



Universidad
Industrial de
Santander

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
PARA LAS UNIDADES DE COMPRESIÓN DE LA ESTACIÓN PADUA DE TGI
S.A. ESP**

CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES

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

2017

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
PARA LAS UNIDADES DE COMPRESIÓN DE LA ESTACIÓN PADUA DE TGI
S.A. ESP**

CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES

**Monografía de Grado para optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento**

Director

LEONARDO ESTEBAN PACHECO SANDOVAL

PhD en Ciencias Térmicas y Energética

M.Sc. Dinámica de fluidos y de transferencias - Ingeniero Mecánico

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

2017

DEDICATORIA

A mis padres, por su cariño y su incansable dedicación.

A mi esposa Nancy, por su apoyo y compañía.

A mi hija Mía Sofía por regalarme tantos momentos de alegría.

Carlos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece de manera especial y sincera a las personas que de forma desinteresada colaboraron con el desarrollo de la monografía.

A Leonardo Esteban Pacheco, PhD en Ciencias Térmicas y director del proyecto, por las oportunas orientaciones en la planeación y desarrollo del trabajo.

A los compañeros de la dirección de mantenimiento de estaciones de compresión de TGI S.A. ESP por su incondicional colaboración y apoyo en el campo laboral.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES DEL PROBLEMA EN LA ESTACIÓN PADUA	15
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2. CONTEXTO OPERACIONAL ESTACIÓN PADUA	17
2.1 PROPÓSITO	17
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	17
2.3 DESCRIPCIÓN ESPECIFICA DEL PROCESO	18
2.3.1 Sistema de filtración	18
2.3.2 Sistema de regulación	19
2.3.3 Sistema de medición y calidad del gas	19
2.3.4 Sistema de compresión	19
2.3.5 Sistema de venteo a tea	19
2.3.6 Sistema de tuberías y accesorios	20
2.3.7 Sistema de seguridad protección y alarma	20
2.3.8 Sistemas auxiliares	20
3. ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	21
3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	21
3.2 HALLAZGOS	22
4. ESTUDIO RCM	25
4.1 PREMISAS ESTUDIO RCM	25
4.2 PROCESO RCM	26
4.3 EQUIPOS ANALIZADOS	28
4.3.1 Motor	28
4.3.2 Compresor	29
4.3.3 Enfriador de tiro inducido	29
4.4 MALOS ACTORES	30
4.5 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ESTACIÓN COMPRESORA PADUA	32
4.6 DISTRIBUCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	33
4.6.1 Motores	33
4.6.2 Compresores	34

4.6.3 Enfriadores	34
4.7 COSTOS	35
5. ASIGNACIÓN DE REPUESTOS Y RECURSO TÉCNICO	38
5.1 ASIGNACIÓN DE REPUESTOS	38
5.2 RECURSO TÉCNICO	39
6. CONCLUSIONES	41
7. RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema principal del proceso tomado del sistema Scada	18
Figura 2. Diagrama de flujo de proceso RCM Compresoras	26
Figura 3. Distribución de sistemas según elemento de estudio	30
Figura 4. Distribución de ítems mantenibles según sistemas de elementos de estudio	30
Figura 5. Malos actores de los motores de combustión estación Padua	31
Figura 6. Malos actores de los compresores reciprocantes estación Padua	31
Figura 7. Malos actores de los enfriadores, estación Padua	32
Figura 8. Actividades de Mantenimiento para unidades compresoras Padua	33
Figura 9. Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)	35
Figura 10. Costos de la estrategia de mantenimiento por clase de tarea (aproximados)	36
Figura 11. Costo de estrategia programada Vs Correctivo (A condición y falla) aproximados	37

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones ambientales	17
Tabla 2. Condiciones operacionales	17
Tabla 3. Programación de actividades	21
Tabla 4. Hallazgos en forma de reporte SAP	22
Tabla 5. Hallazgos en hojas de ruta actuales del motor	23
Tabla 6. Hallazgos en hojas de ruta actuales del compresor	23
Tabla 7. Ejemplo de formato de repuestos motor Padua	38
Tabla 8. Balance estrategia mantenimiento motor Padua	39
Tabla 9. Balance estrategia mantenimiento enfriador Padua	39
Tabla 10. Balance estrategia mantenimiento compresor Padua	39
Tabla 11. Tarifas de mano de obra vigentes	40

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Registro fotográfico estación Padua	47
Anexo B. Schedule de mantenimiento de equipos	49
Anexo C. Ubicaciones técnicas de unidades de compresión	58
Anexo D. Árbol del sistema y subsistemas de unidades de compresión	60
Anexo E. Definición de funciones	64

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LAS UNIDADES DE COMPRESIÓN DE LA ESTACIÓN PADUA DE TGI S.A. ESP.*

AUTOR: CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento, RCM, Confiabilidad, TGI, Padua, Compresión.

DESCRIPCIÓN: TGI S.A. ESP en cumplimiento de sus planes de integridad y estándares de calidad, decide realizar el presente proyecto para ejecutar actividades relacionadas con integridad mecánica y confiabilidad de la infraestructura de transporte de la estación Padua, con base en la metodología Reliability Centered Maintenance (RCM). El propósito de la estación compresora de Padua, es elevar la presión del gas natural de la línea del gasoducto de TGI Vasconia, con el fin de suministrar la energía necesaria para su transporte hacia el occidente del país.

Se realizó desplazamiento a la estación compresora para llevar a cabo las actividades de recolección de información de las unidades de compresión (motor-compresor) y sus sistemas y equipos auxiliares. Después de revisar los datos de mantenimiento, se detecta que el sistema presenta falencias sustanciales como; actividades de mantenimiento asignadas a componentes inexistentes, actividades que no son propias del elemento de estudio, actividades asignadas a mantenimiento que son propias de las actividades diarias de operación y actividades generales que no especifican el componente a intervenir, entre otras.

Aplicando la estrategia RCM, se realizó el análisis de modos y efectos de falla AMEF, de las fallas encontradas en cada uno de los ítems mantenibles y según la causa potencial, teniendo en cuenta el tiempo de reparación hasta devolver la función al equipo y el número de fallas presentadas al año. También se realizó el análisis del riesgo basados en el costo de los repuestos, costos de mano de obra, el costo de improductividad por hora y el posible costo por impacto a la salud, seguridad y medio ambiente.

Se determinaron las tareas para minimizar las fallas que se presentan en los ítems mantenibles de los equipos, dándoles una periodicidad, duración de la tarea, recursos con costo para la intervención y repuestos.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: PhD. Leonardo Esteban Pacheco Sandoval.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN PLAN FOR RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE UNITS COMPRESSION STATION OF PADUA TGI S.A. ESP.

AUTHOR: CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES**

KEY WORDS: Maintenance, RCM, Reliability, TGI, Padua, Compression.

SUMMARY: TGI S.A. ESP, in compliance with its integrity plans and quality standards, decides to carry out the present project to execute activities related to mechanical integrity and reliability of the transport infrastructure of the Padua station, based on the methodology Reliability Centered Maintenance (RCM). The purpose of the Padua compressor station is to raise the pressure of natural gas on the TGI Vasconia gas pipeline to supply the energy needed for transport to the west of the country.

Displacement was carried out to the compressor station to carry out the information gathering activities of the compression units (motor-compressor) and its auxiliary systems and equipment. After reviewing the maintenance data, it is detected that the system has substantial failures such as; Maintenance activities assigned to nonexistent components, activities that are not part of the study element, activities assigned to maintenance that are typical of daily operations activities and general activities that do not specify the component to be intervened, among others.

Applying the RCM strategy, the analysis of modes and effects of failure AMEF, of the failures found in each one of the maintainable items and according to the potential cause, taking into account the time of repair until returning the function to the equipment and the number of failures presented per year. Risk analysis was also performed based on the cost of spare parts, labor costs, the cost of unproductivity per hour and the possible cost for health, safety and environmental impact.

The tasks were determined to minimize the failures that are presented in the maintainable items of the equipment, giving them a periodicity, duration of the task, resources with cost for the intervention and spare parts.

* Monograph

** Physic Mechanical Faculty of Engineering, School of Mechanical Engineering, Director: PhD. Leonardo Esteban Pacheco Sandoval.

INTRODUCCIÓN

La Transportadora de Gas Internacional TGI S.A. ESP (antes ECOGAS) ha sido un actor clave para el desarrollo de la infraestructura y la masificación del gas natural en Colombia. Actualmente tiene presencia en 14 departamentos y 157 municipios de Colombia y atiende el 70% del mercado de gas natural que se consume en el país, abasteciendo a los sectores residencial, industrial, térmico, petrolero y vehicular con una extensa red de gasoductos y compresoras.

Uno de los elementos en los que se fundamenta la estrategia de generación de valor y crecimiento de TGI S.A. ESP es “Desarrollar y operar infraestructura energética compartida con independencia, eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad”, para lo cual se implementan prácticas de clase mundial como la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

El propósito de este proyecto es aplicar la metodología RCM a la infraestructura de transporte de la estación Padua, para definir las actividades de mantenimiento y su frecuencia para aumentar la confiabilidad específicamente en las unidades de compresión de la estación, mediante su valoración en campo, socialización, documentación y tabulación que contenga tareas de mantenimiento, frecuencias, recursos y repuestos asociados a cada rutina.

1. GENERALIDADES DEL PROBLEMA EN LA ESTACIÓN PADUA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La actividad de transporte de gas natural es una actividad complementaria del servicio público domiciliario de gas natural, en este sentido la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG establece las reglas y condiciones operativas que debe cumplir toda la infraestructura del Sistema Nacional de Transporte a través del Reglamento Único de Transporte de Gas Natural RUT. Uno de los objetivos del RUT es crear las condiciones e instrumentos para la operación eficiente, económica y confiable del Sistema Nacional de Transporte SNT.

TGI S.A. ESP cuenta con cerca de 4000 km de gasoducto en el SNT y trece estaciones de compresión distribuidas a lo largo del gasoducto. TGI S.A. ESP debe operar y mantener esta infraestructura de forma que asegure la prestación eficiente, confiable, continua y segura del Servicio de Transporte.

La estación de compresión de gas Padua es crítica para el sistema de transporte de gas natural hacia el occidente del país y por lo tanto debe mantener la confiabilidad de las unidades de compresión para garantizar los volúmenes de gas solicitados en los programas diarios de nominación.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

TGI S.A. ESP en cumplimiento de sus planes de integridad y estándares de calidad, decide realizar un proyecto para ejecutar actividades relacionadas con integridad mecánica y confiabilidad de la infraestructura de transporte de la estación Padua, la cual se enmarca dentro de los requerimientos del programa de gestión de integridad sugerido por la norma ASME B31.8s, su equivalente NTC

5747 para gasoductos, API 579, API 580, API 581 y otras normas aplicables a estaciones de compresión, futuras modificaciones o normas equivalentes que sean adoptadas por Colombia o reglamentación internacional durante el desarrollo del proyecto, alineado con la estructura de la norma de Gestión de Activos ISO 55000.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Definir con base en la metodología Reliability Centered Maintenance (RCM) homologada por TGI S.A. ESP, las actividades de mantenimiento y su frecuencia para aumentar la confiabilidad de las unidades de compresión de la estación de Padua, mediante su valoración en campo, socialización, documentación y tabulación que contenga tareas de mantenimiento, frecuencias, recursos y repuestos asociados a cada rutina.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el estado actual del mantenimiento de las unidades de compresión de la estación, mediante recopilación de información, visita preliminar y entrevistas al personal de operación y mantenimiento.
- Definir con base en la metodología Reliability Centered Maintenance (RCM), las actividades de mantenimiento y su frecuencia para las unidades de compresión de la estación compresora de Padua de la empresa TGI S.A. ESP.
- Realizar la asignación de repuestos (P/N) y recurso técnico para las tareas de mantenimiento generadas en el RCM

2. CONTEXTO OPERACIONAL ESTACIÓN PADUA

2.1 PROPÓSITO

El propósito de la estación compresora de Padua, es elevar la presión del gas natural (Ver tabla 2) de la línea del gasoducto de TGI Vasconia, con el fin de suministrar la energía necesaria para su transporte hacia el occidente del país.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Las unidades de compresión (motor-compresor) y sus sistemas y equipos auxiliares tales como el sistema de enfriamiento (cooler), scrubber, botellas de succión y descarga, válvulas, tuberías, sistemas de control y monitoreo están diseñados para un rango de:

Tabla 1. Condiciones ambientales

Condición	Valor
Altura	2100 m.s.n.m
Presión atmosférica	1526 psia
Temperatura máxima	16°C / 60 °F
Humedad relativa promedio	90%

Tabla 2. Condiciones operacionales

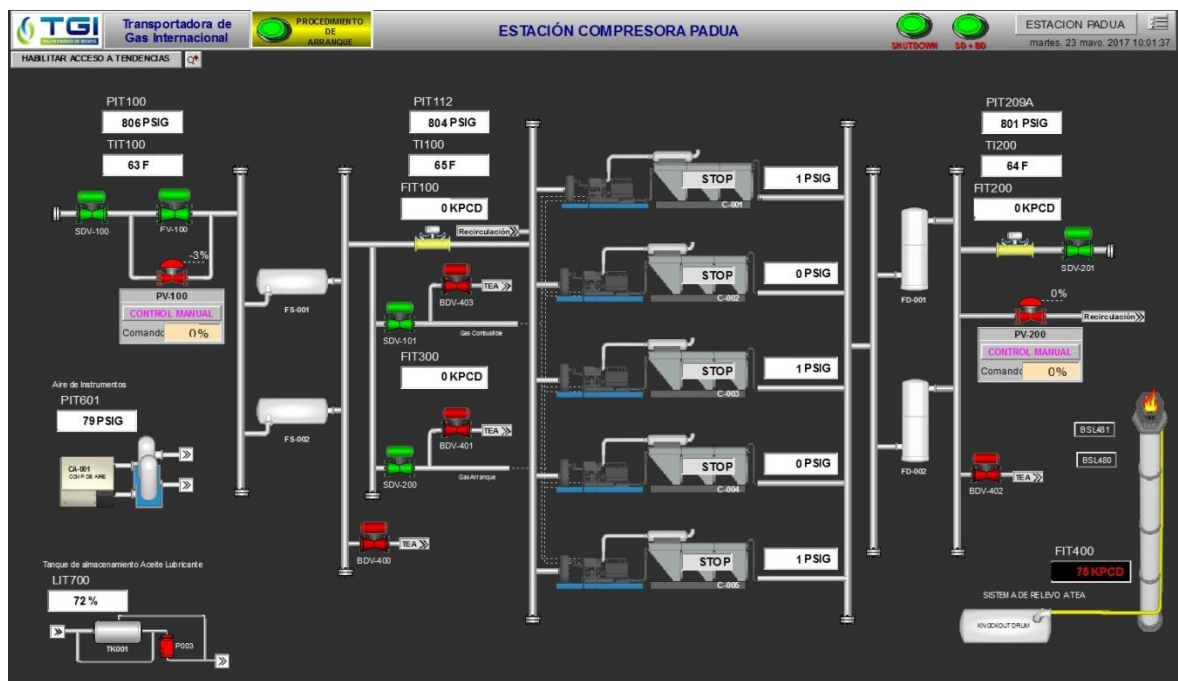
Condición	Valor
Flujo mínimo a comprimir para una psi de succión de 650 psig y psi de descarga de 1100 psig.	168 MPCD
Presión de descarga operación	950 a 1200 psig.
Presión de succión operación	600 a 900 psig
Temperatura máxima del gas en la succión	80 °F
Temperatura máxima del gas en la descarga	120 °F

Unidades instaladas:

- * 5 Motores WAUKESHA L7044GSI – Potencia 1680 HP c/u.
- * 5 Compresores Ariel JGK-4.
- * 5 Enfriadores de tiro inducido, Marca AXH, modelo 156EF

2.3 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DEL PROCESO

Figura 1. Esquema principal del proceso tomado del sistema Scada



La estación estándar cuenta con varios sistemas de proceso así:

2.3.1 Sistema de filtración. El sistema de filtración de la estación comprende:

- * Slug cácher: Es un separador particular diseñado para separar los líquidos que pueda llevar el flujo de gas.
- * Filtros de succión
- * Filtros de descarga

2.3.2 Sistema de regulación. La estación está dotada de una válvula reguladora de control que mantiene la presión de succión constante en el sistema de compresión, y otra para el sistema de gas combustible de motores Waukesha a 150 psi y para motores de arranque, además para el gas de purga para la tea.

