas que estipula el proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Tipos de tareas de acuerdo a RCM

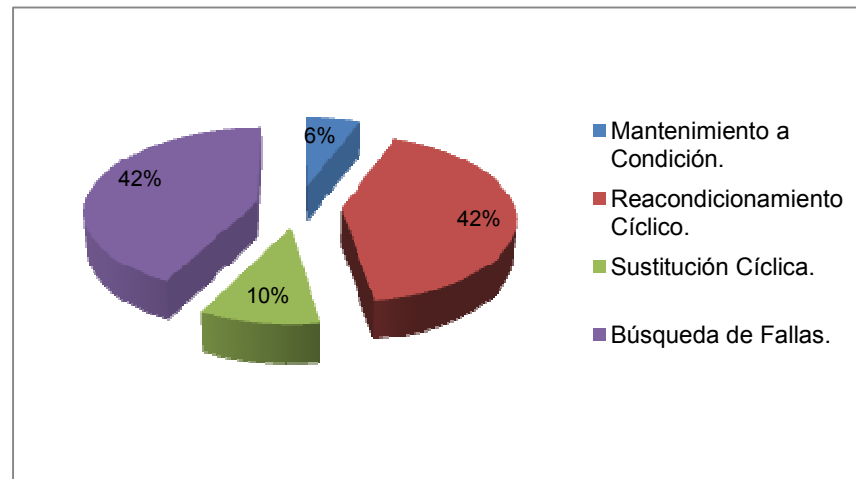
TIPO DE TAREA.
Mantenimiento a Condición.
Reacondicionamiento Cíclico.
Sustitución Cíclica.
Búsqueda de Fallas.
Rediseño.
Ningún mantenimiento programado.

Al hacer un análisis de las actividades actuales, se puede hacer una agrupación para poder enmarcarlas dentro del esquema que propone RCM de la siguiente forma:

- Mantenimiento a condición: corresponde a todas las actividades de mantenimiento predictivo.
- Reacondicionamiento cíclico: corresponde a actividades de mantenimiento preventivo rutinarios.
- Sustitución cíclica: corresponde a actividades de mantenimiento preventivo rutinario donde se realiza cambio de elementos.
- Búsqueda de fallas: corresponde a actividades de inspección.
- Rediseño: no tiene un equivalente en el plan de mantenimiento actual.
- Ningún mantenimiento propuesto: no tiene un equivalente en el plan de mantenimiento actual.

En la figura 44, se muestra como están distribuidas las actividades actuales a la luz de las propuestas por RCM

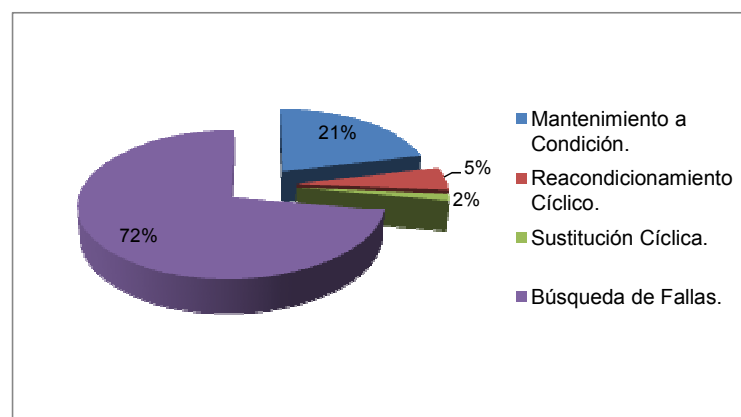
Figura. 44. Distribución de las actividades del plan de mantenimiento actual



De la figura 44, se puede observar que el 42% de las actividades corresponden a actividades de reacondicionamiento cíclico, 42% a tareas de búsqueda de fallas, 10% a tareas de sustitución cíclica y 6% a actividades de mantenimiento a condición.

En la figura 45, se muestra la misma distribución, pero para las tareas que resultaron de la aplicación de RCM

Figura 45. Distribución de las actividades del plan de mantenimiento propuesto



En la figura 45 se puede observar que el 72% de las actividades son tareas de búsqueda de falla, 21% son actividades de mantenimiento a condición, 5% son actividades de reacondicionamiento cíclico y 2% son tareas de sustitución cíclica. En la tabla 7 se resumen los datos presentados en las graficas 1 y 2.

Tabla 7. Total de tipo de tareas por plan de mantenimiento

Tipo de Tarea	Plan actual	Plan de RCM
Mantenimiento a Condición.	9	58
Reacondicionamiento Cíclico.	64	14
Sustitución Cíclica.	15	4
Búsqueda de Fallas.	65	197
Rediseño.	0	208
Ningún mantenimiento programado	0	256
Totales	153	481

Con base en la información plasmada en la tabla 7, se observa que el plan de mantenimiento actual contiene 153 actividades contra 481 del plan de RCM.

De los resultados, es clara la tendencia de los planes de RCM a enfocarse a tareas de búsqueda de falla. Mientras que en el plan actual se contemplan 65 actividades, el plan nuevo llega a 197, que corresponde a un incremento del 203%; las tareas de mantenimiento a condición, al igual que las de búsqueda de falla, incrementan en un 544%; de igual forma se observa menos actividades de reacondicionamiento y sustitución cíclica, que representan una reducción del 78% y 73% respectivamente

También surge un nuevo tipo de tarea, rediseño, la cual no es contemplada en los planes actuales. Cuando se habla de rediseños, estos deben entenderse de la siguiente forma:

- Rediseño como tal de los sistemas que conforman la estación

- Cambio en la política del almacén de repuestos en el sentido de tener un stock que contemple los materiales que resulten del análisis de RCM, adicional de aquellos que son requeridos por las tareas de mantenimiento.
- Replanteamiento de los procedimientos actuales de mantenimiento.

6. CONCLUSIONES

- Se diseñó una metodología para la implementación de RCM como filosofía de mantenimiento de la estación turbocompresora Palomino.
- Como resultado de la aplicación de la metodología de RCM a la estación turbocompresora de Palomino, se obtuvo un nuevo plan de mantenimiento para los equipos centrado en minimizar las fallas funcionales y optimizar los costos de mantenimiento, el cual será propuesto a la organización para que sea implementado.
- Se diseñó un proceso para el seguimiento, medición y análisis del nuevo plan de mantenimiento basado en RCM.
- Se identificaron cada uno de los sistemas que componen la estación turbocompresora de Palomino.
- Se identificaron las funciones de cada uno de los sistemas, de acuerdo al contexto operación de la estación.
- Se identificaron y analizaron las fallas funcionales, modos y efectos de falla para las diferentes funciones descritas de cada sistema.

- Con base en las fallas, modos y efectos de falla, se establecieron mediante la aplicación de la lógica de decisión de RCM, rutinas o actividades de mantenimiento para los sistemas analizados. Para cada tarea, se definieron las frecuencias y los responsables de intervención los cuales se consignaron en las hojas de decisión.
- Dado que el plan de mantenimiento actual fue diseñado siguiendo las recomendaciones del fabricante, cuando se compara con el plan de mantenimiento que resultó de la aplicación de RCM se concluye que este último está enfocado a tareas de búsqueda de fallas y monitoreo por condición.
- Con la aplicación de RCM como filosofía de mantenimiento se redujeron el número de tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica lo que representará en disminución de costos de mantenimiento. Estas tareas fueron reemplazadas por un enfoque de mantenimiento orientado hacia la búsqueda de fallas y monitoreo por condición.
- Se identificaron 208 tareas de rediseño que no estaban contempladas en el plan de mantenimiento actual. Estos deben entenderse como: rediseño como tal de los sistemas que conforman la estación; cambio en la política del almacén de repuestos en el sentido de tener un stock que contemple los materiales que resulten del análisis de RCM, adicional de aquellos que son requeridos por las tareas de mantenimiento; replanteamiento de los procedimientos actuales de mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

ARIZA, Albert Jair. Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a equipos de minería a cielo abierto tomando como piloto la flota de taladros de voladura. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Ingeniería, 2008. 166p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. NTC 1486: 2008, Documentación y presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.:ICONTEC, 2008. 36p. NTC 1486.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edicion en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3

SOLAR TURBINES. Manuales de Operación y Mantenimiento de la Estación Compresora Palomino PD 52591

