

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**DETERMINACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS CAUSA EFECTO, EL ORIGEN
DEL ALTO CONSUMO DE ACEITE EN EL TURBOCOMPRESOR T3 DE LA
PLANTA SAN JOAQUÍN II**

REALIZADO POR:

Br. Freddy Javier Morón Aguilar

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

PUERTO LA CRUZ, AGOSTO DE 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**DETERMINACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS CAUSA EFECTO, EL ORIGEN
DEL ALTO CONSUMO DE ACEITE EN EL TURBOCOMPRESOR T3 DE LA
PLANTA SAN JOAQUÍN II**

ASESORES

Prof. Jesús Moreno
Asesor Académico

Ing. Antonio García
Asesor Industrial

PUERTO LA CRUZ, AGOSTO DE 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**DETERMINACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS CAUSA EFECTO, EL ORIGEN
DEL ALTO CONSUMO DE ACEITE EN EL TURBOCOMPRESOR T3 DE LA
PLANTA SAN JOAQUÍN II**

JURADO

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. Jesús Moreno
Asesor Académico

Prof. Lino Camargo
Jurado Principal

Prof. Johnny Martínez
Jurado Principal

PUERTO LA CRUZ, AGOSTO DE 2009

RESOLUCIÓN

Artículo 44

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado de la
Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente
y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo
de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Principalmente a DIOS y a SANTA ELENA por darme la vida y estar presentes en cada uno de los pasos que doy.

A mis padres Fredis Morón y Raíza Aguilar por haberme cuidado toda la vida y hacer de mi la persona que soy hoy en día, gracias por guiarme por el camino del bien, darme cada consejo para en un futuro poder llegar a viejo, enseñarme cada una de las habilidades extracurriculares que me han dado, gracias por todo su amor y dedicar sus vidas a criar y formar a mis hermanos y a mí. Ya tienes tu hijo ingeniero papito lindo, siempre estarás vivo en mi corazón.

A mis hermanos Fernando Morón y Yhilary Morón por ser como son y estar conmigo en todos los momentos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis tías Gasely, Gladis Elena y Zuleikha por todo el apoyo brindado para lograr esta meta. Las quiero mucho.

A mis primas Joselly y Franselly por todos los momentos compartidos. Las quiero mucho.

A la Universidad de Oriente por permitirme estudiar en sus aulas, la casa de estudio más alta del oriente. Sus profesores y empleados.

A Manuel Hernández por ser mi amigo, mi confidente, mi compañero de estudio, por ser esa persona que estuvo dispuesto a apoyarme en las buenas y en las malas. Espero esta amistad se mantenga toda la vida.

A Néstor Rocca y Alex Gómez por todos los momentos compartidos durante nuestra carrera, por su amistad incondicional y sincera.

A Gisela Gómez y Jesús Brito, por ser personas tan especiales y por compartir muchos momentos agradables a lo largo de mi carrera.

A Robert Sánchez, Cesar moreno, José Mago, José A. García, Andreina Cabeza, Krizia Lazzarini, Joauris Villarroel y Valentina Him por la amistad que nos une y cada uno de los momentos compartidos.

A Jeanneiry Rodríguez por toda la colaboración prestada al momento de la impresión de mi tesis.

A Irene Yaselli y Mario Fernández por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, y haber compartido cada uno de los días que duraron mis pasantías. Mil gracias prima.

A la familia Hernández Sánchez por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera y todos los consejos que me dieron. Siempre les estaré agradecido.

A mi tutor académico Jesús Moreno por haberme ayudado a materializar este logro.

A todo el personal que labora en el Departamento de Turbomaquinas de PDVSA Gas Anaco por la oportunidad de desarrollar este trabajo en sus instalaciones.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar mediante análisis causa efecto, el origen del alto consumo de aceite en el turbocompresor T3 de la planta San Joaquín II. Con la finalidad de disminuir los costos de operarios asociados a este equipo y aumentar la confiabilidad del mismo. En primer lugar se analizaron las características de funcionamiento en la que se encuentra el turbocompresor. Seguidamente se identificaron las propiedades del aceite que contiene el equipo y se inspeccionaron los sistemas de aceite de lubricación, aceite de sello y de servoaceite, donde se determinó que los diafragmas de los reguladores de aceite de sello\gas de sello, no soportaban la presencia del inhibidor de corrosión presentes en el gas procesado. Posteriormente, mediante un análisis causa efecto, se esquematizaron las causas que podrían generar un alto consumo de aceite en el turbocompresor y se propusieron opciones que permitan regular el elevado consumo de aceite.

ÍNDICE

	Pag.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE.....	ix
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Generalidades de la empresa	13
1.1.1. Planta compresora San Joaquín II del Distrito Gas Anaco	15
1.1.2. Gerencia de mantenimiento de PDVSA Gas Anaco	17
1.1.3. Sección de equipos dinámicos perteneciente a la gerencia de mantenimiento de PDVSA Gas Anaco	18
1.2. Planteamiento del problema.....	19
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	21
2.1. Antecedentes	21
2.2. Lubricantes.....	22
2.3. Parámetros estudiados en los aceites lubricantes	24
2.4. Análisis de aceite	26
2.5. Condiciones que limitan la vida útil del aceite	27
2.5.1. Degradación del aceite	27
2.5.2. Contaminación del aceite.....	27
2.5.3. Principales elementos contaminantes presentes en el aceite.....	29
2.6. Oxidación y nitración de un aceite lubricante	30
2.7. Límites de contaminación por oxidación, nitración y hollín.....	31

	Pag.
2.8. Medición de partículas de desgastes en aceites lubricantes.....	31
2.8.1. Espectrometría	32
2.9. Turbina de gas	33
2.10. Ciclo brayton	33
2.10.1. Etapas del ciclo Brayton	34
2.11. Secciones de una turbina de gas	36
2.11.1. Productor de gas.....	36
2.11.2. Turbina de potencia	36
2.12. Turbocompresor centauro T- 4500.....	37
2.12.1. Sistemas de aceite del Turbocompresor Centauro T-4500.....	38
2.13. Compresores centrífugos (equipo accionado)	49
2.13.1. Componentes principales de los compresores centrífugos.....	50
2.14. Requisitos que debe cumplir el aceite usado en turbinas de gas.....	59
2.15 Vida de servicio del aceite en turbinas de gas.	61
CAPITULO 3: METODOLOGÍA DEL TRABAJO	62
3.1. Determinación de las condiciones operacionales en las que se encuentra el turbocompresor T3 de planta compresora San Joaquín II.	62
3.2. Identificación de las propiedades del aceite que contiene el turbocompresor T3.....	63
3.2.1. Procedimiento para realizar el análisis de aceite en el Spectriol M64	
3.2.2. Pruebas de las propiedades físico-químicas	66
3.2.3. Análisis del Nivel de limpieza.....	68
3.3. Comprobación de funcionamiento de los componentes de los diversos sistemas de aceite pertenecientes al turbocompresor T3 de la planta San Joaquín II.....	68
3.4. Elaboración de análisis causa efecto para determinar las causas que originan alto consumo de aceite en el turbocompresor T3.....	77

	Pag.
3.4.1. Formación del diagrama Causa-Efecto.....	78
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS	82
4.1. Características de funcionamiento en la que se encuentra el turbocompresor T3.....	82
4.2. Identificación de las propiedades del aceite que contiene el turbocompresor T3.....	86
4.2.1. Análisis de las propiedades fisicoquímicas presente en el aceite Turbolub ISO46	86
4.2.2. Análisis del contenido de partículas que contiene el aceite Turbolub ISO46.	87
4.2.3. Análisis de la viscosidad del aceite Turbolub ISO46.	89
4.2.4. Análisis del nivel de limpieza presente en el aceite del turbocompresor en estudio	91
4.2.5. Análisis SARA.....	92
4.3. Inspección de los componentes de los sistemas de aceite perteneiente al turbocompresor T3	93
4.3.1. Trampas de aceite sello y gas de sello	93
4.3.2. Regulador diferencial de aceite sello y gas de sello	95
4.4. Análisis Causa-Efecto del alto consumo de aceite del turbocompresor T3.....	107
4.4.1 Fallas en tuberías	109
4.4.2 Switch, transmisores y manómetros	109
4.4.3 Fallas en mangueras	110
4.4.4 Fallas en los sellos de carbón.....	110
4.4.5 Fallas de reguladores de aceite sello	110
4.4.6 Fallas en Trampas de aceite Sello.....	110
4.5. Propuestas para regular el consumo de aceite del turbocompresor T3.....	113

	Pag.
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
5.1. Conclusiones.....	114
5.2. Recomendaciones.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	116
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	119

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades de la empresa

El 1° de enero de 1976, nace Petróleos de Venezuela S.A. como la empresa encargada de asumir las funciones de planificación, coordinación y supervisión de la industria petrolera nacional, al concluir el proceso de reversión de las concesiones de hidrocarburos a las compañías extranjeras que operaban en territorio venezolano. El nacimiento de la industria quedó plasmada en el decreto presidencial número 1.123 del 30 de agosto de 1975.

Durante el primer año de operación, PDVSA inició sus acciones con 14 filiales (finalmente serían tres: Lagoven, Maraven y Corpoven) las cuales absorbieron las actividades de las concesionarias que operaban en Venezuela. El 1^o de Enero de 1.999, las filiales de P.D.V.S.A (Corpoven, Maraven, Lagoven), se fusionaron en una sola empresa que ocupó en el ámbito nacional, el manejo de la extracción de petróleo y gas, formándose así la actual P.D.V.S.A Petróleo y Gas, S.A; Filial de P.D.V.S.A. Su sede principal está ubicada en Caracas y sus operacionales más importantes se encuentran ubicadas en Anaco, San Tome, Puerto la Cruz, El Palito, Barinas y Punta de Mata (ver Fig. 1.1). Actualmente PDVSA, está extendiendo sus actividades hacia el denominado flanco sur Andino que comprende las áreas del Estado Apure y este de los Estados Andinos.

En lo que respecta al Distrito Anaco, está localizada en el centro del Estado Anzoátegui, abarcando parte del estado Guárico con una área aproximada de 13400 km².

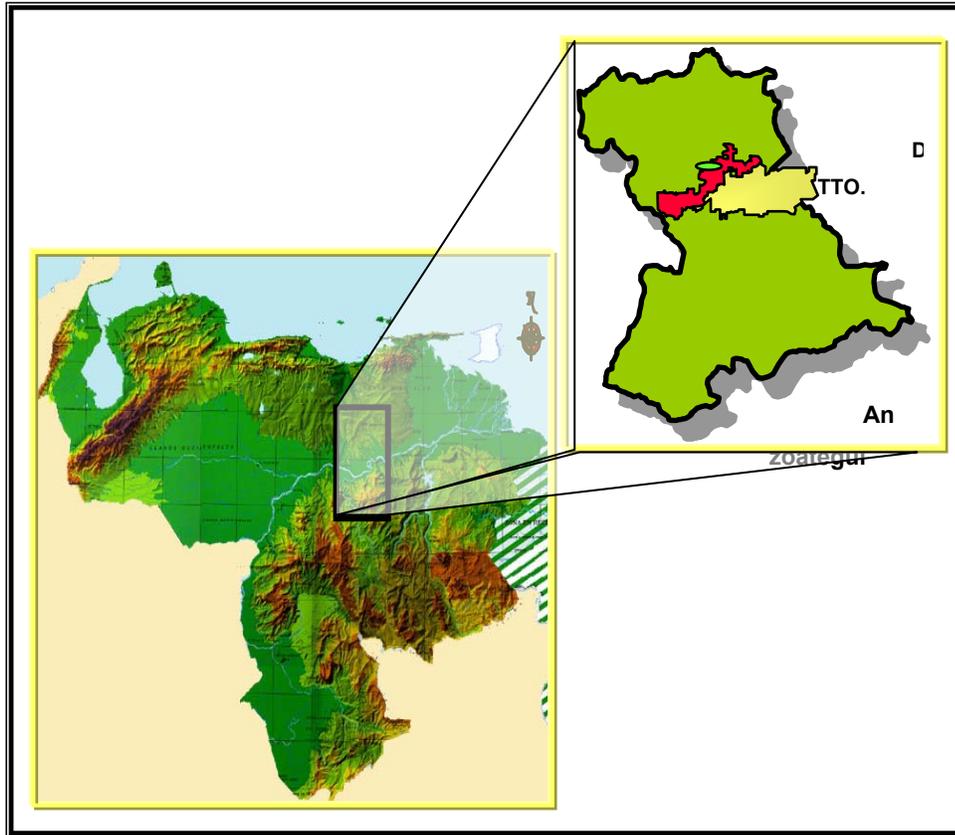


Figura 1.1. Mapa de la Ubicación Geográfica de PDVSA Gas Anaco.

El Distrito Anaco se encuentra ubicado en la parte central del Estado Anzoátegui, abarcando parte de los Estados Guárico y Monagas (Fig. 1.2). Este fue nombrado “Centro Gasífero de Venezuela” en el año 1999, consolidándose progresivamente como el centro de producción y manejo de gas natural para todo el país. Considerado un distrito importante porque en él se encuentran yacimientos productores de hidrocarburos y las mayores reservas de gas en tierra del país. Está conformado por dos extensas áreas de explotación que son la unidad de producción Área Mayor Anaco (A.M.A.), y la unidad de producción Área Mayor Oficina (A.M.O.). Este gas es entregado a la Gerencia de Manejo de Gas para su distribución como gas

industrial y doméstico, y gas para procesamiento y extracción del líquido de gas natural (LGN) [1].



Figura 1.2. Ubicación geográfica y descripción del Distrito Gas Anaco.

1.1.1. Planta compresora San Joaquín II del Distrito Gas Anaco

La Planta Compresora San Joaquín II, se encuentra ubicada al Sur del Estado Anzoátegui en el Municipio Anaco, a 13 km de la ciudad de Anaco, en dirección oeste como se muestra en la Fig. 1.3.

1.1.1.1. Fuentes de recolección y descarga, Planta San Joaquín II

La Planta Compresora San Joaquín II succiona las corrientes provenientes del sistema de recolección de baja de los campos San Joaquín, Guario y El Roble. La planta eleva las presiones desde los niveles de 413 kPa y 3102 kPa hasta 8273 kPa (60 y 450 psig hasta 1200 psig), y luego el gas es enviado hacia la Planta de Extracción San Joaquín donde es procesado [2].

1.1.2. Gerencia de mantenimiento de PDVSA Gas Anaco

La Gerencia de Mantenimiento tiene como propósito satisfacer las necesidades de mantenimiento de las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos de PDVSA Producción Gas Anaco, brindando eficaz y oportuna respuesta a las solicitudes de los clientes, prestando servicio de calidad que garanticen la continuidad operativa de las instalaciones, mediante el cumplimiento de especificaciones, normas aplicables, verificación de cada proceso en ejecución, capacitación del recurso humano y mejora continua de los procesos de la organización.

1.1.2.1. Misión

Ser una organización dedicada al servicio de mantenimiento para preservar la función de las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos industriales de PDVSA Producción Gas Anaco, mediante el establecimiento y control de planes, que garanticen la continuidad operacional, cumpliendo con los estándares, leyes, normas y procedimientos vigentes y alineados con los principios, valores y políticas de la corporación.

1.1.2.2 Visión

Ser reconocida en el año 2012 como una organización, eficiente y efectiva, que aplica la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

1.1.3. Sección de equipos dinámicos perteneciente a la gerencia de mantenimiento de PDVSA Gas Anaco

Pertenece a la superintendencia de mantenimiento mayor y es de gran importancia porque es el responsable de mantener operativos los equipos turbocompresores, para así brindar apoyo al departamento de manejo de gas con la finalidad de satisfacer las necesidades del mismo. Es su responsabilidad ejecutar los planes y programas de mantenimiento preventivo y correctivo niveles I, II y III de las turbinas de manejo de gas. Promover y supervisar el cumplimiento de programas SHA que garanticen la integridad física del personal y de las instalaciones de mantenimiento mayor y operacional. Optimizar el mantenimiento y reducir costos, mediante el seguimiento a la ejecución de los trabajos de mantenimiento, aplicar el mantenimiento correspondiente a los equipos turbocompresores tomando como referencia las horas de operación del mismo (mantenimiento de 2000 horas, 4000 horas y mantenimiento general), siguiendo las normas establecidas por el manual del fabricante del equipo.

1.2. Planteamiento del problema

Dentro del Área Mayor Anaco se encuentra la planta compresora San Joaquín II, la cual está conformada por 3 unidades Turbocompresores marca Solar, modelo CENTAURO T-4500 que manejan un flujo de 22 MMPCND cada uno y su función es elevar las presiones que llega a la planta de 60 psi y 450 psi hasta 1200 psi y 8 unidades Motocompresoras las cuales manejan un flujo de 82 MMPCND entre todas y elevan la presión desde 60 psi y 450 psi hasta 1200 psi, estas unidades motocompresoras pertenecen a la compañía Exterran, la cual presta un servicio de compresión alquilada para PDVSA GAS.

Es normal que un turbocompresor en 24 horas de operación presente un consumo de 4 a 6 galones de aceite, pero en la actualidad el turbocompresor T3 presenta eventos de alto consumo en los que ha llegado a registrar 50 galones de aceite por día lo cual obliga a una parada de la máquina. Esto trae como consecuencia pérdidas económicas, daños a los yacimientos de los que se extrae el gas y una disminución en la confiabilidad del equipo. Por estas razones, es necesaria la evaluación de cada uno de los sistemas de aceite (sello, lubricación y servo) que forman parte del turbocompresor, la cual se llevará a cabo estudiando todos los componentes que conforman cada sistema, también se hará un estudio espectrofotométrico del aceite que se encuentra en los tanques de las turbinas para comparar sus propiedades con respecto al aceite nuevo (sin uso). Por último, se formularán las propuestas de acciones orientadas a normalizar el consumo de aceite del turbocompresor, que permitirá una disminución de costos de operación, aumento de la confiabilidad del equipo y preservación de las condiciones de explotación de los yacimientos gasíferos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar mediante análisis causa efecto, el origen del alto consumo de aceite en el turbocompresor T3 de la planta San Joaquín II.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Analizar las características de funcionamiento en la que se encuentra el turbocompresor T3, perteneciente a la Planta Compresora San Joaquín II de Producción Gas Anaco.
2. Identificar las propiedades del aceite que contiene el turbocompresor T3, perteneciente a la planta compresora San Joaquín II.
3. Inspeccionar el sistema de aceite de lubricación, aceite de sello y de servoaceite del turbocompresor T3, comprobando el funcionamiento de sus componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos.
4. Establecer mediante un análisis causa efecto las causas del alto consumo de aceite que se presenta en el turbocompresor T3, perteneciente a la planta compresora San Joaquín II.
5. Proponer opciones que permitan regular el consumo de aceite del turbocompresor T3, pertenecientes a la Planta Compresora San Joaquín II de Producción Gas Anaco.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

Acero, A. (2004) Analizó el consumo de aceite de las unidades motocompresoras de la planta sur ubicada en el Distrito San Tome. Se realizaron varios análisis espectrofotométricos a los aceites utilizados en los motocompresores en lapsos de tiempo definidos, con el propósito de determinar el grado de contaminación del aceite por medio del conteo de partículas metálicas, ya que el desgaste de ciertas partes de los motocompresores están asociadas directamente a un consumo de aceite [3].

Velásquez, J. (1996) Estudió el consumo de aceite en turbocompresores de la planta de extracción Santa Bárbara. Se realizó un estudio de los principios de operación de los sistemas de la turbina y del compresor, el sistema de lubricación, sello y aire de sello del conjunto. Se encontró relación en los estudios que se le realizaron al aceite perteneciente al turbocompresor [4].

Gómez, A. (1990) Procedió a determinar las causas por las cuales los turbocompresores NUOVO PIGNONE de la planta de refrigeración Jose, mostraban un elevado consumo de aceite con respecto a otras unidades que se usan en la industria del mismo tipo. Se detectaron varios motivos por los cuales el turbocompresor podría presentar el elevado consumo de aceite, centrándose especialmente en la cantidad de vapores de aceite que escapan por el venteo, razón por la cual se construyó un tambor separador con el principal propósito de disminuir las pérdidas de aceite por venteo [5].

2.2. Lubricantes

2.2.1. Definición

Un lubricante es una sustancia que se utiliza para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento. Los lubricantes cumplen una serie de funciones durante su trabajo [6]:

- Reducción de la fricción y desgaste; separando las superficies con movimiento relativo.
- Controlar la temperatura; absorbiendo y posteriormente disipando el calor generado por la máquina.
- Prevención de la corrosión.
- Control de la contaminación; manteniendo los contaminantes en suspensión y transportándolos hasta los filtros.
- Transmisión de potencia; en el caso de aceites hidráulicos.

2.2.2. Aceites Base.

Los principales constituyentes de un lubricante son los denominados aceites base, los cuales se clasifican en tres grupos según su origen: minerales, sintéticos y vegetales.

Los aceites base minerales proceden de la destilación del petróleo en las refinerías, donde según el crudo de origen, se subdividen en:

- *Parafínico*
- *Nafténico*
- *Aromático*

Los aceites base sintéticos son obtenidos a partir de diferentes fluidos de síntesis orgánica que se mezclan para obtener aceites lubricantes de

prestaciones superiores a las bases minerales tradicionales. Los principales compuestos empleados en la formulación de aceites sintéticos son los siguientes:

- Hidrocarburos sintéticos.
- Polialfaolefinas (PAO).
- Diésteres.
- Poliol-ésteres.
- Ésteres fosfatados.
- Poliglicoles (PAG).
- Siliconas.

En último lugar se reseñan los aceites base de origen vegetal que son obtenidos a partir de procesos de refinado de semillas de soja, girasol, maíz o canola [6].

2.2.3. Aditivos

Los aditivos son los compuestos químicos añadidos a los aceites base, mejorando sus propiedades, seleccionándose en función del uso final del lubricante. La cantidad adicionada de estos elementos no suele superar el 5 % del conjunto. Los grupos principales de aditivos existentes en el mercado son:

- Antioxidantes.
- Antidesgaste.
- Inhibidores de corrosión y herrumbre.

2.3. Parámetros estudiados en los aceites lubricantes

2.3.1. Viscosidad

La viscosidad es la resistencia (o frotamiento interno) existente entre las moléculas de un fluido al deslizarse entre sí.

2.3.2. Densidad

La densidad es la relación existente entre la masa de lubricante y el volumen ocupado, medido a una temperatura constante. La densidad varía en función de la naturaleza del lubricante.