2.3.3 Sistema de medición y calidad del gas. El proceso cuenta con medición de gas recibido en succión, gas entregado en la descarga; gas combustible consumido por los motores de las unidades de compresión, así como gas quemado en tea.

Se cuenta con transmisores de flujo con variables de presión, temperatura y un computador de flujo para los cálculos de caudal.

2.3.4 Sistema de compresión. La estación cuenta con un tren de compresión de cinco unidades moto-compresoras instaladas en paralelo. Cada una constituida por: un motor de combustión interna de gas natural acoplado a un compresor de desplazamiento positivo recíprocante y a la vez acoplado a un ventilador de tiro forzado para el sistema de enfriamiento (cooler). Además, posee sus respectivos sistemas auxiliares; tuberías y accesorios, aceite lubricante, líquido refrigerante, gas combustible, aire de instrumentos; eléctrico, control, ignición y todas las protecciones requeridas para garantizar la seguridad del personal, medio ambiente y equipos.

2.3.5 Sistema de venteo a tea. Se requiere del sistema de venteo a tea en la estación para quemar el gas evacuado de los sistemas de seguridad y despresurizar las líneas; consta de:

* Knockout Drump: vasija diseñada para depurar flujos con altos cocientes de gas-líquido. El líquido se arrastra como niebla en el gas.

* Tea: para quemar el gas evacuado. La cual tiene su sistema de gas piloto e ignición para inicio de llama.

2.3.6 Sistema de tuberías y accesorios. Permiten mantener el gas presurizado y aislado cuenta con su complejo sistema de válvulas, actuadores y accesorios con sus respectivos sistemas de alivio.

2.3.7 Sistema de seguridad protección y alarma. La estación cuenta con sistema de fire and gas, con detectores de fuego y concentración de gas distribuidos en el shelter de las unidades que activan el sistema de alarma sonora, shut down y blow down de la unidad y estación, cambiando de posición las válvulas que permitan la despresurización de los cabezales dentro de la estación y el venteo a tea del gas.

2.3.8 Sistemas auxiliares. La estación además del área del proceso de compresión, posee algunas áreas requeridas para la operación y no son propias del proceso:

- * Área de generación eléctrica
- * Tableros de distribución y control
- * Suministro de aire de instrumentos
- * Suministro y recolección de fluidos
- * Área de taller y bodega
- * Área administrativa

3. ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de la información se realiza mediante visita a la estación de compresión de Padua. EL desarrollo de las visitas se describe en la tabla 3.

Tabla 3. Programación de actividades

Actividad	Asistentes
Visita preliminar a Estación Padua	Profesionales de mantenimiento y confiabilidad
Entrevista Personal Operación y Mantenimiento para taller RCM preliminar a Estación Padua	Supervisor de estación y técnicos de mantenimiento

Siguiendo el orden de las actividades, se llevó a cabo la visita pre-liminar a la estación, donde se realizó un reconocimiento en campo a las unidades de compresión de la estación (5 unidades) y se explicó por parte de operaciones las funciones de los procesos de la planta, se tomó un registro fotográfico (Ver Anexo A). También se recolectó con operaciones y mantenimiento los manuales técnicos de los equipos de que se disponía (Ver en Anexo B los planes de mantenimiento), al igual que algunos datos de la operación del proceso.

Con presencia de los grupos responsables para el desarrollo del taller RCM de TGI, se realizó la reunión de apertura y sensibilización en las dos primeras horas. En esta reunión se definió el plan de trabajo del taller.

La información recolectada del sistema de planeación de recursos empresariales (SAP) está compuesta por hojas de ruta actuales, fallas presentes en los equipos

por medio de avisos de mantenimiento creados, algunos listados de repuestos, estándares de la planta.

3.2 HALLAZGOS

Después de revisar los datos de los avisos de mantenimiento, se detecta que el sistema presenta falencias sustanciales en la manera de reportar (en algunos avisos no se describe exactamente el ítem mantenible de la falla (ejemplo: daño de correas, no se especifica si son las del sistema de refrigeración o del alternador o las del enfriador). Ver tabla 4.

Tabla 4. Hallazgos en forma de reporte SAP

Estación Compresora	Denominación de la ubicación técnica	Denominación de objeto técnico	Descripción	Orden
PADUA	UNIDAD COMPRESORA 1	MOTOR U1 MOT-001	CORREAS DISTENCIONADAS MOTOR	5000199
PADUA	UNIDAD COMPRESORA 1	MOTOR U1 MOT-001	ROTURA DE LOS SELLOS DE RETENCIÓN	10000479
PADUA	UNIDAD COMPRESORA 1	MOTOR U1 MOT-001	FALLA EN CORREAS POR RUPTURA Y DESGASTE	10000526
PADUA	UNIDAD COMPRESORA 5	MOTOR U5 MOT-005	RECOMENDACIONES CBM MOTOR U5 PDA	5001369
PADUA	ESTACION DE COMPRESION PADUA	OTROS EST PDA	INSP-CORRECCIÓN CABLEADO INSTRUMENTOS	5000125

Al revisar las hojas de ruta de mantenimiento existentes, se detectan varios hallazgos tanto en motor como en compresor, los cuales se listan a continuación. Ver tabla 5 y 6.

- Existen actividades de mantenimiento asignadas a componentes inexistentes (ejemplo motor: “REVISAR LUBRICADOR DEL MOTOR DE ARRANQUE”, este motor no tiene lubricador del motor de arranque).

- Existen actividades que no son propias del elemento de estudio (ejemplo motor: “INSPECCIÓN VÁLVULA DE RECICLO ESTACIÓN”, debe de ir a instrumentación asociada al compresor). Las tareas del enfriador quedaron en hoja de ruta de este.
- Existen actividades asignadas a mantenimiento que son propias de las actividades diarias de operación (ejemplo: “REVISAR NIVEL DE ACEITE DEL CARTER”)
- Existen actividades generales que no especifican el componente a intervenir (ejemplo motor: “CAMBIO KIT MATTO REGULADOR DE GAS COMB.”, este motor tiene 4 reguladores de gas).

Tabla 5. Hallazgos en hojas de ruta actuales del motor

Componentes inexistentes	No aplican al motor	Tareas diarias del operador	Alcance de tarea general
CHEQ, LIMP, REEMP/CAMB ELEM. PREFIL AIRE	INSPECCIÓN VÁLVULA DE RECICLO ESTACIÓN	REVISAR NIVEL DE ACEITE DEL CARTER	AJUSTAR REGULADOR DE GAS COMBUSTIBLE
LUBRICAR EL MOTOR DE ARRANQUE	LUBRICAR CHUMACERAS VENTILADOR COOLER	REVISAR NIVEL DEPOSITO DE PRELUBR MOTOR	PROBAR O CALIBRAR DISPOS. DE PROTEC.
INSPECCIONAR REGULADOR GAS ARRANQUE	INSP. SIST. NIVEL LIQUIDO REFRIGERANTE	INSP. NIVEL LIQUIDO REFRIGERANTE	AJUSTAR REGULADOR DE GAS PEQUEÑO
REEMPLAZAR ELEMENTO PRE-FILTRO DE AIRE	LIMPIEZA Y FLUSHING DEL COOLER		CAMBIO FILTRO REGULADOR DE GAS
INSP. VALV DE ALIVIO DE PRES CARTER			REVISAR TERMOSTATOS
REVISAR LUBRICADOR DEL MOTOR DE ARRANQUE			CAMBIO KIT MATTO REGULADOR DE GAS COMB.
CAMBIO KIT MTTTO REGULADOR GAS ARRANQUE			LIMPIAR FILTRO REGULADOR DE GAS
CAMBIO DE PRE-FILTRO DE AIRE			

Tabla 6. Hallazgos en hojas de ruta actuales del compresor

Tareas diarias del operador	Alcance de tarea general
VERIF. PRESION ACEITE DE CARCASA	INSPECC. Y CONFIRMAR PROTECCIONES
REVISAR EL NIVEL DE ACEITE DE CARTER	VACIAR/CAMBIAR ACEITE CAJA LUBRICADOR
REVISAR NIVEL ACEITE LUBRICACIÓN FORZADA	CAMBIAR EL FILTRO DE ACEITE
INSP. TIEMPO CICLO DE BLOQUE LUBRICADOR	LIMPIAR COLADOR EN CAMBIO DE ACEITE
INSP. FUGA DE GAS POR EMPAQUETADURA	REVISAR MATERIA EXTRAÑA EN CARCASA
CHEQUEAR NIVELES DE RUIDO ANORMAL	RECONS/CAMBIAR CAJAS DE EMPAQUETADURA
CHEQUEAR NIVELES DE VIBRACION ANORMAL	VERIF./CALIBR. PROTECC. E INDICADORES
INSPECCION A PLATAFORMAS Y SKID	AJUSTAR CADENAS IMPULSORAS
	VERIF. IMPULSOR AUX. Y DE CADENA (DESG.)
	REEMPLAZAR ARMADURAS Y BUJES DE COJINETES
	REVISAR SISTEMA DE LUBRICACIÓN FORZADA

Se evidencio en hoja de ruta tanto del motor como del compresor, que existen algunos componentes que no tienen estrategia de mantenimiento, como es el caso de la instrumentación asociada al compresor, instrumentos del scrubber, algunas válvulas reguladoras de proceso, algunos reguladores de gas combustible, entre otros, dentro de la estrategia de mantenimiento obtenida del RCM, quedaron contempladas tareas para estos ítems mantenibles.

Se evidencia por parte de los técnicos, que los repuestos no llegan completos para las actividades programadas o llegan con parte números diferentes, por lo que tienen que re-utilizar los mismos, dentro de la estrategia de mantenimiento obtenida del RCM, quedaron incluidos los repuestos y sus (P/N) para las actividades generadas.

4. ESTUDIO RCM

4.1 PREMISAS ESTUDIO RCM

Las siguientes premisas son el punto de partida para el análisis de RCM, por lo tanto, para este estudio se considera que la organización debe propiciar el cumplimiento de ellas para poder implementar la nueva estrategia de mantenimiento, definida por el proceso RCM.

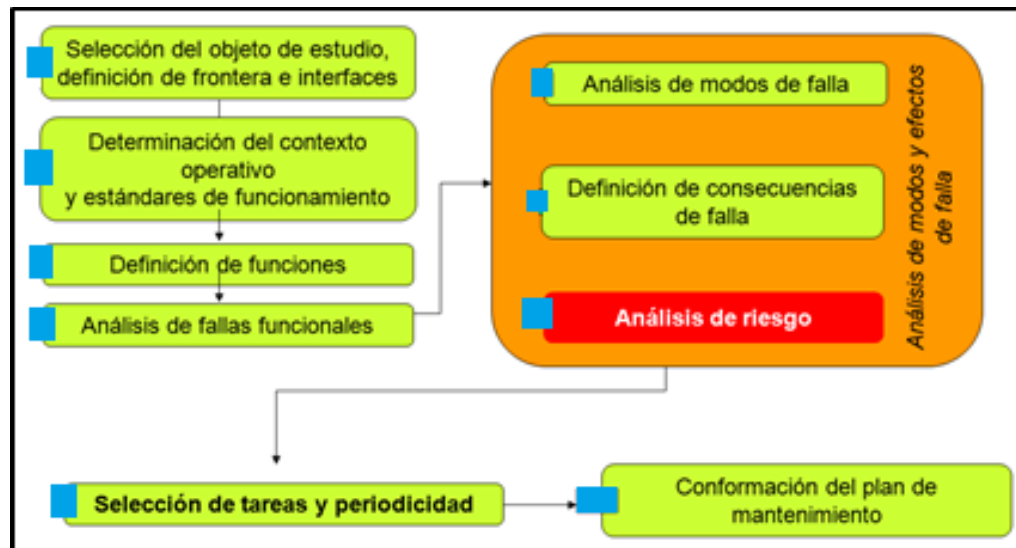
- Los equipos en stand-by deben estar disponibles y probados. El análisis de pérdida se basa en la disponibilidad del equipo auxiliar cuando aplique, su no disponibilidad aumentaría las consecuencias económicas por fallas múltiples.
- Los repuestos requeridos para el mantenimiento se consideran disponibles en bodega.
- Las fallas en la ejecución por procedimientos de mantenimiento, montaje y operación; la inadecuada especificación o selección de equipos no son tenidas en cuenta como modos de falla dominante en el análisis de RCM para determinar tareas de mantenimiento. En el evento de tener recurrencia en estas fallas, se definirá una acción para corregir su causa.
- Se planea y programa oportunamente, el cálculo económico de las pérdidas por falla de un equipo es estimado teniendo en cuenta sólo el tiempo empleado para su reparación o cambio. Por lo tanto, las demoras en la planeación y programación de las tareas no están incluidas, pero si aumentarían la consecuencia económica de la falla.

- RCM no analiza problemas de integridad mecánica, para lo cual la metodología apropiada es la Inspección Basada en el Riesgo (RBI).
- Para el análisis RCM se trabajó por tipo de equipo en concordancia con el sistema de gestión de mantenimiento (SAP) establecido por TGI S.A.
- Se busca aumentar confiabilidad y la optimización de costos de mantenimiento.

4.2 PROCESO RCM

Para realizar el flujo de proceso del RCM se tuvieron en cuenta varias etapas como se observa en la siguiente figura:

Figura 2. Diagrama de flujo de proceso RCM Compresoras



Siguiendo el anterior diagrama de flujo, en el taller RCM preliminar con los técnicos de mantenimiento y algunas intervenciones del operador de la estación, se describieron los elementos de estudio, sistemas de éstos y componentes de los

sistemas, fallas funcionales, análisis de modo de falla, fallas potenciales, y consecuencias de la falla.

Con el análisis de la información recolectada basado en las normas:

- UNE 200001 3-11 (supeditada por IEC 60300 – 3 -11): Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- SAE JA 1012: A guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) standard.
- ISO-14224-2006: Industrias de petróleo y gas natural -Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.

Se definió la jerarquía de la planta descrita en el árbol de las unidades compresoras (Ver Anexo C) y de los elementos de estudio con sus sistemas y componentes (Ver Anexo D), además de definir las fronteras, interfaces, contexto operativo, estándares de funcionamiento, y definición de funciones de los sistemas (Ver Anexo E).