SOLAR TURBINES. Project Data Book Estación Compresora Palomino PD 52591

ANEXOS

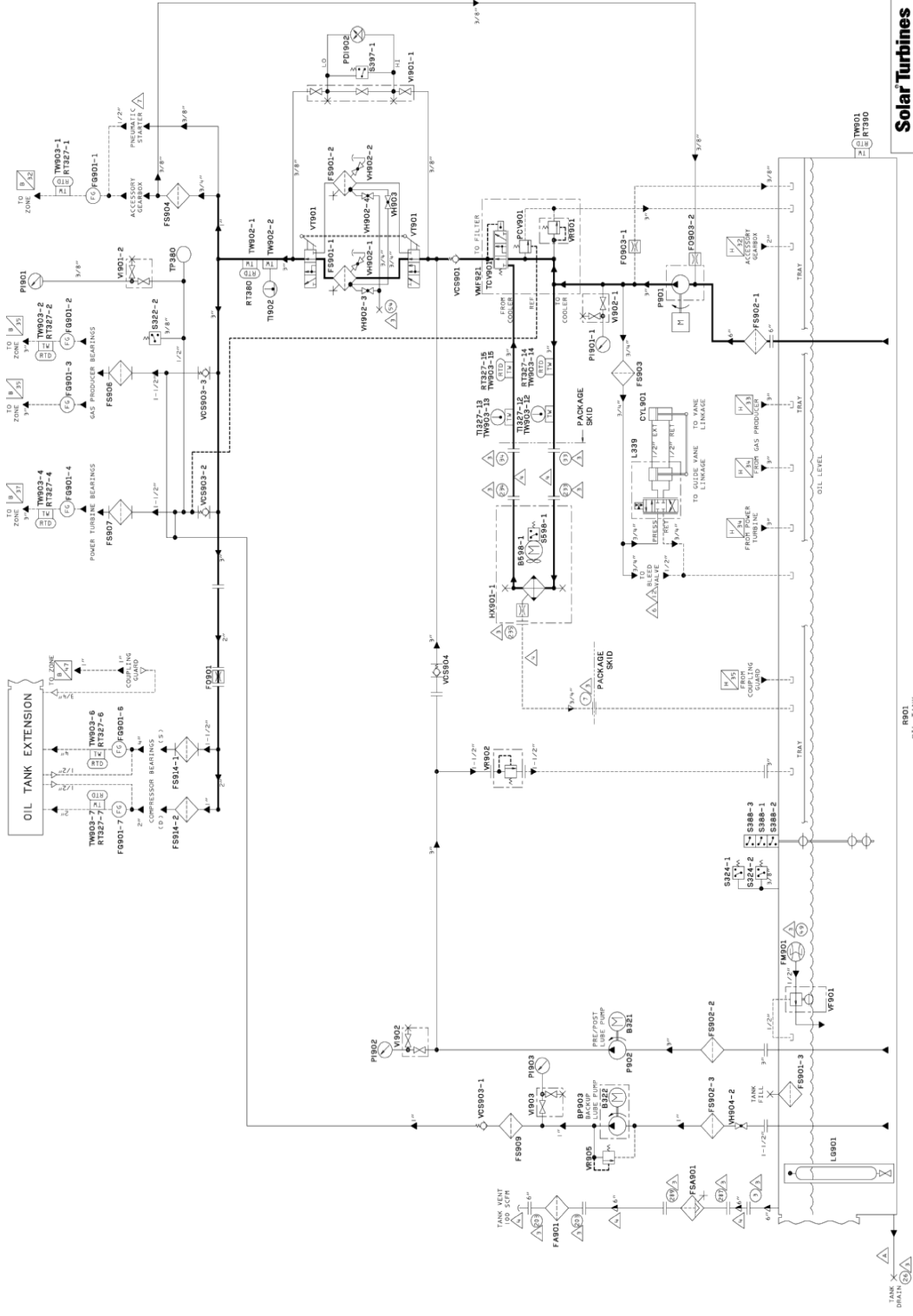
Anexo A. Diagrama de decisiones de RCM





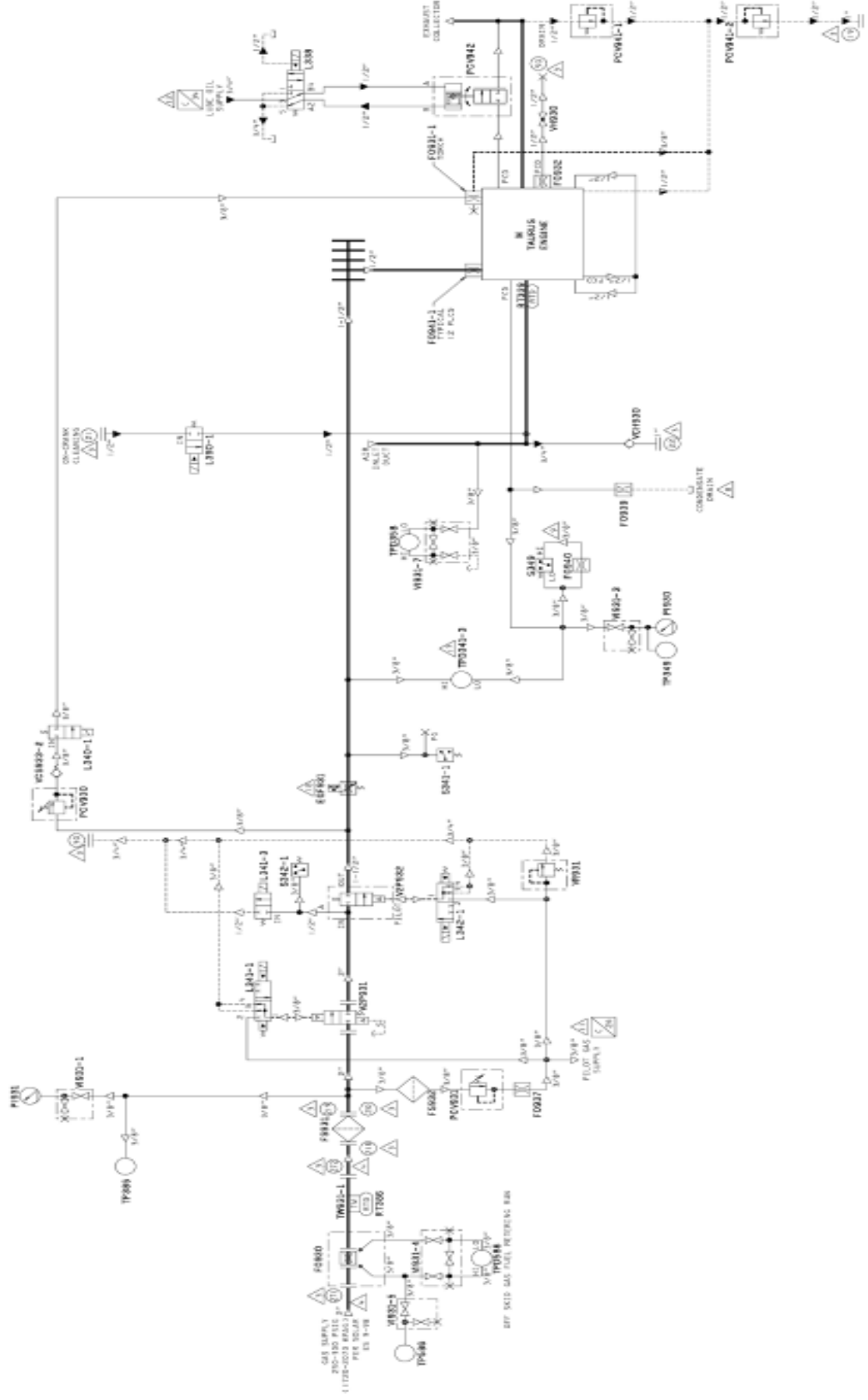
Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edición en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.204-205.