2.3.3. Punto de Inflamación

El punto de inflamación de un aceite es la temperatura mínima a la cual, el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores para inflamarse, momentáneamente, al serle aplicada una llama directa.

2.3.4. Detergencia

La detergencia de un lubricante es la capacidad que tiene para evitar o reducir la formación de depósitos carbonosos en el motor (alojamientos de los segmentos, falda de los pistones, guías y vástagos de las válvulas) y manteniendo en suspensión estos depósitos.

2.3.5. Color

El control del color de los lubricantes industriales como herramienta de diagnóstico se fundamenta en la comparativa de la tonalidad del lubricante usado frente al nuevo. Con el uso, debido a fenómenos oxidativos el color inicial amarillo claro se va tornando a anaranjado llegando incluso a colores

marronáceos, cuanto mayor es la coloración del lubricante más elevado es este deterioro químico del aceite.

2.3.6. Espumación

Es importante evaluar la tendencia a formar espumas de los aceites lubricantes, unas bajas propiedades antiespumantes pueden dar lugar a graves problemas en mecanismos sometidos a condiciones de alta agitación del fluido como engranajes de alta velocidad, bombas de gran volumen y lubricación por salpicadura. La presencia de espumas aumenta pérdidas por sobre presiones, el riesgo de cavitaciones y el riesgo de fallos mecánicos.

2.3.7. Desemulsibilidad

El parámetro de desemulsibilidad cuantifica cómo de rápido es capaz el aceite lubricante de separar esa agua que haya podido penetrar en el circuito. Es importante que no se generen emulsiones aceite-agua sino que el aceite sea capaz de separar ambas fases y permita que el agua de contaminación sedimente en el fondo de los depósitos de lubricantes.

2.3.8. Oxidación del Aceite

El lubricante reacciona continuamente con el oxígeno atmosférico, dando lugar a productos de oxidación ácidos, estos procesos degradativos son más rápidos a altas temperaturas, además, las partículas de desgaste y otros contaminantes presentes en el lubricante, pueden actuar como catalizadores, acelerando dichos procesos. Los productos de oxidación, ácidos orgánicos, degradan las prestaciones del lubricante llegando a generar lodos y lacas que forman depósitos en los conductos de aceite y sobre los elementos lubricados, además estos compuestos pueden llegar a saturar los filtros.

2.3.9. Reserva Alcalina

La reserva alcalina de un lubricante o TBN informa sobre su capacidad de neutralizar productos ácidos (principalmente ácido sulfúrico y ácido nítrico) procedentes de la combustión y de la oxidación del aceite a temperaturas elevadas. El TBN se expresa en miligramos de hidróxido potásico (KOH), por gramo de aceite analizado [6].

2.4. Análisis de aceite

El programa de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, tiene como objetivo principal el de preservar las inversiones realizadas por la industria en los diferentes equipos destinados a labores de operación y producción. Mediante la conveniente realización de una serie de análisis de laboratorio en el lubricante usado, se podrán detectar posibles desviaciones en las características normales del funcionamiento de los equipos [7].

El análisis programado de aceite es utilizado como herramienta en el mantenimiento preventivo y se fundamenta en la realización e interpretación de los siguientes ensayos:

- ✓ Pruebas fisicoquímicas, que indican las condiciones del aceite. Su selección dependerá de las características y aplicación del lubricante.
- ✓ Análisis de elementos metálicos, donde se verifican las condiciones mecánicas del equipo, específicamente en desgaste de los elementos que conforman la metalurgia de las piezas de la unidad.

Adicionalmente se analizan los elementos contaminantes que se encuentran en el exterior de los sistemas de aceites, los cuales pueden

entrar al sistema. También se controlan los componentes que se utilizan en la fabricación de los aditivos presentes en la formulación del aceite.

2.5. Condiciones que limitan la vida útil del aceite

Durante el periodo de servicio del aceite lubricante, este sufre ciertos procesos que conducen a su deterioro y por consiguiente a su incapacidad para poder cumplir con sus múltiples funciones. Estos procesos son la degradación y la contaminación [7].

2.5.1. Degradación del aceite

La degradación es el proceso por el que se va reduciendo la capacidad del aceite para cumplir sus funciones de lubricar, proteger, limpiar, refrigerar y sellar, originado por la alteración de sus propiedades físicas y químicas.

Las severas y cíclicas condiciones a las que se ve sometido el aceite dentro del motor como elevadas temperaturas, grandes velocidades de cizallamiento, ambientes corrosivos y contaminación, aceleran el proceso de degradación del aceite. Los añadidos de aceite retardan el proceso de degradación por su efecto de dilución sobre los contaminantes y por la recuperación parcial del nivel de aditivos [8].

2.5.2. Contaminación del aceite

La contaminación del aceite consiste en la presencia de partículas o sustancias extrañas en el lubricante que al entrar en contacto con el turbocompresor podrían ocasionar desgastes o mal funcionamiento de sus componentes, esta contaminación puede generarse por cuatro causas principales [9]:

1. Durante la fabricación, donde pueden quedar partículas utilizadas para la limpieza de las partes.
2. Contaminación externa, a través de los añadidos, ventilación, entre otros.
3. Origen interno, por desgaste: de los componentes mecánicos y degradación del lubricante.
4. Por acción del mantenimiento.

Los contenidos contaminantes de las muestras del lubricante se agrupan en tres categorías según la fuente de donde provengan tal como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de los elementos Contaminantes

Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro	Bario	Bario
Aluminio	Boro	Calcio
Cromo	Silicio	Silicio
Estaño	Sodio	Zinc
Cobre		
Níquel		
Magnesio		
Plomo		
Silicio		
Titanio		

En función al contenido de partículas contaminantes presentes en el aceite, INTEVEP ha establecido para lubricantes de turbocompresores límites máximos de concentración en función a la norma ASTM D-6595, expresados en partes por millón que se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Límites condinatorios del contenido en partes por millón de partículas presentes en el aceite lubricante

Metales	Partes por millón máximas (ppm)
Fe	10
Cr	1
Pb	10
Cu	10
Sn	10
Al	2
Si	10
Mg	1
Mo	1

2.5.3. Principales elementos contaminantes presentes en el aceite

- ✓ Elementos metálicos.
- ✓ Óxidos metálicos.
- ✓ Impurezas y polvo atmosférico.
- ✓ Productos carbonosos.

- ✓ Gases de combustión.
- ✓ Productos de la degradación de aceite como lacas, Barnices, entre otros.
- ✓ Agua y glicol.
- ✓ Ácidos.
- ✓ Productos varios que quedan después de una acción de mantenimiento.

2.6. Oxidación y nitración de un aceite lubricante

2.6.1. Oxidación

Es un proceso químico que se empieza a presentar en el aceite una vez que las reservas alcalinas provenientes de los aditivos antioxidantes o de los detergentes-dispersantes se empiezan a agotar. El proceso se acelera dependiendo de los contaminantes presentes en el aceite; es irreversible y conlleva finalmente a la formación de ácidos como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) [10].

2.6.2. Nitración

Los productos de nitración se forman durante el proceso de la combustión cuando subproductos de la combustión entran en el aceite durante la operación normal. Estos productos son altamente ácidos, crean depósitos y aceleran la oxidación del aceite. Para determinar el valor de nitración en aceites usados el análisis infrarrojo es el único método usado para determinarlo [10].

2.7. Límites de contaminación por oxidación, nitración y hollín.

Los límites que indican una proporción de oxidación y nitración en un lubricante de acuerdo a investigaciones realizadas por Leugner, L [11], se muestra en la Tabla 2.3. Si estos límites sobrepasaran los valores permitidos podrían causar un mal funcionamiento de los accesorios que pertenecen al turbocompresor.

Tabla 2.3. Límites de contaminación por oxidación, nitración y hollín

Análisis	Límite Máximo
Oxidación	0,25 Abs/ mm ²
Nitración	0,25 Abs/ mm ²
Hollín	5%

2.8. Medición de partículas de desgastes en aceites lubricantes

Las partículas sólidas contaminantes del aceite están formadas por una compleja mezcla de compuestos, cuyos elementos más importantes, para fines de diagnósticos, son los elementos metálicos provenientes del desgaste interno. El análisis de estos elementos aporta información sobre el desgaste interno de la máquina y proporciona indicios sobre otras posibles fuentes de contaminación [12].

Para el estudio del análisis de los elementos de desgaste de la máquina en general se han desarrollado una serie de técnicas, sin embargo la espectrometría es una de las más utilizadas actualmente.

2.8.1. Espectrometría

La espectrometría se basa en la propiedad de los átomos de emitir radiación compuesta por longitudes de onda características de cada elemento cuando son excitados. Esta radiación es función de la configuración electrónica del átomo, en consecuencia, elementos diferentes emiten radiaciones diferentes que permiten su identificación [12].

2.8.1.1. Espectrómetro de emisión de disco rotativo

La fuente de excitación es generada por un arco eléctrico de alta intensidad de corriente. El lubricante es llevado por una rueda de grafito hacia un electrodo de alta intensidad, de manera que el aceite depositado sobre la rueda se volatiliza debido a la descarga eléctrica generada (Fig. 2.1). El arco eléctrico sobre el aceite hace que se volatilice el aceite y las partículas existentes en él, generando una excitación luminosa con longitudes de onda asociadas a los elementos metálicos presentes en la muestra. Esta luz es posteriormente analizada a través de redes de difracción y tubos fotomultiplicadores, cuantificándose la concentración de elementos del lubricante [6].

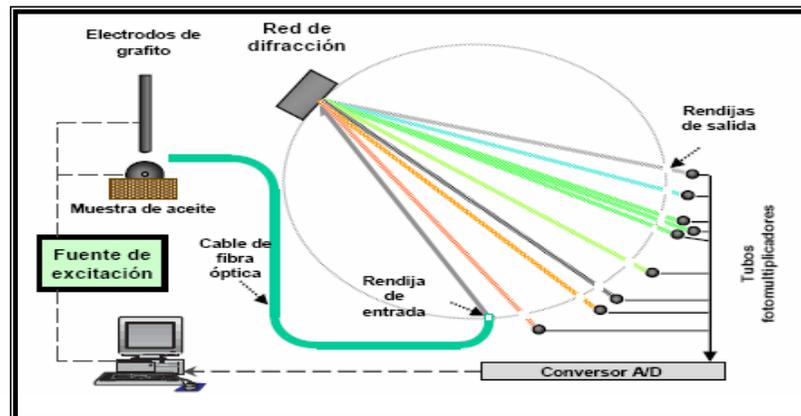


Figura 2.1. Esquema del espectrómetro por retrodo

2.9. Turbina de gas

Una turbina de gas (Fig. 2.2), es una máquina térmica que convierte la energía química del combustible en energía mecánica utilizando el aire como medio de conversión. Para convertir esta energía aplica una secuencia de procesos termodinámicos conocido como el ciclo Brayton simple. Esta energía mecánica resultante se puede utilizar para impulsar equipos rotatorios tales como bombas, compresores, generadores de energía, entre otros. [13]

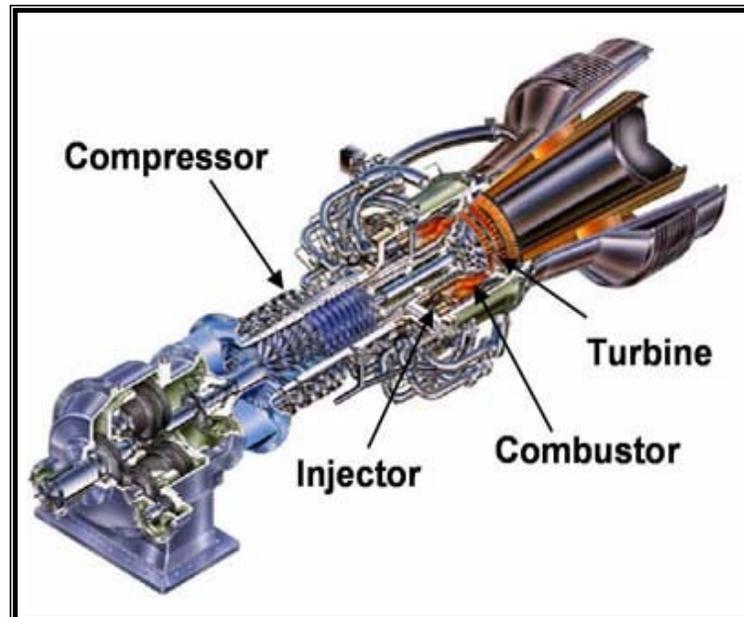


Figura: 2.2. Turbina de gas [13].

2.10. Ciclo brayton

El ciclo Brayton que tiene lugar en la turbina es un proceso continuo y uniforme. En el cual se destacan los procesos de admisión, compresión, combustión, expansión y escape. En este ciclo los procesos antes mencionados y la producción de potencia de salida mecánica rotatoria resultante ocurren simultánea y continuamente [14].

2.10.1. Etapas del ciclo Brayton

El ciclo Brayton para una turbina de gas (Fig. 2.3), consiste en los cuatro etapas [15]:

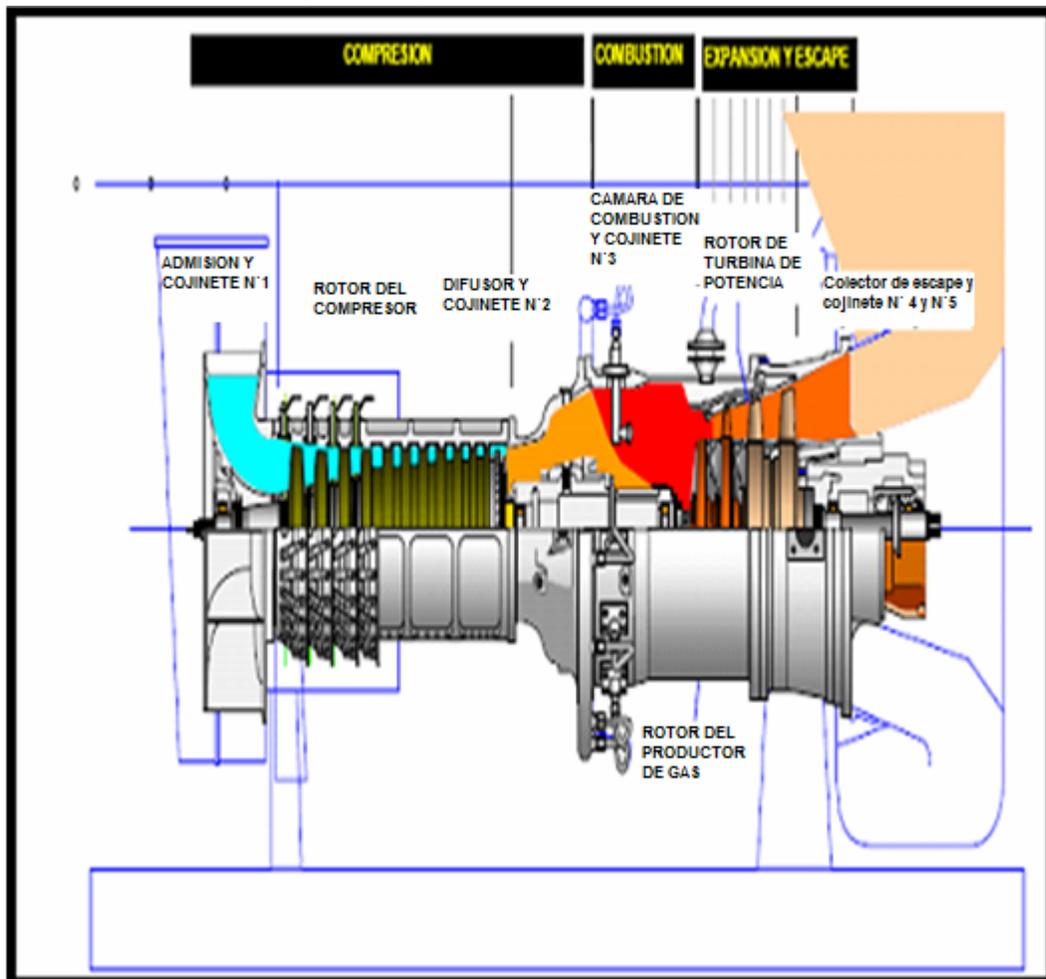


Figura: 2.3. Etapas del ciclo Brayton [15].

2.10.1.1. Admisión

Para que se pueda realizar el ciclo BRAYTON en el turbocompresor Centauro es necesario gran cantidad de aire para que se realice la combustión y el enfriamiento de ciertas partes del turbocompresor, por lo cual el sistema de admisión filtra el aire que entra al equipo.

2.10.1.2. Compresión

En el turbocompresor Centauro el aire entra continuamente a través de la sección de admisión seguidamente se comprime hasta la undécima etapa del compresor de flujo axial. El aire comprimido fluye hacia la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible inyectado.

2.10.1.3. Combustión

La combustión del gas en la turbina es un proceso autosostenible y continuo, pero es necesario el encendido inicial. Durante la secuencia de arranque de la turbina. El quemador de encendido sobresale dentro de la cámara de combustión generando la llama de inicio de la combustión.

2.10.1.4. Expansión

El gas caliente generado en la cámara de combustión se expande rápidamente, el gas aumenta su volumen y velocidad de flujo, entregando gran parte de su calor, velocidad y energía de presión para hacer girar los rotores del productor de gas y de la turbina de potencia.

2.10.1.5. Escape

La presión del gas de combustión en expansión al entrar a la zona de escape reduce su presión a medida que impulsa los rotores del productor de

gas y de la turbina de potencia antes de salir a la atmósfera a través del sistema de escape.

2.11. Secciones de una turbina de gas

La turbina se compone de dos secciones principales, denominadas el productor de gas y la turbina de potencia. (Fig. 2.4)

2.11.1. Productor de gas

El productor de gas se compone de las siguientes partes:

- ✓ Conjunto de accionamiento de accesorios (Bomba principal de lubricación, bomba de servoaceite, entre otros)
- ✓ Entrada de aire.
- ✓ Sección del compresor
- ✓ Difusor
- ✓ Sección de combustión
- ✓ Turbina productora de gas

2.11.2. Turbina de potencia

La turbina de potencia se compone de las siguientes partes:

- ✓ Turbina de potencia
- ✓ Colector del escape
- ✓ Mando de salida

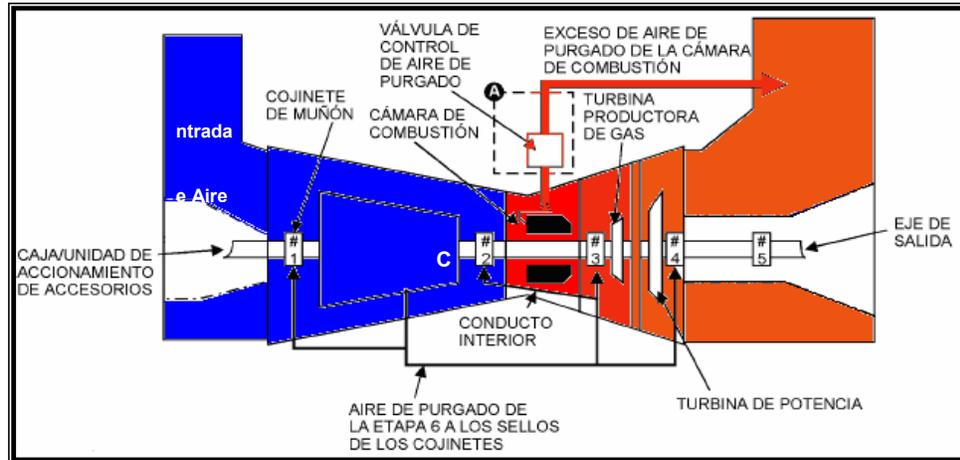


Figura 2.4. Secciones de una turbina de gas [14]

2.12. Turbocompresor centauro T- 4500

Las turbinas de gas modelos Centauro están diseñadas como una unidad de dos ejes de velocidad variable y flujo axial que consta de: caja de engranajes de accionamiento de accesorios, conjunto de admisión de aire, compresor con conjunto de alabes fijos y variables, conjunto de la cámara de combustión de tipo anular, conjunto de productor de gas, conjunto de la turbina de potencia, escape de la turbina y colector de escape, el productor de gas de dos etapas acciona el compresor axial de la turbina, y la turbina de potencia de una etapa acciona al equipo impulsado (compresores de gas).

Los procesos termodinámicos que ocurren en una turbina son continuos, así pues, hay flujos continuos de aire comprimido de la sección del compresor, hay combustión continua dentro de la cámara de combustión y hay una producción continua de potencia en la sección de la turbina.

2.12.1. Sistemas de aceite del Turbocompresor Centauro T-4500

2.12.1.1. Descripción general

Los sistemas de aceites del turbocompresor son tres (3):

- 1) El sistema de aceite de lubricación
- 2) El sistema hidráulico
- 3) El sistema de servoaceite

Aunque cada sistema tiene una función distinta y separada, los sistemas entre sí están íntimamente relacionados y son abastecidos desde el tanque principal de aceite de lubricación. Es necesario prestar especial atención a este tema debido a que es donde se enfoca la atención del presente trabajo ya que el turbocompresor presenta un alto consumo de aceite.

El sistema de aceite incluye:

- ✓ Tanque de aceite
- ✓ Bomba de aceite de pre/postlubricación, accionada por un motor neumático
- ✓ Bomba de reserva de postlubricación, accionada por un motor eléctrico de 24 V C.C
- ✓ Bomba principal de aceite lubricante accionada por la turbina
- ✓ Conjunto del múltiple de aceite lubricante con válvulas de paso térmica y válvulas de descarga
- ✓ Filtros dobles de aceite
- ✓ Enfriador de aire/aceite con ventilador, accionado por motor eléctrico de C.A.

El sistema también consta de varios conmutadores de control, válvulas, e indicadores de temperatura y presión para vigilar el funcionamiento del sistema de aceite.

En la Tabla 2.4 se lista la información básica aplicable a los componentes del sistema de lubricación específicamente utilizados en esta instalación donde se encuentra información específica de los sistemas de aceite de lubricación y de servoaceite.

Tabla 2.4. Información específica de los sistemas de aceite de lubricación y de servoaceite [13].