Se realizó el análisis de modos y efectos de falla AMEF (Ver Anexo F Excel), de las fallas encontradas en cada uno de los ítems mantenibles y según la causa potencial, teniendo en cuenta el tiempo de reparación hasta devolver la función al equipo, el número de fallas presentadas al año (dada por los técnicos, el sistema SAP y donde no se obtuvo falla alguna se dio valor por medio de la guía Oreda); se realizó el análisis del riesgo basados en el costo de los repuestos, costos de mano de obra, el costo de improductividad por hora y el posible costo por impacto a la salud, seguridad y medio ambiente.

Se determinaron las tareas para minimizar las fallas que se presentan en los ítems mantenibles de los equipos (Ver Anexo G Excel), dándoles una periodicidad, duración de la tarea, recursos con costo para la intervención (puestos de trabajo asignados), repuestos y costos si aplica.

Se realizó validación con los profesionales de las compresoras y con el personal de mantenimiento de la estación, se recibieron las sugerencias y opiniones y se dio la corrección del caso bajo el consentimiento de todas las partes.

Se crearon las hojas de ruta y se entregaron los formatos para incluir en sistema SAP al área de gestión de activos (Ver Anexo H Excel).

4.3 EQUIPOS ANALIZADOS

Para la estación compresora de Padua, realizado el taller de RCM se analizaron las 5 unidades compresoras divididas en 3 elementos de estudio según norma. Ver figuras 3 y 4.

4.3.1 Motor. Para el análisis de RCM, se dividió el motor en sistemas, tomando como guía el manual de fabricante, de estos se tomaron cada uno de los componentes, a los que se les analizo las fallas o posibles fallas que pueden tener y se les asigno tareas de minimización.

- Sistema de regulación de velocidad
- Sistema de gas combustible
- Sistema de ignición
- Sistema de admisión de aire
- Sistema de enfriamiento
- Sistema de lubricación
- Sistema de escape
- Sistema de arranque
- Sistema de control & monitoreo
- Sistema de potencia
- Sistema Eléctrico

4.3.2 Compresor. Para el análisis de RCM, se dividió el compresor en sistemas, tomando como guía el manual de fabricante, de estos se tomaron cada uno de los componentes, a los que se les analizo las fallas o posibles fallas que pueden tener y se les asigno tareas de minimización.

- Sistema lubricación frame
- Sistema lubricación forzada
- Sistema de enfriamiento
- Sistema de potencia
- Sistema de compresión de gas
- Sistemas de control & monitoreo
- Sistema de acoplamiento
- Equipos asociados

4.3.3 Enfriador de tiro inducido. Para el análisis de RCM, se dividió el enfriador de tiro inducido en sistemas, tomando como guía el manual de fabricante, de estos se tomaron cada uno de los componentes, a los que se les analizo las fallas o posibles fallas que pueden tener y se les asigno tareas de minimización.

- Sistema de transmisión de potencia
- Panel IC
- Fan Cooler
- Sistema de monitoreo y protección

Figura 3. Distribución de sistemas según elemento de estudio

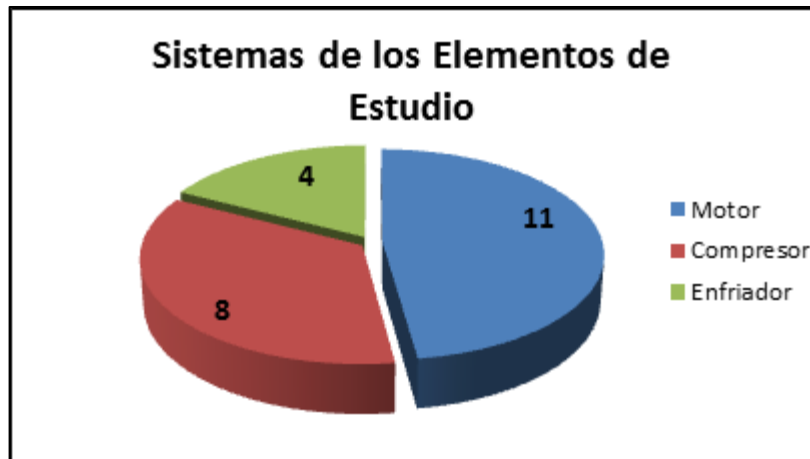
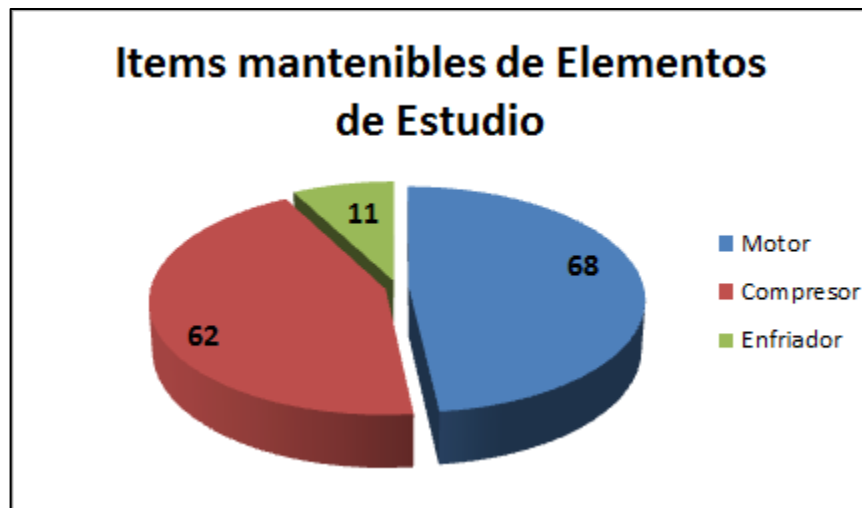


Figura 4. Distribución de ítems mantenibles según sistemas de elementos de estudio



4.4 MALOS ACTORES

Después del análisis de la información recolectada del sistema SAP y del taller RCM preliminar con los técnicos, se obtuvieron los malos actores de los últimos 5 años por elemento de estudio (motor, compresor, enfriador), como se observa en las figuras 5, 6 y 7.

Figura 5. Malos actores de los motores de combustión estación Padua

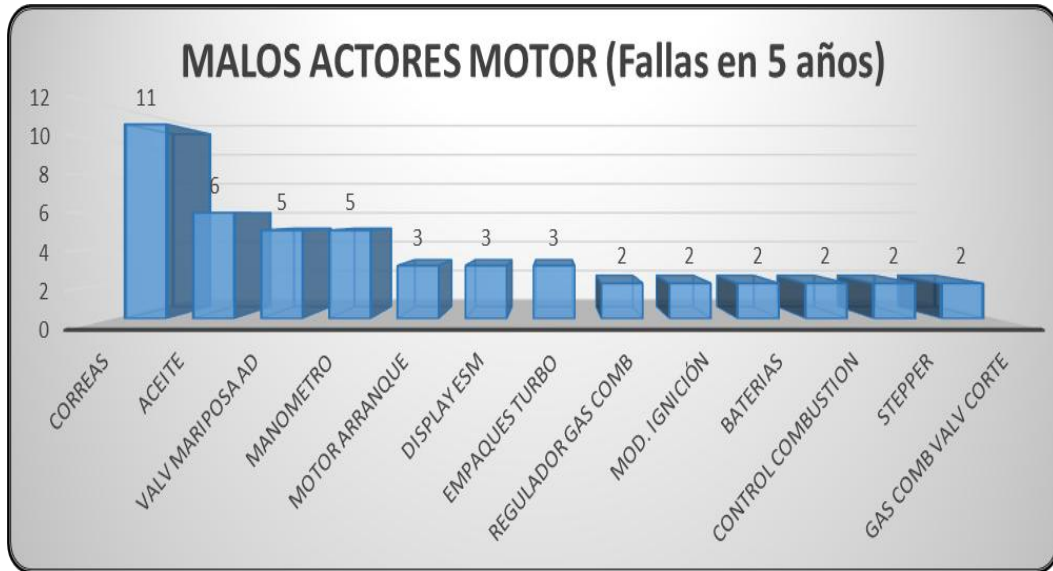


Figura 6. Malos actores de los compresores recíprocos estación Padua

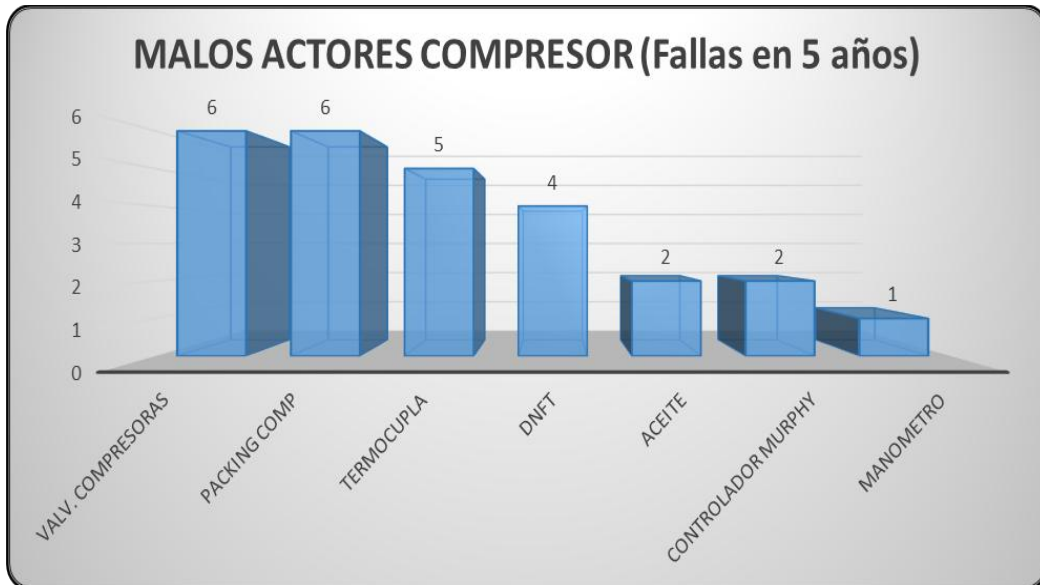
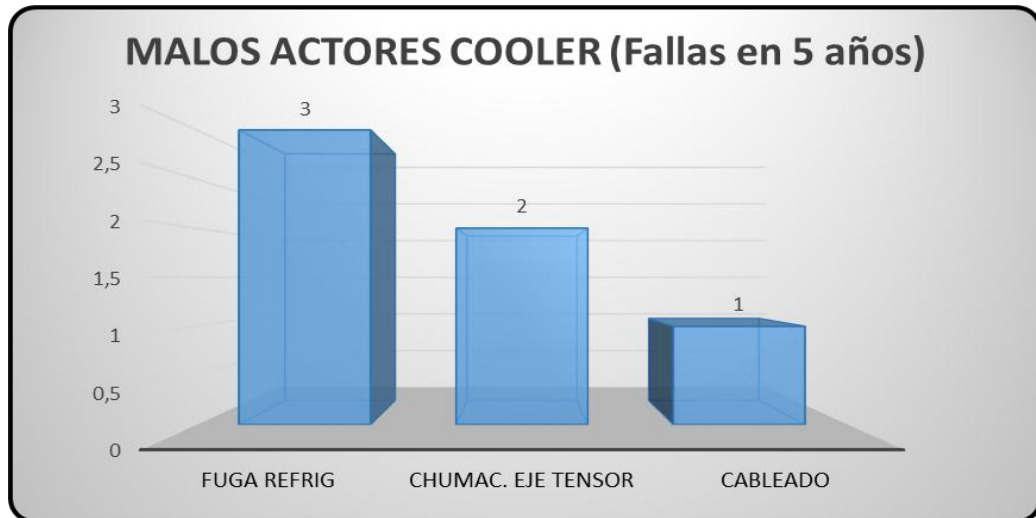


Figura 7. Malos actores de los enfriadores, estación Padua



4.5 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ESTACIÓN COMPRESORA PADUA

La estrategia de mantenimiento obtenida por el estudio de RCM de los activos para cumplir las funciones de la estación Padua, se basa en la filosofía de trabajar con un mantenimiento planeado, minimizando el mantenimiento no planeado o reactivo. De este análisis se trabaja con tres tipos de mantenimiento saliendo de ellos las diferentes tareas como se describe a continuación. Ver figura 8.

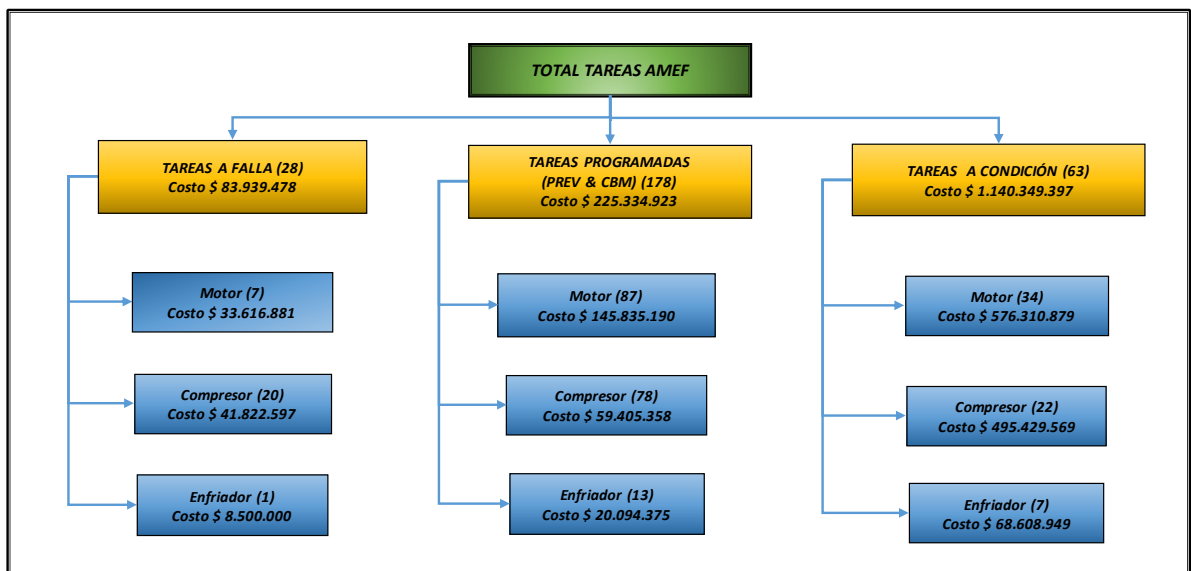
Mantenimiento a falla: El mantenimiento planeado incluye trabajar equipos a falla, para los casos donde técnicamente no es factible el mantenimiento proactivo por su característica aleatoria de falla o el proceso de degradación es súbito, o si el mantenimiento proactivo posible es más costoso que la reparación del equipo cuando falle. En este análisis no se incluye las pérdidas de producción por tener equipos de respaldo y se analiza la eficacia de las tareas preventivas propuestas.

Mantenimiento programado: Incluye las tareas que se programan para realizarse de acuerdo a una frecuencia de tiempo establecida. En este tipo de tareas también

se incluye todas las inspecciones que obedecen a un programa de seguimiento de la condición de los equipos ya sea de operaciones o CBM.

Mantenimiento por condición: Incluye las tareas que se deben ejecutar provenientes de una inspección previa o una vez se ha realizado un análisis de la información de un monitoreo por condición (CBM). Cambios de componentes dependiendo su condición o estado.