Anexo B. Diagrama del sistema de lubricación



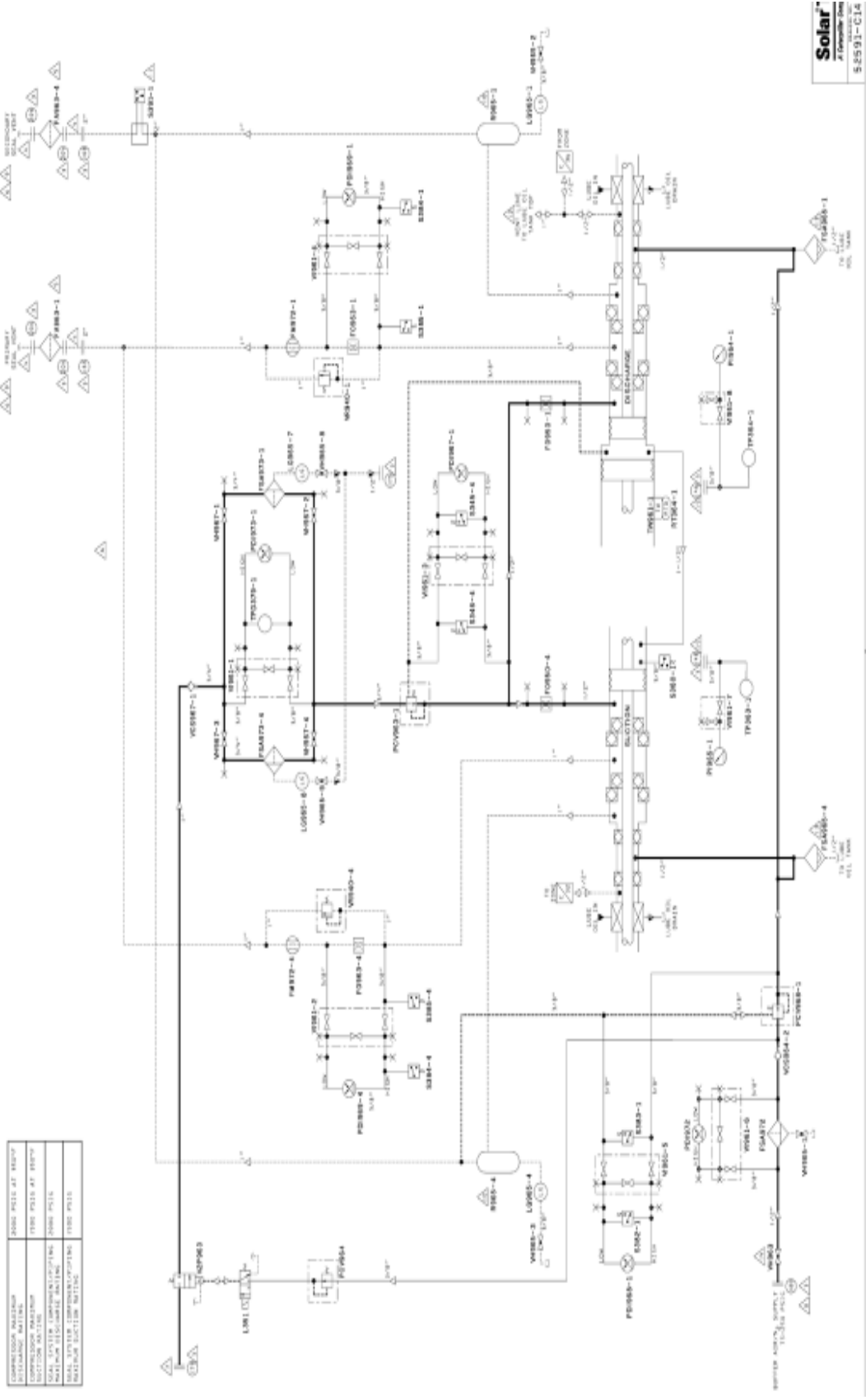
Fuente: SOLAR TURBINES. Drawing No. 52591-149555 5/5

Anexo C. Diagrama del sistema de combustible



Fuente: SOLAR TURBINES. Drawing No. 52591-E149532 4/4

Anexo D. Diagrama del sistema de sello seco



Fuente: SOLAR TURBINES. Drawing No. 52591-C149155 4/4

Anexo E. Hoja de información del sistema de arranque de la turbina



ANÁLISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO
HOJA DE INFORMACIÓN - TURBOCOMPRESOR SISTEMA ARRANQUE

HOJA DE TRABAJO		ELEMENTO		N°	Realizado por	Grupo de	Fecha	Hoja			
		Turbocompresor - Sistema de Arranque									
		COMPONENTE		Ref.	Revisado por	CEM	Fecha	de			
Estación Compresora Palomino											
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)		EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)						
	A	No suministra gas de arranque	1		Se analiza en el patín de gas de arranque						
1	Conducir 2600 CFM a un mínimo de 170 psi desde el cabezal de succión de la estación hasta los motores de arranque.										

2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	1	Ver falla funcional 6A	
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	1	Ambos motores de arranque fallan	Cuando ambos motores de arranque fallan, no se transmite torque al turbocompresor por lo que este no arranca. Se muestra una alarma de falla en el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte en el ducto y se pueden generar multas en momento de alto consumo. Diagnosticar y reemplazar el modulo de salidas discretas. tarda 1 día
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	2	Ausencia de aceite en el depósito de los motores de arranque	En cada arranque el gas consume parte del aceite que lubrica la rueda dentada y los rodamientos de los motores de arranque del turbocompresor. Después de un periodo de tiempo el depósito de aceite de los motores de arranque se vacía, los engranajes y rodamientos quedan insuficientemente lubricados y después de un cierto número de arranques los engranajes de los motores se rompen y se atascan y los rodamientos se frenan, no se transmite torque al turbocompresor, se produce una alarma de "falla de arranque" y este se aborta. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto lo que puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar rueda dentada y adicionar aceite tarda 2 días.

2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	3	Válvula piloto de corte de gas de arranque (L330-1) falla cerrada	Cuando la válvula solenoide piloto de corte de gas de arranque falla, no se actúa la válvula de corte de gas (V2P921), impidiendo el paso de gas de arranque hacia los motores de arranque, estos no giran, se produce una alarma de falla de arranque y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto lo que puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar la válvula solenoide que se encuentra en stock (En ballenas) tarda 2 días.
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	4	Válvula de corte de gas de arranque (V2P921) falla cerrada	Cuando la válvula de corte de gas (V2P921) falla, se impide el paso de gas de arranque hacia los motores de arranque, estos no giran, se producirá una alarma de falla de arranque y se aborta el arranque, lo que disminuye la capacidad de transporte del ducto y puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar la válvula de corte de gas que se encuentra en stock(En ballenas) tarda 2 días
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	5	Embrague de los motores de arranque falla	Cuando el embrague falla, los motores de arranque se quedan girando sin acoplarse, no se transmite torque a la caja de accesorios y el turbocompresor no arranca. Se produce una alarma de falla de arranque en el turbocompresor. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar el embrague de los motores de arranque que se encuentra en stock tarda 1 día.

2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	6	Cableado de válvula solenoide (L3301 y L330N) roto	Cuando el cableado de la válvula solenoide falla, no se actúa la válvula de corte de gas (V2P921), impidiendo el paso de gas de arranque hacia los motores de arranque, estos no giran y se produce una alarma de falla de arranque. El turbocompresor no arranca y disminuye la capacidad de transporte del ducto lo que puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar la válvula solenoide que se encuentra en stock (En ballenas) tarda 1 día.
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	A	No transmite un par de torsión al sistema de arranque	7	Módulo de salidas discretas (ZF2044) falla	Cuando el módulo de salidas discretas falla, no se envía la señal de arranque a la solenoide piloto, no se actúa la válvula de corte de gas (V2P921), impidiendo el paso de gas de arranque hacia los motores de arranque, estos no giran, se produce una alarma de falla de arranque y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto lo que puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y reemplazar el modulo de salidas discretas. tarda 1 día
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	1	Baja presión de gas de arranque	Se analiza en el patín de gas combustible

2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	2	Malla de gas de arranque obstruida con suciedad	Después de un periodo de tiempo, la malla de gas de arranque se obstruye con suciedad restringiendo el paso de gas, se disminuye la presión del gas de arranque suministrada a los motores de arranque, el torque es menor a al requerido para mover el turbocompresor. El tiempo para arrancar puede extenderse ó no se logran alcanzar las 65%. Se produce una alarma de falla de arranque y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto lo que puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y limpiar la malla tarda 1 día
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	3	Motor de arranque (M922-1) falla	Cuando un motor de arranque falla, no se transmite suficiente torque al turbocompresor por lo que este no arranca. Se muestra una alarma de falla en el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte en el ducto y se pueden generar multas en momento de alto consumo. Diagnosticar y cambiar un motor de arranque tarda 1 día.
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	4	Rodamientos del motor de arranque desgastados	Después de un periodo de tiempo los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor se desgastan, se aumenta la temperatura, vibración, ruido, hasta que eventualmente el rodamiento se frena. El motor de arranque no transmite torque, se produce una alarma de falla de arranque el turbocompresor y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y pueden generarse multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor que se encuentran en stock tarda 1 día.

2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	5	Rodamientos del motor de arranque mal instalados	Cuando los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor quedan mal instalados fallan poco tiempo después, no se transmite torque, se produce una alarma de falla de arranque el turbocompresor y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y pueden generarse multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor que se encuentra en stock tarda 1 día.
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	6	Rodamientos del motor de arranque inadecuados	Cuando los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor son inadecuados fallan poco tiempo después de instalados, no se transmite torque, se produce una alarma de falla de arranque el turbocompresor y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y pueden generarse multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor que se encuentra en stock tarda 1 día.
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	7	Rodamientos del motor de arranque fatigados	Después de un período de tiempo los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor se fatigan, se aumenta la temperatura, vibración, ruido hasta que eventualmente el rodamiento se frena. El motor de arranque no transmite torque, se produce una alarma de falla de arranque el turbocompresor y se aborta el arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y pueden generarse multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar los rodamientos del motor de arranque del turbocompresor que se encuentran en stock tarda 1 día.