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Filtro doble del aceite de lubricación	Filtración nominal de 5 micrones y absoluta de 25 micrones; 2 cajas, elementos múltiples; flujo de régimen de 580 l/min (150 gpm); Con caída de presión de 14 kPa (2 psi) al flujo y temperatura de régimen.
Transmisor de baja presión del aceite (XT322)	
Alarma	290 kPa (42 psi) al disminuir la presión
Parada	173 kPa (25 psi) al disminuir la presión
Enfriador del aceite lubricante (HX901)	Relación de rechazo de calor de 1.044.303 KJ/h (990.000 Btu/h) caudal de aire de 990 m ³ /min (35 cfm)
Bomba principal del aceite lubricante (P901)	840 l/min. (222 gpm) y 1034 kPa (150 Psi) a 2000 rpm
Válvulas principales de alivio (VR901, -2)	Se abren a los 1034 Kpa (150 psi)

Tabla 2.4. Continuación.

Conmutadores de alta presión diferencial de los filtros de aceite	
Alarma (S397)	345 kPa (50 psi) al aumentar la presión
Parada (S397-1)	552 kPa (80 psi) al aumentar la presión
Bomba de aceite de Pre/postlubricación P902)	210 l/min. 66 gpm, 275 kPa (40 psi) a 1750 rpm; motor de accionamiento continuo.
Válvula de alivio de Pre/postlubricación (VR905)	Se abre a los 138 kPa (20 psi)
Conmutador de presión del aceite de prelubricación (XP322)	42 kPa (6 psi) al disminuir la presión 28 kPa (4 psi) al aumentar la presión
Bomba de reserva de pre/postlubricación (B320)	37.9 l/min. (10 gpm) a 103 kPa (15 psi)
Válvula de control de presión (PCV901)	380 kPa (55 psi)
Filtro de servoaceite (FS903)	Filtración absoluta de 25 micrones
Servobomba (P904) (Suministro al actuador de combustible)	13 l/min. (3.5 gpm), 3448 kPa (500 psi) a 4212 rpm
Válvula de alivio de la Servobomba (VR902)	Alivia a los 3448 kPa (500 psi)

2.12.1.2. Sistemas de aceite de lubricación

El aceite para el compresor se bombea desde el tanque de aceite lubricante de la turbina (Fig. 2.5). El sistema de aceite lubricante provee un flujo continuo de aceite para lubricar el conjunto de cojinetes de empuje, el conjunto de cojinetes de zapatas basculantes, la caja del engranaje multiplicador de velocidad y el eje de impulsión de interconexión.

La bomba de pre lubricación y pos lubricación (P902) es activada automáticamente al cerrarse el conmutador de arranque de la turbina. La bomba aspira aceite del tanque y lo suministra, pasando primero por los filtros de aceite, a los cojinetes de la turbina y del compresor, a la bomba principal de aceite de sello y a los lubricadores de los motores neumáticos (Fig. 2.6). La presión en el circuito de pre lubricación y pos lubricación se mantiene a un valor nominal en la entrada de la turbina por las válvulas de alivio de pre lubricación y pos lubricación en el circuito de aceite de pre lubricación y pos lubricación.

A medida que aumenta la velocidad del productor de gas (NGP) durante la secuencia de arranque, la presión del aceite de la bomba principal del aceite de lubricación accionada por la turbina (P901) llega a un valor preestablecido, y la bomba del aceite de pre lubricación y post lubricación se detiene automáticamente. El aceite ahora lo suministra la bomba principal del aceite de lubricación accionada por la turbina al conjunto regulador y al múltiple del aceite de lubricación como se muestra en la Fig. 2.5. El regulador mantiene al aceite a una presión de entrada a la turbina nominal por medio de la válvula de descarga de regulación de presión. Una pequeña cantidad de aceite fluye al enfriador de aceite, sin embargo, la válvula de control de temperatura también desviara la mayor parte del aceite del enfriador hasta que la temperatura del aceite alcanza un punto de ajuste preestablecido. La válvula se cierra gradualmente para suministrar aceite al enfriador en proporción a la temperatura del aceite.

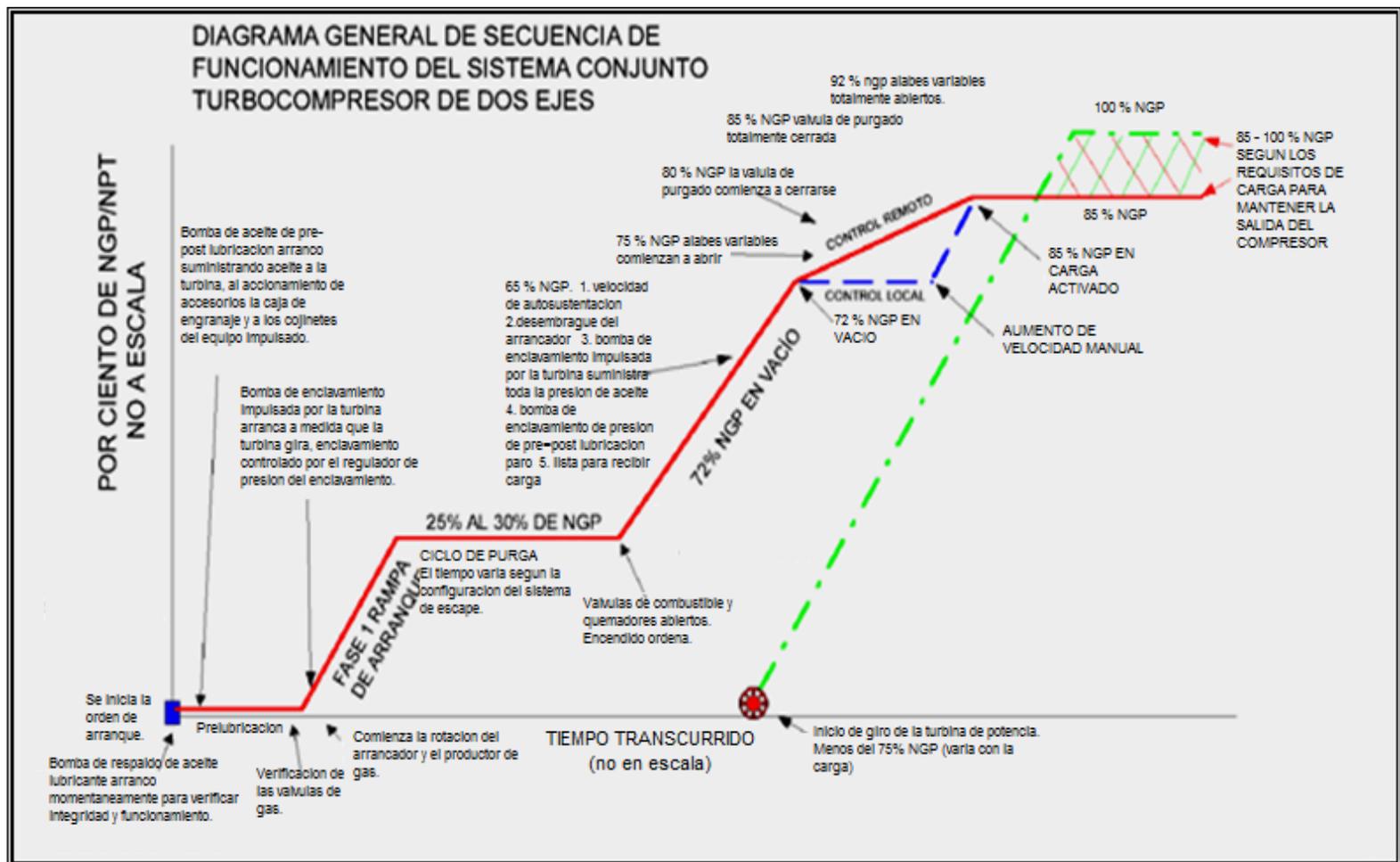


Figura 2.5 Esquema del sistema de aceite lubricante [13].

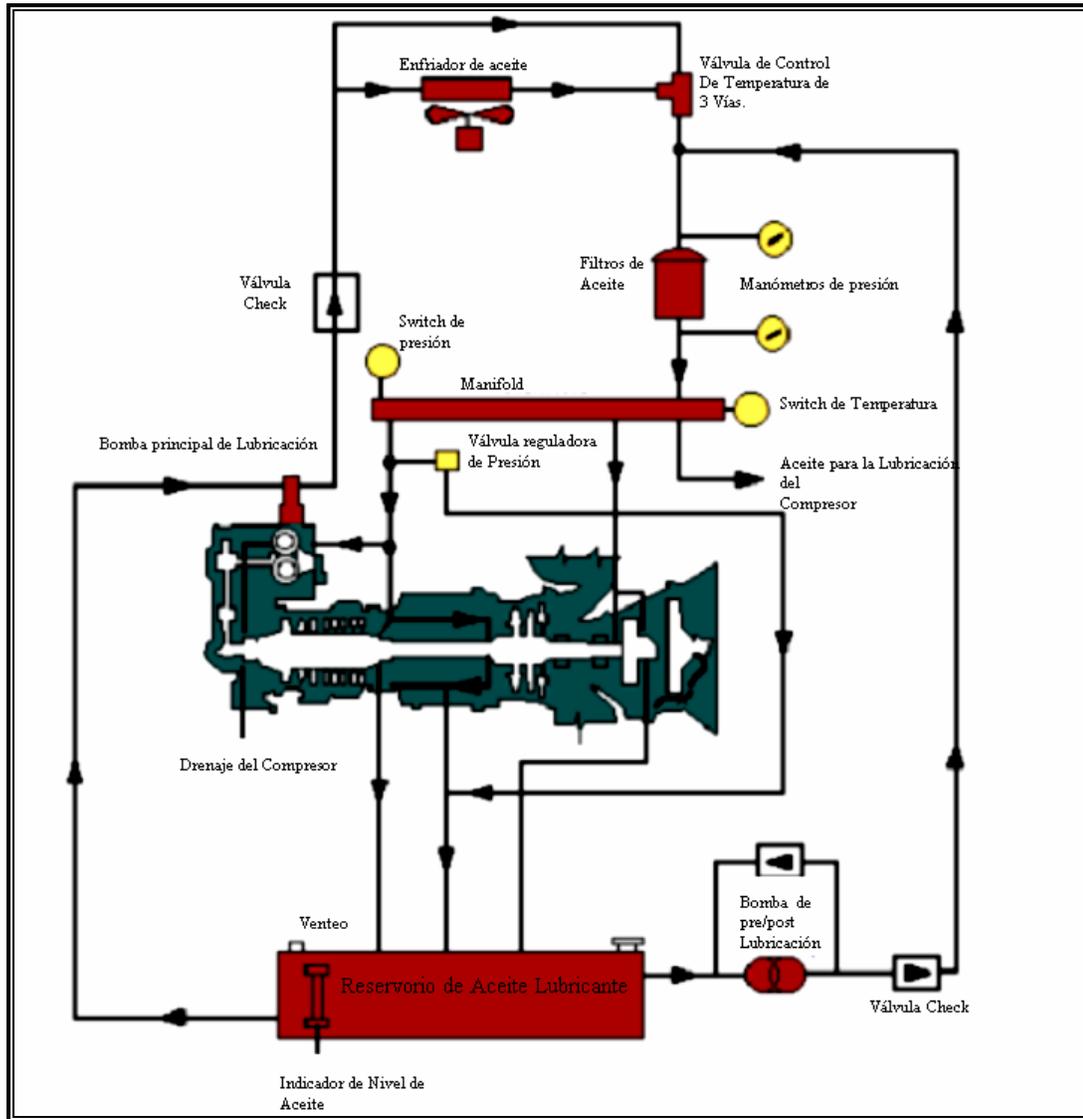


Figura 2.6. Esquema del sistema de aceite lubricante [13].

Del enfriador de aceite, el aceite fluye a través de los filtros hasta el múltiple de suministro de aceite, activado automáticamente por el sistema de control de la turbina. La bomba de pre lubricación y post lubricación suministra aceite de enfriamiento a los cojinetes y los engranajes durante los 55 minutos que dura el ciclo de post lubricación. En caso de haber alguna

falla en la bomba de pre lubricación y post lubricación, la bomba de reserva opcional de post lubricación (B320) es activada para suministrar aceite a los cojinetes del productor de gas y de la turbina de potencia.

2.12.1.2.1. Conjunto regulador del aceite de Lubricación

El conjunto regulador del aceite lubricante es una válvula de control de presión operada por piloto, normalmente cerrada, de tipo manguito y embolo, y mantiene al sistema de aceite de lubricación a una presión nominal de 379- 488 kPa (55 – 65 psi). El embolo de la válvula se mantiene en posición normalmente cerrada por un resorte, e incorpora un pasadizo taladrado en el centro que contiene un orificio calibrado de dosificación. Se lleva a cabo la regulación por medio de una válvula de alivio accionada por un resorte y se ajustada desde el exterior.

Durante la operación, la presión piloto suministrada por la presión de admisión de aceite a partir del lado de descarga de los filtros de aceite, actúa sobre el embolo para abrir la válvula. Esta acción es opuesta por la carga del resorte del embolo y por el orificio de la presión piloto, que es purgado continuamente a través del orificio del embolo y es mantenido a un nivel de presión aguas abajo determinado por el punto de ajuste de la válvula de alivio accionada por resorte. Cuando la presión piloto aguas arriba del orificio del embolo es igual a la presión aguas abajo más la carga del resorte de la válvula, el sistema esta en equilibrio y la válvula esta cerrada.

Si la presión del aceite de admisión (presión piloto aguas arriba) aumenta lo suficiente como para vencer la presión piloto aguas abajo más la carga del resorte, la válvula de control de abre para devolver el aceite en

exceso al tanque de aceite de lubricación por medio de una pequeña caída de presión.

A medida que el suministro de la bomba de aceite de lubricación impulsada por la turbina aumenta directamente con la velocidad de la turbina, el embolo de la válvula de control se mueve de igual manera para mantener la presión del aceite de admisión de la turbina igual a la presión piloto aguas abajo más la carga del resorte de la válvula.

2.12.1.3. Sistema de servoaceite

Como se especifico anteriormente el sistema de servoaceite usa el mismo aceite del sistema de lubricación y se usa para controlar el flujo de combustible que se mezcla con el aire para luego quemarse en la cámara de combustión. El sistema de servoaceite consiste de una bomba de aceite de alta presión impulsada por la turbina, una válvula de servoalivio y un filtro de aceite (Fig. 2.7). Se toma el aceite lubricante de la línea principal de salida del conjunto del filtro del aceite lubricante.

El aceite tomado se envía a la lumbrera de entrada de la bomba de servoaceite, donde se comprime hasta la presión de operación del sistema. El aceite presurizado pasa por la lumbrera de salida de la servobomba a través del filtro del servoaceite hasta la lumbrera de entrada del actuador de combustible, suministrando así la presión hidráulica requerida para retraer o extender el pistón del actuador de combustible [15].

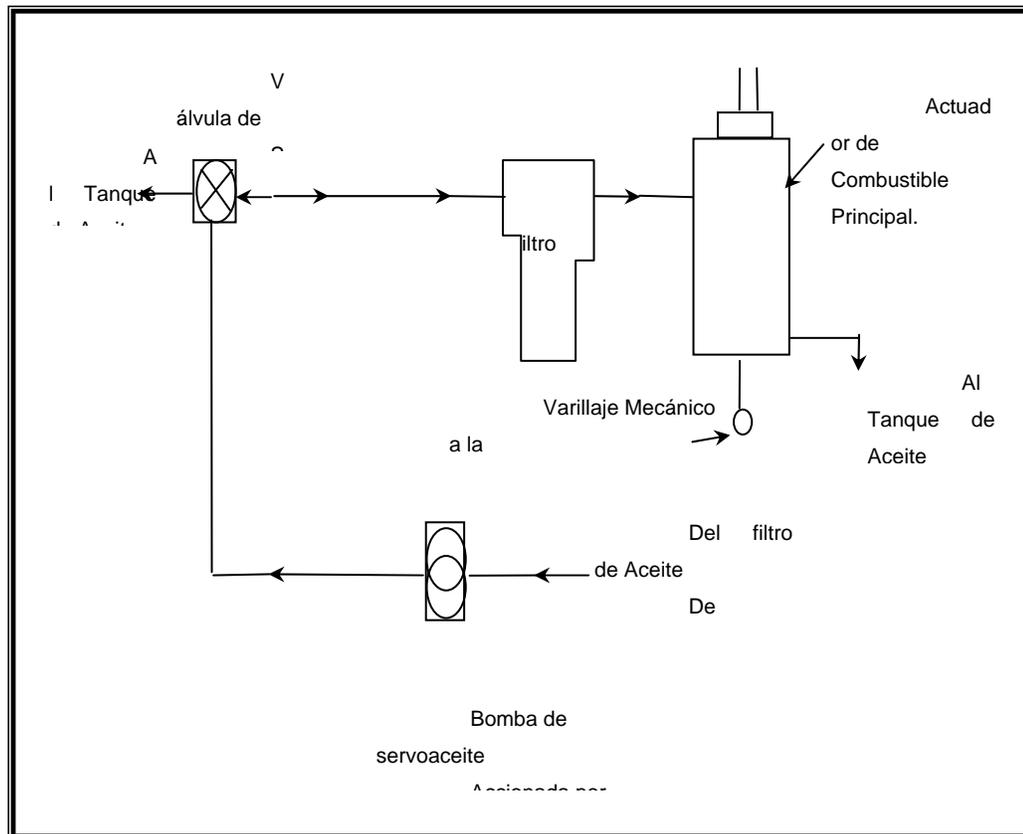


Figura 2.7. Esquema del sistema de servoaceite.

2.12.1.4. Sistema de aceite de sello

Este tercer sistema utiliza el aceite que se usa en los sistemas antes mencionados, en este sistema se usa para regular el aceite de alta presión y el gas de separación enviado a los sellos del compresor centrífugo, evitando la entrada de gas de proceso al suministro de aceite lubricante, y evitando la entrada de aceite al gas de proceso en el compresor. El sistema también incluye trampas de aceite de sello y gas de separación, las cuales sirven para separar la mayoría del gas del aceite de sello que se drena de los cojinetes. La separación del gas y el aceite se completa en un tanque de

desgasificación o conducto de humos [13]. La Tabla 2.5, muestra la información básica pertinente a los componentes del sistema de aceite de sello.

Tabla 2.5. Información del sistema de aceite sello y gas de sello [13].

EQUIPO, ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Bomba auxiliar del aceite de sello (P963)	68 l/min. (18 gpm) a 1800 rpm
Bomba principal del aceite de sello accionada por la turbina (P961)	76 l/min. (20 gpm) a 2000 rpm
Conmutador de alarma por alta presión diferencial en el filtro (S367)	400 kPa (58 psi) presión incrementante 330 kPa (48 psi) presión decreciente
Válvula principal de alivio del aceite de sello (VR961)	Válvulas se abren a 10 MPa (1500 psi) de presión
Válvula auxiliar de alivio del aceite de sello (VR963)	
Regulador de desvío de presión diferencial del aceite de sello (PCV961)	690 kPa (100 psi) por arriba de la presión de entrada a la trampa; Caudal de desvío de 4 a 60 l/min. (1 a 16 gpm)
Regulador de presión diferencial del aceite de sello (PCV962-1)	138 kPa (20 psi) por encima de la presión de entrada a la trampa; flujo regulado de 4 a 8 l/min. (1 a 3 gpm)
Válvulas de presión diferencial del gas de sello (PCV963-1)	138 kPa (20 psi) por encima de las presiones de succión.
Motor de accionamiento de la bomba auxiliar del aceite de sello (M963)	Neumático, de paletas. Capacidad: 14.2 KW (19 hp). Funciona a una presión de 828 kPa (120 psi) regulado por una válvula manual en la línea para operar la bomba auxiliar de aceite de sello a 1750 rpm, 1500 psi. Lubricación: aceite de turbina, 60 gotas por minuto (provistas por un solo lubricador de aire/neblina)

2.12.1.5. Sistema de la bomba del aceite de pre lubricación y post lubricación

La bomba de aceite de pre lubricación y post lubricación (P902) es del tipo de engranajes de desplazamiento positivo, accionada por un motor neumático de aire/gas. El suministro de aire/gas al motor de la bomba es filtrado y luego controlado por válvulas de cierre del motor de la bomba de pre lubricación y post lubricación de dos vías accionada por piloto. Los cojinetes del motor se lubrican por el aire arrastrado en el suministro cuando pasa por un lubricador. Una válvula de retención del lubricador previene el reflujo hacia la línea de suministro. Las válvulas pilotos de las válvulas de cierre accionadas por solenoide dirigen aire/gas de operación, que ya paso por el filtro para abrir y cerrar las válvulas del motor de la bomba bajo efecto de las señales eléctricas recibidas desde el sistema de control. El exceso de aire o gas en el sistema de operación es enviada a la tubería de venteo.

La bomba succiona del tanque de aceite a través del filtro de succión, para proveer pre lubricación y la post lubricación de los cojinetes de la turbina y del equipo accionado durante las secuencias de arranque y parada de la turbina respectivamente.

La velocidad del motor de la bomba es controlada por una válvula de control de velocidad, accionada manualmente, esta bomba se encuentra ubicada aguas arriba del lubricador, por lo cual se puede ajustar la velocidad mientras se observa el manómetro de presión del aceite de pre lubricación y post lubricación. Durante la operación la válvula de control de velocidad se puede ajustar hasta que la presión se estabilice en 289.5 kPa (42 psi).

La bomba arranca automáticamente al oprimirse el botón pulsador de arranque de la turbina, y continúa funcionando hasta que la presión de aceite de lubricación de la turbina llega a 241 kPa (35 psi). Al ocurrir una parada de la turbina la bomba arranca nuevamente de forma automática para mantener la presión de aceite durante la desaceleración, y para enfriar los cojinetes durante un periodo de 55 minutos una vez que la turbina haya parado.

La válvula de alivio de presión de pre lubricación y post lubricación alivia la presión en exceso de 138 kPa (20 psi) en el sistema de pre lubricación y post lubricación al enviar ese exceso de aceite al tanque de lubricación. La válvula de retención previene el acceso de aceite del sistema principal de aceite lubricante hacia el sistema de pre lubricación y post lubricación durante el funcionamiento.

2.12.1.6. Sistema de la bomba de post lubricación de emergencia

Este sistema se usa para asegurar un suministro continuo de aceite de lubricación y de enfriamiento a los cojinetes del productor de gas y de la turbina de potencia, en caso de que la bomba de pre lubricación y post lubricación sufra desperfectos, esto se logra mediante el uso de una bomba de emergencia accionada por motor eléctrico de 24 V.C.C. Durante el ciclo de post lubricación, el interruptor de presión detecta la presión del aceite en la salida principal de los filtros. Si la presión disminuye a 27,4 kPa (4 psi), el interruptor se accionara para arrancar la bomba.