Figura 8. Actividades de Mantenimiento para unidades compresoras Padua



4.6 DISTRIBUCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

4.6.1 Motores. Un análisis del resultado de la estrategia de mantenimiento para los motores de combustión de las unidades compresoras de Padua, el 5,5% (7 tareas) corresponde a una estrategia a falla y un 94,5% (121 tareas) a una estrategia proactiva.

De la estrategia a falla, el 66.7% del volumen corresponde a instrumentos con partes electrónicos, el restante 33.3% corresponde a empaquetaduras de los múltiples de admisión y escape.

De la estrategia proactiva el 71,9% (87 tareas), corresponde a tareas programadas, teniendo en cuenta las inspecciones por condición de CBM. El restante 28,1 % (34 tareas), corresponde a tareas por condición, provenientes de inspecciones periódicas de CBM, mantenimiento o diarias del operador.

4.6.2 Compresores. Un análisis del resultado de la estrategia de mantenimiento para los compresores recíprocos de las unidades compresoras de Padua, el 12.4% (12 tareas) corresponde a una estrategia a falla y un 87.6% (85 tareas) a una estrategia proactiva.

De la estrategia a falla, el 75% del volumen corresponde a instrumentos con partes electrónicos, el restante 25% corresponde a componentes menores.

De la estrategia proactiva el 80% (68 tareas), corresponde a tareas programadas, teniendo en cuenta las inspecciones por condición de CBM. El restante 20 % (17 tareas), corresponde a tareas por condición, provenientes de inspecciones periódicas de CBM, mantenimiento o diarias del operador.

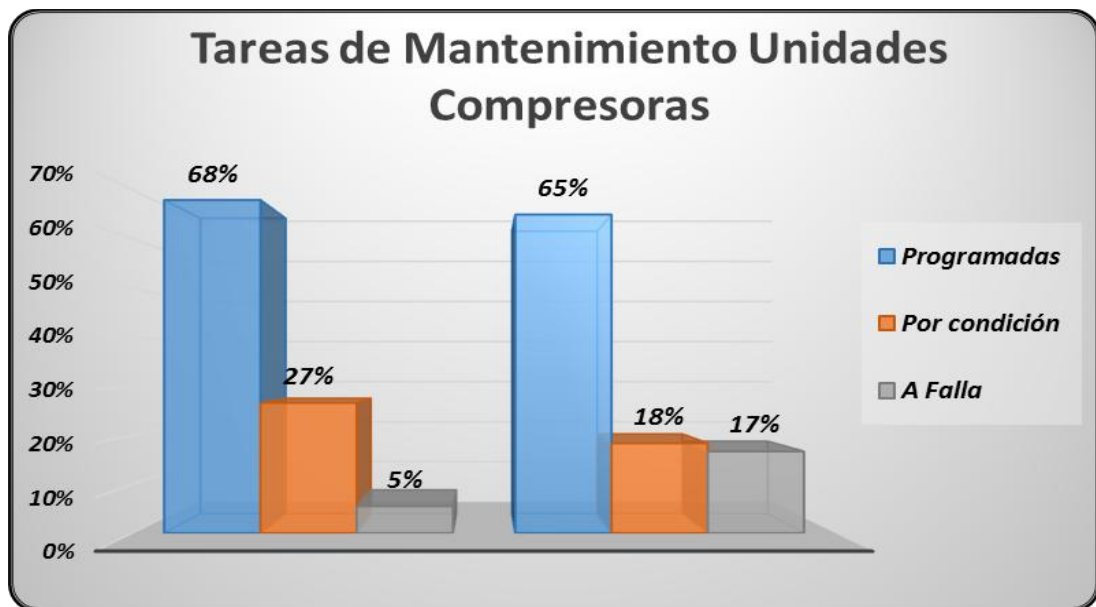
4.6.3 Enfriadores. Un análisis del resultado de la estrategia de mantenimiento para los enfriadores de tiro inducido (Cooler), de las unidades compresoras de Padua, el 4,8% (1 tarea) corresponde a una estrategia a falla y un 95.2% (20 tareas) a una estrategia proactiva.

De la estrategia proactiva el 65% (13 tareas), corresponde a tareas programadas, teniendo en cuenta las inspecciones por condición de CBM. El restante 35 % (7

tareas), corresponde a tareas por condición, provenientes de inspecciones periódicas de CBM, mantenimiento o diarias del operador.

La figura 9 muestra el comportamiento de las estrategias de mantenimiento analizadas.

Figura 9. Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)



La estrategia obtenida del RCM, fue validada en sesiones de trabajo con los profesionales de las unidades compresoras, profesional de gestión de activos y los técnicos de la planta con el fin de optimizar al máximo las frecuencias, recursos técnicos, repuestos y tiempo de ejecución de actividades.

4.7 COSTOS

El análisis de los costos estimados de las tareas muestra que el mayor impacto está en las que corresponden por condición, en segundo lugar, las tareas programadas y el más bajo las tareas a falla, ver figura 10.

Las tareas programadas, aunque son en promedio en los tres elementos de estudio, 3,4 veces mayor cantidad que las tareas a condición y por ende requieren mayor costo en cuanto a recursos (horas hombre), el costo de repuestos es menor, solo se utilizan los repuestos que pueden tener falla al momento de ejecutar la tarea preventiva y también se tienen en cuenta los repuestos por cambios cíclicos.

Las tareas a condición generan mayor recurso económico en promedio 2,8 veces más que las programadas en los tres elementos de estudio, porque se requieren el total de los repuestos para reparar el activo y devolverle su funcionalidad a condiciones normales de operación; provienen de las inspecciones y mantenimientos programados incluyendo el monitoreo basado en condición (CBM), ver figura 11.

Figura 10. Costos de la estrategia de mantenimiento por clase de tarea (aproximados)

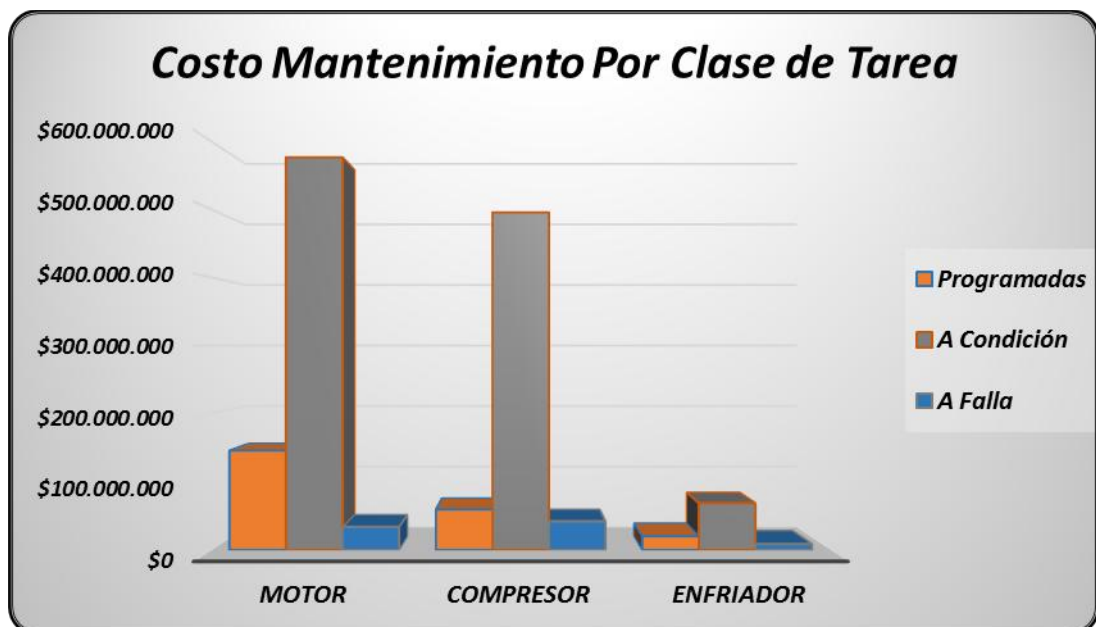


Figura 11. Costo de estrategia programada Vs Correctivo (A condición y falla) aproximados



Cabe recalcar que los costos con los que se realizó el análisis anterior, son costos obtenidos de cotizaciones de repuestos anteriores de mantenimientos mayores realizados por TGI, a los cuales se les ajustó el costo y se tomó una tasa cambiaria asumiendo el precio del dólar en COP \$3.000.

5. ASIGNACIÓN DE REPUESTOS Y RECURSO TÉCNICO

5.1 ASIGNACIÓN DE REPUESTOS

Se asignaron los repuestos dependiendo las tareas de mantenimiento obtenidas del RCM, se realizó tabla con listado de repuestos, parte número según manual, cantidad y costos aproximados por unidad y por totalidad de APL. El APL se creó para asociar varios repuestos a una misma tarea de mantenimiento, ver tabla 7 y Anexo H.

Tabla 7. Ejemplo de formato de repuestos motor Padua

		LISTADO DE REPUESTOS MOTOR UNIDADES COMPRESORAS PADUA						
Ítem Mantenible	Frecuencia Hras	Ítem No.	Parte Número	Descripción Repuestos	Código APL	CANTIDAD	Valor Unitario (US)	Valor Total (US)
Inspección, limpieza y ajuste carburador (diafragma, valvula Aire/gas, mariposa).								
Carburador	6000	1	493722	Screw, 3/8" X 16	RTO-CAR-01	8	2.29	18.32
		2	493637	Gasket	RTO-CAR-01	2	30.8	61.6
		3	493720	Screw No. 16-24 X 5/8"	RTO-CAR-01	12	1.42	17.04
		4	493645	Spring, updraft air valve, red	RTO-CAR-01	2	5.62	11.24
		5	493723	Screw No. 8-32 X 5/16"	RTO-CAR-01	8	2.74	21.92
		6	499222	Diaphragm	RTO-CAR-01	2	72.38	144.76
		8	119035	Gasket, carburetor	RTO-CAR-01	2	44.66	89.32
		9	21433	Screw hex head, 1/2"-13 X 1-3/4"	RTO-CAR-01	8	0.59	4.72
		10	21054	Washer lock 1/2"	RTO-CAR-01	8	0.12	0.96
		11	21205	Nut, hex head, 1/2"13	RTO-CAR-01	8	0.17	1.36
		Cambio de kit de reparación del carburador, valvula aire/gas.						
	12000	1	59022T	Carburador	RTO-CAR-02	2	1153.69	2307.38
		2	493719	Air horn	RTO-CAR-02	2	173.55	347.1
		3	493722	Screw, 3/8" X 16	RTO-CAR-02	8	2.29	18.32
		4	493637	Gasket	RTO-CAR-02	2	30.8	61.6

Los repuestos mencionados anteriormente fueron validados con los técnicos de la planta para cada especialidad según la tarea de mantenimiento.

5.2 RECURSO TÉCNICO

Se realizó balance de la estrategia de mantenimiento obtenida del RCM, para ajustar las horas hombre de ésta al recurso técnico que se tiene en la planta (1 técnico mecánico, 1 técnico instrumentista, 1 ayudante y 1 auxiliar).

Tabla 8. Balance estrategia mantenimiento motor Padua

HH X PUESTO DE TRABAJO MOTOR TOTALES					
Puesto de Trabajo	2K	4K	6K	8K	12K
Técnico Mecánico	7,5	13,0	18,5	15,0	34,0
Técnico Instrumentista	8,5	13,5	10,5	15,5	33,5
Ayudante	7,5	13,0	16,5	15,0	33,5
Auxiliar	3,0	4,0	8,0	6,0	17,0

Tabla 9. Balance estrategia mantenimiento enfriador Padua

HH X PUESTO DE TRABAJO COOLER SUMADAS						
Puesto de Trabajo	250 H (250 H)	750 H (250+750)	2K (250+2K)	4K (250+2K+4K)	6K (250+750+2K+6K)	12K (250+750+2K+4K+6K+12K)
Técnico Mecánico	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	5,5
Técnico Instrumentista	0,0	0,0	1,0	1,5	1,0	2,5
Ayudante	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5
Auxiliar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

Tabla 10. Balance estrategia mantenimiento compresor Padua

HH X PUESTO DE TRABAJO COMPRESOR TOTALES				
Puesto de Trabajo	2K	4K	8K	16K
Técnico Mecánico	0,0	6,0	30,5	32,5
Técnico Instrumentista	5,5	12,5	26,0	26,5
Ayudante	1,0	7,0	31,5	32,5
Auxiliar	0,5	8,5	33,0	33,5

A continuación, se presentan los costos estimados totales (salario más prestaciones) de mano de obra para las labores realizadas por el personal de

mantenimiento, estos se utilizaron para los costos de las tareas. Datos facilitados por TGI.

Tabla 11. Tarifas de mano de obra vigentes

Descripción	Costo \$ HH	Costo US HH
Técnico mecánico	\$34.813,00	US \$ 11,60
Técnico instrumentación	\$34.813,00	US \$ 11,60
Técnico eléctrico	\$34.813,00	US \$ 11,60
Ingeniero CBM	\$53.200,00	US \$ 17,73
Ayudante	\$23.253,00	US \$ 7,75
Auxiliar	\$9.509,00	US \$ 3,17

6. CONCLUSIONES

Se elaboró la estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad (RCM), realizando un pre-análisis y jerarquización del área de trabajo, equipos, sistemas y dispositivos o componentes. El pre-análisis permitió estudiar el componente, ver sus puntos débiles o puntos fuertes y ayudó a tener un conocimiento más claro del elemento que se quiere mantener o reparar. Al fragmentar los sistemas o equipos se pretendió ver las partes que lo integraban, su constitución, como funciona realmente y que puede hacer que deje de funcionar (modos de falla), dichos modos de falla pueden ser controlados con la estrategia de mantenimiento obtenida en el RCM al ejecutar las tareas obtenidas de éste.

El proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), se realizó en conjunto con los profesionales de las diferentes especialidades y con el personal de mantenimiento y operaciones de la planta. Estas labores constituyen una herramienta fundamental para definir la estrategia de mantenimiento eficaz y poder alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad de las unidades compresoras de la estación de Transporte de gas PADUA.

Con la ejecución de las actividades de mantenimiento se pretende anticiparse a las fallas de los equipos. Adicionalmente la implementación de las tareas de mantenimiento generadas y sus repuestos asociados, indican cuánto, cuándo y cuáles recursos se deben invertir, así con ésta estrategia de mantenimiento obtenida del RCM facilitar la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento de la estación compresora de Padua.

Se resalta la importancia que tiene dentro del RCM realizado la generación de las actividades de mantenimiento y repuestos (parte número) de la instrumentación asociada al compresor, la cual no estaba cubierta en la estrategia actual, lo

anterior enriquece el mantenimiento de las unidades compresoras de la estación Padua.

Para que la estrategia de mantenimiento obtenida del RCM funcione adecuadamente, es necesario cumplir con las premisas fundamentales, tales como, la política de repuestos, stand-by disponible y la implementación de todas las tareas preventivas y predictivas, garantizando que el área de mantenimiento las ejecute a cabalidad.

7. RECOMENDACIONES

Es de vital importancia la asignación de responsable para la gestión de las actividades de mantenimiento de acuerdo a un plan de implementación del proceso RCM. La implementación de cada acción se debe realizar de acuerdo al procedimiento de manejo del cambio según las políticas establecidas por TGI S.A.

Es importante resaltar que la estrategia de mantenimiento proveniente del proceso RCM funciona adecuadamente siempre y cuando se cumplan las premisas fundamentales como son la adecuada política de repuestos, equipos en stand-by y la implementación de las tareas de mantenimiento generadas.

La Estructura de control de gestión debe hacer seguimiento a la implementación de las estrategias de mantenimiento definidas por el RCM y a las listas de acciones definidas en él.

Se deben realizar los procedimientos aterrizados a cada una de las tareas para ejecutar las actividades de acuerdo a lo que se requiere, con el ánimo de alargar la vida útil de cada componente, asegurar la confiabilidad del equipo y minimizar costos de repuestos y mano de obra por reparaciones a condición o falla.

Se requiere inculcar al personal encargado de retroalimentar el sistema SAP, en la práctica del buen reporte de OT y avisos de mantenimiento entre otros, con el fin de tener disponible información veraz y confiable de los equipos y componentes de los sistemas, para obtener indicadores que permitan evaluar la eficacia de la nueva estrategia de mantenimiento y en caso tal, poder ajustar ésta a los requerimientos de los equipos.

Se debe realizar un seguimiento de la nueva estrategia por medio de los KPI's para comprobar la sostenibilidad y eficacia de la misma.

Se sugiere realizar un análisis causa raíz (RCA) a los daños recurrentes de las correas del sistema de refrigeración y alternador por su falla prematura (menos de 2 meses de servicio).

BIBLIOGRAFÍA

ARIEL CORPORATION. Maintenance and repair manual. For JGH:E:K:T Heavy duty balanced opposed reciprocating compressors. Ohio: Ariel Cop., 2014. 148 p.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE 200001 3-11. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Madrid: CTN, 2003. 52 p.

AXH AIR COOLERS. Installation and operation manual 156EF. Oklahoma: AXH, 2010. 70 p.

CAMPBELL, John D. The Reliability Handbook. Ontario: Clifford/Elliot Publication, 1999. 50 p.

CRISCIMAGNA, Ned. Practical Applications of Reliability Centered Maintenance. U.S.A: Reliability Analysis Center, 2003. 138 p.

DRESSER. Waukesha ESM. Engine system manager operation & maintenance. Wisconsin: Dresser Inc., 2005. 202 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos, Presentación y referencias bibliográficas. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 110 p. ISBN 978-958-9383-81-0.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO-14224. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos. AEN/CTN 62, 2006. 117 p.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Edición en Español, Aladon LLC, 2004. 433 p.

OREDA. Offshore Reliability Data. Norway: SINTEF, 2009. 835 p.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE JA 1012. A guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) standard. U.S.A: SAE International, 2011. 62 p.

ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico estación Padua

Figura 1. Estación Padua



Figura 2. Shelter de compresores



Figura 3. Tuberías de proceso



Figura 4. Unidad de compresión



Anexo B. Schedule de mantenimiento de equipos

Motor:

SECTION 4.60

MAINTENANCE SCHEDULE

MAINTENANCE SCHEDULE

The following maintenance schedule assumes normal operating conditions. It may be necessary to shorten maintenance intervals if abnormal operating conditions such as extreme cold or very dirty conditions are encountered. When given a choice, always pick the shortest time listed.

Regularly inspect the engine during operation (see Table 4.60-1). Duplicate the *Engine Performance Record* at the end of this section, and use it to record the results of regular inspections. By maintaining trend information on general engine condition, the necessary corrective action can be taken when a problem first becomes apparent. An early diagnosis will save money and reduce downtime by preventing the development of more serious problems.



Failure to observe the above maintenance schedule could result in severe personal injury or death.

Table 4.60-1 Routine Maintenance Chart (Part 1 of 3)

ITEM	SERVICE	DAILY OR AS REQUIRED	250 HOURS	500 HOURS	720 HOURS	1500 HOURS	2500 HOURS	4000 HOURS	8000 HOURS
Air Cleaner Filter Element	Check/Clean or Replace	•							
Air Starter Lubricator	Check/Fill	•							
Control Rod Ends and Linkage	Clean/Lubricate	•							
Cooling Systems Fluid Level (Jacket and Auxiliary)	Check/Fill	•							
Crankcase Oil Level	Check/Fill	•							
ESP Total Fault History	Review (Monthly)	•							
Oil Filter	Release Trapped Air	•							
Precleaner Element	Check/Clean or Replace	•							
Prelube Motor Reservoir	Check/Fill	•							
Engine Oil & Filter* (Standby Duty) (Annually, whichever is reached first)	Change Oil and Filter		•						
Engine Oil & Filter* (Excess of ISO Standard or Continuous Duty)	Change Oil and Filter			•					
Engine Oil & Filter* (500 hours for Ebullient Cooled Or Hot Water System With Engine Water Temperature 200° F (93° C) Or Above	Change Oil and Filter			•					

NOTE: *For oil change intervals, see Section 4.30 Lubrication System Maintenance, Table 4.30-10 Recommended Oil Change Intervals For Engines Receiving Normal Maintenance; Table 4.30-11 Recommended Oil Change Intervals For Engines Receiving Normal Maintenance And Using Gaseous Fuel Containing H₂S; and Table 4.30-12 Duty Cycle Definitions.

MAINTENANCE SCHEDULE

Table 4.60-1 Routine Maintenance Chart (Continued), (Part 2 of 3)

ITEM	SERVICE	DAILY OR AS REQUIRED	250 HOURS	500 HOURS	720 HOURS	1500 HOURS	2500 HOURS	4000 HOURS	8000 HOURS
Engine Oil* (Analysis)	Analysis				•				
Engine Oil & Filter* (Light Load Operation)	Change Oil and Filter					•			
Engine Oil & Filter* (2100 hours for ISO Standard or Continuous Duty With Microspin)	Change Oil and Filter						•		
Oil Cooler* (Oil Side) (Maintain with appropriate oil change interval)	Drain								
Oil Filter* Elements (Maintain with appropriate oil change interval)	Replace								
Oil Separators* (Microspin) (Maintain with appropriate oil change interval)	Clean								
Battery Electrolyte	Check/Fill				•				
Belt Tension	Check				•				
Air Actuator	Lubricate				•				
Alternator Bearings	Lubricate				•				
Auxiliary Water Pump	Inspect/Lubricate				•				
Fan Hub and Idler Pulley Bearings	Lubricate				•				
Generator Bearings	Lubricate				•				
Water Pump Idler Pulley Bearings	Lubricate					•			
Crankcase Breather	Clean					•			
Oxygen Sensors (with AFR option)	Replace at 2000 hours						•		
Ignition Cables: Primary and Secondary Connection	Inspect						•		
Engine Protection Devices (Switch Gages, Over-speed, etc.)	Test and Calibrate						•		
Carburetor	Adjust						•		
Crankcase Pressure	Check						•		
Model 99 Regulator(s)	Adjust						•		
Mooney Regulator(s)	Adjust						•		
Ignition Timing	Check							•	
Oil Strainer Element	Clean							•	
Magnetic Plugs	Clean							•	
Wastegate Vent Plug	Inspect/Clean							•	
Valve Clearance	Adjust							•	
Spark Plugs	Replace							•	
Oil Filter Seal	Replace							•	
Cylinder Compression	Check							•	
Electric Starter Bearings	Lubricate							•	
Governor-Synchronizer Motor Bearings	Lubricate							•	
Model 99 Regulator Filter	Clean/Replace							•	
Mooney Regulator Filter	Clean/Replace							•	
Water Pump	Inspect							•	
Carburetor Air/Gas Valves	Clean							•	

NOTE: *For oil change intervals, see Section 4.30 Lubrication System Maintenance, Table 4.30-10 Recommended Oil Change Intervals For Engines Receiving Normal Maintenance; Table 4.30-11 Recommended Oil Change Intervals For Engines Receiving Normal Maintenance And Using Gaseous Fuel Containing H₂S; and Table 4.30-12 Duty Cycle Definitions.

MAINTENANCE SCHEDULE

Table 4.60-1 Routine Maintenance Chart (Continued), (Part 3 of 3)

ITEM	SERVICE	DAILY OR AS REQUIRED	250 HOURS	500 HOURS	720 HOURS	1500 HOURS	2500 HOURS	4000 HOURS	8000 HOURS
Carburetor Diaphragm	Inspect							•	
Precleaner Element	Replace							•	
Cooling Water Analysis	Check							•	
Alternator Belts (if equipped)	Inspect								•
Knock Sensors	Inspect								•
Turbocharger	Clean/Inspect								•
Main and Rod Bearings	Inspect								•
Cooling System (Jacket and Auxiliary)	Clean and Flush								•
Cooling System Thermostats	Remove and Test								•
Cooling System Tube Bundle	Clean								•
Crankcase Oil Pickup Screen	Clean								•
Engine Mounting and Alignment	Check								•
Exhaust Back Pressure	Check								•
Fuel Flow Filter Relief Valve	Inspect								•
Throttle Actuator Linkage	Inspect, Lubricate, Test (as needed)								•
High Tension Wires	Replace								•
ESM System Wiring	Inspect Wiring/Harnesses, Secure Connections, Check Ground Connections, Verify Incoming Power Is Within Specification								•
Stepper (with AFR option)	Inspect, Clean, Lubricate, Test								•
Ignition Primary Terminals, Harness Plug	Inspect								•
IPM-D Timing Disc Magnets	Clean/Inspect								•
Jacket Water Hoses	Replace								•
Oil Hoses	Replace								•
Oil Pan	Clean								•
Vibration Damper Capscrews	Retorque								•
Intercooler	Clean/Inspect								•
Carburetor Gasket	Replace								•
Carburetor Air/Gas Valve	Replace								•
Belts (Engine)	Replace								•
Carburetor Diaphragm	Replace								•
Crankcase Pressure Relief Valves	Inspect								•
Ignition Coils	Inspect								•
Ignition Primary Terminals, Connections, Harness Plug, and Wires	Inspect								•
Wastegate	Rebuild								•

NOTE: *For oil change intervals, see Section 4.30 Lubrication System Maintenance, Table 4.30-10 Recommended Oil Change Intervals For Engines Receiving Normal Maintenance; Table 4.30-11 Recommended Oil Change Intervals For Engines Receiving Normal Maintenance And Using Gaseous Fuel Containing H₂S; and Table 4.30-12 Duty Cycle Definitions.

Compressor:

Daily Maintenance

1. Log and trend the following:
 - Operating RPM, gas pressure and temperatures - determine if the unit is operating within design parameters and expectations.
NOTE: Verify high and low pressure shutdowns are set as close as practical to normal operating conditions. Set points must protect the machine from exceeding compressor limits.
 - Bearing temperatures - if the unit is equipped with main bearing temperature sensors.
 - Frame oil pressure - at operating temperature (190°F (88°C) max. inlet oil temperature), it should be 50 to 60 psig (3.5 to 4.2 barg) at the filter gauges. If pressure falls below 50 psig, shut down the compressor then determine and correct the cause.
 - Frame inlet oil temperature.
 - Oil filter differential pressure - differential pressure exceeding the filter change value indicates a need for a filter change. See filter information plate on top cover or "[Oil Filter](#)" on page 3-16 for procedure.
2. Check frame oil level. It should be about mid-level in the sight glass and free of foam when running. If not, determine and correct the cause. Do not overfill. Check oil makeup tank for sufficient oil supply. For dry sump frames, check the package sump oil level. Do not add oil to the crankcase through the breather hole while the unit runs. This causes oil foaming and unnecessary no-flow shutdowns in the force feed lubrication system.
3. Check force feed lubricator box oil level. It should be full to the overflow line.
4. Log and trend packing vent temperature and check crosshead guide vents for leakage.
5. If applicable, check suction valve unloader actuator vents for leakage.
6. If applicable, check clearance pocket vents for leakage.
7. Verify the high discharge gas temperature shutdown is set to within 10% or as close as practical above the normal operating discharge temperature. Do not exceed the maximum discharge temperature shutdown setting for the application.
8. Log and trend valve cap temperatures.
9. Check lubricator block cycle time. See lubricator box data plate for correct cycle time. Contaminated gas may require a shorter cycle time. Check lube sheet for units not running at rated speed.
10. Check for gas, oil, and coolant leaks.

CAUTION: Do not attempt to repair leaks while the unit is operating or pressurized.

11. Check for unusual noises or vibrations.
12. See packager documentation for additional recommended checks, i.e. scrubber liquid levels, dump valve operation, cooler louver positions, etc.

Monthly Maintenance

1. Perform all Daily maintenance.
2. Verify safety shutdown functionality.
3. Sample frame oil and send it to a reputable lubricant lab for analysis. See [ER-56.06](#) for a list of what an oil analysis should provide. If analysis results indicate increasing levels of lead, tin, or copper particles in the oil, shut down unit. Remove frame top cover and crosshead guide side covers.

Six-Month (4,000-Hour) Maintenance

1. Perform all Daily and Monthly maintenance.
2. Shut down unit and allow sufficient time for components to cool.
3. Drain and replace force feed lubricator box oil.
4. Clean sintered element in the small oil filter on the force feed lubrication system now or at every main oil filter change. Use a suitable solvent.
5. Change oil filter. See top cover filter information plate or "[Oil Filter](#)" on page 3-16 for procedure).
NOTE: On replaceable element style filters, drain the canister completely before removing the element.
NOTE: Replaceable filter elements have a finite shelf life. Check the "Install by" date on the filter element before installation. Inspect elements for cleanliness and damage. Do not install dirty or damaged elements.
6. Change oil. Extremely dirty environments, oil supplier recommendations, or oil analysis may dictate a different oil change interval. Follow these steps:
 - a. Drain oil from frame, associated piping, and oil cooler.
 - b. Clean oil strainer with a suitable solvent. In dry sump applications, the strainer is located at the oil reservoir.
 - c. Remove frame top cover and crosshead guide side covers. Visually inspect for debris. Do not disassemble further without good reason. If debris indicates, replace affected parts, then change the oil filter and clean the strainer with a suitable solvent.
 - d. Refill frame with fresh, clean oil.
7. Check cylinder lubrication. See "[Cylinder Lubrication Paper Test](#)" on page 3-31 for procedure.
8. Re-tighten hold down fasteners to proper torque. Inspect for frame twist or bending to verify main bearing bore alignment. See Ariel document [ER-82](#) for flatness and soft foot requirements.
9. Perform a coupling alignment (see "[Initial Maintenance](#)" above).

One-Year (8,000-Hour) Maintenance

1. Perform all Daily, Monthly, and Six-Month maintenance.
2. Grease VVCP stem threads at grease fitting, with 2 to 3 pumps of multi-purpose grease using a standard hand pump grease gun. Turn VVCP adjustment handle all the way in and all the way out to lubricate the threads. Measure or count turns to return the handle to its original position.
3. Open force feed lubricator box and visually inspect pump followers, cams, and gears for wear.
4. Pressure test distribution blocks. See "[Divider Valve Bypass Pressure Test](#)" on page 3-23 for procedure.
5. Measure, log, and trend the following:
 - Main bearing, connecting rod bearing, and crankshaft jack and thrust clearances. See [page 4-38](#) and [page 4-43](#)**NOTE: Clearance trends along with oil analysis and crankcase visual inspection can indicate the need for bearing replacement. Contact Ariel for original assembly clearances.**

- Crosshead to guide clearances.
- Piston rod run out. See "[Piston Rod Runout](#)" on page 4-19

If any of the above items are outside limits listed in [Appendix B](#), replace the affected parts.