2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	B	Transmite menos de 300 lb f ft	8	Mecanismo de acople de los motores de arranque con embrague roto por sobrecarga	Cuando el mecanismo de acople de los motores de arranque falla por sobrecarga, no se transmite torque al motor de arranque. El turbocompresor no arranca y se produce una alarma de falla de arranque. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y pueden generarse multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar la válvula solenoide que se encuentra en stock tarda 1 día.
2	Transmitir un par de torsión de 300 - 380 lb ft al sistema de arranque, hasta que alcance 65% Ngp (Motores de arranque M922-1)	C	Transmite el par de torsión hasta antes de alcanzar el 65% de Ngp	1	Setting constante de valor de arranque dejado desajustado después de una intervención.	Cuando se deja el setting de constante de valor de arranque se deja desajustado en el PLC, los motores de arranque se accionan, pero se corta el gas antes de que la turbina alcance 65 Ngp en ese punto la combustión no es autosostenible y la turbina se apaga. Se genera una alarma por falla de arranque en el turbocompresor. Se disminuye la capacidad de transporte del ducto y se puede generar multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y ajustar el setting del valor de arranque tarda 1 día.
3	Conducir todo el gas de arranque sin restricciones a un punto a 2,910 m. (Venteo)	A	No conduce todo el gas de arranque	1	Empaques de manguera metálica flexible de gas de arranque degradados	El gas de arranque se fuga por los empaques de la manguera, y se libera antes de los 2,910 metros. La fuga de gas queda confinada en la cabina y se aumenta la concentración de gas. Cuando la concentración excede 35% se muestra una alarma en la UCP y si excede 50% se apaga el turbocompresor. Diagnosticar y reemplazar los empaques que se encuentra en stock tarda 1 día.
3	Conducir todo el gas de arranque sin restricciones a un punto a 2,910 m. (Venteo)	A	No conduce todo el gas de arranque	2	Manguera flexible mal instalada después de una intervención.	La manguera se monta incorrectamente y los esfuerzos pueden romperla, la fuga de gas queda confinada en la cabina y se aumenta la concentración de gas. Cuando la concentración excede 35% se muestra una alarma en la UCP y si excede 50% se apaga el turbocompresor. Diagnosticar y reemplazar la

					manguera que se encuentra en stock tarda 1 día.
3	Conducir todo el gas de arranque sin restricciones a un punto a 2,910 m. (Venteo)	B	Conduce el gas con restricciones	1	Elemento extraño obstruido con objeto extraño
4	Cortar el suministro de gas de arranque cuando se alcanzan 65% Ngp. (Válvula de corte)	A	No corta el suministro de gas de arranque cuando se alcanzan 65% Ngp	1	Válvula de corte de gas de arranque (V2P921) falla abierta
5	Prevenir que partículas mayores a 1/16" ingresen a los motores de arranque. (Malla de filtración)	A	No previene que partículas entren a los motores de arranque	1	Malla de gas de arranque (FS921) rota por corrosión
5	Prevenir que partículas mayores a 1/16" ingresen a los motores de arranque. (Malla de filtración)	A	No previene que partículas entren a los motores de arranque	2	Malla de gas de arranque (FS921) no instalada
					En ocasiones algunos pájaros y agua entran en el ducto, pero la presión de gas los expulsa durante los arranques, lo que sólo afecta el tiempo de arranque.
					La válvula de corte de gas (V2P921) falla abierta, el motor de arranque continua funcionando después de las 65 Ngp por lo que se aumenta el desgaste de los motores de arranque. Diagnosticar y cambiar la válvula de corte de gas de arranque tarda 3 horas.
					En el evento que una partícula se desprenda, aguas arriba del sistema, objeto pasa directamente al motor de arranque lo que puede destruir sus componentes internos. Diagnosticar y cambiar la malla y el motor de arranque tarda 1 día.
					En el evento que una partícula se desprenda, aguas arriba del sistema, el objeto pasa directamente al motor de arranque lo que puede destruir sus componentes internos. Diagnosticar e instalar la malla y el motor de arranque tarda 1 día

6	Contener aceite de motores de arranque	A	No contiene el aceite en el motor de arranque	1	Empaques tanque de aceite del motor de arranque deteriorados	Después de un periodo de tiempo, los empaques del tanque de aceite del motor de arranque se desgastan, se produce una fuga de aceite el aceite cae dentro de la cabina, el aceite se acaba más rápidamente y el motor de arranque se queda sin lubricación lo que ocasiona que eventualmente se frene. El turbocompresor no arranca y se muestra una falla de arranque. Se disminuirá la capacidad de transporte en el ducto y se pueden generar multas en momentos de alto consumo, Diagnosticar y reemplazar el motor de arranque y llenar de aceite el depósito tarda 6 horas
7	Contener gas en el motor de arranque	A	No contiene gas en el motor de arranque	1	Empaques del motor de arranque cristalizados	Cuando los empaques del motor de arranque se cristalizan la presión de gas de arranque disminuye hasta un punto donde se deja de suministrar gas suficiente al motor de arranque, no se genera el torque suficiente para hacer arrancar el turbocompresor, se produce una alarma de falla de arranque, y se aborta el arranque. Disminuye la capacidad de transporte del ducto y pueden generarse multas en momentos de alto consumo. Diagnosticar y cambiar los empaques que se encuentra en stock tarda 1 día.

Anexo F. Hoja de decisión del sistema de arranque de la turbina



Promigas \LISIS RCM2 - ESTACIONES TURBOCOMPRESORAS - ESTACIÓN COMPRESORA PALOMINO

HOJA DE DECISIÓN - TURBOCOMPRESOR - SISTEMA DE ARRANQUE

HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM		ELEMENTO						Nº	Realizado por	Grupo de	Fecha	Hoja		
		Turbocompresor - Sistema de Arranque								Análisis rcm2 - Configuración 1				
		COMPONENTE						Ref.	Revisado por	CEM	Fecha	de		
		Estación Compresora Palomino												
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias			H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
								"a falta de"						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4		
1	A	1											Se analiza en el patín de gas combustible	
2	A	1											Ver falla funcional 6 A	
2	A	13	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado	

Anexo G. Plan de mantenimiento actual de la estación turbocompresora Palomino

Sistema	Tarea
Turbocompresor	
750 horas	
Turbocompresor	Calcule el rendimiento de la turbina ingresando los datos de t1, presión atmosférica, pérdidas en el ducto de entrada, perdidas en el ducto de salida, %Npt, %Ngp. o t5, horas de operación altura sobre el nivel del mar. introduzca los datos en la hoja de cálculo de "engine performance" calcule los resultados y saque las conclusiones del caso
1500 horas	
Turbocompresor	Toma de muestra de aceite del turbocompresor con posterior análisis en Terpel
Mensual	
Turbocompresor	Realice una inspección de seguridad en la unidad, verificando que no haya objetos extraños dentro, sobre o alrededor del mismo.
Turbocompresor	Revise el nivel de aceite en el tanque.
Turbocompresor	Verifique el adecuado suministro de gas y energía eléctrica al equipo.
Turbocompresor	Revise el equipo para detectar posibles fugas de aceite o combustible (Especialmente en bridas, tapones, tomas de T5 y boquillas de combustible)
Turbocompresor	Revise las conexiones eléctricas para detectar posibles puntos de corrosión, falsos contactos y fallas en los aislamientos, entre otros.
Turbocompresor	Inspeccione las tuberías, el tubing y las mangueras, para detectar posible desgaste por fricción o deterioro de los mismos.
Turbocompresor	Revise los ductos de admisión de aire y sus elementos, para detectar cualquier contaminación u obstrucción.

Turbocompresor	Revise que el sistema de escape no se encuentre obstruido y que no haya ningún tipo de material inflamable cerca.
Turbocompresor	Verifique que las líneas de purga no se encuentren obstruidas.
Turbocompresor	Revise el filtro de la trampa de agua de la línea de Pcd, para detectar posible exceso de humedad. Drene si se requiere.
Turbocompresor	Inspeccione visualmente el acople motor-bomba de aceite de lubricación y sello, para detectar algún desgaste excesivo.
Turbocompresor	Revise los niveles de aceite del regulador y medidor de bajo flujo, si está instalado. Registre la lectura.
Turbocompresor	Inspeccione visualmente todo el equipo para detectar posibles condiciones de operación fuera de especificaciones (decoloración, fugas, fisuras, etc.)
Turbocompresor	Inspeccione visualmente todas las articulaciones (alabes, obturador de gas combustible), para detectar desgaste, fugas o atascamientos.
Turbocompresor	Verifique visualmente el buen estado y la correcta conexión del sistema de extinción de fuego.
Turbocompresor	Verifique que no haya fuga de aire a través de las puertas de la cabina ni obstrucción en las persianas.
Mensual	
Turbocompresor	Verifique que las luminarias instaladas en la zona de compresión se encuentren en buen estado.
Turbocompresor	Verifique el estado de limpieza de los equipos. En caso de requerirlo, realice o coordine la limpieza de los mismos con el Coordinador o el Profesional de Mantenimiento de estaciones compresoras
Turbocompresor	Inspeccione visualmente todos los manómetros e indicadores, para verificar la correcta operación del equipo.
Turbocompresor	Verifique que las gráficas de desempeño del equipo se encuentren dentro de los parámetros establecidos.