2.13. Compresores centrífugos (equipo accionado)

Los compresores centrífugos comprimen al gas aplicándole fuerzas de inercia (Aceleración, deceleración, cambios de dirección) mediante el uso de impulsores con álabes. El gas entra por el ojo del impulsor en dirección axial,

luego el flujo es cambiado hacia la dirección radial y acelerada hacia la periferia a medida que se mueve a través del impulsor, luego sale del impulsor y entra a un difusor (desacelerador de flujo) donde aumenta más la presión. En los compresores multietapas el flujo es direccionado a la entrada del rodete de la próxima etapa de compresión [16].

2.13.1. Componentes principales de los compresores centrífugos

Las características generales de los compresores centrífugos son similares en cuanto a componentes, los cuales se describen a continuación:

2.13.1.1. Carcasa y diafragma

Las carcasas de los compresores pueden ser de tipo horizontal o vertical, con respecto al eje. Para el mantenimiento es más fácil el acceso al rotor con la carcasa dividida horizontalmente con respecto al que está dividido verticalmente. Sin embargo, la de tipo horizontal tiene una capacidad limitada de presión debido a la gran superficie de sellado en la unión [16]. El diafragma es una pieza que incluye los difusores y es donde se convierte la energía cinética de salida del gas del impulsor en presión estática y un canal de retorno para dirigir el flujo hacia la succión de la etapa siguiente tal como se muestra en la Fig. 2.8.

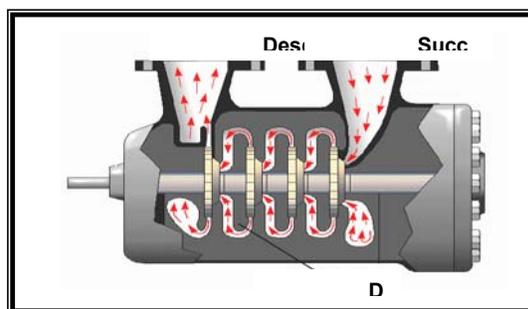


Figura 2.8. Compresor Centrífugo.

2.13.1.2. Rotor

El rotor es el conjunto formado, principalmente, por los impulsores, camisas y pistón de balance, como se evidencia en la Fig. 2.9. Los rotores están diseñados y construidos para impedir una inclinación o flexión del eje durante la operación, mientras mantienen una suficiente holgura de ajuste para una operación a alta velocidad.

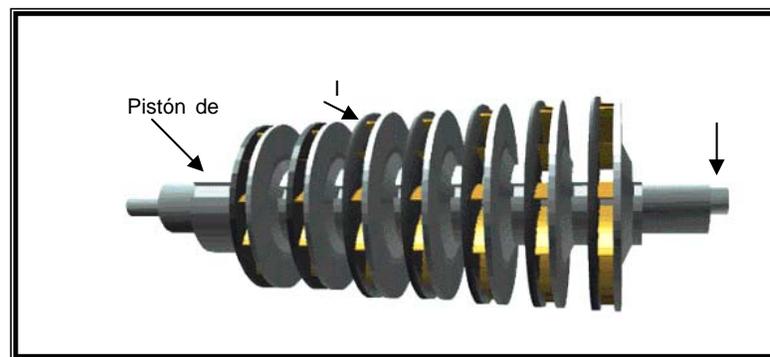


Figura 2.9. Rotor Ensamblado.

2.13.1.3. Impulsor

El impulsor o rodete empleado en los compresores centrífugos está formado por dos partes. El inductor que es la parte donde entra el gas, tiene una curvatura hacia la dirección del movimiento y la otra parte es el impulsor propiamente dicho que es la parte donde se transfiere la energía al gas, el flujo de gas entra por el inductor y es guiado por el impulsor como se muestra en la Fig. 2.9 [16].

2.13.1.4. Cojinetes

Los cojinetes lubricados se utilizan para reducir las pérdidas por fricción. En los compresores se utilizan normalmente dos tipos de cojinetes que son: los cojinetes radiales los cuales soportan las fuerzas debidas al torque y al peso, y los cojinetes de empuje que absorben las fuerzas axiales

del rotor. Por razones de estabilidad del eje y la lubricación, actualmente, casi todos los compresores de aplicación industrial traen cojinetes de zapatas basculantes. Esto permite mayor carga y velocidad [16].

2.13.1.5. Pistón de balance

Se utiliza 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 es casi la presión de descarga total. Se selecciona el diámetro del pistón compensador para proporcionar el mejor equilibrio del empuje aerodinámico al tener en cuenta todas las condiciones de funcionamiento. Los cojinetes de empuje tipo Kingsbury, situados en el extremo de succión del compresor, absorben cualquier empuje residual [13].

2.13.1.6. Sistemas de aceite lubricante, aceite de sello y gas de sello

Los sistemas de aceite lubricante, aceite de sello y gas de sello del compresor de gas se han diseñado para funcionar como un sistema integrado y equilibrado. El funcionamiento detallado de los sistemas se describe en las siguientes subsecciones. El sistema de gas de sello (separación) produce un contraflujo continuo de gas a través de los sellos de laberinto para impedir que el aceite de sello entre al área aerodinámica del compresor.

2.13.1.6.1. Conexiones de servicio

El conjunto de cojinetes y sellos de succión, y el conjunto de cojinetes y sellos de descarga cuentan con cinco lumbreras de conexión en la parte delantera del conjunto en cuestión. Estas cinco lumbreras de conexión sirven para conectar las líneas de entrada y salida del aceite lubricante, aceite de

sello y gas de sello. Cada lumbrera tiene estampada su identificación en la cara de la caja y se muestra en la Figs. 2.10 y 2.11.

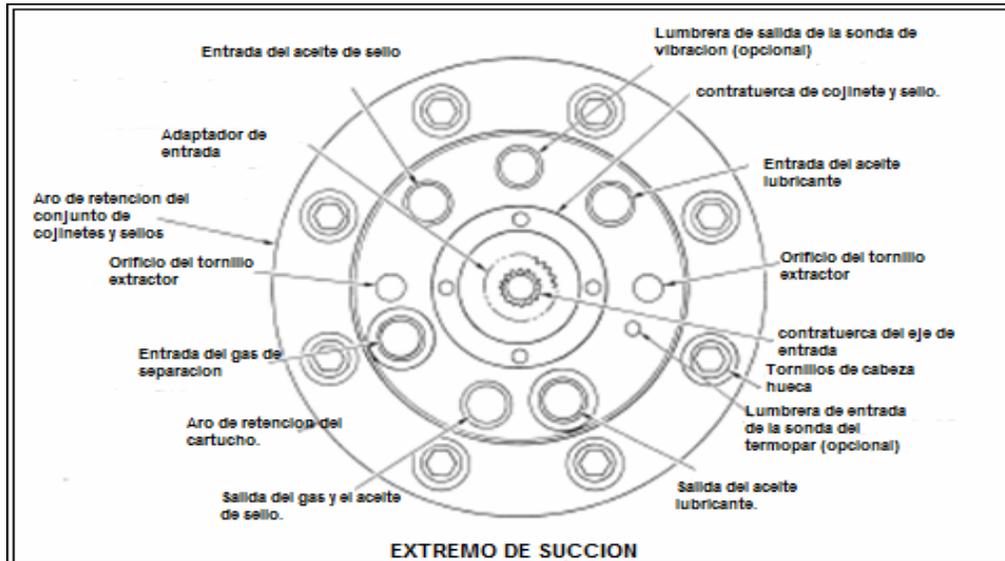


Figura: 2.10 Lumbrera de conexión de gas y aceite de la succión del compresor [13].

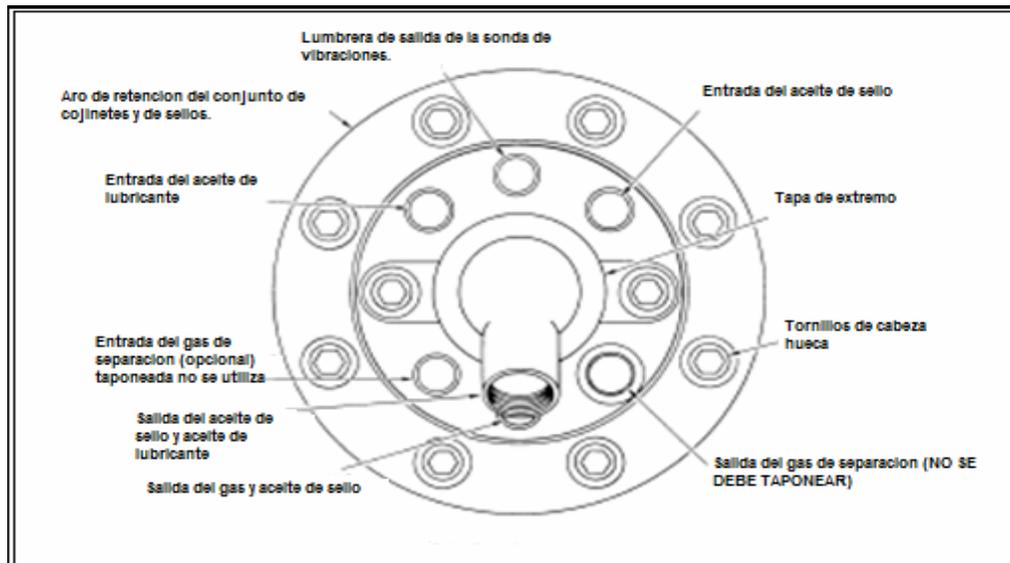
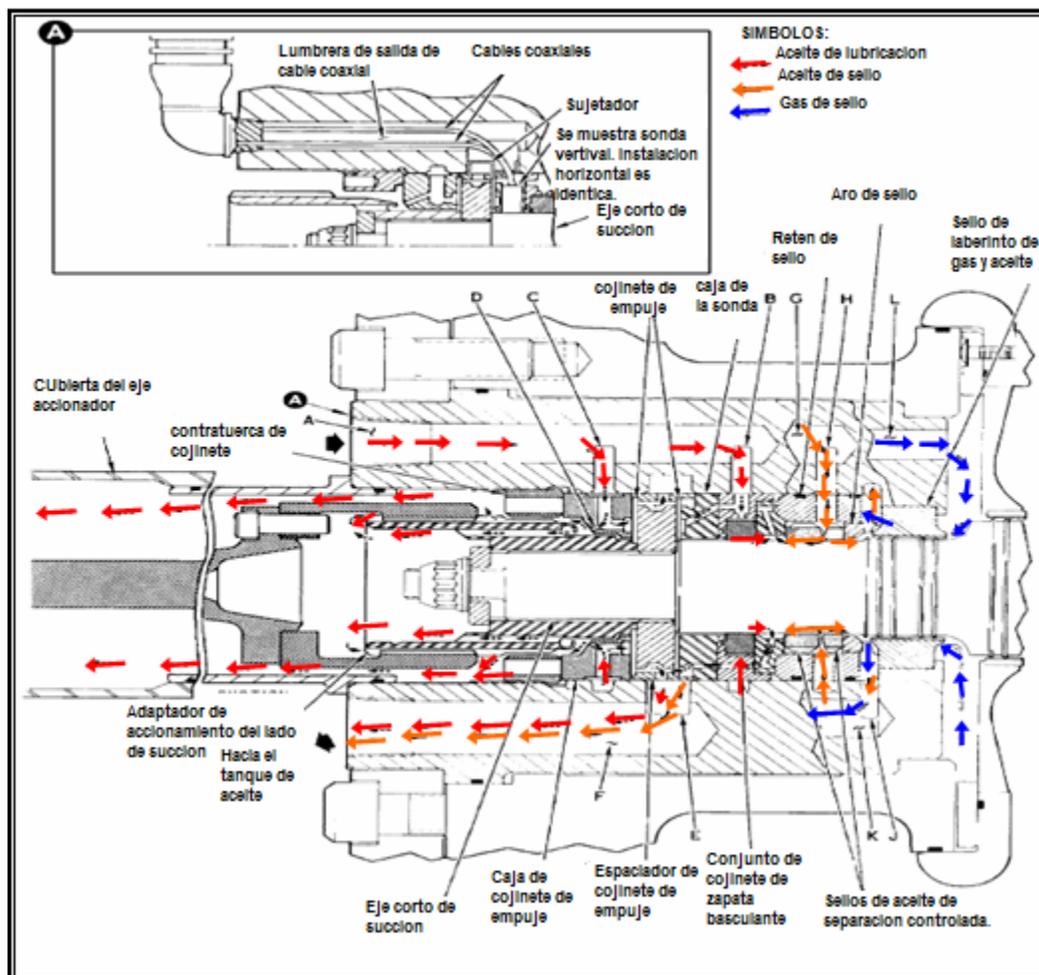


Figura: 2.11 Lumbrera de conexión de gas y aceite de la descarga del compresor [13].

2.13.1.6.2. Flujo de gas y aceite en el conjunto de cojinetes y sellos de succión

El aceite de lubricación entra por la lumbrera de entrada del aceite lubricante (A),(Fig. 2.12) en la caja del conjunto de cojinetes y sellos del extremo de succión. La mayor parte del aceite fluye a través de un anillo (B) y pasa por el conjunto de la caja de cojinetes y sigue hasta el cojinete de empuje interior adyacente.



Fig

ura: 2.12. Diagrama aceite lubricante de los cojinetes de succión [13].

El aceite proveniente del cojinete de zapatas basculantes y de ambas caras del cojinete de empuje interior fluye luego por un anillo (E) donde se combina con el aceite de sello que se fuga del sello de aceite de separación controlada para retornar al tanque de aceite.

Otro chorro de aceite lubricante fluye a través de un anillo (C) y pasadizos en la caja de cojinetes de empuje hasta el cojinete de empuje exterior adyacente. El aceite fluye a lo largo de la cara exterior del cojinete de empuje, a través de los orificios del cojinete y a lo largo de hendiduras radiales en la cara interior del cojinete. El aceite luego fluye por un anillo (E) donde se combina con el aceite lubricante que sale del cojinete de empuje interior y el aceite de sello y retorna al tanque de aceite. Una pequeña cantidad de aceite lubricante es llevada hasta el adaptador de impulsión de succión (manguito del collarín de empuje) por un chorro de aceite (D) en la caja de cojinetes de empuje, de donde regresa al tanque a través de un drenaje o desagüe.

El aceite de sello, regulado a una presión mayor que la presión del gas de entrada a la trampa, entra por la lumbrera de entrada del aceite de sello (G) (la cual se muestra girada fuera del plano real). El aceite fluye por un anillo (H) y a través de pasajes en el retén de sellos para introducirse en el espacio entre los conjuntos de sellos de gas y de aceite de separación controlada. La presión del aceite separa los sellos y los presiona contra las superficies templadas y pulidas de acero del anillo de sello y del cojinete, formando así un sello no giratorio. La capa de aceite formada en la pequeña separación radial entre el diámetro interior de los sellos y el diámetro exterior del eje corto de succión del rotor coloca a los sellos en posición radial. La mayor parte del aceite de sello se fuga por el conjunto de sello de aceite de

separación controlada para detener el aceite lubricante e impedir que entre al compresor.

El aceite de sello se une al aceite lubricante en el cojinete de zapatas basculantes, entra en el anillo (E) y luego se drena a través de la lumbrera de salida del aceite lubricante (F) hasta el tanque del aceite. El aceite de sello restante que sale del conjunto de sello de gas de separación controlada se mezcla con el gas de sello en el anillo (J) y fluye a través de la lumbrera de salida del aceite de sello (K) (la cual se muestra girada fuera de su plano verdadero) y pasa a la trampa de aceite de sello, donde el aceite y el gas son separados. El aceite se drena a través de un escurridero en el fondo de la trampa y entra en el tanque de aceite. El gas separado se lleva hasta la brida de succión del compresor. El gas de separación entra por la lumbrera de entrada del gas (L) (la cual se muestra girada fuera de su plano verdadero) y fluye a través del sello de laberinto de aceite y gas. La presión del gas desvía el aceite que pasa del sello de aceite de separación controlada, lo cual impide que el aceite entre a la sección del compresor. La mezcla de gas y aceite de sello fluye a través de la lumbrera de salida de aceite de sello (K) hasta la trampa de aceite de sello donde esta separa el aceite del gas, devolviendo el gas al proceso y el aceite es devuelto hacia el colector de aceite que va hacia el tanque principal de lubricación.

El aceite de sello, controlado a una presión mayor que la presión del gas de entrada a la trampa, entra por la lumbrera de entrada del aceite de sello (E) (que se muestra desplazada del plano real). El aceite fluye por un anillo y por pasajes en el retén de sellos para introducirse en el espacio entre los conjuntos de sellos de gas y de aceite de separación controlada.

La presión del aceite separa los sellos y los presiona contra las superficies templadas y pulidas de acero del anillo de sello y del cojinete, formando así un sello no giratorio. La capa de aceite formada en la pequeña tolerancia radial entre el diámetro interior de los sellos y el diámetro exterior del eje corto de entrada del rotor coloca en posición radial a los sellos. La mayor parte del aceite de sello de alta presión se fuga por el conjunto de sello de aceite de separación controlada para separar el aceite lubricante e impedir que entre al compresor.

El aceite de sello se une al aceite lubricante, fluye hasta la tapa de drenaje y luego se drena a través de la lumbrera de salida del aceite lubricante (D) hasta el tanque del aceite. El aceite de sello a alta presión restante que sale del conjunto de sello de gas de separación controlada se mezcla con el gas de sello en el anillo (J) y fluye a través de la lumbrera de salida del aceite de sello y gas de sello (H) (la cual se muestra girada fuera de su plano verdadero) y pasa a la trampa de aceite de sello, donde el aceite y el gas son separados. El aceite se drena a través de un escurridor en el fondo de la trampa y entra en el tanque de aceite. El gas separado se lleva hasta la brida de succión del compresor.

El gas de separación entra a la lumbrera de entrada del gas (J) (la cual se muestra girada fuera de su plano real) y fluye a través del sello de laberinto de gas y aceite, impidiendo que el aceite entre al interior del compresor. El gas y el aceite de sello fluyen a través de la lumbrera de salida del aceite de sello y gas de separación (H) hasta la trampa del aceite de sello.

2.14. Requisitos que debe cumplir el aceite usado en turbinas de gas

Existen varios tipos de aceites lubricantes adecuados para usarse en las turbinas. La selección de un aceite satisfactorio depende de la composición física y química del aceite y de la temperatura ambiente que rodea a la turbina antes del arranque. El aceite seleccionado para satisfacer los requisitos dados en la Tabla 2.5, debe asegurar la lubricación correcta y una larga vida de servicio de la turbina y sus componentes. Se deben tomar y analizar muestras del aceite nuevo antes de usarse en las turbinas para tener una base con que determinar la degradación que sufre el aceite durante su uso [15].

Tabla 2.5. Requisitos físicos y químicos de los aceites lubricantes [13].

NORMA ASTM	ITEM	Hidrocarburos Sintéticos	Aceites de petróleo para uso diario		Lubricante resistente al fuego*
D 2422	Grado de viscosidad	C32 (S150)	C32 (S150)	C46 (S215)	C32 (S150)
D 2161	Viscosidad a 38°C (100°F) cSt-mm2/s (SUS) Máx.	35.2(165)	35.2(165)	50.6(235)	38.5(170)
D 2161	Viscosidad a 99°C (210°F) cSt-mm2/s (SUS) Mín.	5.44(44)	5.09(43.0)	6.04(46.0)	4.09(40)
D 93	Punto de inflamación, COC, °C Mín.	224(435)	199(390)	199(390)	241(465)
D 93	Punto de combustión.	243(470)	227(440)	232(450)	341(645)
D 97	Punto de fluidez °C (°F) Máx.	-50(-65)	-9.5(+15)	-9.5(+15)	-23.3(-10)
D 130	Corrosión del cobre a 100°C (212 °F), 3 h, clase	1b	1b	1b	1b
D 664	Neutralización, número ácido total, Máx.	0.40	0.20	0.20	0.20
D 665	Prevención de herrumbre, Procedimiento B	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
D 892	Limites de espuma, milímetros Máx.				
	Secuencia 1	25/0	25/0	25/0	25/0
	Secuencia 2	50/0	50/0	50/0	50/0
D 943	Resistencia a la oxidación, mínimo número de horas al número de neutralización – 2,0	--	2000	2000	--
D 1298	Gravedad específica, 15/15°C	0.83-0.88	0.86-0.88	0.86-0.88	1.18-1.15
D 1401	Prueba de emulsión	--	40-40-0	40-40-0	--
D 2788	Zinc, peso, % Máx.	0.005	0.005	0.005	0.005
D 1744	Agua, peso, partes por millón	200	200	200	200
D 1947	Capacidad de acarreo de carga, Lb/pulg	2100	1000	1000	--
D 2155	Temperatura de autoencendido, (°C Mín.)	385(725)	310(590)	310(590)	538(1000)
D 2266	Características preventivas de gastado, diámetro de cicatriz, milímetros máx. (75°C, 1200 rpm, 40 kg, 1 hora)	0.45	0.90	0.90	0.50
D 2270	Índice de viscosidad, Mín.	100	90	90	0
D 2273	Volumen de sedimento, % Máx.	0.005	0.005	0.005	0.005
D 2893	Características de oxidación, aumento viscosidad a 99°C (210°F) % Máx.	--	--	--	--
ISO 4406	Valores mínimos de limpieza.		20/17/14		
Método de determinación federal 5308 (E.U.A)-					
Estabilidad a la corrosión y oxidación – Probar a 175°C (347 °F) 72 Horas					
a.	Aumento de viscosidad cinemática % máx.	20			5.0
b.	Aumento del número ácido total	1.5			1.0
c.	Cambio en el peso de cobre, mg/cm2, máx.	0.12			0.40
d.	Cambio en el peso de acero, mg/cm2, máx.	0.008			0.05
e.	Cambio en el peso de oro, mg/cm2, máx.	0.080			0.05
f.	Cambio en el peso de magnesio, mg/cm2, máx.	0.040			0.05

* Antes verifique con solar su aplicabilidad.

2.15 Vida de servicio del aceite en turbinas de gas.

Se debe revisar el aceite de manera regular, por ejemplo una vez al mes, para verificar su degradación y grado de contaminación. El grado en que estas condiciones puedan variar y afectar el funcionamiento dependerá según su aplicación. Los límites deben ser determinados por el usuario. La vida de servicio del aceite es limitada por la presencia de agua, cambios en la viscosidad del aceite e incrementos del número de acidez total. Se debe reemplazar el aceite cuando se excede de alguna de las condiciones descritas a continuación.