- Remove valves and valve gaskets:
 - Visually inspect valve pockets for damage. Verify all old valve seat gaskets are removed.
 - Have a qualified valve repair shop disassemble, visually inspect, and refurbish the valves where needed. Provide the valve repair shop an Ariel torque chart and valve service guide.
 - Visually inspect cylinder gas passages and clean them of all debris.
- If applicable, visually inspect suction valve unloader actuator stems for damage or wear. Visually inspect stem seals for damage or wear and confirm that the actuator moves freely.
- If applicable, visually inspect pneumatic clearance pockets for damage or wear (seating surface and stems/stem seals). Confirm that actuator moves freely.
- Inspect cylinder bores for damage or wear. Replace the cylinder body or restore the bore if any of the following conditions exist:
 - Bore surface blemishes or gouges.
 - Bore out of round more than 0.001 inch per inch of bore diameter (0.001 mm/mm) or tapered.
- Inspect piston rings and wearband:
 - Measure and log piston ring condition, end gap, and side clearance.
 - Replace rings that are damaged or outside limits listed in [Appendix B](#).
 - When replacing rings, re-measure and log ring side clearance to check for groove wear.
 - Measure and log radial projection of wear band.
- Inspect piston rods for damage and excessive wear. Replace rod if any of these conditions exist:
 - Gouges or scratches on the rod.
 - Under size more than 0.005 inch (0.13 mm).
 - Out of round more than 0.001 inch (0.03 mm) per inch of rod diameter.
 - Tapered more than 0.002 inch (0.05 mm) per inch of rod diameter.
- Rebuild piston rod pressure packing cases. See "[Piston Rod Packing](#)" on page 4-21 for procedure.
- Re-install valves, retainers, and valve caps using new valve gaskets and valve cap o-rings/seals. Use proper installation techniques and torque procedures for valve caps.
- Check and re-calibrate all required instrumentation.
- Clean crankcase breather filter with suitable solvent.
- Check and, if needed, adjust drive chains. See "[Chain Adjustment](#)" on page 4-49 for procedure.
- If the compressor is equipped with crankcase over-pressure relief valves, visually inspect and exercise valves to manufacturer recommendations.
- Check fastener torques of gas nozzle flange, valve cap, piston rod packing, crosshead pin through bolt, crosshead guide to frame, crosshead guide to cylinder, cylinder mounting flange to forged steel cylinder, distance piece to cylinder, distance piece to crosshead guide, and tandem cylinder to cylinder.

Two-Year (16,000-Hour) Maintenance

- Perform all Daily, Monthly, Six-Month, and One-Year maintenance.
- Rebuild oil wiper cases.

3. If applicable, use new piston and stem seals to rebuild actuators on suction valve unloaders and fixed volume pneumatic pockets. Replace piston stem assemblies where stem is damaged or worn.
4. Check auxiliary end chain drive for undercut sprocket teeth and chain for excessive stretching. Replace as required.

Three-Year (24,000-Hour) Maintenance

1. Perform all Daily, Monthly, Six-Month, and One-Year maintenance.
2. Replace non-ELP connecting rod bearings for JGE:T:C:D:F:U:Z:B:V and KBB:V models. See ["Connecting Rods" on page 4-32](#) and ["Crankshaft" on page 4-41](#).

NOTE: Main and connecting rod bearing wear and replacement intervals are heavily dependent on many factors including speed, load, oil temperature, oil cleanliness, and oil quality. Depending on the severity of service, the bearing maintenance interval may be longer or shorter.

Four-Year (32,000-Hour) Maintenance

1. Perform all Daily, Monthly, Six-Month, One-Year, and Two-Year maintenance.
2. Remove crosshead pins. Measure and log crosshead pin to crosshead pin bore and connecting rod bushing bore clearances. Check the crosshead pin end caps and through bolt for wear. Replace if needed.
3. Check for bushing wear in the auxiliary end drive chain tightener.
4. Check for ring groove wear in pistons.

Six-Year (48,000-Hour) Maintenance

1. Perform all Daily, Monthly, Six-Month, One-Year, Two-Year, and Three-Year maintenance.
2. Replace lubricator distribution blocks.
3. Replace crosshead and connecting rod bushings. See ["Crossheads" on page 4-28](#) and ["Connecting Rods" on page 4-32](#).
4. Replace connecting rod bearings. See ["Connecting Rods" on page 4-32](#).
5. Replace main bearings. See ["Crankshaft" on page 4-41](#).

Cooler:

3.0 MAINTENANCE

3.1 PERIODIC INSPECTION

3.1.1 PURPOSE

Fan failure is most likely the result of destructive repetitive stress acting over a period of time. These stresses may be caused by mechanical abuse, e.g. rough gears or drive shaft imbalance, or by aerodynamic abuse such as blade overload or abnormal flow conditions. Fortunately, these stresses manifest themselves in typical ways that may easily be detected on inspection if one knows what to look for. The purpose of this section of this manual is to describe the symptoms of potentially damaging mechanical problems and how they can be corrected. Aerodynamic abuses are covered in Section 4.0 Operation.

3.1.2 FREQUENCY OF INSPECTION

The frequency of inspection varies widely in accordance with the severity of service and a suitable inspection schedule should be developed with experience over time. During the first week of operation, at least one inspection should be made. At these initial inspections, in addition to the items listed below, check all nuts for tightness to make certain that all were tightened properly at installation. Take care not to exceed the stated torque limits. Following the first week, it is probable that inspections of the fan need be made no more frequently than inspection of the drive.

3.1.3 BLADE ANGLE AND RUNNING POSITION

Turn off the unit and watch the blade tips. A looseness in the clamp bolt will permit a blade to flatten in angle. This usually can be detected by looking at the tips of the blades while the fan is slowing down. At the same time, before the unit comes to a complete stop, watch the track of the blade tips to see that all blades move to the same operating position. If one or more blades is at a substantially different position than the other blades, or if all of the blades are at a different position than at the last inspection, investigate further. This condition may be caused by a damaged resilient mount, requiring blade replacement.

3.1.4 CRACKS, DENTS AND CORROSION

Skin cracking may be caused by the tips dragging on the fan ring, or it may be the result of long-term fatigue due to continued operation under conditions of vibration or unbalance as discussed in Section 3.3 which follows. Skin cracking can also be caused by continued operation under overload conditions as discussed in Section 4.3 Causes of Blade Overload.

Cracking in air seals can occur if the airseal has been improperly installed. See Section 2.2. Check to be sure the resilient washers are present and the nuts properly tightened.

The fatigue strength of materials, whether metal or plastic, may be lowered by long-term exposure to water.

Dents in blades are caused by objects falling into the fan or the fan striking some obstacle. Minor dents may sometimes be repaired by drilling a small hole in the center of the dent and pulling outward on the blade skin. Blades may be ordered from the factory for replacement. If there is any evidence of this type of damage, the hub should be carefully inspected as discussed in Section 3.1.6 which follows.

The Type 5052 aluminum, a marine alloy, used as the blade material on Moore fans works well with either fresh or sea water. Waters that are acid, alkaline, or contain copper salts, however, should be avoided for all aluminum alloys. If you have questions regarding the suitability of the fan materials under certain water conditions, please contact the factory.

3.1.5 HUB INSPECTION

If damage to the fan has occurred, the hub should be carefully inspected since subtle damage may have been caused that is not readily apparent. Check the hub for any sign of bending or twisting of the hub tubes. Hub tubes cannot be replaced in the field on manual fans and a new hub should be ordered.

Bushings are frequently cracked during a fan wreck and should be carefully inspected. Damage may occur to the studs that attach the hub to the bushing. It is a good idea to replace the studs when replacing a damaged fan blade.



As with any industrial equipment, before entry into fan chamber, strict adherence to ALL Lock-out/Tag-out procedures is well advised!

3.2 ANNUAL INSPECTION

3.2.1 CLEAN BLADES IF INDICATED

A smooth blade surface is essential for efficient fan performance. If an incrustation forms on the blades it should be removed. Use steel wool as an abrasive along with a mild detergent or a very mild form of solvent. Lye must not be used because it attacks aluminum readily.

3.2.2 CHECK SYSTEM PRESSURE

Radiator sections may be effected by the accumulation of dust and dirt in some atmospheres. (Cottonwood seeds are particularly troubling.) These accumulations may significantly increase the static pressure. Adjust the blade angle if necessary as described in Section 4.4 Checking Blade Load.

3.2.3 CLOSE INSPECTION

The yearly inspection should be a very thorough one. All nuts and bolts should be checked and careful scrutiny given to all highly stressed areas.

Inspect the resilient mounts as follows: With the fan turned off, grasp each blade and feel for looseness at the mount. If in doubt, the blade should be removed and the mount assembly visually inspected. Wear is indicated by a fretting effect and the resilient mount material will show signs of extruding from the cavity. If these indications are not apparent, replace the blade and continue normal operations.

Inspect the blade tips for any signs of cracking and the fan ring for any scoring that might indicate that the blades have been striking or rubbing against the fan ring.

3.3 VIBRATION AND UNBALANCE

3.3.1 GENERAL

No piece of rotating equipment is perfectly balanced. It is always possible that the minute unbalances of the various components may combine to provide a noticeable lack of balance. This rarely occurs, since it is unlikely that all unbalanced components will become assembled with their heavy sides in the same direction. Nevertheless, if unbalance is noted, the various components should be rotated into different positions to see if this might cure the unbalanced condition.

If vibration or unbalance occur, either at the time of installation or later during the operation of the unit, its cause may be determined by following the directions below.

3.3.2 FAN UNBALANCE

Vibration is most likely to be caused by the fan if the blades are not set at the same angle. If the blades are properly set, the fan is the least likely cause of vibration. All fan components are balanced to within ± 0.2 ft-lbs.

If the fan is in an unbalanced condition, the frequency of vibration of the structure will be that of the RPM of the fan and is quite low. In the case of large fans, the frequency is often low enough to be mentally counted along with the rotation of the fan. A vibration of 500 RPM or less will be felt as a weave in the structure rather than a vibration. Below 400 RPM, the vibration may be mentally counted and above that point may be read with a frequency meter.

Before assuming fan unbalance, check for loose bearing seats or bearings journaling the shaft on which the fan is mounted. This condition will cause the shaft to rotate eccentrically, throwing the weight of the fan off-center, resulting in unbalance of the frequency of the fan RPM.

After all checks have been made and the fan is still determined to be unbalanced, field balancing may be accomplished as described below in Section 3.3.6.

It should be noted that the loads imposed on the drive shaft and its supporting bearings by fan unbalance

are negligible. A rotating centrifugal load of 100 pounds, due to unbalance, would be extremely objectionable and possibly even damage the structure on which the drive was mounted. By contrast, it would be unlikely that the drive shaft of a fan, of perhaps 25 HP, would be supported on bearings rated less than 2000 or 3000 pounds radial load. For higher horsepower, the bearing capacity would be correspondingly increased. From this it is evident that speed reducer or drive shaft bearing failure could never be caused by moderate or even objectionable fan unbalance.

3.3.3 BELT DRIVE UNITS

The more common causes of vibration in belt drive units are not the drives themselves but the result of shafts that are too flexible or non-rigid supporting members. Vibration can be caused by misalignment of the sheaves or poorly adjusted belt tension. Consult the manufacturer of the drives for information. The quickest way to identify the cause of vibration in belt drive units is to operate the fan with the blades removed.

3.3.4 ROUGH GEARS

Continued operation on rough gears and bearings is almost certain to develop cracks in the blade skins. Rough gears may be of two types:

1. Rough or failed bearings in the drives or gears will result in a high frequency vibration being transmitted into the fan where some areas of the skin will respond to the frequencies applied. Cracks will appear in the blade skin and eventually, in some areas, the skin may actually fall away.

2. The other type of rough gear occurs when the output shaft accelerates and decelerates with each pinion tooth engagement. With a six tooth pinion and a motor speed of 1800 RPM, or 30 cycles per second, this gear misalignment impresses upon the fan a vibrating frequency of $30 \times 6 = 180$ cycles per second. If the engagement of teeth is also included, the frequency is 360 cycles per second. This type of high frequency vibration is at least as serious as that caused by bad bearings.

Anexo C. Ubicaciones técnicas de unidades de compresión

TGI-CMP-CPADU		ESTACION DE COMPRESION PADUA
TGI-CMP-CPADU-SCG-UC1		UNIDAD COMPRESORA 1
10006479	MOTOR U1 MOT-001	
10006480	COMPRESOR U1 COMP-001	
10006481	COOLER U1 COOL-001	
10006482	VALVULA SUCCION U1 SHUTDOWN FV-102	
10006483	VALVULA SUCCION U1 BYPASS FV-101	
10006484	TRANSMISOR PRESION SUCCION U1 PIT-104	
10006485	INDICADOR DE PRESIÓN PI-102	
10006486	TRANSMISOR PRESION DESCARGA U1 PIT-200	
10006487	TRANSMISOR TEMPERATURA DESCAR U1 TIT-200	
10006488	INDICADOR DE TEMPERATURA TI-200	
10006489	VALVULA CHEQUE DE DESCARGA CK-200	
10006491	TUBERIA SUCCION U1 8"	
10006492	TUBERIA DE DESCARGA U1 8"	
10006493	SCRUBBER DE SUCCION 1 UNIDAD 1 SC1-U1	
10006494	SCRUBBER DE SUCCION 2 UNIDAD 1 SC2-U1	
10006495	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO DERECH	
10006496	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO IZQUIE	
10006497	BOTELLA PULSACIÓN DESCARGA LADO DERECHO	
10006498	BOTELLA PULSACION DESCARGA LADO IZQUIERD	
10011981	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE ANTES REGU	
10011982	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE DESPU REGU	
10011983	VALVULA ALIVIO PSV GAS ARRANQUE	
10011984	VALVULA ALIVIO PSV SUCCION	
10011985	VALVULA ALIVIO PSV DESCARGA	
TGI-CMP-CPADU-SCG-UC2		UNIDAD COMPRESORA 2
10006499	MOTOR U2 MOT-002	
10006500	COMPRESOR U2 COMP-002	
10006501	COOLER U2 COOL-002	
10006502	VALVULA SUCCION U2 SHUTDOWN FV-104	
10006503	VALVULA SUCCION U2 BYPASS FV-103	
10006504	TRANSMISOR PRESION SUCCION U2 PIT-105	
10006505	INDICADOR DE PRESIÓN PI-103	
10006506	TRANSMISOR PRESION DESCARGA U2 PIT-201	
10006507	TRANSMISOR TEMPERATURA DESCAR U2 TIT-201	
10006508	INDICADOR DE TEMPERATURA TI-201	
10006509	VALVULA CHEQUE DESCARGA U2 CK 201	
10006511	TUBERIA SUCCION U2 8"	
10006512	TUBERIA DE DESCARGA U2 8"	
10006513	SCRUBBER DE SUCCION 1 UNIDAD 2 SC1-U2	
10006514	SCRUBBER DE SUCCION 2 UNIDAD 2 SC2-U2	
10006515	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO DERECH	
10006516	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO IZQUIE	
10006517	BOTELLA PULSACIÓN DESCARGA LADO DERECHO	
10006518	BOTELLA PULSACION DESCARGA LADO IZQUIERD	
10011986	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE ANTES REGU	
10011987	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE DESPU REGU	
10011988	VALVULA ALIVIO PSV GAS ARRANQUE	
10011989	VALVULA ALIVIO PSV SUCCION	
10011990	VALVULA ALIVIO PSV DESCARGA	
TGI-CMP-CPADU-SCG-UC3		UNIDAD COMPRESORA 3
10006519	MOTOR U3 MOT-003	
10006520	COMPRESOR U3 COMP-003	
10006521	COOLER U3 COOL-003	
10006522	VALVULA SUCCION U3 SHUTDOWN FV-106	
10006523	VALVULA SUCCION U3 BYPASSFV-105	
10006524	TRANSMISOR PRESION SUCCION U3 PIT-106	
10006525	INDICADOR DE PRESIÓN PI-104	
10006526	TRANSMISOR PRESION DESCARGA U3 PIT-202	
10006527	TRANSMISOR TEMPERATURA DESCAR U3 TIT-202	
10006528	INDICADOR DE TEMPERATURA TI-202	
10006529	VALVULA CHEQUE DESCARGA U3 CK 201	
10006531	TUBERIA SUCCION U3 8"	
10006532	TUBERIA DE DESCARGA U3 8"	
10006533	SCRUBBER DE SUCCION 1 UNIDAD 3 SC1-U3	
10006534	SCRUBBER DE SUCCION 2 UNIDAD 3 SC2-U3	
10006535	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO DERECH	
10006536	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO IZQUIE	
10006537	BOTELLA PULSACIÓN DESCARGA LADO DERECHO	
10006538	BOTELLA PULSACION DESCARGA LADO IZQUIERD	
10011991	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE ANTES REGU	
10011992	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE DESPU REGU	
10011993	VALVULA ALIVIO PSV GAS ARRANQUE	
10011994	VALVULA ALIVIO PSV SUCCION	
10011995	VALVULA ALIVIO PSV DESCARGA	

TGI-CMP-CPADU		ESTACION DE COMPRESION PADUA	
	TGI-CMP-CPADU-SCG-UC4		UNIDAD COMPRESORA 4
	10006539	MOTOR U4 MOT-004	
	10006540	COMPRESOR U4 COMP-004	
	10006541	COOLER U4 COOL-004	
	10006542	VALVULA SUCCION U4 SHUTDOWN FV-108	
	10006543	VALVULA SUCCION U4 BYPASS FV-107	
	10006544	TRANSMISOR PRESION SUCCION U4 PIT-107	
	10006545	INDICADOR DE PRESIÓN PI-105	
	10006546	TRANSMISOR PRESION DESCARGA U4 PIT-203	
	10006547	TRANSMISOR TEMPERATURA DESCAR U4 TIT-203	
	10006548	TRANSMISOR DE TEMPERATURA TI-203	
	10006549	VALVULA CHEQUE DESCARGA U4 CK 203	
	10006551	TUBERIA SUCCION U4 8"	
	10006552	TUBERIA DE DESCARGA U4 8"	
	10006553	SCRUBBER DE SUCCION 1 UNIDAD 4 SC1-U4	
	10006554	SCRUBBER DE SUCCION 2 UNIDAD 4 SC2-U4	
	10006555	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO DERECH	
	10006556	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO IZQUIE	
	10006557	BOTELLA PULSACIÓN DESCARGA LADO DERECHO	
	10006558	BOTELLA PULSACION DESCARGA LADO IZQUIERD	
	10011996	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE ANTES REGU	
	10011997	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE DESPU REGU	
	10011998	VALVULA ALIVIO PSV GAS ARRANQUE	
	10011999	VALVULA ALIVIO PSV SUCCION	
	10012000	VALVULA ALIVIO PSV DESCARGA	
	TGI-CMP-CPADU-SCG-UC5		UNIDAD COMPRESORA 5
	10006559	MOTOR U5 MOT-005	
	10006560	COMPRESOR U5 COMP-005	
	10006561	COOLER U5 COOL-005	
	10006562	VALVULA SUCCION U5 SHUTDOWN FV-110	
	10006563	VALVULA SUCCION U5 BYPASS FV-109	
	10006564	TRANSMISOR PRESION SUCCION U4 PIT-108	
	10006565	INDICADOR DE PRESIÓN PI-106	
	10006566	TRANSMISOR PRESION DESCARGA U5 PIT-204	
	10006567	TRANSMISOR TEMPERATURA DESCAR U5 TIT-204	
	10006568	INDICADOR DE TEMPERATURA TI-204	
	10006569	VALVULA CHEQUE DESCARGA U5 CK 204	
	10006571	TUBERIA SUCCION U5 8"	
	10006572	TUBERIA DE DESCARGA U5 8"	
	10006573	SCRUBBER DE SUCCION 1 UNIDAD 5 SC1-U5	
	10006574	SCRUBBER DE SUCCION 2 UNIDAD 5 SC2-U5	
	10006575	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO DERECH	
	10006576	BOTELLA DE PULSACIÓN SUCCION LADO IZQUIE	
	10006577	BOTELLA PULSACIÓN DESCARGA LADO DERECHO	
	10006578	BOTELLA PULSACION DESCARGA LADO IZQUIERD	
	10012001	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE ANTES REGU	
	10012002	VALV. ALIVIO GAS COMBUSTIBLE DESPU REGU	
	10012003	VALVULA ALIVIO PSV GAS ARRANQUE	
	10012004	VALVULA ALIVIO PSV SUCCION	
	10012005	VALVULA ALIVIO PSV DESCARGA	

Anexo D. Árbol del sistema y subsistemas de unidades de compresión

Figura 1. Árbol de los sistemas de las unidades de compresión

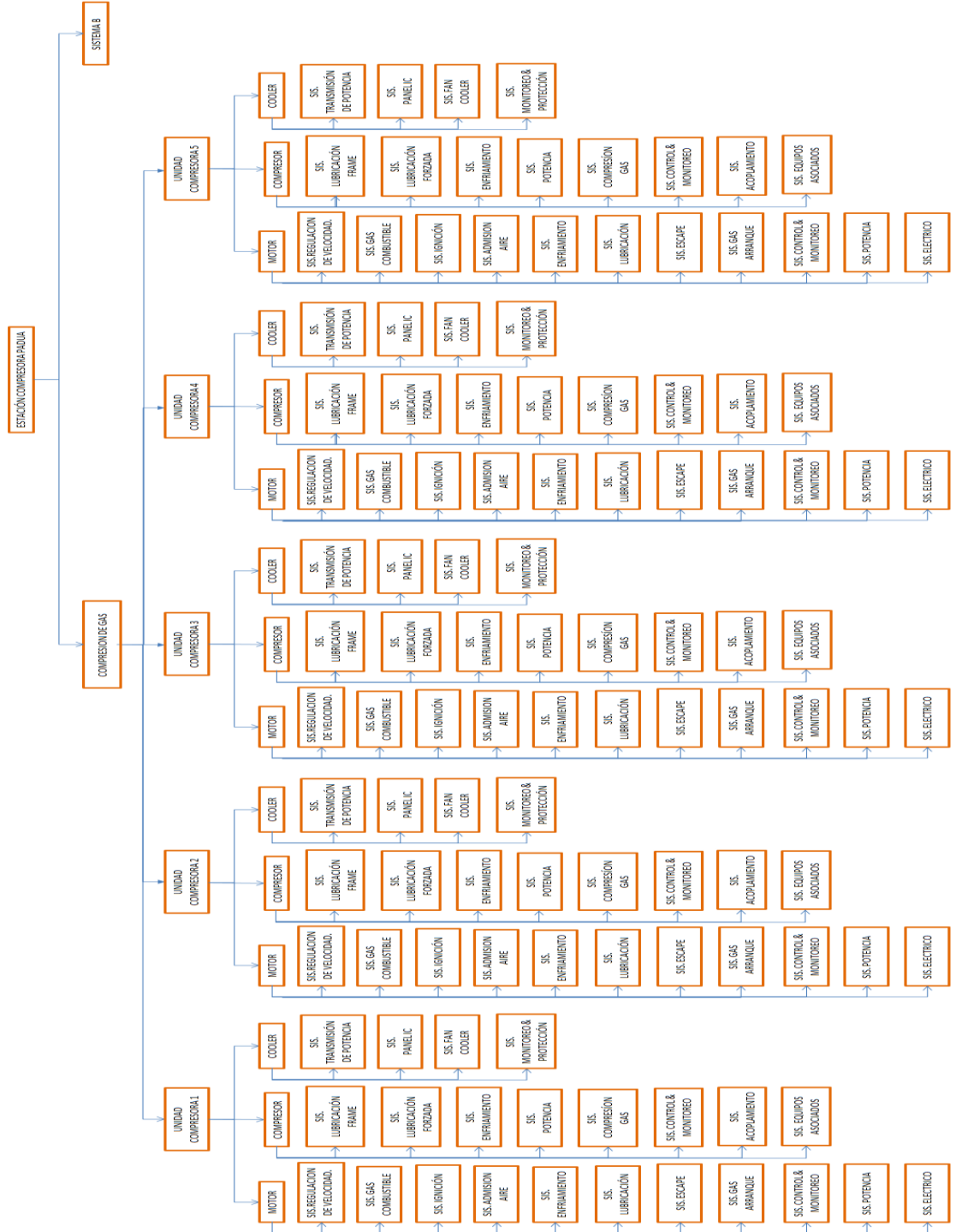


Figura 2. Árbol de los ítems mantenibles del motor

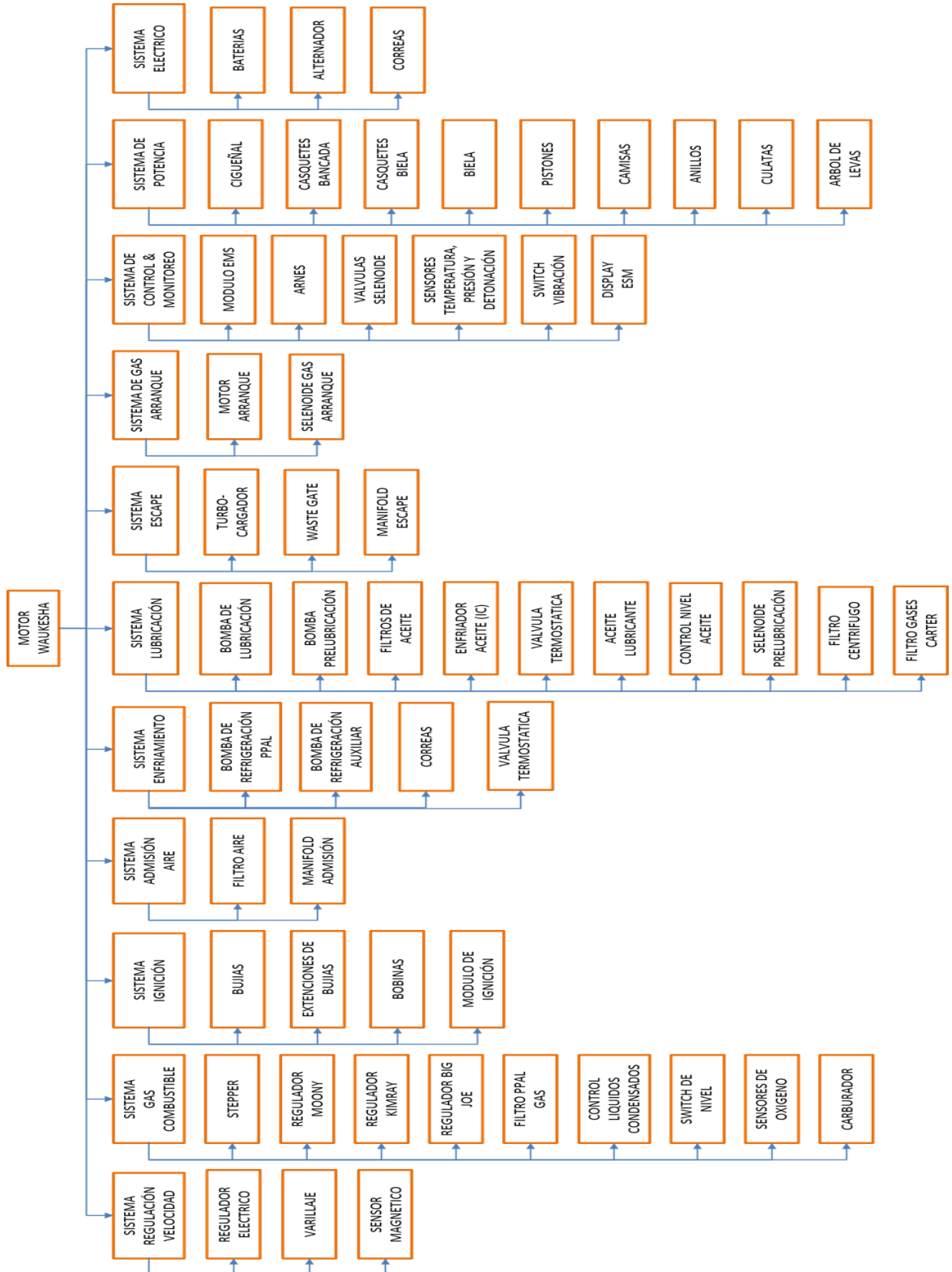


Figura 3. Árbol de los ítems mantenibles del compresor

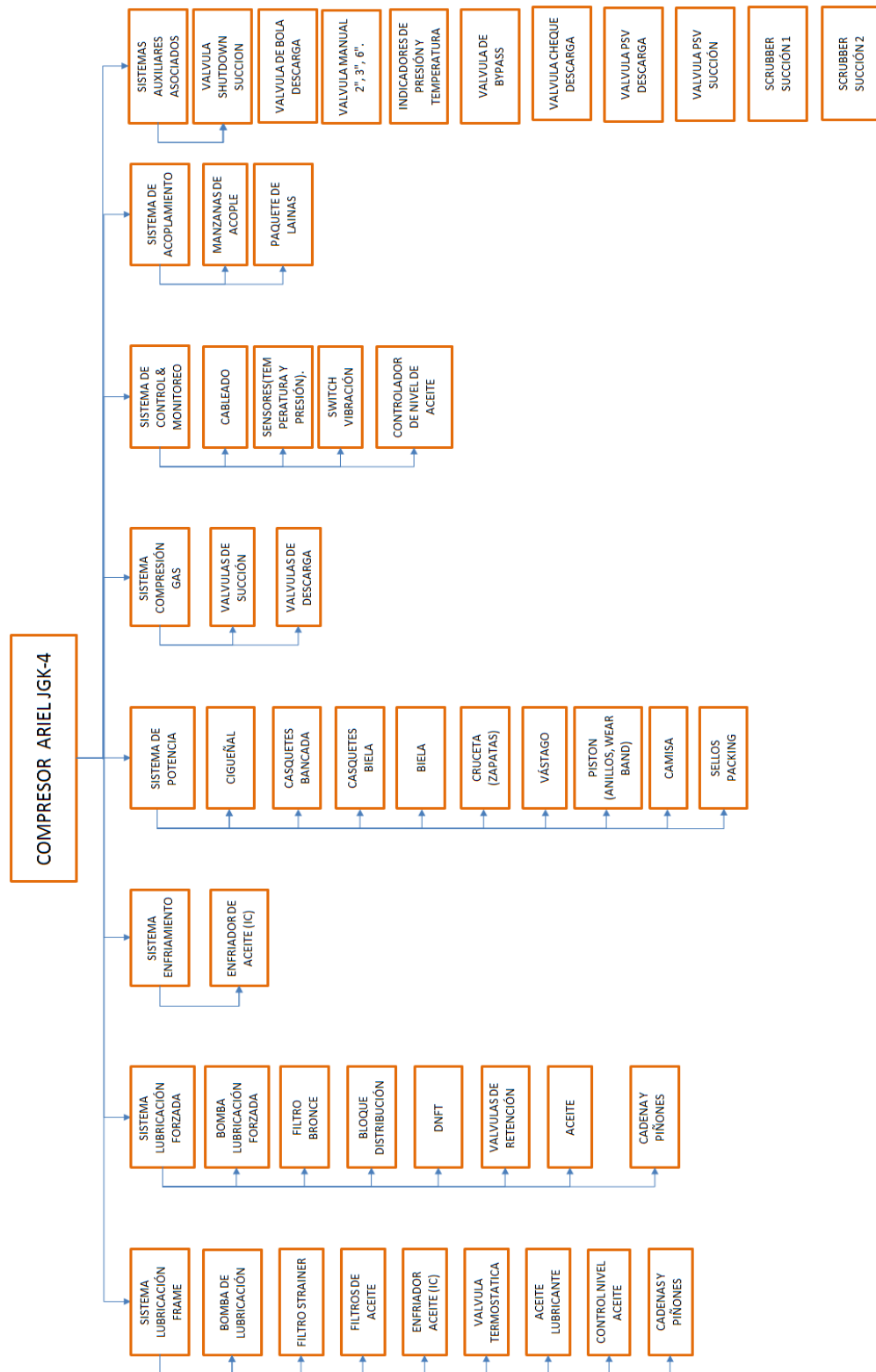
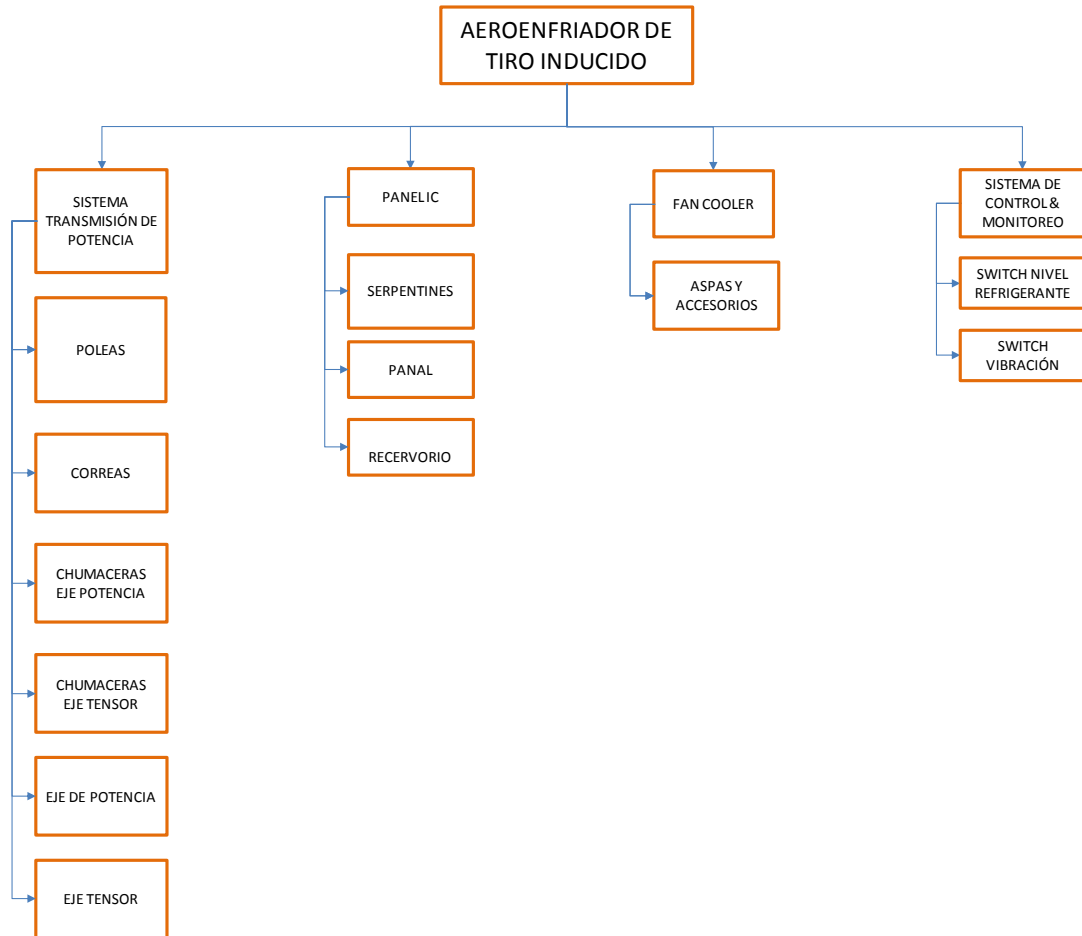


Figura 4. Árbol de los ítems mantenibles del enfriador



Anexo E. Definición de funciones

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES
MOTOR COMBUSTIÓN INTERNA	<p>Marca: Waukesha Modelo: L7044 GSI Serial: 5283700118 @ 1680 HP 5283700176 @ 1680 HP 5283700106 @ 1680 HP 5283700180 @ 1680 HP 5283700183 @ 1680 HP</p> <p>Velocidad de operación: 700/1200 rpm 12 Cilindros V. Giro: CCW, visto desde el volante Combustión rica (estequiometrica).</p>	<p>Temp. aceite: max. 180 ± 5 °F Pres. aceite: 55 ± 5 PSI Temp. refrigerante: Max 190 ° F Pres. combustible: 24-50 psi Pres. aire arranque 150 psi Operación 3 semanas al mes.</p>	<p>Altitud: 2100 msnm. Presión Atm: 1526 PSIA Temp amb max: 60°F Bajo Shelter.</p>	<p>-Desde Eje de salida potencia a Cooler -Inlet valve Fuel Supply. -Tuberías de escape de gases -Tubería de sistema de refrigeración al aerofriador -Cableado de alimentación de potencia 24V y Control -Skid del motor -Hasta Acople Motor-Compresor</p>	<p>Entrada: *Fuel Gas 24/50 psi *Aire Adm: Temp atms *Aire instrumentos *Refrigerante: ingresa a 50°F *Gas arranque a 150 psi *Aceite lubricante *Señales Ctrl *Alimentación 24 V Señales Salida: *Potencia a compresor Ariel: 1680 HP *Refrigerante: sale 127°F *Señales Ctrl *Gases de escape</p>
COMPRESOR RECIPROCANTE	<p>Marca: ARIEL Modelo: JGK-4 Serial: Unidad 1: F-28825 @ 2540 HP Unidad 2: F-31561 @ 2540 HP Unidad 3: F-29720 @ 2540 HP Unidad 4: F-31565 @ 2540 HP Unidad 5: F-32223 @ 2540 HP</p> <p>Velocidad de operación: 1200 rpm Etapas compresión: 1 Cilindros: 4. Giro: CCW, visto desde el lado libre</p>	<p>Temp. aceite: 150/190 °F Pres. aceite: 55 ± 5 PSI Temp. Succión: 55 ° F Pres. Succión: 400/970 PSI Temp. Descarga: Max 120 ° F Pres. Descarga: 700/1250 PSI Flujo máx.. Estación: 260.000 KPCD Operación 3 semanas al mes.</p>	<p>Altitud: 2100 msnm. Presión Atm: 1526 PSIA Temp amb máx.: 60°F Bajo Shelter.</p>	<p>*Desde el acople mecánico. -Instrumentos de control y monitoreo del compresor -Sistemas inmersos en la carcasa del compresor -Cableado de alimentación de Control -Elementos que estén en el Skid del compresor *Hasta las bridas que unen las botellas de succión con el compresor.</p> <p>Se excluyen las tuberías de proceso de gas, las vasijas (serán analizadas con RBI) y válvulas que no están en el skid del compresor (Se analizaran en RCM de sistemas externos a compresoras).</p>	<p>Entrada: *Potencia mecánica *Gas de succión *Aire instrumentos *Refrigerante *Aceite lubricación forzada *Aceite lubricación frame *Señales Ctrl *Alimentación 24 V Señales Salida: *Gas de descarga *Refrigerante *Señales Ctrl *Gas a tea *Aceite lubricación forzada *Drenajes</p>
ENFRIADOR DE TIRO INDUCIDO	<p>Marca: AXH AIR-COOLERS Modelo: 156 EF Serial: VAY0019886</p>	<p>Temp. Aceite in: máx.. 180 ± 5 °F Temp. Refrigerante in: Max 190 ° F Temp. Gas proceso in: Max 180 ° F Temp. Gas proceso out: Max 120 ° F Operación 3 semanas al mes.</p>	<p>Altitud: 2100 msnm. Presión Atm: 1526 PSIA Temp amb máx.: 60°F Bajo Shelter.</p>	<p>-Desde Acople del eje motriz. -Sistema de transmisión de potencia (eje, chumaceras, correas y poleas). -Panel o serpentines. -Aletas con accesorios. -Cableado de alimentación de señales de Control -Instrumentos de control.</p>	<p>Entrada: *Potencia del motor. *Gas proceso de la descarga del compresor. *Aire Succión: Temp atms *Refrigerante caliente del motor. *Señales Ctrl Salida: *Gas proceso enfriado. *Refrigerante enfriado. *Señales Ctrl *Aire caliente de proceso de enfriamiento.</p>

ELEMENTO DE ESTUDIO	FUNCIONES	SUB-UNIDAD	Cód Fun.	FUNCIONES SUB-UNIDAD
MOTOR COMBUSTIÓN INTERNA	<p>*Suministrar potencia (entre 1000 - 1680 BHP entre 700 y 1200 RPM), al Compresor Reciprocante Ariel (Suc: a 600 PSI ; Disch: 1200 PSI).</p> <p>*Suministrar potencia al enfriador de tiro inducido para su funcionamiento.</p> <p>*Variar la velocidad de operación entre 700 @ 1200 rpm.</p> <p>*Mantener emisiones de gases controladas según norma ambiental.</p> <p>*Emisiones de Ruido dentro de parámetros.</p> <p>*Contener el fuel gas, aceite y fluidos refrigerantes dentro de los ductos del sistema.</p> <p>*Proteger el motor por sobrevolocidad (1200 RPM) y baja velocidad (600 RPM)</p>	Sistema de Reg. de velocidad	PDA-S-REG-M REGULAR	Regular la velocidad del motor según requisición de proceso
		Sistema de Gas Combustible	PDA-S-GCO-M INYECTAR	Proporcionar una mezcla aire/combustible en cantidades adecuadas y constante para la combustión a través de todas las variaciones de carga del motor.
		Sistema de Ignición	PDA-S-IGN-GENERAR	Encargado de proporcionar la energía necesaria y sincronizada para generar la chispa de inflamación de la mezcla aire/combustible para inicio de combustión.
		Sistema de Admisión de Aire	PDA-S-ADM-M INYECTAR	Permitir el ingreso de aire necesario para realizar la mezcla de la combustión.
		Sistema de Enfriamiento	PDA-S-ENF- M REFRIGERAR	Mantener los componentes del motor dentro de un rango permisible de temperatura evitando su destrucción.
		Sistema de lubricación	PDA-S-LUB-M BOMBEAR	Llevar el aceite a una presión determinada a las partes lubricadas, con el fin de evitar desgaste, disipar calor, ayuda a sellar, limpiar y amortiguar.
		Sistema de Escape	PDA-S-ESC-M ESCAPE	Libera los gases quemados en la combustión a la atmosfera.
		Sistema de Gas de Arranque	PDA-S-GARR-M ARRANCAR	Proporciona la energía necesaria para vencer y dar suficiente velocidad a la rueda volante para el arranque del motor.
		Sistema de Control & Monitoreo	PDA-S-C&M- M CONTROLAR	Controlar las variables operacionales del motor, además de protegerlo de condiciones anormales que pueden provocar averías graves al mismo.
		Sistema de Potencia	PDA-S-POT-M TRANSMITIR	Convertir la energía térmica en energía mecánica rotacional.
Sistema Electrico	PDA-S-ELE-M GENERAR	Proporciona la energía eléctrica necesaria para generar la chispa y señales eléctricas requeridas.		
COMPRESOR RECIPROCANTE	<p>*Comprimir el gas de proceso que llega a la estación entre 400/900 psi, aumentando la presión entre 700/1250 psi proporcionando la energía necesaria para el transporte por tubería a la próxima estación.</p> <p>*Mantener emisiones de gases a la atmósfera controladas dentro de norma ambiental permisible.</p> <p>*Emisiones de Ruido dentro de parámetros permisibles.</p> <p>*Contener el aceite, gas y fluidos refrigerantes dentro de los ductos del sistema.</p>	Sistema de lubricación Frame	PDA-S-LUB-P-C BOMBEAR	Llevar el aceite a una presión determinada a las partes lubricadas del sistema de potencia (cigüeñal, bielas y crucetas) con el fin de evitar desgaste, disipar calor, ayuda a sellar, limpiar y amortiguar.
		Sistema de lubricación Forzada	PDA-S-LUB-F-C BOMBEAR	Lubricar los cilindros compresores y caja packing, con el fin de evitar desgaste, disipar calor, ayuda a sellar, limpiar.
		Sistema Enfriamiento	PDA-S-ENF- C REFRIGERAR	Mantener el aceite lubricante a una temperatura determinada (entre 150 y 190 °F).
		Sistema Potencia	PDA-S-POT- C TRANSMITIR	Convertir la energía mecánica rotacional transmitida del motor en energía mecánica lineal al compresor.
		Sistema Compresión Gas	PDA-S-COM-C COMPRIMIR	Elevar la presión del gas comprimiéndolo para facilidad de transporte
		Sistema Control & Monitoreo	PDA-S-C&M-C CONTROLAR	Controlar las variables operacionales del compresor, además de protegerlo de condiciones anormales que pueden provocar averías graves al mismo.
		Sistemas auxiliares asociados	PDA-S-EAS-C- PROTECCIÓN	Equipos de corte, suministro, regulación y protección de los fluidos de entrada y salida del compresor
Sistema de Acoplamiento	PDA-S-ACO-C ACOPLAR	Transmitir la potencia generada del equipo conductor al compresor.		
ENFRIADOR DE TIRO INDUCIDO	<p>*Disminuir la temperatura del líquido refrigerante para correcto funcionamiento y protección del motor y compresor.</p> <p>*Disminuir la temperatura del gas de proceso para ser transportado.</p> <p>*Contener el líquido refrigerante y gas de proceso dentro de los ductos del sistema.</p>	Sistema de Transmisión de Potencia	PDA-S-POT-ENF TRANSMITIR	Transmitir la potencia del motor al enfriador para su funcionamiento
		Sistema de Panel (IC)	PDA-S-PAN-ENF CONTENER	Contener los fluidos y permitir la circulación en los ductos para refrigeración
		Sistema de Fan Cooler	PDA-S-FCO-ENF REFRIGERAR	Direccionar e inducir el flujo de aire atmosférico a través del panel.
		Sistema de Control & Monitoreo	PDA-S-C&M- ENF CONTROLAR	Controlar las variables operacionales del aerofriador con sus alarmas respectivas