Turbocompresor	Verifique, a través del manómetro diferencial y/o cualquier otro indicador, si los filtros de aceite requieren cambio o mantenimiento.
Turbocompresor	Inspeccione los lubricadores de los motores de arranque, para verificar el correcto flujo de aceite. (Entre 60 y 120 gotas / min)
Turbocompresor	Revise el nivel de aceite del tanque. (En caso de se necesite añadir aceite registre la cantidad en el campo de observaciones de este formato)
Turbocompresor	Si detecta cualquier condición de operación anormal, investiguella, identifiquella y de ser posible corrija la causa que la originó. (coméntela en las observaciones de este formato)
Turbocompresor	Esté atento a vibración y ruido anormal o cualquier otra condición de operación inusual.
Turbocompresor	Identifique posibles cambios en la aceleración durante el arranque.
Turbocompresor	Identifique cualquier incremento inusual de temperatura de la maquina.
Turbocompresor	Verifique que los botones de parada de emergencia se encuentre en buen estado
Turbocompresor	Inspeccione el sistema de alabes variables (verifique su funcionalidad y desgaste de elementos mecánicos, aplique abundante aceite penetrante en los brazos de los actuadores de los alabes).
Trimestral	
Turbocompresor	Realice la inspección operacional del conjunto turbocompresor (diligencie el formato FTM-230)
Turbocompresor	Revise la bitácora de la estación a fin de detectar posibles problemas y salidas de servicio
Turbocompresor	Inspeccione visualmente la integridad mecánica de los soportes, sujetadores, acoples de los actuadores de la válvula de purga y varillaje del sistema de combustible
Turbocompresor	Verifique el estado de funcionamiento de los drenajes de la cabina y de las líneas de conducción, registros, trampas y depósitos de

	residuos
Turbocompresor	Verifique el correcto funcionamiento de los filtros de admisión de aire, chequee la presión de suministro y efectúe una limpieza en ciclo manual
Turbocompresor	Verifique que no haya cables averiados en el actuador del sistema de alabes variables (ver manual de O & M Pág.8.53)
Trimestral	
Turbocompresor	realice limpieza del compresor de flujo axial (verifique la presión diferencial del compresor axial, la presión PCD o un incremento de la temperatura T5)
Turbocompresor	Registre las variables de operación del turbocompresor en el Formato FTM-229 antes y después del lavado del compresor de flujo axial.
Turbocompresor	Registre la presión de gas combustible en el Formato FTM-229 (adjunte el regulador de gas piloto @ 200 Psig si es necesario)
Turbocompresor	Verifique el buen estado y la correcta operación de los solenoides y válvulas de corte del sistema de gas combustible.
Turbocompresor	registre la presión diferencial del filtro principal del sistema de lubricación (Cambie el que está en servicio si se requiere)
Turbocompresor	compruebe el flujo de aire y gas de separación del sistema de sello seco (registre las fugas de gas de sello en el formato FTM-229 / una fuga de 10 a 20 SCFM es normal)
Turbocompresor	Inspeccione y limpie la válvula de control de presión diferencial de gas de sello (PCV963-1)
Turbocompresor	Inspeccione y limpie la válvula de control de presión diferencial de aire de sello (PCV968-1))
Turbocompresor	Inspeccione y limpie todas las válvulas manuales de aislamiento del gas de sello (VH967 -1, -2, -3, -4)
Turbocompresor	Inspeccione y limpie todas las válvulas de alivio de derivación de los orificios de venteo de los sellos primarios VR 940 -1, -2, -3, -4)

Turbocompresor	Registre el DP de la fuga del sello primario en los lados de succión y descarga del compresor de proceso en el formato FTM-229
Turbocompresor	Inspeccione y verifique el estado de limpieza y seguridad de las conexiones eléctricas de la consola de control.
Turbocompresor	Verifique el adecuado funcionamiento de la batería interna del procesador PLC y cargadores)
Turbocompresor	Verifique la adecuada operación del banco de baterías DC y del cargador (para las baterías Ni-Cd ponga el cargador en ciclo de carga por un tiempo mínimo de 1 hora)
Turbocompresor	Inspeccione los detectores de llama UV Z398 -1, -2 -3. Realice limpieza del cristal de cuarzo y del aro de reflexión. Direccíonelos hacia la fuente de mayor peligro
Turbocompresor	Realice una inspección de los detectores térmicos S398 -1, -2 del SCI del sistema de detección de fuego y verifique su correcta posición hacia la fuente de mayor peligro.
Turbocompresor	Realice una inspección de las tuberías y equipos de protección del SCI del Turbocompresor
Turbocompresor	Realice la inspección del correcto funcionamiento de las persianas de entrada y salida de aire del SCI del turbocompresor.
Trimestral	
Turbocompresor	Inspeccione el estado de las botellas de CO2 del SCI, tome su peso y regístrelo en las observaciones de este formato. (el peso debe ser $\pm 5\%$ del peso registrado)
Turbocompresor	Toma de datos de vibraciones desde el SCP y verificar que estén dentro del límite del fabricante
Turbocompresor	Copias de datos operacionales de la consola de control
Semestral	
Turbocompresor	Análisis de vibración de turbocompresores
4000 horas	
Turbocompresor	Realice la inspección operacional y el mantenimiento básico del

	turbocompresor (diligencie los formatos FTM-230 y FTM-231)
Turbocompresor	Inspeccione los sistemas de entrada de aire y salida de gases de escape por posibles daños, fugas o suciedad.
Turbocompresor	Revise los filtros de aire de la turbina, y cámbielos, si el diferencial de presión en la entrada de aire es superior a 5" de H2O.
Turbocompresor	Revise la posición de los alabes guía de entrada y la integridad de la pintura, en los topes de máxima apertura y en el varillaje del actuador de alabes variables.
Turbocompresor	Realice la inspección interna del compresor axial mediante el boroscopio.
Turbocompresor	Realice la inspección visual y la limpieza de la excitatriz de encendido G340, los conectores y las clavijas para verificar daños o corrosión.
Turbocompresor	Realice la inspección visual y la limpieza de la bujía de encendido del quemador E340.
Turbocompresor	Desmonte e inspeccione el quemador de encendido tipo antorcha FO931-1 (verifique que no existan grietas y desgaste excesivo e Inspeccione el tubo de descarga.)
Turbocompresor	Desmonte, inspeccione y limpie los inyectores de combustible FO941-1
Turbocompresor	Realice la inspección de los termopares T5 (Reemplace los termopares averiados)
Turbocompresor	Realice la inspección interna de la cámara de combustión mediante boroscopio.
Turbocompresor	Verifique la correcta operación del mecanismo del actuador de la válvula de purga (ver Manual Solar Turbines Vol II - Instrucciones para la Instalación y Mantenimiento - Página 8.45).
Turbocompresor	Realice la inspección del funcionamiento de la válvula solenoide de purgado L338 y de la válvula de purgado PCV942.

Turbocompresor	Desmonte, desarme, limpie, revise, arme y monte la válvula de purga (ver Manual Solar Turbines Vol. II - Instrucciones para la Instalación y el Mantenimiento - Página 8.45).
4000 horas	
Turbocompresor	Desmonte los motores de arranque M922-1, para detectar cualquier desgaste y consumo de aceite inusual.
Turbocompresor	Realice la inspección del embrague del motor de arranque, para garantizar que cierre en una dirección y gire libremente en la opuesta.
Turbocompresor	Compruebe los sellos del motor de arranque, para detectar fugas de gas dentro de la unidad de accionamiento de accesorios.
Turbocompresor	Cambie el aceite de los motores de arranque si el numero de arranques desde el último cambio es mayor a 500
Turbocompresor	Realice el desmonte y la limpieza del Strainer de gas de entrada a los motores de arranque FS-921, y, si es necesario, cámbielo.
Turbocompresor	Verifique el correcto funcionamiento del lazo de control de la instrumentación del sistema de arranque. Válvula de corte principal V2P921 y válvula solenoide L330-1.
Turbocompresor	Inspeccione y limpie el solenoide piloto primario de corte de gas combustible L341-1.
Turbocompresor	Inspeccione y limpie el solenoide piloto secundario de corte de gas combustible L341-1.
Turbocompresor	Inspeccione y limpie la solenoide de corte de gas combustible al quemador L340-1
Turbocompresor	Inspeccione y limpie la solenoide de venteo de gas combustible L341-3
Turbocompresor	Realice el desmonte limpieza de la válvula de control de gas combustible (donde aplique).
Turbocompresor	Inspeccione y cambie los filtros de gas combustible (si es necesario)
Turbocompresor	Calibre los instrumentos del sistema combustible siguiendo el procedimiento PPTM 149-S20. (Diligencie los formatos FTM-425 o