- ✓ Contenido de agua en cualquiera de los tipos de aceite que exceda las 2000 ppm.
- ✓ Cambio en la viscosidad de 25 % para los aceites de hidrocarburos sintetizados o de petróleo natural.
- ✓ Aumento en el número de acidez total por encima de 4,0 para los aceites de hidrocarburos sintetizados, y de 1,0 para los aceites de petróleo natural.

CAPITULO 3: METODOLOGÍA DEL TRABAJO

3.1. Determinación de las condiciones operacionales en las que se encuentra el turbocompresor T3 de planta compresora San Joaquín II.

El proceso de obtención de las condiciones operacionales del turbocompresor T3 de la Planta Compresora San Joaquín II, se realizó mediante una serie de visitas a la planta donde se recolectaron los valores desde el turbocompresor ó su panel de operación, adicionalmente se realizó una revisión de los manuales correspondientes al turbocompresor, para determinar los valores recomendados por el fabricante del sistema CENTAURO T-4500 referente a los diferentes parámetros. Al finalizar la revisión bibliográfica se procedió a tomar los parámetros seleccionados y anotarlos en un libro de campo con la finalidad de comparar los valores tomados con los valores recomendados por el fabricante.

Los parámetros que se tomaron en cuenta para la realización de este libro fueron los siguientes:

- ✓ Temperatura de aceite lubricante en el distribuidor de aceite.
- ✓ Temperatura de cojinete externo de compresor de alta (HP EXT).
- ✓ Temperatura de cojinete interno de compresor de alta (HP INT).
- ✓ Temperatura de cojinete externo de compresor intermedio (IP EXT).
- ✓ Temperatura de cojinete interno de compresor intermedio (IP INT).
- ✓ Temperatura de cojinete externo de compresor de baja (LP EXT).
- ✓ Temperatura de cojinete interno de compresor de baja (LP INT).
- ✓ Presión de aceite lubricante en el distribuidor de aceite.
- ✓ Presión diferencial compresor de baja (LP) aceite de sello.

- ✓ Presión diferencial compresor intermedio (IP) aceite de sello.
- ✓ Presión diferencial compresor de alta (HP) aceite de sello.
- ✓ Presión de aceite sello.
- ✓ Nivel del tanque de aceite.
- ✓ Presión diferencial filtro de aceite sello.
- ✓ Presión diferencial del filtro de aceite lubricante.

También se realizaron encuestas no estructuradas al personal técnico que opera los turbocompresores, con el propósito de obtener información de dicho equipo. Esta técnica permitió recolectar información acerca de ciertos componentes pertenecientes a los sistemas de aceite que generalmente presentan fallas.

3.2. Identificación de las propiedades del aceite que contiene el turbocompresor T3

El contenido de partículas contaminantes se efectuó a través del Spectroil M (Fig. 3.1) ubicado en el Laboratorio de aceite del distrito San Tome.



Figura 3.1. Spectroil M.

3.2.1. Procedimiento para realizar el análisis de aceite en el Spectriol M

1. Se encendió el equipo colocando el botón de “Switch MODE” en la posición de “OPERATE”.
2. Se calentó el equipo quemando una serie de muestras para así lograr que el sistema óptico y los elementos electrónicos lleguen a su temperatura de operación. Se hace la preparación para el análisis de una muestra estándar de treinta segundos (30 s) de la siguiente manera.
 - 2.1. Se abrió la cámara de excitación.
 - 2.2. Se colocó el electrodo de grafito circular en su posición dentro de la cámara.
 - 2.3. Se colocó el electrodo de barra en su posición dentro de la cámara.
 - 2.4. Se homogenizó mediante agitación la muestra de aceite.
 - 2.5. Se vertió el aceite a analizar hasta el tope del porta muestra desechable, y se colocó en la mesa del porta muestra dentro de la cámara.
 - 2.6. Se elevó la mesa del porta muestra hasta el punto de análisis.
 - 2.7. Se cerró la puerta de la cámara.
 - 2.8. Se colocaron los datos de la muestra mediante el teclado.
 - 2.9. Se presionó la tecla F9 o “STAR” para dar inicio al análisis.

El proceso de calentamiento puede realizarse con una muestra repitiendo la operación de análisis en dos oportunidades, es importante que a la misma muestra no se le aplique un número mayor de análisis porque esta se podría encender dentro de la cámara de análisis.

3. Se retiró la muestra de la máquina de la siguiente manera:
 - 3.1. Se abrió la cámara de excitación (Fig. 3.2).

- 3.2. Se bajó la mesa porta muestra.
- 3.3. Se retiró el porta muestra con el aceite residual y se desecho.
- 3.4. Se retiró el electrodo circular y se desecho.
- 3.5. Se retiró el electrodo de barra y se colocó en la sección de electrodos utilizados para ser nuevamente limpiado y afilado.
- 3.6. Se cerró la cámara.



Figura 3.2. Vista frontal de la cámara de excitación

4. Se estandarizo el equipo utilizando un aceite de 0 ppm, siguiendo los pasos dos (2) y tres (3) descritos anteriormente. La estandarización se realiza en dos oportunidades para garantizar un mejor resultado de los análisis posteriores a las muestras traídas desde el campo.
5. Se analizaron la muestras correspondiente de la unidad compresora objeto de estudio, siguiendo los pasos dos (2) y tres (3) anteriormente descritos.

6. Se retiro de la impresora que está conectada al equipo los resultados de los análisis, para ser comparados con los valores permisibles y luego ser evaluados.

3.2.2. Pruebas de las propiedades fisico-químicas

Las pruebas fisicoquímicas 1 y 2 serán realizadas en el laboratorio de aceite del distrito SAN TOME, y la prueba 3 se realizo en los laboratorios de INTEVEP, en ambos casos siguiendo los procedimientos establecidos en las normas internacionales:

1. Análisis de viscosidad a 40 °C. Este test se realiza siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D-446
2. Direct Trending Crankcase. Este test se realiza siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D-2412-04.
3. Análisis SARA. Mediante la aplicación de la norma SGLG-IT-158.

Luego de la realización de estos análisis, sus resultados son tabulados y comparados con los valores permisibles para este tipo de aceite, estos valores permisibles son proporcionados por el fabricante DELTAVEN S.A.

En la Tabla 3.1 se muestran las propiedades fisicoquímicas que debe presentar un aceite TURBOLUB ISO 46.

Tabla 3.1: Propiedades físicas y químicas del aceite lubricante TURBOLUB ISO 46 [2].

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS:		
NO Combustible	NO Inflamable	NO Piroforico
NO Gas comprimido	NO Peroxido orgánico	NO Reactividad
NO Explosivo	NO Oxidante	SI Estable
Punto o rango de ebullición, 760 mmHg, °C(°F): > 320 (608)		
Densidad relativa (60/60 °F) (H ₂ O=1): 0.87		
Viscosidad (40 °C) cSt: 46		
Viscosidad (100 °C) cSt: 6.5		
Densidad de vapor (AIR=1): > 1		
Porcentaje de volátiles en volumen: Despreciable		
Punto de fluidez, °C (°F): -6 (21.2)		
Presión de vapor, Mg., (25°C): -1x10⁻³		
Solubilidad en agua, % en peso: Despreciable		
Velocidad de evaporación (Acetato de Butilo=1) < 1		
pH del producto no diluido: N/A		
Apariencia y color: Líquido ámbar con ligero olor a petróleo		
Información de explosión e incendio:		
Punto de inflamación, COC, °C (°F): 220 (428)		
Punto de inflamación copa Cerrada, °C (°F): N/A		
Límites de inflamabilidad (% en volumen en aire): N/A		

3.2.3. Análisis del Nivel de limpieza

Este análisis se realizó en el laboratorio de aceite del distrito de SAN TOME, con el equipo Lasernet Fines (Fig. 3.3), el cual se fundamenta en la evaluación del número de partículas mayores a 4, 6 y 14 micrones, en un volumen medido de 1 ml. Este equipo fue desarrollado para determinar el nivel de limpieza de un fluido mediante la aplicación del método ISO 4406.

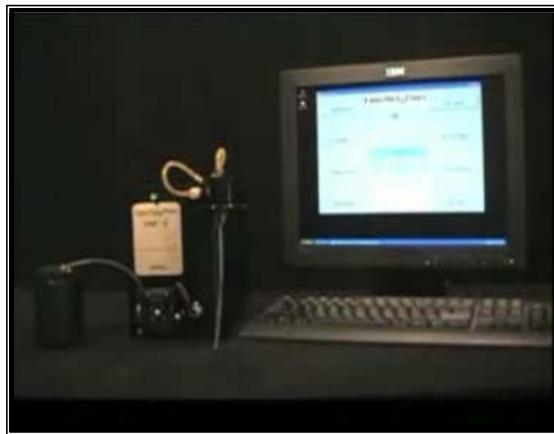


Figura: 3.3. Equipo Lasernet Fines.

Las cantidades obtenidas se comparan con los valores de la Tabla 2.5 que contiene los valores de limpieza mínimo recomendado por el fabricante del turbocompresor para el aceite usado en este. Este análisis ayuda a determinar si el aceite aun se encuentra apto para ser usado sin causar algún tipo de avería en cualquier sistema del turbocompresor.

3.3. Comprobación de funcionamiento de los componentes de los diversos sistemas de aceite pertenecientes al turbocompresor T3 de la planta San Joaquín II.

En esta sección se estudiaron solo los componentes que al presentar fallas ocasionan un alto consumo de aceite, razón por la cual se realizaron

entrevistas no estructuradas a los técnicos que laboran en los turbocompresores y se hizo una revisión de los manuales de funcionamiento de los componentes pertenecientes a los sistemas de aceite. De esta manera con los resultados obtenidos de los dos procedimientos se determinaron cuales eran los componentes a ser estudiados.

A continuación se describen los procedimientos utilizados para inspeccionar los componentes considerados para el estudio.

3.3.1. Procedimiento para el desmontaje e instalación de la caja de la trampa

1. Limpiar cuidadosamente el exterior de la trampa y las líneas antes de desmontar la caja de la trampa. Colocar una bandeja de recolección bajo el separador para recoger los residuos de aceites que puedan caer al quitar la caja.
2. Con una llave hexagonal de $\frac{1}{4}$ pulgada, soltar el tapón de ventilación de la tapa hasta ventear todo el gas atrapado en la caja.
3. Desconectar y tapar todas las tuberías de la caja del separador.
4. Quitar los pernos que fijan la caja de la trampa a su base que la soporta y por medio de una grúa adecuada saque la caja jalándola directamente hacia arriba. Calcular el volumen de los residuos de aceite colectados en la bandeja. Ya que debe existir una cantidad aproximada de un (1) litro, lo que indicaría que tanto el flotador como la válvula están funcionando correctamente.

5. Quitar y desechar el sello “O” y limpiar las caras de las bridas en el caso que exista algún tipo de Silicon.
6. El procedimiento de instalación se realiza de forma inversa a la del desmontaje. Solo se debe instalar un nuevo sello “O” entre la caja y la base.

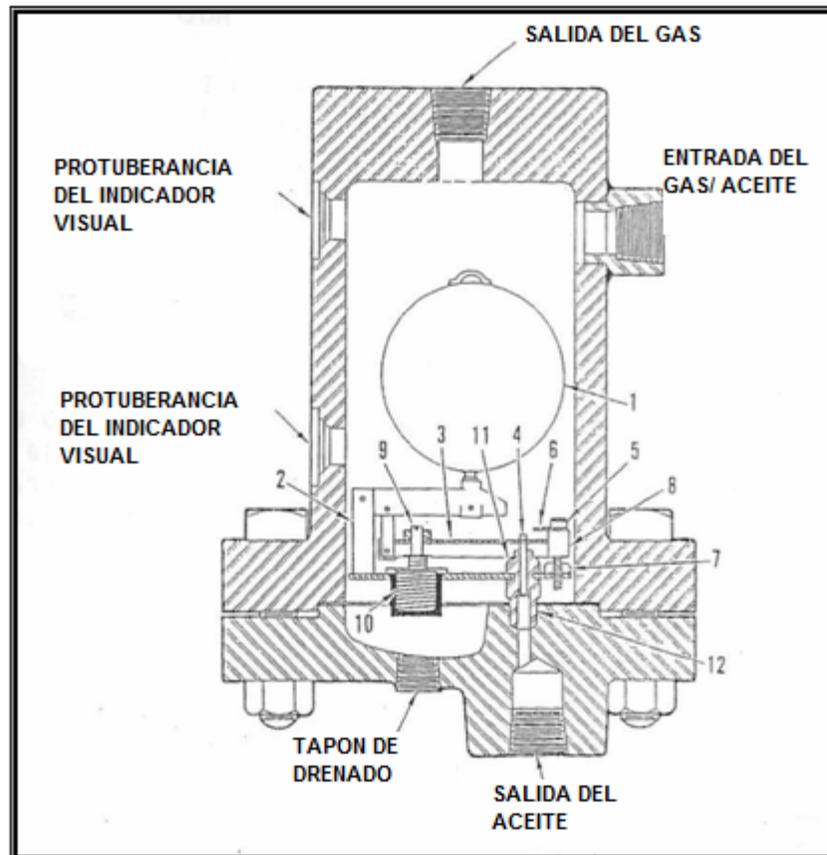
Únicamente cuando el turbocompresor esta fuera de operación pueden realizarse los procedimientos de mantenimiento en la trampa. Tanto en el flotador como en el mecanismo de la válvula los cuales deben ser revisados periódicamente (según los procedimientos descritos en la sección 3.3.1.1), y de ser necesario deben ser limpiados para evitar la acumulación de brea, suciedad, escamas del gasoducto, o cualquier otro material extraño que pueda causar una falla.

3.3.1.1. Pasos para la inspección del conjunto del flotador y la válvula

En la Fig. 3.4 se muestra un conjunto típico de flotador y válvula de cono de una trampa de aceite sello y los pasos a seguir para la inspección del mismo son:

1. Cerciorarse que el conjunto de la válvula este firmemente afianzado a la base y alineado sobre el diámetro de la base.

2. Revisar que el conjunto de varillaje este limpio y que pueda realizar su recorrido de funcionamiento sin ningún tipo de atascamiento ni dificultad de movimiento.



- 1) Flotador, 2) Brazo del flotador, 3) Brazo actuador, 4) Válvula de cono, 5) Tornillo de cabeza hueca, 6) Placa, 7) Contratuerca, 8) Tornillo y tuerca de ajustes del resorte de refuerzo, 9) Tornillo de ajuste, 10) Resorte de refuerzo, 11) Tuerca, 12) Herraje del asiento de la válvula.

Figura 3.4. Ajuste de la trampa del aceite de sello [13].

3. Verificar que el resorte tenga una tensión, localizado en la parte superior del brazo, y retenga en su lugar la válvula de cono.

4. Probar la válvula de cono mediante la aplicación de aire e la lumbrera de salida del aceite a la vez que se levanta el flotador con la mano. El aire debe salir únicamente por la válvula de cono al levantarse el flotador.
5. Ajustar la tensión del resorte de refuerzo con el tornillo de ajuste de tal manera que el varillaje de la válvula de la trampa se mueva de su posición completamente cerrada al aplicarle un peso de 113 gramos hacia arriba del flotador.

La válvula de cono tiene un ajuste holgado en el brazo actuador lo cual permitirá el autocentramiento. En el caso en el que el resorte posea un debilitamiento en su modulo de elasticidad o esté roto, el brazo actuador puede no abrir la válvula.

3.3.2. Reguladores de presión diferencial del sistema de gas de sello y aceite de sello

Durante el estudio los reguladores de presión diferencial (Figs. 3.5 y 3.6) solo presentaron fallas en los diafragmas, razón por la cual se realizaron pruebas experimentales a los diafragmas.

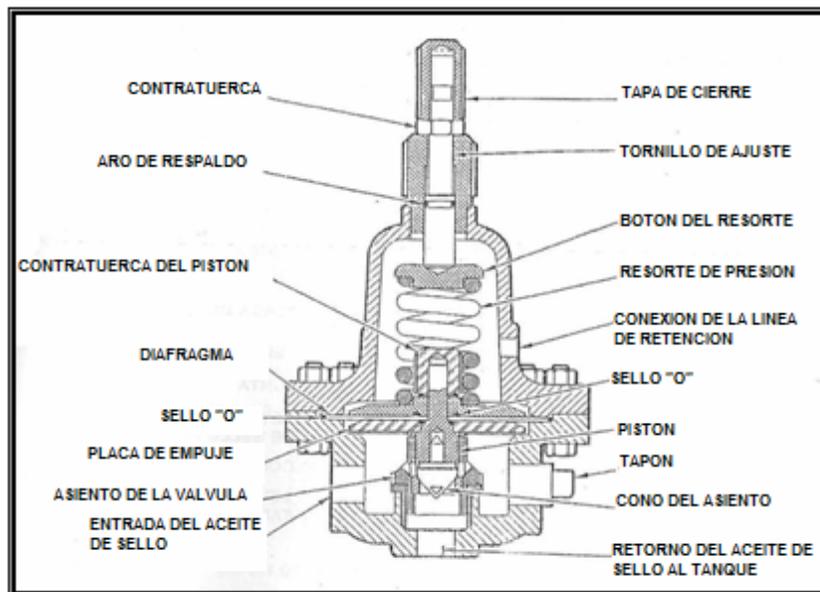


Figura 3.5. Regulador de desvío de presión diferencial del aceite sello [13].

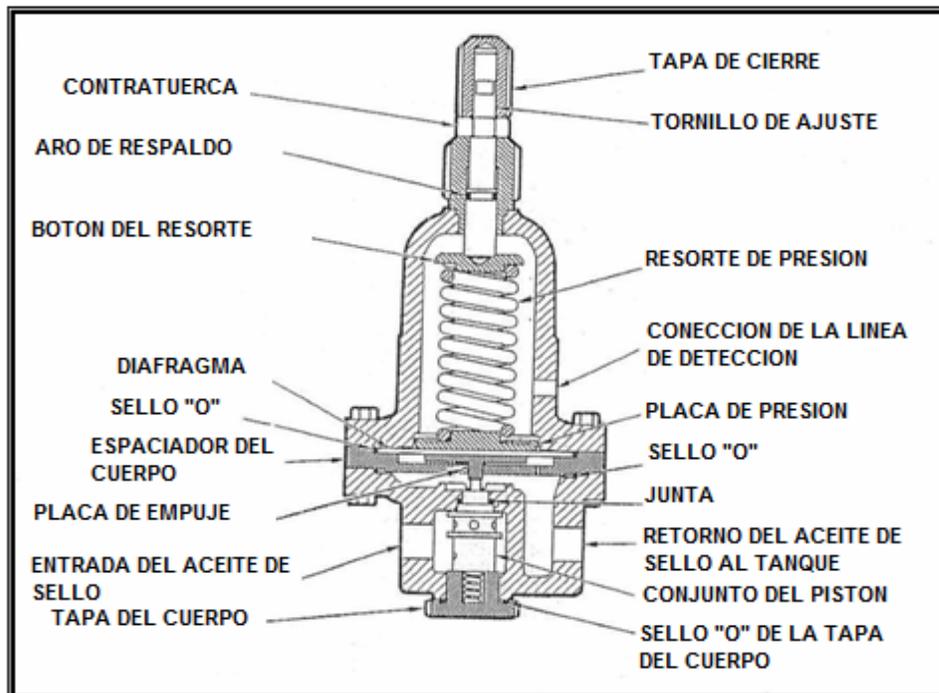


Figura 3.5. Regulador de desvío de presión diferencial del aceite de sello y gas de sello [13].

Los ensayos realizados a los diafragmas pertenecientes a los reguladores fueron:

3.3.2.1 Pruebas de dureza

Para la realización de estas medidas se utilizó un Durometro HPE II que sirve para hacer ensayos de durezas en campo sobre cauchos, elastómeros, productos de goma natural, moldeado en resina, cuero, plásticos, entre otros. La unidad de medición expresa su valor en dureza Shore A y para expresar el valor de la medición por parte del equipo se cumple las normas DIN ISO 868, DIN 53505, ASTM D 2240, NFT 51-174, BS903 Part. A 26.

3.3.2.1.1. Procedimiento de encendido del equipo

1. Se encendió el HPE II presionando el botón ON/OFF ZERO.
2. Se escucho una señal de audio.
3. En la pantalla aparece brevemente el tiempo de medida seleccionado y luego aparece 0.0
4. El HPE II estuvo listo para su uso.

3.3.2.1.2. Procedimiento para uso del equipo

1. Se presionó el casco como se muestra en la Fig. 3.7, perpendicularmente contra la muestra mientras el equipo esta encendido.
2. Se aplicó la presión en el área de contacto deseada.
3. Tan pronto como es presionado el tiempo de medida comienza a contar.
4. La medida de dureza instantánea se mostró mientras el tiempo de ensayo dura.

5. Se supo que la medición de dureza ha terminado cuando apareció un valor de dureza fijo en la pantalla acompañada de una señal auditiva por parte del HPE II.
6. El valor mostrado es el valor medio medido.
7. Si se interrumpe la medición antes de culminar el tiempo de medición se escuchara una señal auditiva doble y la pantalla mostrara 0.0.

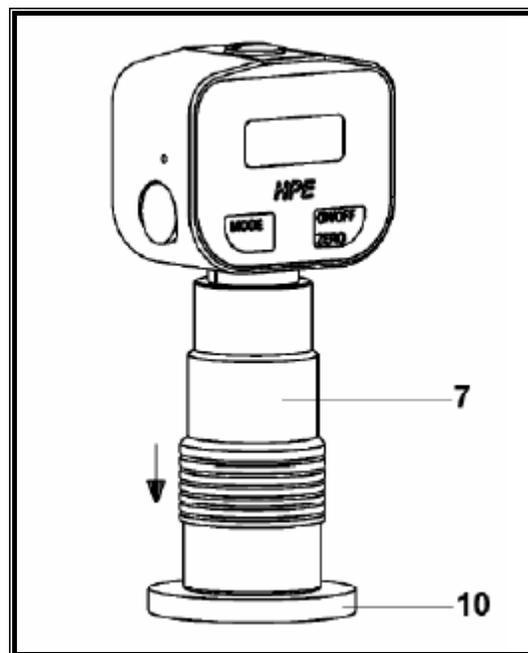


Figura 3.7. Modo de colocación del HPE II para mediciones de dureza.