	FTM-428 según aplique)
Turbocompresor	Realice la inspección de los componentes del sistema de gas combustible, verificando que no existan fugas y que operan adecuadamente.
Turbocompresor	Realice la inspección y limpieza del enfriador de aceite HX901-1, y verifique la tensión en la correa del enfriador.
Turbocompresor	Realice la inspección y limpieza del núcleo del enfriador de aceite HX901-1.
Turbocompresor	Lubrique los cojinetes del eje de accionamiento del ventilador e inspeccione el motor eléctrico del enfriador de aceite.
Turbocompresor	Tome una muestra de aceite de lubricación de acuerdo al Procedimiento PPTM-109.
Turbocompresor	Realice la inspección del arrestallamas FA901, ubicado en el venteo del tanque de aceite. Desmonte y limpie los deflectores.
Turbocompresor	Inspeccione y pruebe las bombas del sistema de lubricación.
Turbocompresor	Inspeccione los filtros principales de aceite lubricante FS901-1 y FS901-2.
Turbocompresor	Evalúe la condición de los elementos de los filtros de aceite lubricante FS901-1 y FS901-2 (reemplácelos si es necesario).
4000 horas	
Turbocompresor	Evalúe la condición de los elementos del filtro del sistema de alabes variables y válvula de purga FS903 (Reemplácelos si es necesario).
Turbocompresor	Evalúe la condición de los elementos del filtro de la bomba de respaldo del sistema de lubricación FS909. (Reemplácelos si es necesario).
Turbocompresor	Inspeccione los strainer de las 3 bombas del sistema de lubricación (FS902 -1, -2, -3).
Turbocompresor	Calibre los instrumentos del sistema de lubricación según el procedimiento PPTM 149-S21. (Diligencie los formatos: FTC-607, FTC-741 y el FTM-426 o FTM-429 según aplique.)

Turbocompresor	Drene los conglutinadores de aire de separación FSA972 y de gas de sello FSA973-1 y FSA973-4.
Turbocompresor	Registre la presión diferencial de los filtros conglutinadores FSA972-1, FSA973-1 y FSA973-4. Inspeccione los elementos filtrantes y reemplácelos si el DP supera los 20 PSID.
Turbocompresor	Calibre los instrumentos del sistema de sello seco de acuerdo al procedimiento PPTM-149-S19. (Diligencie el formato FTM-424 o FTM-427 según aplique)
Turbocompresor	Realice la inspección del estado de las conexiones y de los aros de refuerzo de los termopares
Turbocompresor	Verifique y registre el voltaje de salida de los sensores de velocidad de la turbina
Turbocompresor	Inspeccione la bujía. El gap debe ser $2,286 \pm 0,254$ mm (reemplácela si es necesario)
Turbocompresor	Pruebe el sistema de límite de velocidad y temperatura (calíbrelo si es necesario).
Turbocompresor	Pruebe y calibre el sistema de control de velocidad.
Turbocompresor	Calibre los instrumentos del sistema de control eléctrico.
Turbocompresor	Inspeccione el controlador del sistema de detección de fuego Z198 y verifique el funcionamiento correcto de las lámparas de indicación y visualización de condición
Turbocompresor	Realice la inspección de operación manual del equipo de disparo automático de la cabeza de las botellas de agente extintor.
Turbocompresor	Inspeccione, limpie y calibre los sensores de gas de la cabina TX-399 -1, -2.
Turbocompresor	Calibre el interruptor de presión diferencial en el ventilador de la cabina S396-1.
Turbocompresor	calibre el interruptor de presión diferencial en los filtros de la cabina S1196-3
Turbocompresor	Calibre el interruptor de parada por puerta abierta S1198.

Turbocompresor	Calibre el interruptor de parada por alta presión diferencial en los filtros de la cabina S1199A.
Turbocompresor	Calibre el interruptor de alarma por alta presión diferencial en los filtros de la cabina S1199B
4000 horas	
Turbocompresor	Evalúe la condición de los filtros de admisión de aire y cámbielos si es necesario.
Turbocompresor	Realice la inspección visual de los fuelles de escape para detectar grietas o distorsión.
Turbocompresor	Inspeccione los motores eléctricos de los ventiladores de la cabina B596-1 y B596-2.
Turbocompresor	Calibre los monitores de temperatura o pirómetros de T5 y T7
Turbocompresor	Alta temperatura de aceite lubricante
Turbocompresor	calibre el sensor de Baja presión de aceite lubricante
Turbocompresor	calibre el DP del filtro de aceite lubricante
Turbocompresor	calibre la presión de aceite de prelubricación
Turbocompresor	calibre la Alta presión de aceite lubricante
Turbocompresor	calibre: bajo nivel del tanque de aceite
Turbocompresor	Calibre: baja temperatura del tanque de aceite
Turbocompresor	Calibre: Alta presión del tanque de aceite
Turbocompresor	Calibre: Alta temperatura de aceite engranes
Turbocompresor	Calibre: Baja presión de gas combustible
Turbocompresor	Calibre: Alta presión de gas combustible
Turbocompresor	Calibre: Alto DP del aire de entrada
Turbocompresor	Calibre: Alta temperatura del cojinete de la turbina de potencia
Turbocompresor	Calibre: Bajo voltaje de baterías
Turbocompresor	Calibre: Sobrevelocidad NGP
Turbocompresor	Calibre: sobrevelocidad de respaldo NGP
Turbocompresor	Calibre: Sobrevelocidad NPT
Turbocompresor	Calibre: Sobrevelocidad de respaldo NPT

Turbocompresor	Calibre: Alto flujo de combustible arranque
Turbocompresor	Calibre: baja presión de gas combustible
8000 horas	
Turbocompresor	Realice las tareas los siguientes mantenimientos: inspección operacional, mantenimiento básico y 4000 horas o semestral (Diligencie los formatos FTM-230, FTM-231 y FTM-232)
Turbocompresor	Revise los registros históricos de los parámetros de vibración del turbocompresor y verifique si se presentó alguna variación y/o tendencia a incrementarse los valores en el tiempo.
Turbocompresor	Revise la información histórica de alarmas por vibración del turbocompresor y la historia de mantenimiento de la unidad.
Turbocompresor	Si al revisar la historia del turbocompresor, se detectan desviaciones en los niveles de vibraciones o eventos de alarmas relacionadas, verifique la alineación del turbocompresor.
8000 horas	
Turbocompresor	Desconecte el cargador y ponga en funcionamiento la bomba de lubricación DC del turbocompresor durante 55 minutos.
Turbocompresor	Realice la inspección visual al fuelle del exhosto para detectar grietas o distorsión.
Turbocompresor	Revise el compensador de temperatura y mida su resistencia.
Turbocompresor	Pruebe y calibre el monitor de vibración y los sensores de proximidad. Verifique que todo el sistema funcione adecuadamente (sondas y proximitores)
Turbocompresor	Realice el cambio de aceite de los arrancadores neumáticos (pruebe el funcionamiento del mismo cuando el turbo vuelva arrancar)
Turbocompresor	Desarme el eje de interconexión y verifique que no haya desgaste. Arme nuevamente y utilice o-rings nuevos
Turbocompresor	Verifique la alineación del compresor turbinas (realmente se están tomando datos de vibración y en base a esto se toma la decisión de alinear o No)

30000 horas	
Turbinas	Overhaul a turbinas
50000 horas	
Compresor de proceso	Overhaul a compresor de procesos

Anexo H. Plan de mantenimiento que resulta del ejercicio de aplicar la metodología de RCM a la estación turbocompresora Palomino