3.3.2.2 Procedimiento para determinar la densidad de los diafragmas

La densidad es una magnitud que relaciona la masa que posee un cuerpo con el volumen que ocupa como se muestra en la Ec. (3.1). Es una propiedad específica de las distintas sustancias puras y permite distinguir unas de otras ya que una sustancia pura posee una densidad determinada que no varía siempre que se mida a una temperatura y presión establecidas:

$$\rho = m/v \quad (3.1)$$

Donde:

ρ = Densidad (kg/m³)

m = Masa (kg)

v = Volumen (m³).

Para determinar la densidad se uso una balanza electrónica para poder pesar cada una de las probetas hecha de los diafragmas, luego de esto se determinó el volumen que desplazaba cada probeta al ser sumergida en un cilindro graduado, posteriormente se determinó la densidad mediante el cociente de la masa de la probeta entre el volumen desplazado por la probeta. Este procedimiento se le realizó a cada una de las probetas de los diafragmas estudiados.

3.3.2.3 Procedimiento para la determinar el porcentaje de hinchamiento

Se realizó una prueba sometiendo a una probeta de eslatomero, a temperatura de operación del equipo turbocompresor; para lo cual se usaron los siguientes implementos: estufa hermética de calentamiento a temperatura constante y balanza analítica. El tiempo de ensayo mínimo fue de 10 días y teniendo un máximo 45 días.

Luego de transcurrido el tiempo del ensayo se midió: incremento en porcentaje del volumen de la probeta de ensayo después de la inmersión, siguiendo los siguientes pasos:

1. Se midió con precisión el peso de cada probeta.

2. Se midió la dureza shore A, antes de la inmersión.
3. Se sumergieron las probetas en el líquido durante un mínimo de 10 días, asegurándose que permanecieran completamente sumergidas durante la totalidad del período
4. Al finalizar el período de ensayo, se midió el peso de cada probeta.
5. Se midió la dureza shore "A" después de la inmersión.

La dureza shore "A" no debe disminuir más de 5 puntos.

Luego se determina el porcentaje de hinchamiento aplicando la Ec. (3.2).

$$\% = (M_f - M_i) / P_i * 100 \quad (3.2)$$

Donde:

M_f= Masa Final de la probeta (kg)

M_i= Masa inicial de la probeta (kg)

%= Porcentaje de hinchamiento.

3.4. Elaboración de análisis causa efecto para determinar las causas que originan alto consumo de aceite en el turbocompresor T3

Un diagrama Causa-Efecto es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado.

Unas de las características principales que se toman en cuenta para la elaboración de este diagrama es el impacto visual que este genera, ya que

muestra las interrelaciones entre un efecto y sus posibles causas de forma ordenada, clara, precisa.

Este método posee una excelente capacidad de comunicación ya que muestra las posibles interrelaciones causa-efecto permitiendo una mejor comprensión del fenómeno en estudio, incluso en situaciones muy complejas, centrando la atención de todos los componentes del grupo, en un problema específico de forma estructurada y sistemática.

A través de las entrevistas no estructuradas y tormentas de ideas realizadas al personal que labora en el área de Turbomáquinas de la empresa PDVSA, así como de la observación directa de las jornadas de mantenimiento realizadas dentro del cronograma establecido, se identificaron las actividades o factores de alta relevancia que inciden directamente en el alto consumo de aceite que se presenta en el turbocompresor, que para efectos del análisis fueron considerados por separado.

3.4.1. Formación del diagrama Causa-Efecto

A continuación se muestran una serie de pasos que se deben seguir para lograr una correcta formación del análisis causa efecto:

Paso 1. Definir sencilla, clara y brevemente el efecto o fenómeno cuyas causas han de ser identificadas

El efecto es específico para que las aportaciones se concentren sobre el auténtico efecto a estudiar. Para el diagrama que se elaboro en esta tesis se definió que el efecto seria “Alto consumo de aceite”.

Paso 2. Colocar el efecto principal de estudio

Se colocó el efecto dentro de un rectángulo a la derecha de la superficie de escritura y dibuje una flecha como se muestra en la Fig. 3.8, que corresponderá al eje central del diagrama, de izquierda a derecha, apuntando hacia el efecto.

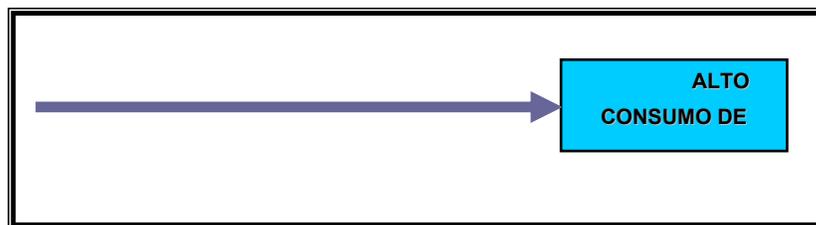


Figura. 3.8. Efecto principal de estudio.

Paso 3. Identificar las posibles causas que contribuyen al Alto consumo de aceite

Este paso se concentro en atender a las características y particularidades del Alto consumo de aceite, En primer lugar se identificaron las causas o clases de causas más generales en la contribución a dicho consumo, y en segundo lugar se escribieron en un recuadro y se conectaron con la línea central. En la Fig. 3.9 se muestra como deben estar dispuestas las causas en el diagrama.

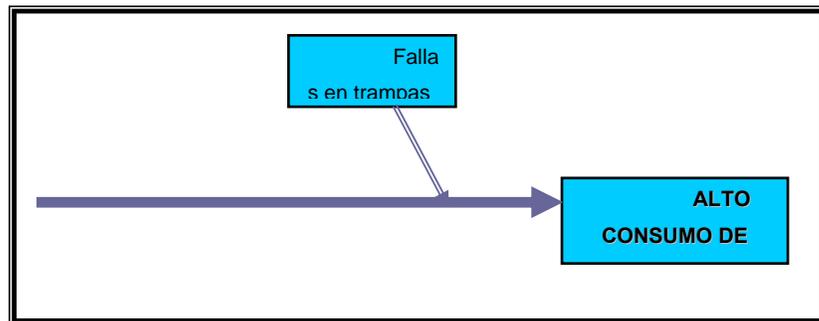


Figura: 3.9. Causas que contribuyeron al Alto consumo de aceite.

Paso 4. Añadir las causas para cada rama principal

En este paso se rellenaron cada una de las ramas principales con los problemas que generan el efecto enunciado. Para incluir estas en el diagrama se escribieron al final de unas líneas, paralelas a la de la flecha central, conectadas con la línea principal correspondiente. En la Fig. 3.10 se muestra un ejemplo de cómo se debe realizar este paso.

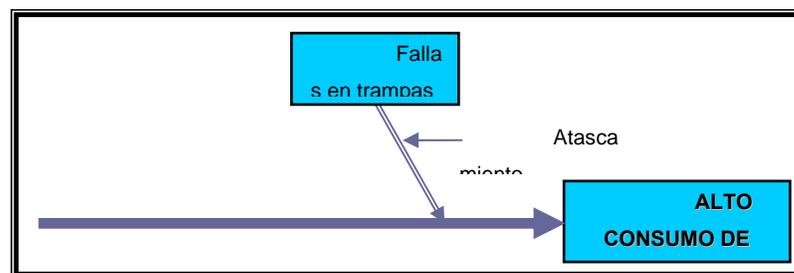


Figura 3.10. Causas por la cuales se presenta baja viscosidad.

Paso 5. Comprobar la validez lógica de cada cadena causal

Para cada causa raíz se leyó el diagrama en dirección al efecto analizado, asegurándose de que cada cadena causal tuviese un sentido

lógico y operativo. Este análisis aseguro que la ordenación es correcta y también puede ayudar a identificar factores causales intermedios u omitidos.

Paso 6. Comprobar la integración del diagrama

Finalmente se comprobó, en una visión de conjunto del Diagrama que las ramas principales tuviesen al menos de 2 causas sin importar que alguna de las otras ramas tuviese más causas. La existencia de alguna disparidad en el número de causas de las ramas principales no significa un defecto en el diagrama pero sugiere una comprobación del proceso.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Características de funcionamiento en la que se encuentra el turbocompresor T3

Para poder observar las condiciones operacionales en las que se encontraba el turbocompresor T3 de la planta compresora San Joaquín II. Se realizó una recolección de valores de parámetros operacionales con un número total de 10 muestras y una frecuencia de 15 días entre muestra, esta frecuencia varió dependiendo si el día fue laborable o no. Los valores mostrados en la Tabla 4.1 fueron tomados en la planta desde el equipo turbocompresor o desde la consola de operación, y se anotaron en el libro de campo para poder realizar el seguimiento planteado.

Tabla 4.1. Parámetros Operacionales del Turbocompresor T3.

Parámetro operacional	Unidad	Rango	Alarma	Parada	Nominal	FECHA DE INSPECCIÓN									
						09/06/08	25/06/08	10/07/08	25/07/08	08/08/08	25/08/08	05/09/08	19/09/08	10/10/08	24/10/08
Temperatura de aceite lubricante	°F	0-300	155↑	180↑	-	158	156	150	156	160	151	148	146	146	146
Temperatura de cojinete de compresor HP EXT	°F	0-300	241↑	259↑	-	181	183	184	178	183	186	205	176	181	177
Temperatura de cojinete de compresor HP INT	°F	0-300	241↑	259↑	-	179	179	173	183	181	191	184	176	178	174
Temperatura de cojinete de compresor IP EXT	°F	0-300	241↑	259↑	-	180	192	197	189	194	203	225	190	198	173
Temperatura de cojinete de compresor IP INT	°F	0-300	241↑	259↑	-	192	177	171	177	180	183	182	174	175	189
Temperatura de cojinete de compresor LP EXT	°F	0-300	241↑	259↑	-	174	181	176	180	183	187	188	180	179	169
Temperatura de cojinete de compresor LP INT	°F	0-300	241↑	259↑	-	179	174	169	174	177	182	181	170	173	176
Presión de aceite lubricante	Psi	0-160	42↓	25↓	55-65	58	58	57	28	57	56	56	57	58	58

Tabla 4.1. Continuación.

Presión diferencial compresor LP aceite de sello	Psid	0-100	7↓	4↓	20	19	18	19	19	18	19	21	21	22	23
Presión diferencial compresor IP aceite de sello	Psid	0-100	7↓	4↓	20	18	18	18	20	19	18	20	21	21	21
Presión diferencial compresor HP aceite de sello	Psid	0-100	7↓	4↓	20	20	20	20	20	20	21	23	23	21	23
Presión de aceite sello	Psig	0-1500	7↓	4↓	15	20	0	20	29	29	29	29	29	595	163
Nivel del tanque de aceite	%	-	-	-	80%	75	75	80	92	80	80	80	80	80	80
Presión diferencial filtro de aceite sello	Psid	0-75	58↑	-	0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presión diferencial del filtro de aceite lubricante.	Psid	0-150	20↑	-	0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

De acuerdo a las mediciones de los parámetros operacionales mostrados en la Tabla 4.1, se observó que el turbocompresor generó 4 alarmas por alta temperatura de aceite lubricante, lo que se pudo solventar mediante el reemplazo del transmisor de temperatura que mide dicho parámetro, comprobándose de esta manera, que la temperatura del aceite se encontraba dentro del rango permisible para la operación normal del equipo y que la falla era ocasionada por la descalibración del transmisor de temperatura. Además no se obtuvieron valores de las presiones diferenciales de filtro de aceite sello y filtro de aceite lubricante, debido a que los manómetros no se encontraban en funcionamiento durante las inspecciones realizadas.

Por otra parte el día 25 de julio de 2008 se registró una alarma de baja presión de aceite de lubricación la cual se corrigió por la aplicación de un mantenimiento correctivo a la bomba auxiliar de aceite de lubricación, en el que se constató que las paletas del motor neumático que acciona dicha

bomba, se encontraban desgastadas lo cual no generaba la suficiente potencia para impulsar el aceite lubricante hasta los rangos de flujo y presión requeridos para el correcto funcionamiento del turbocompresor.

Adicionalmente, se realizó un registro diario del consumo de aceite que presentaba el turbocompresor. Este registro fue llevado a cabo luego de la instalación de un nuevo contador calibrado de aceite, lo que permitió determinar el consumo que presentó el turbocompresor (ver Tabla 4.2 y Fig. 4.1).

Tabla 4.2. Consumo de aceite del Turbocompresor T3 durante el mes de Junio de 2008.

Día	Consumo Gal.(US)	Estatus	Día	Consumo Gal.(US)	Estatus
1/06/2008	16.4	Operativa	17/06/2008	6.0	Operativa
2/06/2008	32.4	Operativa	18/06/2008	13.0	Operativa
3/06/2008	39.2	Operativa	19/06/2008	2.0	Disponibile
4/06/2008	16.0	Operativa	20/06/2008	26.0	Operativa
5/06/2008	3.0	Disponibile	21/06/2008	55.0	Operativa
6/06/2008	45.8	Operativa	22/06/2008	40.2	Operativa
7/06/2008	49.7	Operativa	23/06/2008	20.7	Operativa
8/06/2008	68	Operativa	24/06/2008	0.6	Disponibile
9/06/2008	18.8	Operativa	25/06/2008	62.6	Operativa
10/06/2008	55.6	Operativa	26/06/2008	25.0	Operativa
11/06/2008	25.9	Operativa	27/06/2008	6.6	Operativa
12/06/2008	25.0	Operativa	28/06/2008	0.7	Disponibile
13/06/2008	23.0	Operativa	29/06/2008	0.0	Disponibile
14/06/2008	29.7	Operativa	30/06/2008	0.0	Disponibile
15/06/2008	36.2	Operativa	31/06/2008	2.1	Disponibile
16/06/2008	28	Operativa			

Se puede observar en la Tabla 4.2 y en la Fig. 4.1, que los días en que el turbocompresor se mantuvo operativo presentó un consumo de aceite mayor al consumo normal (de 3 a 5 galones por cada 24 horas de operación), llegando a registrarse consumos de hasta 63 galones por encima del consumo normal.

Es importante resaltar que los días 1, 4, 17, 18, 26 y 27 del mes de junio de 2008, el turbocompresor se mantuvo operativo menos de 24 horas, debido al elevado consumo de aceite que este presentaba.

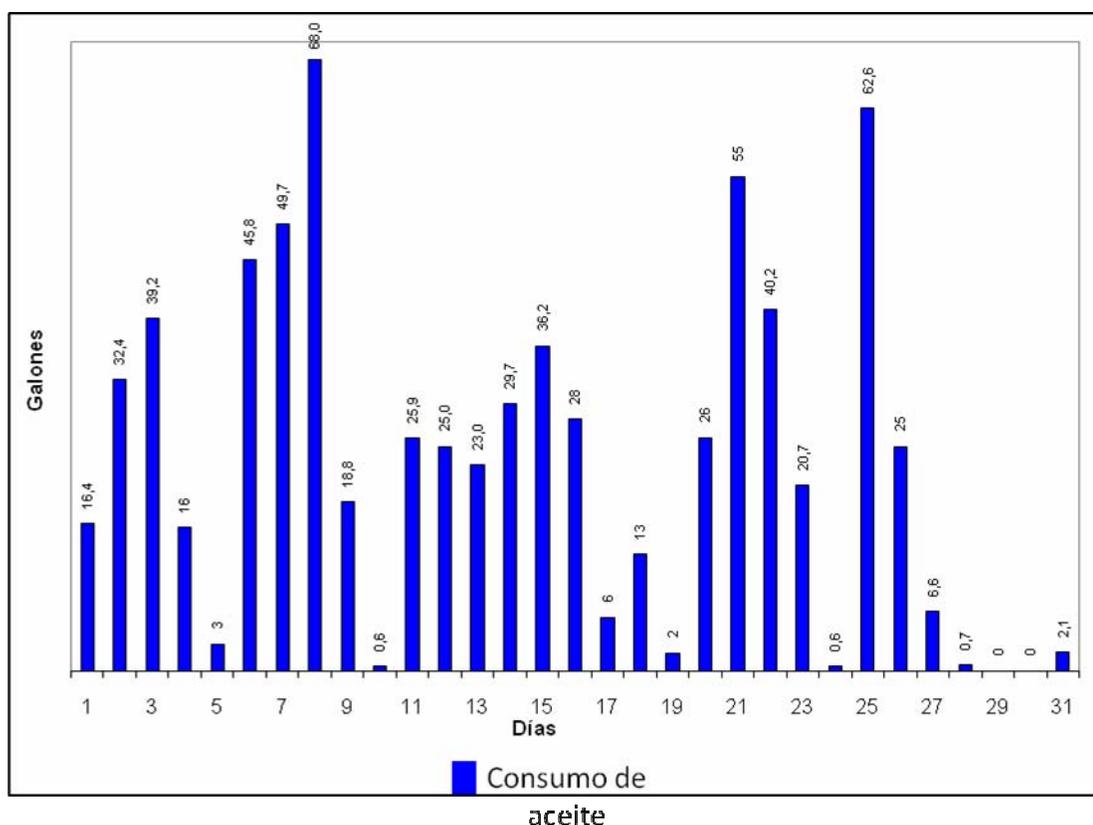


Figura 4.1. Consumo de aceite del turbocompresor T3 durante el mes de Junio de 2008.

Con respecto a la Fig. 4.1 los días 05, 19, 24, 28, 29, 30 y 31 el turbocompresor se encontraba inoperativo (con un estatus disponible), razón por la cual no se presentaron altos consumos de aceite.

4.2. Identificación de las propiedades del aceite que contiene el turbocompresor T3

El control de la calidad de los aceites lubricantes para aplicaciones industriales, es un factor determinante para el buen funcionamiento de los equipos en contacto con este aceite. Como consecuencia de la aplicación y de las condiciones de utilización, los aceites en servicio sufren de forma progresiva una degradación y un envejecimiento que ocasionan una disminución de sus propiedades, haciéndolos inadecuados para las condiciones de trabajo que deben soportar, acortando su vida útil y finalmente, trasformándose en un residuo tóxico y peligroso que se debe gestionar correctamente para evitar contaminar la naturaleza.

Para determinar las propiedades del aceite utilizado por el turbocompresor (Turbolub ISO46), se realizaron diferentes estudios a dicho aceite tanto nuevo como usado, obteniéndose los resultados mostrados en las siguientes secciones.

4.2.1. Análisis de las propiedades fisicoquímicas presente en el aceite Turbolub ISO46

Para realizar éstos análisis se siguieron los procedimientos descritos en la sección 3.2.2, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Análisis fisicoquímicos del aceite Turbolub ISO 46 nuevo y usado.

Datos operacionales		Agua (Abs/ mm ²)	Hollín (%)	Oxidación (Abs/ mm ²)	Nitración (Abs/mm ²)
Muestra	Fecha de muestreo				
Aceite nuevo	29/12/2008	0,00396	0,0555	0,0948	0,0546
Usado 1	29/10/2008	0,00208	0,0596	0,1179	0,0684
Usado 2	28/11/2008	0,00191	0,0499	0,0852	0,0642
Usado 3	29/12/2008	0,00107	0,0604	0,1382	0,0679

Al ser cotejados los valores recomendados para aceites utilizados en turbocompresores (ver sección 2.7) con los mostrados en la Tabla 4.3, se observó que se encuentran dentro del rango permitido. Por lo que se determina que el aceite presenta características de oxidación, nitración, agua y hollín aptas para seguir siendo usado en el turbocompresor, sin que alguna de estas propiedades ocasionen daños a los componentes que integran los sistemas de aceite.

4.2.2. Análisis del contenido de partículas que contiene el aceite Turbolub ISO46.

Este análisis se realizó tanto en el aceite nuevo (sin uso) como en el aceite que se encontraba en uso en la turbina T3. Se realizaron 4 análisis con una frecuencia de aproximadamente 15 días, para observar si existió la alteración de algún elemento, mostrando valores fuera de los rangos permisibles mostrados en la Tabla 2.2.

Una vez realizado el procedimiento descrito en la sección 3.2.1, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.4 referente al contenido de partículas presente en el aceite Turbolub ISO 46.

Tabla 4.4. Contenidos de partículas presentes en el aceite turbolub ISO 46 nuevo y usado.

Metal	ACEITE USADO (ppm)				ACEITE NUEVO (ppm)		Limite máximo (ppm)
	09/12/2008	30/12/2008	14/01/2009	28/01/2009	30/12/2008	14/01/2009	
Fe	0.00	0.00	0.28	0.53	0.35	0.10	10
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1
Pb	0.41	0.38	0.01	0.17	0.00	0.33	10
Cu	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	10
Sn	0.00	0.31	0.00	0.00	0.08	0.00	10
Al	0.29	0.18	0.06	0.00	0.36	0.00	2
Si	1.73	2.13	1.91	1.88	12.94	14.56	10
Mg	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	1
Mo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1

Al comparar los valores de la Tabla 4.4 con los valores máximos permisible, se determinó que los valores de los elementos presentes en el aceite se encontraban por debajo del máximo permisible mostrado en la Tabla 2.2, exceptuando el contenido de silicio (Si) en ambas muestras de

aceite nuevo, las cuales sobrepasaron los valores máximo permisibles para aceites utilizados en equipos turbocompresores según reportes emitidos por INTEVEP.

El alto contenido de sílice en el aceite nuevo (sin uso) Turbolub ISO-46, se le atribuye al antiespumante añadido al aceite. Debido a que una vez puesto en funcionamiento el turbocompresor, la cantidad en partes por millón (ppm) de este elemento disminuyó a un valor menor al máximo permisible mostrado en la Tabla 2.2. Por otra parte, se determinó que la presencia de silicio no esta referida a presencia de arena, debido a que la existencia de esta última implicaría un aumento del nivel de metales generado por la acción abrasiva de la arena, lo que no se presentó en este estudio.

4.2.3. Análisis de la viscosidad del aceite Turbolub ISO46.

Para realizar el análisis de viscosidad del aceite Turbolub ISO46 se tomaron cuatro muestras con una frecuencia de 15 días, del aceite usado en el equipo turbocompresor, para ilustrar la tendencia y observar las variaciones que presentó la viscosidad en función del tiempo (ver Tabla 4.5 y Fig. 4.2).

Tabla 4.5. Valores de los análisis de viscosidad

Fecha de Estudio	Viscosidad (cSt)
09/12/2008	46,48
30/12/2008	45,46
14/01/2009	45,49
28/01/2009	46,24

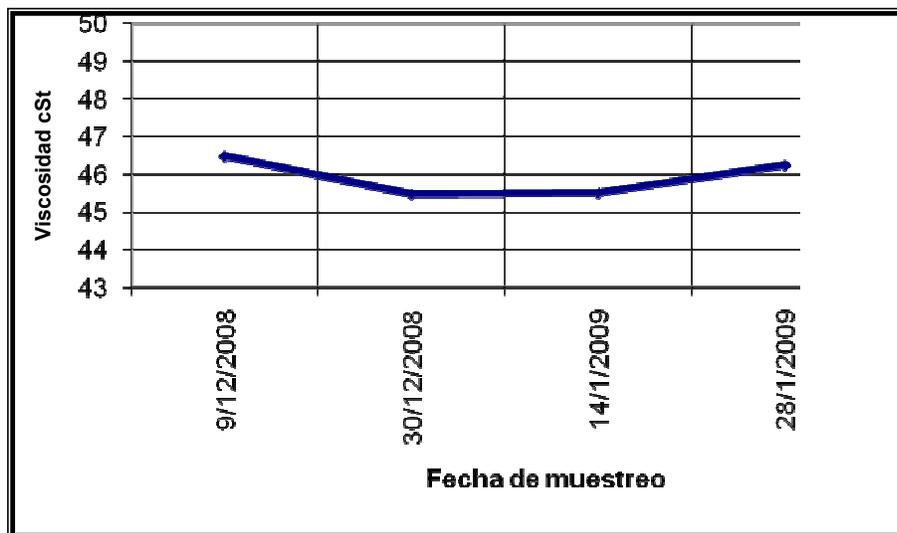


Figura 4.2. Variación de la viscosidad del aceite TURBOLUB ISO 46 en función al tiempo.

Luego de analizar los valores mostrados en la Tabla 4.5, se determinó que la viscosidad de cada una de las muestra de aceites se encontraron dentro del rango de viscosidad recomendado por INTEVEP para el uso en turbocompresores. Adicionalmente en la Fig. 4.2 se evidenció que los valores de viscosidad obtenidos con el paso del tiempo disminuyeron debido a las condiciones operacionales a las cuales fue sometido dicho aceite. Aunque para la muestra tomada el 28 de enero de 2009, el valor de la viscosidad aumentó levemente como consecuencia de una reposición de 62 galones al tanque de aceite dos días anteriores a la toma de la muestra.

Adicionalmente, se observó que los valores de viscosidad no excedieron el 25 % de variación entre cada una de las muestras, por lo tanto siguiendo las recomendaciones del fabricante mostradas en la sección 2.15,

no fue necesario cambiar el aceite que se encontraba en el tanque del turbocompresor.

4.2.4. Análisis del nivel de limpieza presente en el aceite del turbocompresor en estudio

El método ISO 4406 es un sistema de evaluación en la limpieza de un fluido, basado en el número de partículas mayores en tamaño a 4 micrones, 6 micrones y 14 micrones, en una muestra de 1 mililitro de fluido. Las cantidades obtenidas se comparan contra la Tabla 4.6 con los estándares del formato ISO 4406.

Este método es una norma reconocida internacionalmente para expresar el nivel de contaminación específico de un fluido y para especificar los niveles de limpieza requeridos en los diferentes componentes o sistemas.

Tabla 4.6. Rango de números ISO 4406

RANGO DE NUMEROS ISO 4406		
Numero de Particulas por Mililitro		Numero de Rango ISO 4406
Mas de	Hasta	
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

El resultado obtenido de la unidad Lasernet Fines de la marca Spectro Inc, fue “**ISO 4406: 21/20/15**”, lo cual representa que 21, 20 y 15 son el número de rango ISO 4406 para partículas de 4, 6 y 14 micrones respectivamente. Al ser comparados con los valores mínimos de limpieza recomendados para turbocompresores “**ISO 4406_{Recomendado:} 20/17/14**”, se evidencia que el aceite excede los valores mínimos de limpieza recomendado. Razón por la cual se deben realizar cambios a los filtros para disminuir el nivel de suciedad del aceite en uso dentro del turbocompresor.

4.2.5. Análisis SARA

El análisis SARA (saturados, aromáticos, resinas, asfáltenos) se realiza normalmente en fracciones pesadas (residuos atmosféricos o de vacío, destilados de vacío) con una doble finalidad:

- ✓ El conocimiento de las cantidades ponderadas de los cuatro tipos de compuestos,
- ✓ La realización de fracciones para realizar un análisis posterior de la misma, espectrometría de masas para las fracciones vaporizables, entre otros.

Este análisis se realizó a una muestra de aceite que fue enviada a los laboratorios de INTEVEP el 28 de enero de 2009, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Análisis SARA en aceite Turbolub ISO 46 nuevo

Muestra	Método	Prueba	Valor	Unidad	Observación
Aceite ISO46 (sin uso)	SGLG-IT-158	Saturados	75	%	-
		Aromáticos	24	%	-
		Resinas	1	%	-
		Asfáltenos	0	%	-

Tabla 4.8. Análisis SARA en aceite Turbolub ISO 46 usado

Muestra	Método	Prueba	Valor	Unidad	Observación
Aceite ISO46 (usado)	SGLG-IT-158	Saturados	74	%	-
		Aromáticos	24	%	-
		Resinas	2	%	-
		Asfáltenos	0	%	-

En la Tabla 4.7 y Tabla 4.8, se puede observar que el aceite turbolub ISO 46 usado, mantiene sus compuestos aromáticos y asfáltenos con los mismos valores que el aceite sin uso y tiene sus composiciones de compuestos saturados y resinas con una mínima variación de tan solo un punto porcentual, lo cual significa que no existe una degradación de los componentes del aceite. Razón por la cual se puede continuar usando el aceite que se encuentra en la turbina.

4.3. Inspección de los componentes de los sistemas de aceite perteneciente al turbocompresor T3

4.3.1. Trampas de aceite sello y gas de sello

Las trampas de aceite sello reciben una mezcla de aceite de sello con gas de sello proveniente de los conjuntos de cojinete y sello del compresor, a través de las lumbreras de salida en las tapas terminales delantera y trasera del compresor. En la trampa, el gas se separa del aceite para prevenir que el gas entre al tanque de aceite y también para asegurar que el aceite de sello no sea aspirado a través de la tubería de succión del compresor.

Una vez que el nivel de aceite llega a cierto nivel el flotador por medio del varillaje de accionamiento abre la válvula de cono que se muestra en la Fig. 4.3, la cual al estar abierta permite el paso del aceite depositado en la trampa hacia el tanque de aceite lubricante.

Como se observa en esta figura la válvula se encuentra en un lugar de difícil acceso, razón por la cual al realizarse procedimientos de mantenimiento preventivo solo se chequea y limpia el varillaje de accionamiento mecánico, sin realizarse ningún tipo de mantenimiento a las válvulas de aguja en la que se deposita el material contaminante que transporta el aceite, ocasionando la obstrucción de la válvula impidiendo que cumpla la función para la cual fue diseñada, lo cual causa que el nivel de aceite se eleve más de lo permitido y sea aspirado por la tubería de salida del gas causando un consumo de aceite al turbocompresor.

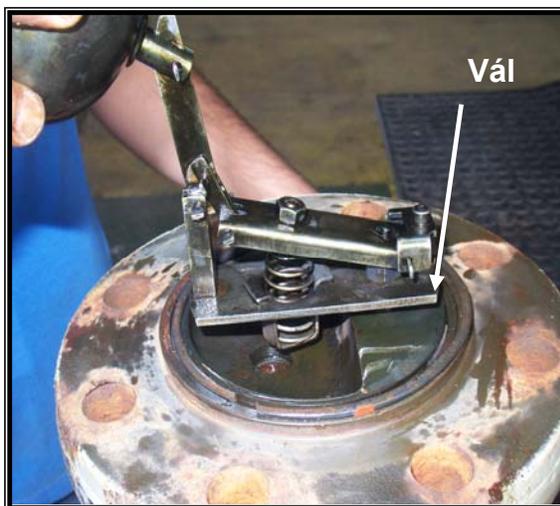


Figura 4.3 Ubicación de la válvula de descarga de aceite en la trampa de aceite de sello

4.3.2. Regulador diferencial de aceite sello y gas de sello

Durante el desarrollo del proyecto se observó que aproximadamente un 78 % de los eventos en los cuales el turbocompresor presentaba alto consumo de aceite, se debía a fallas presentadas en los reguladores de aceite sello/gas de sello. En las Figs. 3.5 y 3.6, se pueden observar las partes de un regulador de aceite sello y gas de sello.

De acuerdo al personal de mantenimiento que realiza trabajos en el turbocompresor, parte de los diafragmas usados en los reguladores no eran los originales, y que los diafragmas sustitutos se habían fabricado en una empresa local con características similares a las características de los diafragmas originales.

Una vez que el diafragma del regulador presenta alguna perforación o ruptura, éste da inicio a un consumo de aceite, debido a que el aceite pasa a través de este y entra en la cámara donde se encuentra el gas proveniente de la descarga de los compresores, en consecuencia el aceite se mezcla con el gas de proceso contribuyendo al consumo excesivo del mismo.

Para establecer una comparación de las características físicas entre los diafragmas locales y originales usados en los reguladores, se realizó la determinación de la densidad de ambos diafragmas (originales y locales), así como el cálculo de su dureza y por último el porcentaje de hinchamiento cuando estos diafragmas son sometidos a diferentes sustancias.

4.3.2.1. Determinación de la densidad del diafragma

Para determinar la densidad de los diafragmas se aplicó el procedimiento descrito a continuación:

- 1) Se cortaron probetas de los diafragmas originales y locales (Ver Fig. 4.4)



Figura 4.4. Diafragma y herramienta para cortar las probetas

- 2) Se enumeraron cada una de las probetas (Ver Fig.4.5)

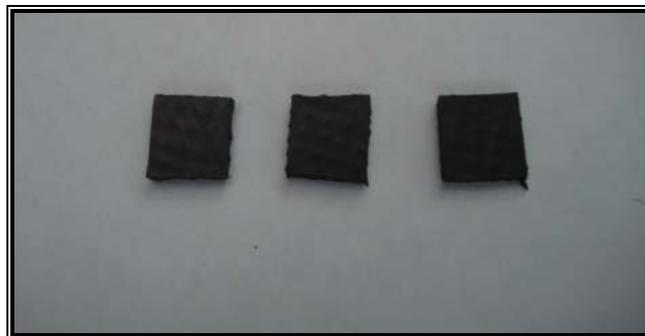


Figura 4.5. Probetas cortadas y marcadas

3) Mediante el uso de una balanza electrónica se determinó la masa de cada una de las probetas (Ver Fig.4.6)



Figura 4.6. Balanza electrónica

4) Se observó el volumen que desplaza cada probeta al ser sumergido dentro de un cilindro graduado (Ver Fig.4.7)



Figura 4.7. Probeta sumergida dentro del cilindro graduado

5) Los valores determinados experimentalmente se sustituyeron en la Ec. (3.1), arrojando los resultados mostrados en las Tablas 4.8 y 4.9.

Tabla 4.8. Densidad promedio en diafragma original.

Muestra	Volumen desplazado (ml)	Masa (g)	Densidad (g/ml)	Densidad Promedio (g/ml)
1	0,3	0,5531	1,8436	1,8274
2	0,3	0,5415	1,805	
3	0,3	0,5501	1,8336	

Tabla 4.9. Densidad promedio en diafragma local.

Muestra	Volumen desplazado (ml)	Masa (g)	Densidad (g/ml)	Densidad Promedio (g/ml)
1	0,4	0,5168	1,292	1,3890
2	0,4	0,477	1,1925	
3	0,3	0,5048	1,6826	

En las Tablas 4.8 y 4.9 se puede evidenciar claramente que el diafragma original y el diafragma local poseen densidades diferentes, observándose que el diafragma original posee una densidad promedio (1,827 g/ml), mayor a la densidad promedio que posee del diafragma local (1,389 g/ml). Esta diferencia de la densidad en los diafragmas locales, es debido a que éstos son fabricados de otro material diferente al original, por lo tanto estos no cumplen con los requerimientos para soportar las

características operacionales a las cuales están sometidos estos tipos de reguladores de presión.

4.3.2.2. Cálculo de la dureza de los diafragmas

La dureza de los diafragmas se determinó luego de seguir el procedimiento descrito en la sección 3.3.2.1. En las Figs. 4.8 y 4.9 se muestran los puntos de medición de dureza tanto para el diafragma local como para el diafragma original.



Figura 4.8. Lugar de medición en diafragmas locales.



Figura 4.9. Lugar de medición en diafragmas Originales.

Mediante el uso del durómetro HPE II (Ver Fig. 4.10) se determinaron los valores de dureza para cada diafragma en los 5 puntos determinados para la medición.



Figura 4.10. Durómetro HPE II

En las Tablas 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 se muestran los valores obtenidos en las mediciones de las durezas de los diafragmas locales y los diafragmas originales.

Tabla 4.10. Durezas del diafragma local sin uso (nuevo).

Dureza	Punto de medición.				
	1 (Shore A)	2 (Shore A)	3 (Shore A)	4 (Shore A)	5 (Shore A)
Medida 1	87,20	86,30	96,90	86,30	87,20
Medida 2	89,90	85,90	97,10	85,90	89,90
Medida 3	88,10	86,20	97,50	86,20	88,10
Promedio	88,40	86,13	97,17	86,13	88,40

Tabla 4.11. Durezas del diafragma local usado.

Dureza	Punto de medición.				
	1 (Shore A)	2 (Shore A)	3 (Shore A)	4 (Shore A)	5 (Shore A)
Medida 1	82,20	81,70	80,60	81,70	82,20
Medida 2	82,10	82,20	80,60	82,20	82,10
Medida 3	82,80	81,80	80,60	81,80	82,80
Promedio	82,37	81,90	80,60	81,90	82,36

Tabla 4.12. Durezas del diafragma original sin uso (nuevo).

Dureza	Punto de medición.				
	1 (Shore A)	2 (Shore A)	3 (Shore A)	4 (Shore A)	5 (Shore A)
Medida 1	84,20	84,30	84,30	84,30	84,20
Medida 2	84,60	84,40	84,30	84,40	84,60
Medida 3	84,30	84,30	84,20	84,30	84,30
Promedio	84,37	84,33	84,26	84,33	84,36

Tabla 4.13. Durezas del diafragma original usado.

Dureza	Punto de medición.				
	1 (Shore A)	2 (Shore A)	3 (Shore A)	4 (Shore A)	5 (Shore A)
Medida 1	83,40	84,20	83,90	84,20	83,40
Medida 2	83,80	84,10	83,80	84,10	83,80
Medida 3	83,80	84,00	84,10	84,00	83,80
Promedio	83,67	84,10	83,93	84,10	83,66

En las Figs. 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14, se observa de forma gráfica cómo se comporta la dureza del material en función del lugar de medición en el diafragma.

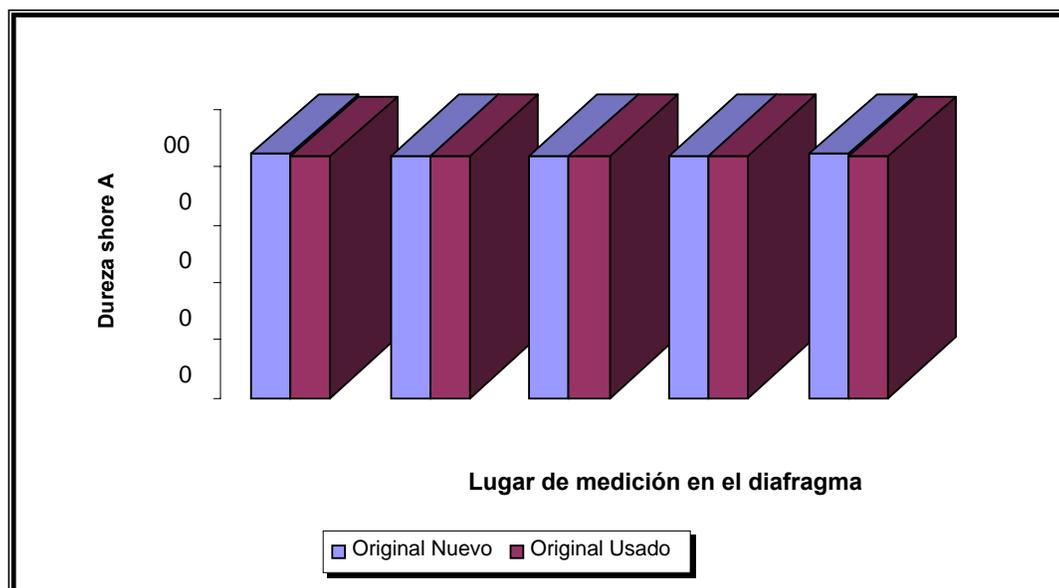


Figura 4.11. Gráfica de las durezas del diafragma original nuevo y usado en función al lugar de medición en el diafragma.

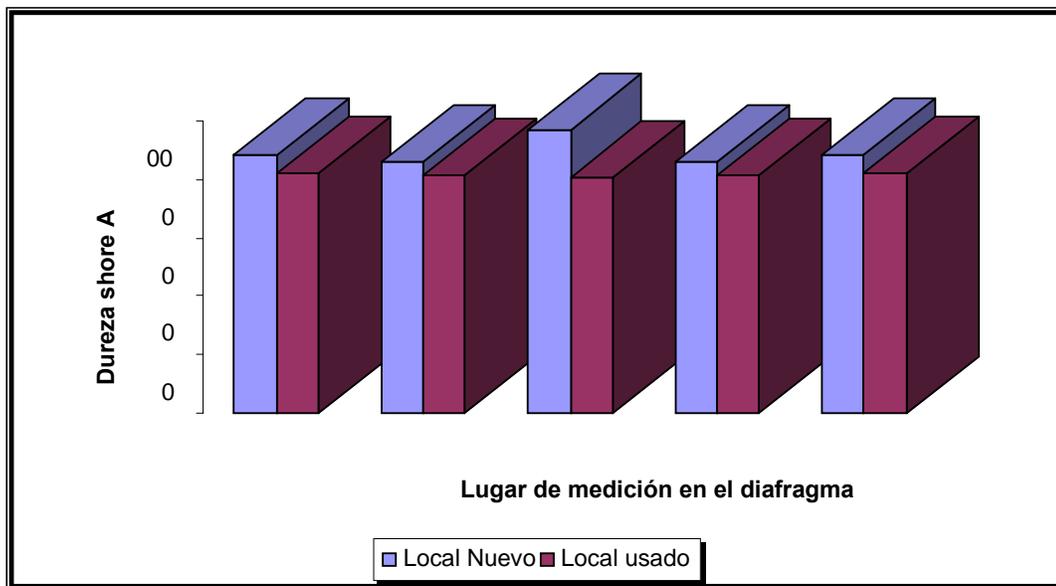


Figura 4.12. Gráfica de las durezas del diafragma local nuevo y usado en función al lugar de medición en el diafragma.

En la Fig. 4.11 se muestra como el diafragma original tanto nuevo como usado presenta una dureza uniforme en todos los puntos de medición, demostrándose la uniformidad de las propiedades del elastómero del cual esta fabricado el diafragma.

Observando las Tablas 4.10 y 4.11, y las Figs. 4.8 y 4.12, se evidencia claramente que en los lugares donde el diafragma presenta una deformación térmica (puntos 1, 3 y 5 de la Fig. 4.8), es donde se presentan mayores valores de dureza, adicionalmente en estas zonas es donde generalmente se presentan las fallas.

En algunos diafragmas locales nuevos (sin uso), eran visibles las mallas internas producto del debilitamiento que sufría la capa de elastómero al producirse el calentamiento para lograr la deformación deseada.

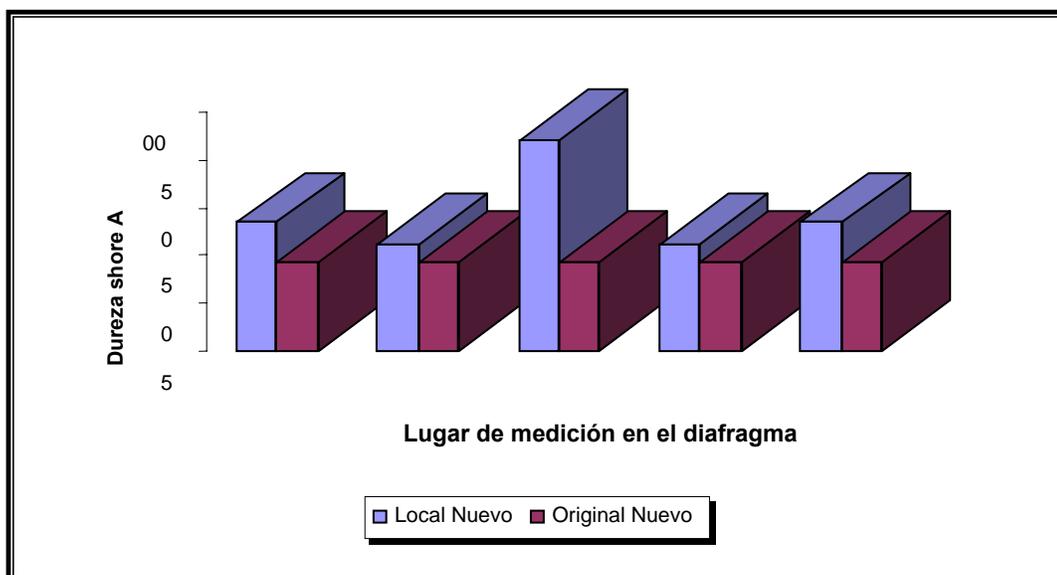


Figura 4.13. Gráfica de las durezas del diafragma original nuevo y local nuevo en función al lugar de medición en el diafragma.

Comparando las durezas de los diafragmas originales nuevos y locales nuevos (ver Fig. 4.13), se observan claras diferencias de dureza en los distintos lugares de medición del diafragma local debido a que estos fueron fabricados de un material diferente al recomendado por el fabricante y también fueron deformados térmicamente (Ver Fig. 4.8) obteniéndose en las zonas deformadas los mayores valores de dureza, en cambio los diafragmas originales presentan un comportamiento de dureza uniforme en todos sus puntos de medición.