PLAN DE MANTENIMIENTO CON RCM2		
Sistema	Tarea	A realizar por
Turbocompresor		
800 horas		
Turbocompresor	Realizar análisis de rendimiento del turbocompresor, si el análisis da que el rendimiento es menor a 17% se debe programar una limpieza del compresor axial y el compresor de proceso	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Completar el nivel de aceite en los motores de arranque hasta 90% del nivel	Técnico de mantenimiento
2000 horas		
Turbocompresor	Monitoreo del delta Pcd (No debe ser mayor a 5%)	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar las fugas en las tuberías de aceite	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar las fugas de aceite en las tapas del eje de interconexión	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar las fugas de aceite en las conexiones de la tubería.	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Comparar el valor medido por el indicador de presión PI902, con el entregado por la UCP, durante un ciclo de arranque o parada	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la válvula de alivio de aceite se accione a los 20 "H2O. Revisar el setting de la válvula de alivio de presión de aceite	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Tensionar la correa del ventilador del enfriador de aceite.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Monitorear la caída de presión a través del filtro de gas combustible, cuando la presión diferencial aumenta por encima de 10 Psid.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Realizar análisis de vibraciones en el compresor, de acuerdo a los resultados se debe programar el cambio de los impulsores el compresor.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la salida de presión del regulador de presión de aire, mediante el indicador de presión aguas abajo del regulador.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la diferencia entre la indicación de la temperatura local y en la UCP no supere 3%.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la presión diferencial en los filtros de aceite, sea mayor a 0 Psid durante la operación o después de haber conmutado o cambiado un filtro.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la presión diferencial en los filtros de aceite, sea mayor a 0 Psid durante la operación o después de haber conmutado un filtro.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Monitorear la presión diferencial entre la fuga secundaria y el aire de sello y llevar tendencia.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la presión diferencial en filtro principal de gas de sello FSA971-1, no debe ser cero.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la presión diferencial en filtro de respaldo de gas de sello FSA971-14, no debe ser cero.	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Accionar el sistema de limpieza de los filtros de aire	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Accionar el sistema de limpieza de los filtros de aire de admisión	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la válvula drenaje de condensados en el ducto de aire de combustión	Técnico de mantenimiento
2 meses		
Turbocompresor	Realizar análisis de aceite del turbocompresor, y llevar la tendencia de los resultados del análisis.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del venteo de la válvula solenoide del actuador de la válvula antisurge, no debe estar obstruido	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del venteo de la válvula solenoide del actuador de la válvula de succión del compresor, no debe estar obstruido	Técnico de mantenimiento
6 meses		
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la resistencia de espacio del motor de la bomba de prepostlubricación midiendo la resistencia.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la resistencia de espacio del motor del ventilador del enfriador de aceite, midiendo la resistencia.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el accionamiento de la válvula de alivio de gas de pilotaje VR931 cuando se alcanzan 100 psi	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el accionamiento del interruptor de presión de prueba de la válvula de control de gas combustible EFG931 (S341-1) cuando la presión excede 12 psi	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Lubricar mecanismo de apertura de las persianas de la cabina.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Limpiar el aro reflector del sensor UV, de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Limpiar el vidrio del sensor UV, de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento
6 meses		
Turbocompresor	Lubricar mecanismo de apertura de las persianas de la cabina	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Limpiar las persianas	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar que no falte ninguna persiana de la cabina	Técnico de mantenimiento
	Limpiar el intercambiador de calor del enfriador de aceite	
4000 horas		
Turbocompresor	Inspección con boroscopio en el compresor axial, revisando la corrosión y si hay partes desprendidas.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Cambiar filtro de aceite FS903	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de la junta de expansión y verificar fugas.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Medir voltaje de GAP en el pickup magnético de Ngp G383.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Medir voltaje de GAP en el pickup magnético de medición de Npt G353-1.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del pickup magnético de medición de Npt G353-1. El error máximo en la medición no puede sobrepasar 1%.	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Verificar la calibración de los proximitores de los cojinetes de la turbina, el error máximo no debe ser mayor a 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Medir voltaje en cada batería por separado.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Medir el voltaje de salida del cargador de baterías.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar fugas de aceite en los empaques del depósito de aceite de los motores de arranque, se debe reportar el problema si es detectado	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de vibración.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Cambiar las correas del ventilador del enfriador de aceite y tensionarlas.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de la bujía de encendido del quemador, si está sucia debe limpiarse	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de la bujía de encendido del quemador, si está corroída debe cambiarse	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de la bujía de encendido del quemador, si está desgastada debe cambiarse	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Calibrar el gap de la bujía de encendido del quemador	Técnico de mantenimiento
4000 horas		
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de los calentadores de espacio de los motores del ventilador principal de la cabina.	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Encender el ventilador de reserva para probar que está disponible y dejarlo funcionando 15 minutos	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de los calentadores de espacio de los motores del ventilador de reserva de la cabina.	Técnico de mantenimiento
Anual		
Turbocompresor	Verificar si algún filtro de aire de entrada está roto	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el interruptor de presión diferencial en los filtros de aire de admisión, S799A, verificando que este se conmute cuando la presión diferencial es de 2 in H ₂ O	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el interruptor de presión diferencial en los filtros de aire de admisión, S799B, verificando que este se conmute cuando la presión diferencial es de 3 in H ₂ O	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de presión TP349, el error no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el apagado del turbocompresor con el botón de parada	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar fugas de aire en la válvula de purga	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de parada por ultimo bajo nivel de aceite S388-2. El interruptor se debe conmutar a 12,5 in	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración de la RTD de temperatura en el tanque de aceite RT390. El error máximo no debe superar 1% del valor del patrón	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar estado del arrestallamas del tanque de aceite	Técnico mantenimiento

Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de alarma por alta presión en el tanque de aceite S324-1. El interruptor se debe conmutar a 8,5 in H ₂ O	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de parada por alta presión en el tanque de aceite S324-2. El interruptor se debe conmutar a 10 in H ₂ O	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar estado del filtro de aceite de línea de lubricación de respaldo (FS909). No debe encontrarse roto o en mal estado	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la válvula cheque VCS903-1 inspeccionando la presión en el indicador de presión PI903	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del transmisor de presión del cabezal de aceite TP380. El error máximo tolerado no debe ser mayor al 1% del valor del patrón.	Técnico mantenimiento
Anual		
Turbocompresor	Probar el accionamiento de la válvula reguladora VR902 cuando la presión alcanza 20 psi, durante el ciclo de prelubricación o poslubricación.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la válvula cheque VC901, inspeccionando el indicador de presión PI901-1 durante el ciclo de prelubricación o poslubricación, la presión debe ser cero.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la válvula cheque VC904, inspeccionando el indicador de presión PI902 durante la operación normal del turbocompresor, la presión debe ser cero.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el funcionamiento de la válvula cheque VC903-1, inspeccionando el indicador de	Técnico de mantenimiento

	presión PI903, durante la operación normal del turbocompresor, la presión debe ser cero	
Turbocompresor	Verificar la calibración de la válvula de control de presión de aceite PCV901, verificando la presión de aceite durante la operación normal del turbocompresor en la UCP	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración en la RTD de entrada al enfriador de aceite RT327-14, el valor del error máximo debe ser de 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración en el indicador de temperatura de entrada al enfriado de aceite TI327-13, el valor del error máximo debe ser de 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración en la RTD de salida del enfriador de aceite RT327-15, el valor del error máximo debe ser de 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración en el indicador de temperatura TI327-13, el valor del error máximo debe ser de 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial en los filtros de aceite PDI902, el valor del error máximo debe ser de 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de presión diferencial en los filtros de aceite S397-1, la alarma se debe accionar a 30 psi	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración de la RTD del cabezal de aceite RT380, el error máximo tolerado no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del filtro de aire de sello. Verificar que no esté roto o en mal estado.	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial PDI972, el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial PDI968-1, el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la alarma de baja presión de aire de sello (S382-1) se emita cuando la presión diferencial entre el aire de sello y la fuga secundaria de gas disminuya de 18 Psid, simulando la señal de presión.	Técnico de mantenimiento
Anual		
Turbocompresor	Verificar que el turbocompresor se apaga por baja presión de aire de sello (S383-1) cuando la presión diferencial entre el aire de sello y la fuga secundaria de gas disminuya de 15 Psid, simulando la señal de presión.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial PDI973-1, el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de presión TPD379-1, el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración de la válvula reguladora de presión PCV963-1, de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la alarma por baja presión de gas de sello se emita cuando la presión diferencial entre la fuga de los sellos de laberinto y el gas de sello (S345-4) disminuya por debajo de 7 Psid.	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Verificar que el turbocompresor se apague por baja presión de gas de sello cuando la presión diferencial entre la fuga de los sellos de laberinto y el gas de sello (S346-4) disminuya por debajo de 7 Psid.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial PDI967-1, el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que la alarma por alta presión de fuga primaria de gas (S384-1, S384-4), se emita cuando la fuga primaria aumente exceda de 8 psi en el lado la succión y en el lado de la descarga del compresor	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que el turbocompresor se apague por alta fuga primaria de gas (S385-1, S385-4), cuando la fuga primaria aumente exceda 20 psi en el lado la succión y en el lado de la descarga del compresor.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial, el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del filtro de gas combustible, no debe estar roto o en mal estado.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión diferencial del filtro de combustible, el error no debe ser mayor a 1 %	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de presión de gas combustible (TPD586) , el error no debe ser mayor al 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del telecorrector, el error no debe ser mayor al 1%	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Verificar la calibración de la RTD de temperatura de gas combustible (RT386), el error máximo no debe ser mayor al 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión (PI931), el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Anual		
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de presión de gas combustible (TP386), el error máximo no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del strainer de gas combustible (FS931), no debe estar roto o en mal estado	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del filtro de gas combustible (FS932), no debe estar roto o en mal estado	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del regulador de gas de combustible para el quemador del combustor PCV931, la presión de salida debe ser 80 psi	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de presión diferencial de control de suministro de gas (TPD341-1), la desviación máxima no debe superar 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el accionamiento del interruptor de presión diferencial de extinción de llama (S349) cuando la presión aumenta por encima de 6 Psid	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de presión de prueba de las válvulas de corte de gas primario y secundario (S342-2) de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Verificar calibración del posicionador de la válvula anti surge de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del transmisor de presión de succión del compresor de proceso (TP363-1) la desviación máxima no debe superar 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del transmisor de presión de descarga del compresor de proceso (TP364-1), la desviación máxima no debe superar 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del transmisor de presión de succión del compresor de proceso (TP363-1) la desviación máxima no debe superar 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del indicador de presión de succión del compresor de proceso, la desviación no debe ser mayor a 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del indicador de presión de descarga del compresor de proceso, la desviación no debe superar 1%.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que el interruptor de baja presión de succión se conmute cuando la presión disminuya por debajo de 550 psi.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que el interruptor de alta presión de descarga se conmute cuando la presión aumente por encima de 1250 psi.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de flujo (TF563-1), la desviación máxima no debe superar 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión de aire de suministro al posicionador la desviación no debe ser mayor al 3%	Técnico de mantenimiento

Turbocompresor	Verificar la calibración de los proximitores de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento
Anual		
Turbocompresor	Verificar calibración de interruptor de presurización de carcaza, el interruptor debe conmutarse cuando la presión exceda 8 psi.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que el interruptor de presión diferencial de la válvula de succión se conmute cuando la presión diferencial a través de la válvula de succión disminuya por debajo de 550 psi.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar que la válvula de alivio descarga PSV-101 se accione cuando la presión exceda 1350 psi.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración del interruptor de baja presión de cabina, se debe conmutar cuando la presión alcance 0,25 in H ₂ O	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar accionamiento del interruptor de alta temperatura debe conmutarse cuando la presión alcance 375 F	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el accionamiento de la válvula solenoide de las botellas contraincendios, con las botellas desconectadas, usando el interruptor de accionamiento.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que el mecanismo se accione después de realizar la prueba al sistema contraincendios.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Probar el accionamiento manual del sistema contraincendios	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del sensor de concentración de gas, de acuerdo al	Técnico de mantenimiento

	procedimiento	
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de concentración de gas, de acuerdo al procedimiento	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado del filtro de aire de la cabina, no debe estar roto o agrietado	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de presión diferencial del filtro de aire de la cabina, se debe accionar cuando la presión alcance 1 in H ₂ O	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado de la pintura en la cabina	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar el estado de la corrosión en la cabina	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Soltar el mecanismo de alabes y verificar si están pegados, adicionar lubricante penetrante.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Limpiar el turbocompresor	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Realizar la limpieza del turbocompresor	Técnico de mantenimiento
8000 horas		
Turbocompresor	Probar el funcionamiento del sistema de control de backup, inhibiendo el PLC en funcionamiento	Técnico de mantenimiento
8000 horas		
Turbocompresor	Realizar inspección boroscópica para revisar estado de la corrosión y para verificar que no se haya daños internos	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar la malla de gas de arranque, no	Técnico de

	debe estar rota o fisurada	mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar la malla de gas de arranque, no debe estar rota o en mal estado	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Inspeccionar fugas de gas mediante un sniffer en los empaques de los motores de arranque, se debe reportar el problema si es detectado	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del transmisor de presión de posición, comparándolo con la escala graduada en el vástago de la válvula de antisurge.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Realizar inspección con boroscopio para detectar posibles fisuras o grietas en los impulsores del compresor de proceso. Si se detectan se debe programar el cambio de impulsores	Técnico de mantenimiento
1,5 años		
Turbocompresor	Verificar calibración del Indicador de presión de descarga de bomba de lubricación de respaldo (PI903). El error máximo no debe sobrepasar 1%.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del indicador de presión del cabezal de aceite PI901-1. El valor máximo del error no debe superar el 1%.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar que las válvulas de alivio (VR904-1, VR904-4) se accionen cuando la presión de la fuga primaria de gas excede 30 psi, en el lado la succión y en el lado de la descarga del compresor.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración de los medidores de fuga de gas primario en el lado de succión del	Técnico de mantenimiento

	compresor de proceso FM972-4 y del lado de descarga del compresor de proceso FM972-1, el error máximo no debe superar el 1%.	
Turbocompresor	Verificar que la alarma por alto flujo de fuga de gas secundaria (S391-1) se emite cuando el flujo excede 5CFM	Técnico de mantenimiento
2 años		
Turbocompresor	Verificar la calibración de la RTD de T1. RT339, el error no debe ser mayor al 1% en la medición.	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de alarma por bajo nivel de aceite S388-1. El interruptor se debe conmutar a 14,5 in	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar la calibración del interruptor de alarma por alto nivel de aceite S388-3. El interruptor se debe conmutar a 19,5 in	Técnico mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración de la RTD del drenaje del cojinete 2 RT327-2, el error máximo en la medición no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración de la RTD del drenaje del cojinete 4 RT327-4, el error máximo en la medición no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
2 años		
Turbocompresor	Verificar calibración de la RTD del drenaje del cojinete 6 RT327-6 , el error máximo en la medición no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración de la RTD del drenaje del cojinete 7 RT327-7, el error máximo en la medición no debe superar el 1%	Técnico de mantenimiento
Turbocompresor	Verificar calibración de la RTD del drenaje de la caja de accesorios RT327-1, el error máximo	Técnico de mantenimiento

	en la medición no debe superar el 1%	
3000 horas		
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de la corrosión en las partes internas del turbocompresor	Solar Turbines
Turbocompresor	Pruebas no destructivas en el los alabes para verificar agrietamiento.	Solar Turbines
Turbocompresor	Pruebas no destructivas en el los discos de los alabes de la turbina de potencia para verificar agrietamiento.	Solar Turbines
Turbocompresor	Cambiar los cojinetes de la turbina de potencia y realizar balanceo del eje.	Solar Turbines
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de la corrosión en las partes internas del turbocompresor.	Solar Turbines
Turbocompresor	Pruebas no destructivas en el los discos de los alabes para verificar agrietamiento.	Solar Turbines
Turbocompresor	Verificar que de las RTD de los cojinetes no tengan una descalibración mayor a 1% del valor real de temperatura.	Solar Turbines
Turbocompresor	Inspeccionar el estado de corrosión de las partes internas de las turbina productora de gas	Solar Turbines
Turbocompresor	Pruebas no destructivas en el los alabes de la turbina productora de gas para verificar agrietamiento.	Solar Turbines
Turbocompresor	Pruebas no destructivas en el los discos de los alabes para verificar agrietamiento.	Solar Turbines
Turbocompresor	Inspección del estado interno de los impulsores para determinar cuáles deben ser cambiados	Solar turbines
Turbocompresor	Inspección del estado interno de la carcaza para determinar si debe ser cambiada o	Solar turbines

	limpiada	
5 años		
Turbocompresor	Inspeccionar el tubo de escape en búsqueda de picaduras	Contratado
Turbocompresor	Pintar externamente el tubo de escape del turbocompresor	Contratado
Turbocompresor	Reemplazar la tubería enterrada del drenaje de la cabina	Integridad mecánica.
A Condición - en línea		
Turbocompresor	Encender la bomba de respaldo de lubricación BP903 y verificar que la presión alcance 4 psi	PLC
A Condición - en línea		
Turbocompresor	Monitorear la presión de aceite durante los ciclos de pre y post lubricación, Informar cuando la presión sea menor a 15 psi	Operador
Turbocompresor	Monitorear la presión diferencial del filtro de aire de entrada, la presión no debe superar 2 in H2O.	Interruptor de presión diferencial
Turbocompresor	Monitorear la concentración de gas en la cabina	Detector de gas
Turbocompresor	Monitorear la presión de diferencial en los filtros de aceite y dar aviso cuando sobrepase 30 psi.	PLC
Turbocompresor	Monitorear la presión de diferencial en los filtros de aceite principales y dar aviso cuando sobrepase 30 psi.	PLC
Turbocompresor	Monitorear la presión diferencial en los filtros. Cuando la presión exceda 20 Psid se debe pasar al filtro de reserva y el cambio del filtro obstruido	Transmisor de presión diferencial

Turbocompresor	Monitorear la presión diferencial en el filtro, en el evento que aumente por encima de 10 psi se debe programar el cambio de filtros	Interruptor de presión diferencial
Turbocompresor	Monitorear la caída de presión en los filtros de aire de la cabina y programar cambio cuando la presión exceda 1 in H ₂ O	Interruptor de presión diferencial