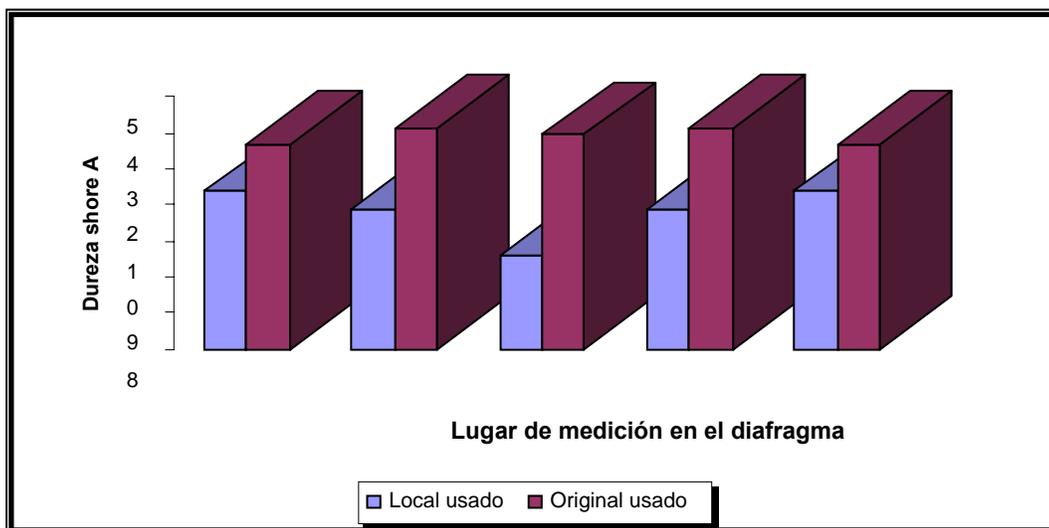


Figura 4.14. Gráfica de las durezas del diafragma original usado y local usado en función al lugar de medición en el diafragma.

En la Fig. 4.14 Se muestran las durezas de los diafragmas originales usados y locales usados, observando cómo los diafragmas originales mantienen su dureza a lo largo de su superficie, en cambio los diafragmas locales sufren una gran disminución de la dureza en cada uno de los puntos donde se realizaron las mediciones, debido a la degradación sufrida por la presencia del Inhibidor de corrosión en el ambiente de trabajo de los diafragmas.

4.3.2.3. Cálculo del porcentaje de hinchamiento de los diafragmas

Los resultados del porcentaje de hinchamiento realizado en los laboratorios de INTEVEP, según el procedimiento descrito en la sección 3.3.2.3 son mostrados en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Hinchamiento Volumétrico de los diafragmas originales y locales

Diafragma	% de Hinchamiento en diferentes sustancias		
	Inhibidor de Corrosión	Aceite Turbolub ISO 46 Usado	Aceite Turbolub ISO 46 Sin Uso
Original Nuevo	3.6	0.9	0.1
Original Usado	8.6	0.9	2.7
Local Nuevo	2.9	0.6	0.5
Local Usado	12.3	1.4	3.1

En la Tabla 4.14, se puede observar cómo tanto el diafragma original usado como el diafragma local usado, al ser sometidos a ambientes de trabajo con alta concentración del inhibidor de corrosión, presentan un porcentaje de hinchamiento de 8.6 % y 12.3 % respectivamente. En ambos casos los resultados se encuentran mayor a cinco puntos porcentuales que es el límite máximo de hinchamiento que debe presentar un elastómero para que mantenga sus propiedades.

Este hinchamiento debilita a los diafragmas usados en los reguladores de aceite y gas de sello, razón por la cual éstos se deterioran y no resisten las condiciones operacionales de la planta compresora San Joaquín II. Este debilitamiento causa la ruptura de los diafragmas originando un aumento del consumo de aceite en el turbocompresor.

4.4. Análisis Causa-Efecto del alto consumo de aceite del turbocompresor T3.

El análisis del comportamiento actual del consumo de aceite presentado por el turbocompresor, tiene como finalidad el estudio de las fallas que permitan determinar las acciones que deben tomarse para la disminución del consumo de aceite. En la Tabla 4.15 se observan las fallas que originaron un alto consumo de aceite en un lapso de tiempo determinado (7 meses).

Tabla 4.15. Fallas generadoras de alto consumo de aceite en el turbocompresor.

FECHA	FALLA A CORREGIR	COMPONENTE QUE FALLO	CAUSA DE LA FALLA	% FALLAS
20/06/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
25/06/08	Consumo de Aceite	Trampa de aceite/sello	Atascamiento De la válvula	13,04
07/07/08	Consumo de Aceite	Sellos de carbón	Desgaste	
10/07/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
23/07/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
06/08/08	Consumo de Aceite	Trampa de aceite/sello	Atascamiento De la válvula	13,04
11/08/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
22/08/08	Consumo de Aceite	Tuberías de instrumentación	Ruptura por roce	4,34
01/09/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
02/09/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Mala instalación del diafragma	78,28
10/09/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
15/09/08	Consumo de Aceite	Manguera Metaflex (bomba principal de aceite)	Ruptura	8,69
23/09/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
30/09/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Mala instalación del diafragma	78,28
04/10/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28

Tabla 4.15. Continuación.

14/10/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
04/11/08	Consumo de Aceite	Switch de presión de lubricación	Diafragma metálico roto	4,34
07/11/08	Consumo de Aceite	Manguera Metalflex (bomba auxiliar)	Ruptura	8,69
10/11/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
14/11/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
12/12/08	Consumo de Aceite	Trampa de aceite/sello	Atascamiento De la válvula	13,04
19/12/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28
26/12/08	Consumo de Aceite	Regulador de aceite sello/gas de sello	Diafragma roto	78,28

Al presentarse una falla de alto consumo de aceite, el personal técnico se dirige al equipo turbocompresor y le realiza una inspección visual, en la cual se determina si dicho consumo es hacia el exterior del equipo turbocompresor o se presenta por el mal funcionamiento de algún componente perteneciente a los diversos sistemas de aceite.

Para el primer caso (fuga hacia el exterior del turbocompresor) se realiza una inspección visual más detallada en la cual, se chequea cada una de las tuberías y mangueras observando si se encuentran rotas o desajustadas, además se observan los switch de presión para verificar que su diafragma metálico se encuentre sin ningún tipo de perforación o ruptura.

En el caso que el consumo se presente por el mal funcionamiento de algún componente del sistema de aceite, en primer lugar se chequean los manómetros, transmisores y switch en los cuales se verifica que su diafragma metálico se encuentre en perfecto funcionamiento y que el componente se encuentre calibrado. De no existir fallas en los componentes

anteriores, se procede a inspeccionar que los diafragmas de elastómeros pertenecientes a los reguladores de aceite de sello se encuentren en perfecto estado. El siguiente componente a inspeccionar son las trampas de aceite de sello y gas de sello, en las cuales se chequea que no exista acumulación de elementos contaminantes que perjudiquen el correcto funcionamiento del varillaje metálico y de la válvula de cono que posee la trampa. Por último, si no se determinó la presencia de una falla en los componentes anteriormente descritos, se procede a verificar que no exista desgaste en los sellos de carbón que se encuentran en las capsulas de succión y descarga de cada uno de los compresores del equipo accionado.

Las fallas observadas en la Tabla 4.15 serán brevemente descritas a continuación y plasmadas en un diagrama causa efecto el cual refleja la información necesaria para conocer los orígenes del problema (Ver Fig. 4.15).

4.4.1 Fallas en tuberías

Estas fallas representan el 4,34 % del total de las fallas que generaron fugas de aceite en el turbocompresor (Tabla 4.15), las cuales fueron generadas por desajustes de las tuberías y pequeños orificios en ellas producidos por el roce con otras partes del turbocompresor.

4.4.2 Switch, transmisores y manómetros

Las fallas en estos dispositivos representan el 4,34 % (Tabla 4.15) del total de las fallas que generaron consumo de aceite y se presentan cuando el diafragma metálico interior se perfora lo que incrementa el consumo de aceite y muestra mediciones erróneas de presión.

4.4.3 Fallas en mangueras

Estas fallas representan el 8,69 % del total de las fallas que generaron fugas de aceite en el turbocompresor (Tabla 4.15), las cuales fueron generadas por rupturas de las mangueras de la bomba principal de lubricación y de la bomba auxiliar de aceite de sello.

4.4.4 Fallas en los sellos de carbón

Las fallas en este tipo de sellos representan un 4,34 % del total de las fallas observadas en la Tabla 4.15. Los sellos de carbón (los cuales se encuentran en las capsulas de los extremos de succión y descarga de cada uno de los compresores) se observó que presentaron un desgaste en la superficie en contacto con el eje del compresor y discontinuidades en la superficie del sello lo que generaba un elevado consumo de aceite.

4.4.5 Fallas de reguladores de aceite sello

Con respecto a las fallas presentadas en los reguladores de aceite sello se observó que la falla recurrente es la ruptura o mala instalación del diafragma (ver Figs. 4.8 y 4.9), la cual generó un 78,28 % del total de las fallas que ocasionaron consumo de aceite en el turbocompresor como se muestra en la Tabla 4.15. Los diafragmas usados, aun siendo del mismo material recomendado por el fabricante del equipo, presentan características desfavorables para este tipo de aplicación. Estos diafragmas al romperse generaron el mayor porcentaje de las fallas ocasionando que el turbocompresor presentara altos consumos de aceite.

4.4.6 Fallas en Trampas de aceite Sello

Al observar la Tabla 4.15 se observa que este componente produce un 13,04 % del total de las fallas que se presentan en el turbocompresor

relacionadas con consumo de aceite. Estas fallas se presentan debido a una deficiencia en el desalojo del aceite acumulado en el cuerpo de la trampa, lo que es causado por la carencia de mantenimiento que se le debe realizar a la válvula tipo aguja ubicada en la base de la trampa (ver Fig. 3.4), la cual se atasca debido a la presencia de contaminantes provenientes del gas y del aceite de trabajo de éstas trampas. También se observó la acumulación de contaminantes en el mecanismo de apertura de la válvula de aguja, lo que genera un atascamiento y a su vez un mal funcionamiento de la trampa.

Luego de realizar el estudio de cada causa individualmente se determinó que la falla más relevante que afecta significativamente el consumo de aceite del turbocompresor es la falla en los reguladores de aceite sello, debido a la elevada frecuencia en la que se tienen que realizar cambios a los diafragmas de estos reguladores.

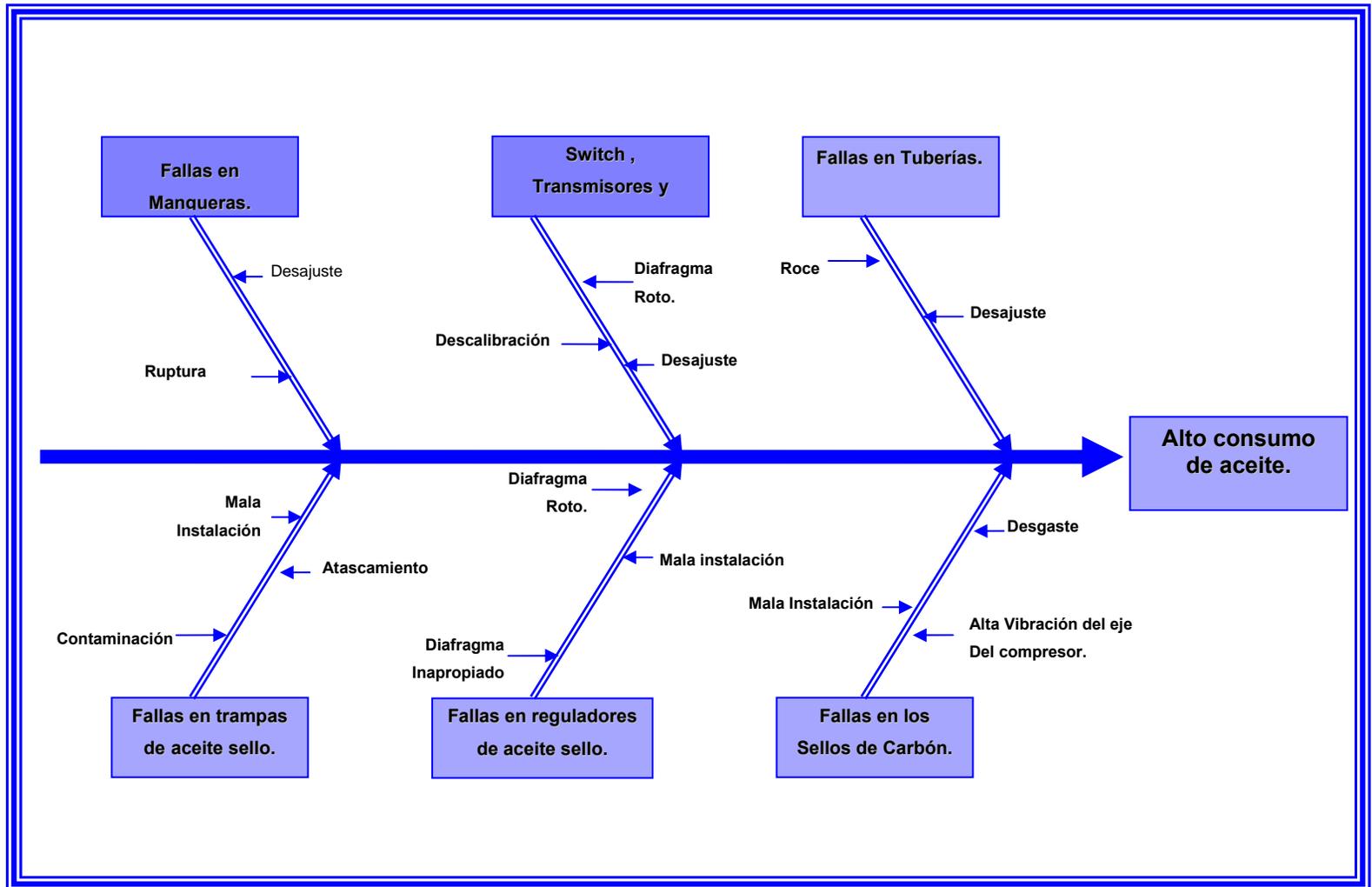


Figura 4.15. Diagrama causa-efecto del alto consumo de aceite del turbocompresor

4.5. Propuestas para regular el consumo de aceite del turbocompresor T3.

- ✓ Realizar un estudio de microscopia de barrido electrónico a una muestra del diafragma nuevo de los reguladores de aceite de sello y otra muestra del diafragma usado, mediante el cual se pueda determinar los elementos añadidos al elastómero luego de ser sometido a las condiciones operacionales presentes en el turbocompresor (exposición al inhibidor de corrosión, entre otros), con la finalidad de sustituir el elastómero utilizado actualmente por uno que resista las condiciones a las cuales son sometidos estos diafragmas en el equipo.

- ✓ Utilizar diafragmas que no posean ningún tipo de pre-deformación de ajuste en los reguladores, con el fin de lograr una dureza uniforme en todo el diafragma que contribuirá a una menor incidencia de falla por ruptura en estos puntos pre-deformados.

- ✓ Realizar una limpieza minuciosa de la válvula perteneciente a la trampa de aceite sello y gas de sello, en todos los mantenimientos programados que incluyan este componente, con el propósito de evitar la concentración de impurezas que se producen actualmente y que ocasionan atascamiento y falla de apertura de la válvula.

- ✓ Verificar el correcto anclaje y ruteo de las tuberías de los sistemas de aceite, para evitar el roce entre estas y otras partes del turbocompresor, que originan fisuras en la superficie de las mismas, produciéndose fugas de aceite que se traducen en un elevado consumo de aceite en el equipo.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los valores de los parámetros operacionales a los que es sometido el turbocompresor T3, se encuentran dentro del rango permisible para la que el equipo opere en condiciones normales.
- El valor de la viscosidad del aceite Turbolub ISO46 se encuentra dentro del rango permisible para su uso en turbinas de gas centauro.
- El aceite en uso en el turbocompresor no cumple con el valor de limpieza mínimo permisible para turbinas de gas, según la norma ISO 4406.
- La elevada concentración de silicio presentada en el aceite turbolub ISO46 nuevo (sin uso), se debe al aditivo antiespumante que contiene su formulación.
- Las actividades de mantenimiento realizadas a las trampas de aceite sello no se efectúan siguiendo los procedimientos, permitiendo la acumulación y solidificación de partículas contaminantes que se encuentran en el aceite, lo que conlleva a una operación defectuosa de la válvula.
- El origen del alto consumo de aceite en el turbocompresor T3 de la planta San Joaquin II, se corresponde con las fallas presentadas en los diafragmas de los reguladores de aceite de sello y gas de sello.

- Los diafragmas utilizados en los reguladores de aceite de sello y gas de sello no son los especificados por el fabricante.
- Los diafragmas locales no presentan la misma densidad que los diafragmas originales.
- Los valores de dureza que presentan los diafragmas originales son uniformes en toda su superficie, en cambio los diafragmas locales presentan valores de dureza irregulares a lo largo de su superficie.
- El porcentaje de hinchamiento determinado en los diafragmas nuevos y usados sumergidos en inhibidor de corrosión sobrepaso el valor máximo permisible para este tipo de elastómeros.
- El análisis causa efecto permitió mostrar de forma grafica todas las posibles causas que generaban alto consumo de aceite en el turbocompresor.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Realizar un estudio a los diafragmas de los reguladores de aceite sello y gas de sello como el recomendado en la sección 4.5 para sustituir estos diafragmas por unos que soporten las condiciones de operación que se encuentran actualmente en el turbocompresor.
- ✓ No realizar ningún tipo de pre-deformación a los diafragmas usados en los reguladores de aceite de sello y gas de sello.
- ✓ Realizar las acciones de mantenimiento a la válvula perteneciente a la trampa de aceite de sello y gas de sello.

BIBLIOGRAFÍA

1. Centro Nacional de Tecnología de Información. **“Historia de PDVSA”** [publicación en línea], Disponible en la página web: www.pdvsa.com.ve/new_site/pdvsa_historia_2_1.html
2. **“Memoria descriptiva de la planta San Joaquín II”**, distrito gas Anaco, departamento de Mantenimiento, sección Turbomaquinas.
3. Acero, A. **“Análisis del consumo de aceite en motocompresores de operaciones area I pertenecientes a la superintendencia de plantas sur San Tomé”**. Barcelona (Venezuela), Trabajo Especial de Grado, U.D.O, Escuela de Ingeniería, Departamento de Mecánica (2004).
4. Velásquez, J. **“Evaluación del consumo de aceite lubricante de los turbocompresores (refrigeración de propano y gas residual) de la planta de extracción Santa Bárbara, Corpoven S.A”**. Puerto la Cruz (Venezuela), Trabajo Especial de Grado, U.D.O, Escuela de Ingeniería, Departamento de Mecánica (1996).
5. Gómez, A. **“Evaluación del consumo de aceite en el sistema de lubricación y sello de los turbocompresores Nuovo Pignone planta de refrigeración Jose”**. Puerto la Cruz (Venezuela), Trabajo Especial de Grado, U.D.O, Escuela de Ingeniería, Departamento de Mecánica (1990).
6. José Benlloch María. **“Los Lubricantes, Características, Propiedades y Aplicaciones”** Ediciones CEAC, Abril (1990).

7. Sánchez, L y Páez, F. **“Análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo”**, Trabajo realizado en las segundas jornadas nacionales de mantenimiento, Meneven S.A., (1983).
8. Espinoza, H., **“Estudio de la contaminación del aceite y desarrollo de un método de diagnóstico de motores de combustión interna”**, Trabajo de post grado, Universidad de Oriente. Puerto la cruz, Venezuela. (1995)
9. Digital Public. **“Contaminantes de Aceites Industriales”** [Publicación en línea], Disponible en la página web: **www.metallube.es/articulo2.asp#1**
10. DesingNet. **“Propiedades de los aceites lubricantes”** [Publicación en línea], consultado en **www.shellcard.cl/shellcardonline.asp**
11. L., Leugner, Maintenance Technology Internation, Inc., “Natural gas engine lubrication oil analysis – A primer in predictive maintenance and condition monitoring”. Practicing oil analysis magazine, September (2003).
12. SPECTRO incorporated, **“El laboratorio industrial de tribología espectro”**, industrial tribology Systems, (1990).
13. **“Instrucciones de Instalación y Mantenimiento”**, Conjunto Compresor Accionado por Turbina CENTAUR T-4500, Volumen II, Caterpillar, Solar Turbines Incorporated, San Diego, CA (1986).
14. **“Curso de operación y mantenimiento rutinario”** Conjunto turbocompresor de gas Mars, Curso No.9048, Caterpillar, Solar Turbines Incorporated, San Diego, CA (2005).

15. **“Manual de Entrenamiento Turbomaquinaria Solar Turbines, Inc”**, Grupo Centec, primera edición (2005).

16. **“Ingeniería de Compresores”** Teoría, selección y funcionamiento, Centro de Termofluidodinámica y mantenimiento de la Universidad de Oriente, Henry J. Espinoza B. (2008).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	DETERMINACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS CAUSA EFECTO, EL ORIGEN DEL ALTO CONSUMO DE ACEITE EN EL TURBOCOMPRESOR T3 DE LA PLANTA SAN JOAQUÍN II.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
MORÓN AGUILAR, FREDDY JAVIER	CVLAC: 18.299.783 E MAIL: elcongry17@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

CONSUMO DE ACEITE

TURBOCOMPRESOR

REGULADOR ACEITE DE SELLO/GAS DE SELLO

TURBINA CENTAURO T4500

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	FLUIDOS Y TÉRMICA

RESUMEN (ABSTRACT):

El presenta trabajo se realizó con la finalidad de determinar mediante análisis causa efecto, el origen del alto consumo de aceite en el turbocompresor T3 de la planta San Joaquín II. Con la finalidad de disminuir los costos de operarios asociados a este equipo y aumentar la confiabilidad del mismo. En primer lugar se analizaron las características de funcionamiento en la que se encuentra el turbocompresor. Seguidamente se identificaron las propiedades del aceite que contiene el equipo y se inspeccionaron los sistemas de aceite de lubricación, aceite de sello y de servoaceite, en los cuales se determinó que los diafragmas de los reguladores de aceite no soportaban la presencia del inhibidor de corrosión presentes en el gas procesado. Posteriormente, mediante un análisis causa efecto, se esquematizaron las causas que podrían generar un alto consumo de aceite en el turbocompresor y se propusieron opciones que permitan regular dicho consumo excesivo de aceite.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
MORENO, JESÚS	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
GARCÍA, ANTONIO	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
CAMARGO, LINO	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
MARTÍNEZ, JOHNNY	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009 AÑO	08 MES	06 DÍA
-------------	-----------	-----------

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.DETERMINACION DEL CONSUMO DE ACEITE DEL TURBOCOMPRESOR T3. doc	application/ ms word

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N
O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO MECÁNICO _____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO _____

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA _____

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE. NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI _____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

DE ACUERDO CON EL ARTICULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE: "LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS POR OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO".

Freddy J. Morón A.

AUTOR

Jesús Moreno

TUTOR

Lino Camargo

JURADO

Johnny Martínez

JURADO

Delia Villarroel

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS