

**SISTEMA DE MONITOREO DE LA CONDICION
DEL ACEITE LUBRICANTE NUEVO Y USADO
PARA LA DETECCION DE FALLAS DE LOS
EQUIPOS ROTATIVOS CRITICOS DE LA
REFINERIA GERENCIA COMPLEJO
BARRANCABERMEJA**

**WILSON JAVIER ACEVEDO BUENO
VIDAL VEGA VELASCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.005

**SISTEMA DE MONITOREO DE LA CONDICION
DEL ACEITE LUBRICANTE NUEVO Y USADO
PARA LA DETECCION DE FALLAS DE LOS
EQUIPOS ROTATIVOS CRITICOS DE LA
REFINERIA GERENCIA COMPLEJO
BARRANCABERMEJA**

**WILSON JAVIER ACEVEDO BUENO
VIDAL VEGA VELASCO**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingenieros Mecánicos**

**Director
OMAR GÉLVEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2005

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

A mis padres por la vida y sus enseñanzas.

A mis tíos Guillermo Acevedo y Rosa Delia Vega por su apoyo incondicional y por ser mis segundos padres.

A Pedro R. Albarracín Aguillón, codirector del proyecto por sus enseñanzas y consejos.

A Omar Gelvez, director del proyecto, por su paciencia y colaboración

A mis amigos, compañeros de la Universidad y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

Vidal Vega Velasco

A la Universidad, especialmente a la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Al Director de escuela por su colaboración en las dificultades que se presentaron en este proyecto.

A Omar A. Gelvez, Ingeniero Mecánico, director del proyecto, por su respaldo, paciencia y colaboración oportuna.

A Pedro R. Albarracín, tutor en Ecopetrol S.A, codirector del proyecto., por su amistad, enseñanzas, consejos y oportunidades brindadas.

A Andrés López Rosero, Elber F. Ruiz, Iovan David Mendoza y Javier Leonardo Botía, por su amistad, consejos y ayuda en los momentos necesarios.

Wilson Javier Acevedo B.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1 PROGRAMA DE MONITOREO DE LA CONDI CION DEL ACEITE NUEVO Y USADO	4
2 OBJETIVOS DEL PROGRAMA	8
3 PROCEDIMIENTO PARA LA CREACION DEL PROGRAMA DE LUBRICACION.....	10
3.1 Etapa de capacitacion.....	10
3.2 Etapa de recopilación de información.....	11
3.3 Etapa de diseño del procedimiento de toma.....	12
3.4 Etapa de diseño de la BD	12
3.5 Etapa de implementación del programa	16
3.6 Etapa de puesta en marcha del programa de lubricación.....	16
3.7 Etapa de seguimiento al programa de lubricación.....	17
4 FUNCIONES DE LOS INTEGRANTES DEL PROGRAMA.....	18
4.1 Líder de Tribología Operativo.....	18
4.2 Ingeniero de soporte del proveedor de lubricantes.....	18
4.3 Ingeniero Y Técnico de confiabilidad	18
4.4 Ingeniero de lubricación	19
5 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA EN LA REFINERÍA	20
5.1 Procedimiento para la toma de la muestra de aceite.....	20
5.1.1 Limpieza del punto de toma de la muestra aceite:.....	20
5.1.2 Drenaje del agua del carter o las consolas de lubricación:.....	21
5.1.3 Toma de la muestra de aceite:	22
5.2 Procedimiento y manejo de la base de datos	24
5.2.1 Generación del formato de resultados:.....	25
5.2.2 Importación de los análisis del laboratorio a la BD	29
5.2.3 Consulta de los análisis:.....	31
5.2.4 Resultados del laboratorio:.....	32
5.2.5 Análisis del aceite de los equipos:.....	34
5.2.6 Tendencias:	35
5.2.7 Inclusión de equipos al programa :.....	38
6 AUDITORIA VISITA MENSUAL DE LUBRICACION-VITRIB.....	44
6.1 Objetivo:	44

6.2	Responsables de los programas de lubricación en la GCB:	44
6.3	Participantes en la visita de tribología:.....	45
6.4	Periodicidad de la visita de tribología.....	46
6.5	Metodología.....	46
6.5.1	Elaboración del reporte:.....	48
6.5.2	Anomalías reportadas en la visita de tribología:	50
6.5.3	Registro de la información:.....	51
6.6	Beneficios Visita de Tribología-VITRIB.....	53
7	EL ANÁLISIS DE ACEITE UN INSTRUMENTO VALIOSO EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	55
7.1	Análisis fisico-químico del aceite.....	56
7.2	Tipos de aceites que se analizan.....	57
7.3	Normas ASTM.....	58
7.3.1	Viscosidad. método ASTM D-88 y ASTM D-445.....	59
7.3.2	Índice de viscosidad. método ASTM D-2270.....	62
7.3.3	Punto de inflamación de chispa.	62
7.3.4	Punto de fluidez. método ASTM D-97	63
7.3.5	Número de neutralización (NN) o TAN.	64
7.3.6	Número Básico Total (TBN) MÉTODO ASTM D-664 Y ASTM D- 2896:.....	66
7.3.7	Dilución por combustible. método ASTM D-332	66
7.3.8	Demulsibilidad. Método ASTM D-1401 y ASTM D-2711	67
7.3.9	Resistencia a la formación de espuma método	68
7.3.10	Determinación del contenido de agua y sedimentos en el aceite método ASTM D-95 Y ASTM D-96.....	70
7.3.11	Espectrofotometría de absorción atómica	70
7.3.12	Análisis por ferrografía:.....	73
7.4	Límites permisibles de los análisis del aceite.....	75
7.5	Interpretación de los análisis de laboratorio.	75
8	LOGROS OBTENIDOS.....	77
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES.....	81

BIBLIOGRAFIA..... 83

ANEXOS..... 84

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Aspectos a tener en cuenta y contenido del libro	1
Figura 2. Ciclo de funcionamiento del programa.....	5
Figura 3. Recopilación de la información en campo	11
Figura 4. Limpieza de la boquilla de descarga	21
Figura 5. Drenaje aceite en botella de vidrio.....	22
Figura 6. Drenaje de aceite en pimpinas negras	24
Figura 7. Página principal de la BD.....	25
Figura 8. Registro del envío de muestras de aceite	26
Figura 9. Formulario para generar el envío de datos al laboratorio para el registro de los análisis de la muestra de aceite.....	27
Figura 10. Formulario para la creación de la tabla de datos.	28
Figura 11. Formato de recolección de los análisis del laboratorio.	29
Figura 12. Selección de los datos para importarlos a la BD	30
Figura 13. Formulario para importar los datos del laboratorio.....	31
Figura 14. Inicio de la consulta de los análisis del aceite.....	32
Figura 15. Inicio de la consulta de los equipos a los cuales se les realizo la toma de muestra de aceite	33
Figura 16. procedimiento de búsqueda para un equipo específico.	34
Figura 17. Resultados del laboratorio	34
Figura 18. Reporte detallado del análisis del laboratorio con las respectivas recomendaciones.....	35
Figura 19. Consulta de las tendencias de la condición del aceite lubricante.....	36
Figura 20. Procedimiento de búsqueda de las tendencias de un equipo específico	37
Figura 21. Tendencias para cada equipo de los parámetros evaluados por el laboratorio del proveedor de lubricante.....	37
Figura 22. Tendencias para cada equipo de los parámetros evaluados por el laboratorio del proveedor de lubricante.....	38

Figura 23. Ventana de tablas y formularios de la BD.....	39
Figura 24. Ingresos de los datos para incluir un nuevo equipo	40
Figura 25. Tabla de códigos de los aceites	41
Figura 26. Tabla EquipoR.....	42
Figura 27. Formato fechas de la VITRIB	47
Figura 28. Anomalías reportadas por equipo	52
Figura 29. Tendencia de anomalías por negocio	52
Figura 30. Reporte de observaciones y recomendaciones	53
Figura 31. Viscosímetro Saybolt.....	60
Figura 32. Viscosímetro Otswald.....	61
Figura 33. Punto de inflamación o de chispa	63
Figura 34. Punto de inflamación en vaso cerrado	63
Figura 35. Evaluación de los puntos de congelación y de enturbiamiento por el método ASTM D-97	64
Figura 36. Numero de neutralización (TAN) por el método ASTM D-974	65
Figura 37. Método ASTM para evaluar la demulsibilidad de un aceite cuando se encuentra en presencia de agua	68
Figura 38. Resistencia a la formación de espuma, según método ASTM D-892 ...	69
Figura 39. Equipo para espectrografía por absorción atómica y principios básicos de funcionamiento	72
Figura 40. Seguimiento al estado del equipo rotativo de acuerdo al monitoreo de las variables de condición.	89
Figura 41. Ciclo de estados de los equipos.....	90
Figura 42. Guías de control, y ventanas operativas.	92
Figura 43. Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva	98
Figura 44. Tipos de impulsor.....	98
Figura 45. Bomba de doble succión.	99
Figura 46 Bomba multietapas.....	99
Figura 47. Bomba vertical	100
Figura 48. Bomba API 610 en voladizo marca Flowserve	100
Figura 49. Bomba API 610 Between-bearings marca Flowserve	101

Figura 50. Bomba API 610 vertical marca FLOWSERVE.....	101
Figura 51. Compresor reciprocante de dos etapas	103
Figura 52. Rotor de un compresor de paletas deslizantes.....	103
Figura 53. Proceso de Compresión en Compresor de Paletas Deslizantes	104
Figura 54. Compresor de tornillos	104
Figura 55. Compresor de Lóbulos Rectos y Proceso de Compresión.....	105
Figura 56. Compresor Centrifugo Radial	106
Figura 57. Ventilador torre de enfriamiento	107
Figura 58. Ventilador de tiro forzado de una caldera.....	109
Figura 59. Rotor de turbina de vapor.....	110
Figura 60. Comparación esquemática de los tipos de turbina.....	110
Figura 61. Conversión de energía en el alabe.....	111
Figura 62. Turbinas axiales y radiales	111
Figura 63. Turbina de velocidad escalonada.....	112
Figura 64. Turbina de velocidad escalonada (disposición Curtís).....	112
Figura 65. Turbina de acción de presión escalonada	113
Figura 66. Turbinas de reacción	114
Figura 67 Turbinas Mixtas	115
Figura 68. Motor eléctrico	116
Figura 69. Campo magnético inducido en el rotor.....	117
Figura 70. Partes básicas de un motor eléctrico.....	117
Figura 71. Reductor de velocidad.....	119
Figura 72. Desgaste adhesivo por contacto metal-metal.....	123
Figura 73. Desgaste erosivo.....	123
Figura 74. Desgaste abrasivo.....	124
Figura 75. Presencia de toma muestras antes y después del filtro.....	140
Figura 76. Sistema de lubricación por anillo	141
Figura 77. Aceitera de nivel constante o botella	142
Figura 78. Circuito básico de un circuito de circulación de aceite.....	143
Figura 79. Lubricación por neblina.....	144
Figura 80. Sistema de gobernación de una turbina de vapor	147

Figura 81. a) Carreta, b) Montacarga.....	149
Figura 82. No golpear los tambores en	150
Figura 83. Tambores en posición horizontal	150
Figura 84. Posiciones correctas de los tambores de.....	151
Figura 85. Presencia de agentes oxidantes	151
Figura 86. Elementos de Protección Personal EPP	152
Figura 87. Oscilograma y tendencia.	155
Figura 88. Características de la vibración	156
Figura 89. Espectro de una vibración.	156
Figura 90. Juego mecánico	157
Figura 91. Remolino de aceite	157
Figura 92. Desalineamiento angular.....	158
Figura 93. Falla en rodamientos.....	158

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores permisibles manejados en la refinería GCB	75
Tabla 2. Propiedades físico-químicas de los aditivos.....	127
Tabla 3. Tipos de aditivos	129
Tabla 4. Grado ISO del aceite y NLGI de la grasa para diferentes equipos rotativos.....	147

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A. CUIDADO BASICO DEL EQUIPO BEC EN LA REFINERIA DE ECOPETROL S.A.	84
ANEXO B. GUIAS OPERATIVAS Y VENTANAS.....	91
ANEXO C. MANTENIMIENTO.....	93
ANEXO D. GENERALIDADES SOBRE EQUIPOS ROTATIVOS DE LA REFINERIA.....	97
ANEXO E. LUBRICACIÓN	121
ANEXO F. LUBRICACION EN LA REFINERIA	134
ANEXO G. ANÁLISIS DE VIBRACIONES	153
ANEXO H. DOCUMENTO OFICIAL.....	159
ANEXO I. RESULTADOS OBTENIDOS.....	165

RESUMEN

TÍTULO:

SISTEMA DE MONITOREO DE LA CONDICION DEL ACEITE LUBRICANTE NUEVO Y USADO PARA LA DETECCION DE FALLAS DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRITICOS DE LA REFINERIA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA*

AUTORES:

ACEVEDO BUENO, Wilson Javier
VEGA VELASCO, Vidal**

PALABRAS CLAVES:

Lubricación, aceite, mantenimiento, temperatura, vibración, monitoreo.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo principal de este proyecto de grado en ECOPETROL S.A. es aportar al Cuidado Básico del Equipo (BEC), mediante un sistema facilitador y confiable de detección de fallas en los equipos rotativos críticos de la refinería realizando un **monitoreo cuantitativo periódico** del aceite lubricante nuevo y usado, correlacionado con una análisis de vibraciones y temperatura para dar a conocer las recomendaciones necesarias para prevenirlas y corregirlas a tiempo evitando paradas de planta no programadas y la consecuente pérdida de dinero por tal motivo.

El programa de lubricación se apoya con un medio digital (Base de Datos - BD) para tener memoria del conocimiento técnico adquirido en base a los análisis realizados a cada uno de los equipos críticos, dando a conocer en esta la información técnica correspondiente a la lubricación de cada máquina. Este BD es un medio de comunicación entre ingenieros, técnicos de confiabilidad y el personal de operaciones que sirve para dar solución conjunta a todas las fallas encontradas, contribuyendo con esto a crear la cultura de Mantenimiento Proactivo (Predictivo-prenventivo) en los sistemas de lubricación de los equipos de la refinería.

El libro se centra en la definición y el desarrollo de las fases que se llevaron a cabo para realizar el programa, como se implemento y cuales fueron los logros alcanzados por este en su etapa de implementación en la refinería. En los anexos se encuentran todos los fundamentos y aspectos más relevantes en cuanto a la maquinaria de la refinería, el BEC, el mantenimiento y la lubricación, los cuales respaldan este proyecto.

* Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Omar Gélvez.

SUMMARY

TITLE:

SYSTEM DE MONITOREO OF THE CONDITION OF THE NEW AND USED LUBRICANT OIL FOR THE DETECTION OF FAILURES OF THE CRITICAL ROTARY EQUIPMENT OF THE REFINERY GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA *

AUTHORS:

ACEVEDO BUENO, Wilson Javier

VEGA VELASCO, Vidal **

KEY WORDS:

Lubrication, oil, maintenance, temperature, vibration, program.

DESCRIPTION:

The main objective of this degree work in ECOPETROL S.A. is to contribute to the Basic Care of the Equipment (BEC), by means of a facilitator system and reliable of detection of failures in the critical rotary equipment of the refinery carrying out a **inspection quantitative periodic** of the new and used lubricant oil, correlated with an analysis of vibrations and temperature to give to know the necessary recommendations to prevent them and to correct them on time avoiding stopped of not programmed plant and the consequent loss of money for such a reason.

The program of lubrication to support on with a mean digital one (database - BD) to have memory of the acquired technical knowledge based on the analyses carried out each one of the critical equipment, giving to know in this the technical information corresponding to the lubrication of each machine. This BD is a means of communication between engineers, technicians of reliability and the personnel of operations that is used to give combined solution to find failures, contributing with this to create the Maintenance Proactive culture (Predictive-preventive) in the systems of lubrication of the equipment of the refinery.

The book is centered in the development and definition of the phases results carried out to the program, as implements by this program in their implementation stage in the refinery. In the annexes to find all the foundations and more important aspects of machinery the refinery, the BEC, maintenance and the lubrication, which support this project.

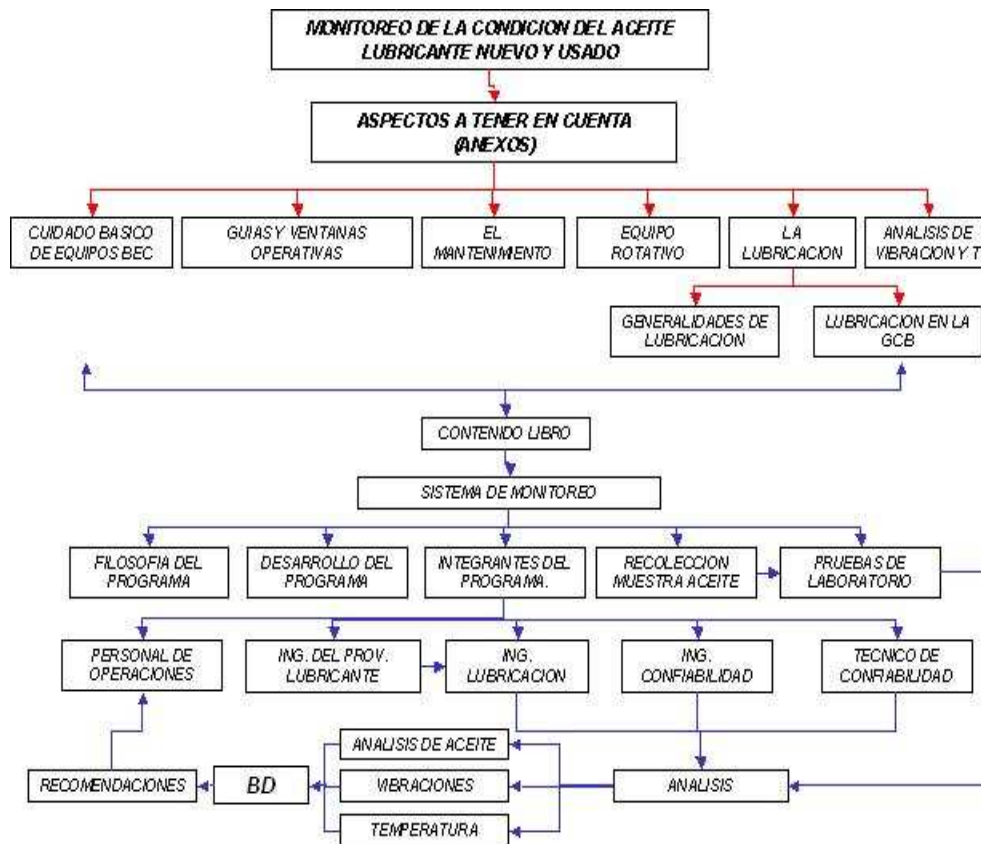
* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Omar Gélvez.

INTRODUCCIÓN

En el contenido de este libro se encuentra la información más relevante acerca del monitoreo de la condición del aceite lubricante nuevo y usado, se centra en su definición, en el desarrollo de las fases que se llevaron a cabo para crear este sistema de monitoreo, como se implemento y cuales fueron los logros alcanzados por este en su etapa de aceptación en la refinería de ECOPETROL S.A. Gerencia Complejo Barrancabermeja. En la siguiente figura se esquematiza todos los aspectos a tener en cuenta para la creación de este programa y el contenido del libro:

Figura 1. Aspectos a tener en cuenta y contenido del libro



Actualmente en la refinería existe un sistema de **monitoreo periódico cualitativo** del estado del aceite usado de todos los equipos rotativos el cual es llevado a cabo en la RUTA DE TRIBOLOGIA OPERATIVA – RTO (Monitoreo semanal de Vibraciones, Temperatura y condición del aceite) de dos formas, mediante un equipo **analizador** que permite determinar si el aceite esta bueno o malo y de forma visual para detectar la presencia de contaminantes. Este procedimiento no ha logrado el impacto esperado en cuanto a la detección de fallas, pues al ser un sistema cualitativo no permite conocer en que grado el aceite esta bueno o malo y cuales son los contaminantes que pueden afectar la máquina, en otras palabras no da la opción de identificar el estado real del aceite mismo y por lo tanto de la máquina, tampoco ofrece la posibilidad de conocer que causa que la condición del aceite cambie al igual que el comportamiento del equipo, dejando así a los ingenieros y técnicos de confiabilidad sin un soporte técnico confiable para la detección de fallas, pues la mayoría de veces no se tiene certeza de estas dado el alcance del procedimiento de monitoreo llevado en la RTO, dificultando tomar una decisión como la de detener el equipo para corregir una falla, debido a las pérdidas económicas que esto acarrea por lucro cesante si es un equipo crítico.

Como en estos momentos la política de mantenimiento en la refinería apunta hacia el **Mantenimiento Proactivo (Predictivo-Preventivo)** debido a la gran cantidad de equipos que fallan sin causa aparente y que ocasionan grandes perdidas de dinero, principalmente por lucro cesante, con este trabajo de grado se creo un procedimiento de **monitoreo periódico cuantitativo** de la condición del aceite lubricante nuevo y usado de 700 equipos críticos de la refinería, para predecir y prevenir las posibles fallas de estos equipos y así contribuir a la disminución de las pérdidas de dinero por lucro cesante debido a las paradas de planta no programadas como consecuencia de las fallas imprevistas. En el presente libro se

encuentra toda la información acerca de la creación, implementación, seguimiento y resultados obtenidos de este programa.

En los anexos se encuentran todos los aspectos a tener en cuenta para la creación del programa de monitoreo de la condición del aceite de los equipos rotativos críticos de la GCB, como lo son: maquinaria de la refinería, el Cuidado Básico del equipo (BEC), mantenimiento Proactivo, el análisis de vibración y la lubricación en la refinería, para brindar toda la teoría que respalda el sistema de monitoreo de la condición del aceite lubricante nuevo y usado.

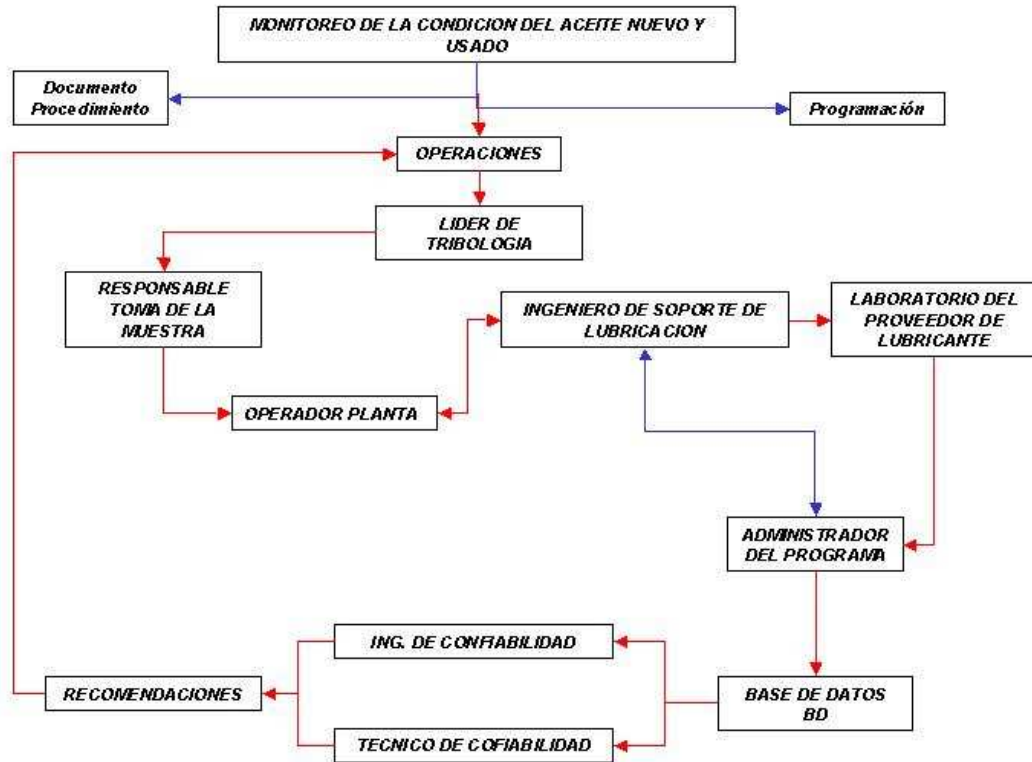
1 PROGRAMA DE MONITOREO DE LA CONDICIÓN DEL ACEITE NUEVO Y USADO

DEFINICIÓN

El Sistema Monitoreo De La Condición Del Aceite Lubricante Nuevo y Usado De Los Equipos Rotativos Críticos es un programa de lubricación que se utiliza como una herramienta valiosa del plan de lubricación en el mantenimiento proactivo (ver ANEXO C) de los equipos rotativos críticos de la refinería en ECOPETROL S.A. Gerencia Complejo Barrancabermeja (GCB), previamente seleccionados de acuerdo a un criterio de ingeniería. Es un programa de **monitoreo periódico cuantitativo** de la condición del aceite lubricante nuevo y usado de 700 equipos rotativos críticos de la refinería (Ver numeral 3.2), para predecir y prevenir las posibles fallas de estos. Consiste en un análisis periódico trimestral del aceite en los laboratorios del proveedor de lubricante, apoyado con uno de vibraciones (ANEXO G) y temperatura del equipo, llevados a cabo en la RUTA DE TRIBOLOGIA OPERATIVA (RTO), que correlacionados permite a los ingenieros y técnicos de confiabilidad entregar mediante una Base de Datos, al personal de operaciones la información técnica de lubricación de cada equipo, las posibles causas de falla, las recomendaciones necesarias para corregirlas antes de que ocurran y el comportamiento de cada equipo a través del tiempo, convirtiéndose así en un instrumento de predicción y prevención de fallas para los equipos críticos de la refinería, disminuyendo con esto las pérdidas de dinero por paradas de planta no programada.

A continuación se muestra un esquema gráfico del ciclo de funcionamiento del programa:

Figura 2. Ciclo de funcionamiento del programa.



El ciclo se desarrolla siguiendo las flechas de color rojo de la siguiente manera:

1. El programa esta soportado por un documento procedimiento; este es un documento oficial manejado en la refinería para dar a conocer al personal de operaciones, a los ingenieros y técnicos de confiabilidad el procedimiento a seguir, como se hace, cual es su finalidad y cual es la función de cada uno. Por lo tanto antes de comenzar con la aplicación del programa es necesario conocer en detalle este documento. Ver ANEXO H.
2. El programa cuenta con un archivo en red denominado **Programación**, el cual muestra las fechas en las cuales se debe realizar la recolección de la muestra de aceite. La muestra se recoge siguiendo un procedimiento, el cual permite que esta sea significativa para el análisis, es decir que este lo

menos contaminada posible con agentes externos presentes en el momento de la toma. Ver numeral 3.3.

3. El programa lo inicia el personal de Operaciones, quienes son los responsables de su ejecución en campo. Ellos designan el líder del programa, el cual se denomina **Líder de Tribología**, este a su vez designa a los operadores responsables de la toma de la muestra de aceite. Ver numeral 4 funciones del personal.

4. una vez el operador a recogido la muestra de aceite, este la entrega al ingeniero de soporte del proveedor de lubricante, quien es el responsable de enviarla al laboratorio y entregar la información referente a ella al administrador del programa quien es el ingeniero de lubricación de la refinería.

5. Una vez el laboratorio ha realizado los análisis del aceite, este envía a través del e-mail al administrador del programa, los resultados obtenidos. El administrador se encarga de subir los datos a la BD, comunicándoselo a los ingenieros y técnicos de confiabilidad vía e-mail. Ver el contenido de la BD en el numeral 3.4.

6. Los ingenieros y técnicos de confiabilidad, realizan el análisis de los resultados del laboratorio, lo correlacionan con los análisis de vibración y temperatura y generan en la BD las recomendaciones necesarias al personal de operaciones, para corregir las anomalías encontradas. Las recomendaciones se enfocan en la búsqueda de la causa raíz del problema, que se puede hacer para evitarlo, como se puede predecir, como se corrige, que se debe hacer para que no vuelva a ocurrir y en caso de que sea así se cuenta con el conocimiento necesario para enfrentarlo.

Es muy importante mencionar que lo anterior se logra involucrando a todo el personal técnico de la refinería, pues cada uno debe desarrollar

una tarea específica para contribuir con el buen desempeño del sistema de monitoreo de la condición del aceite nuevo y usado, de lo contrario el programa no cumpliría los objetivos para los cuales fue diseñado. Ver objetivos numeral 2.

2 OBJETIVOS DEL PROGRAMA

Aportar a una de las misiones del Departamento de Apoyo Técnico a la Producción (ATP) en ECOPETROL S.A. de velar por el buen funcionamiento de los equipos (Ver ANEXO A) de la refinería buscando:

- Garantizar una recolección programada de las muestras de aceite de todos los equipos rotativos críticos de la GCB, para su correspondiente análisis en el laboratorio, mínimo 4 veces al año.
- Proporcionar a los ingenieros y técnicos de confiabilidad un medio facilitador y confiable para la detección de fallas en los equipos rotativos críticos de la refinería mediante el **monitoreo cuantitativo** periódico del aceite lubricante nuevo y usado, que correlacionado con el análisis de vibraciones y temperatura permitirá dar a conocer al personal de operaciones las recomendaciones necesarias para prevenirlas y corregirlas a tiempo evitando paradas de planta no programadas y la consecuente pérdida de dinero por tal motivo.
- Proporcionar un medio digital (Base de Datos - BD) a la empresa para tener a mano memoria del conocimiento técnico adquirido en base a los análisis realizados a cada uno de los equipos críticos, para conservar un historial del comportamiento de cada uno de estos a través del tiempo, sujeto a conocimiento de todo el personal, sin importar su antigüedad en la empresa.
- Entregar a todo el personal de operaciones a través de la base de datos la información técnica correspondiente a la lubricación de cada uno de los equipos rotativos críticos de la refinería, para evitar procedimientos inadecuados de lubricación por desconocimiento de dicha información.

- Proporcionar un medio de análisis para los ingenieros y técnicos de confiabilidad que permita determinar si el aceite usado puede o no continuar en operación y si el aceite es nuevo corroborar si la calidad de este corresponde a las recomendaciones dadas por el fabricante.

- Suministrar un medio de comunicación a través de la base de datos entre los ingenieros, técnicos de confiabilidad y el personal de operaciones para dar solución conjunta a todas las fallas encontradas en el monitoreo periódico del aceite nuevo y usado.

- Disminuir las paradas de planta no programadas como consecuencia de la detección temprana de las posibles causas de falla en los análisis de laboratorio del aceite y el monitoreo de vibraciones y temperatura de los equipos rotativos críticos de la refinería.

- Disminuir las pérdidas de dinero principalmente por costo del equipo y por lucro cesante, ya que con este sistema de monitoreo periódico se podrán evitar fallas imprevistas en los equipos críticos con tal anticipación que permita corregirlas a tiempo y sin ocasionar mayor gasto de dinero en la ejecución de la solución dependiendo de la evolución y la gravedad de la falla.

3 PROCEDIMIENTO PARA LA CREACION DEL PROGRAMA DE LUBRICACION.

El programa de lubricación de monitoreo de la condición del aceite nuevo y usado fue elaborado siguiendo una serie de etapas, las cuales se describen a continuación.

3.1 ETAPA DE CAPACITACION

Antes de comenzar con la creación del programa de monitoreo de la condición del aceite fue necesario adquirir una serie de conocimientos que se describirán a continuación:

- ✓ Reconocimiento de la refinería visitando cada una de sus plantas.
- ✓ Conocimiento general de los procesos de producción de la refinería.
- ✓ Conocimiento del equipo rotativo de la refinería . ANEXO D
- ✓ Conocimiento de las variables de condición y ventanas operativas de los equipos rotativos. ANEXO B
- ✓ Conocimiento sobre políticas de mantenimiento en la GCB. ANEXO C.
- ✓ Conocimiento general de lubricación y lubricación en la refinería. ANEXO E y F.

3.2 ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Recopilación y verificación en campo de la información existente (Ver Figura 3) referente a los datos técnicos necesarios para el programa de monitoreo de la condición del aceite **de los 700 Equipos críticos** de la refinería. Entre los equipos críticos tenemos:

300 bombas centrífugas, 100 ventiladores de tiro forzado e inducido, 100 compresores centrífugos, 18 turbinas de vapor, 23 agitadores, 3 máquinas herramienta de corte, 10 enfriadores de propileno, 2 extrusores de polietileno, 15 sistemas de filtración, 2 generadores de electricidad, 17 sistemas hidráulicos, 21 motores eléctricos, 8 motores de combustión interna, 2 sistemas centralizados de lubricación, 9 turbocompresores y 6 turbogeneradores. Ver Anexo D, Generalidades de equipos rotativos.

Figura 3. Recopilación de la información en campo



La información en mención es la siguiente:

- Criticidad y codificación del equipo.
- Tipo de equipo y elementos que lo componen.
- Tipo y nombre del aceite que utiliza cada equipo.
- Existencia de puntos recolección de aceite (drenajes) en cada equipo.

- Existencia de drenajes de aceite en las consolas de lubricación.
- Existencia de visores de nivel y aceiteras de nivel constante en el equipo.
- Existencia de válvulas de venteo en cada equipo para eliminación de gases.
- Existencia de rótulos en cada equipo que identifiquen el tipo de aceite de lubricación.

3.3 ETAPA DE DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE TOMA DE LA MUESTRA DE ACEITE

Durante esta etapa se definió el procedimiento de recolección de la muestra de aceite de los equipos rotativos de la refinería. La toma de muestra de aceite generalmente se realiza a los equipos en operación, pero hay casos donde se toma a equipos en stand by por su alto volumen de aceite (mayor a 5 galones) ya que es necesario conocer el estado del aceite para determinar si el equipo se puede operar con ese aceite.

El procedimiento de toma de la muestra de aceite para análisis de laboratorio se realiza siguiendo una serie de pasos, estos se describen en el Numeral 5.1.

3.4 ETAPA DE DISEÑO DE LA BD PARA EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN

Es muy importante contar con herramientas informáticas para el manejo de la información recopilada de los análisis del laboratorio, debido a la gran cantidad de información que se debe manejar. Para el caso de la refinería se ha trabajado en una base de datos (BD) sobre una traída de APIAY, la cual se rediseño y se adaptó en la GCB para almacenar los

análisis del aceite enviados por los laboratorios de los proveedores de lubricante, con el objeto de correlacionarlos con el monitoreo de vibraciones y temperatura de la Ruta de Tribología Operativa. En el numeral 5 se encuentra toda la información necesaria para el manejo de la BD.

La base de datos contiene los siguientes items:

- Una programación (donde, y cuando) trimestral para la recolección de la muestra de aceite de los equipos rotativos críticos de la refinería.
- Listado de todos los equipos críticos de la refinería sujetos al muestreo del aceite.
- El nombre y tipo de aceite lubricante que utiliza cada equipo.
- Características físico-químicas y análisis metalográfico de cada tipo de aceite lubricante utilizado en la refinería:

Para aceites industriales:

- **Viscosidad:** Define el espesor de la película de lubricante y por lo tanto el grado de protección que le ofrece al equipo.
- **TAN (Número de Acidez Total del aceite):** Determina el grado de envejecimiento del aceite lubricante debido a la formación de ácidos corrosivos en el aceite.
- **Contenido de Agua en porcentaje:** Indica si el aceite puede o no continuar en operación, si el contenido es alto, al ser el agua mas densa que el aceite, se pierde la película de lubricante en la

máquina y si no hay venteo genera problemas de sobre-presión en el equipo por evaporación del agua.

- **Demulsibilidad del aceite (minutos):** Indica la rapidez con la cual el aceite se separa del agua, si la separación es rápida esto permite drenar el agua en el equipo, de lo contrario el aceite se debe cambiar.
- **Contenido de combustible en porcentaje:** indica si hay trazas de combustibles, lo cual afecta la viscosidad del aceite.
- **Partículas metálicas:** Indica la cantidad, forma y tamaño de las partículas metálicas (Al, Cr, Cu, Fe, Pb) y no metálicas (Si) en ppm, que indican el grado de desgaste de la máquina.

Para aceites automotrices:

Además de las anteriores exceptuando el TAN se realizan otras pruebas adicionales:

- **TBN (Número Básico Total del aceite):** Indica el grado de tolerancia que aun tiene el aceite ante la presencia de ácidos corrosivos formados en la combustión del motor.
- **Hollín en partes por millón (ppm):** Indica la cantidad de partículas de carbono las cuales generan problemas de abrasión.
- **Oxidación:** Indica la presencia de herrumbre en los motores.

En el numeral 7 Se encuentra la información más relevante acerca de cada una de estas pruebas.

- Los límites permisibles de cada parámetro evaluado en el análisis de laboratorio. Ver numeral 7.4.
- Generación del formato de recopilación de datos para ser enviado vía e-mail a los laboratorios.
- Acceso de consulta a todo el personal de la refinería a modo de lectura de los análisis del laboratorio y a las recomendaciones entregadas por los ingenieros de confiabilidad.
- Generación automática de las tendencias del comportamiento a través del tiempo de cada uno de los parámetros del aceite medidos en el laboratorio para los equipos críticos de la refinería.
- Conservación de Históricos de los análisis del laboratorio para cada uno de los equipos críticos estudiados.

La Base de datos-BD fue elaborada utilizando los siguientes programas:

- **MICROSOFT ACCES:** Este programa permitió la elaboración de la base de datos para consignar en esta los resultados entregados por el laboratorio y toda aquella información relevante para llevar a cabo el análisis de los datos por parte de los ingenieros.
- **MICROSOFT EXCEL:** Este programa se utilizó para diseñar la programación de la toma de muestras del aceite y el formato de envío de datos al laboratorio.

3.5 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA

Al manejar información es importante que esta se consigne en una red común para que todo el personal de la empresa tenga acceso a ella, en este caso la BD se subió a una red común para toda la refinería, específicamente en un disco virtual cuya dirección es:

- **W:\OPTIMIZACION\06. Integridad Operativa\PFIs\2. Enfoque Confiabilidad\ Análisis de Aceites**

Una vez se instaló la BD en la red se comenzó con el proceso de divulgación y capacitación para el personal de operaciones, técnicos e ingenieros de confiabilidad de toda la refinería, participando como conferencistas en los seminarios teóricos acerca de los programas de lubricación y en las capacitaciones en los cuartos de control de cada planta en lo referente al sistema de monitoreo de la condición del aceite lubricante de los equipos críticos de la GCB, transmitiendo los procedimientos y la metodología del programa.

3.6 ETAPA DE PUESTA EN MARCHA DEL PROGRAMA DE LUBRICACIÓN

En paralelo con la etapa de implementación y en base a la programación de recolección de las muestras de aceite, se inició con el desarrollo o puesta en marcha del programa en la refinería de la siguiente manera:

1. Recolección de las muestras de aceite en la planta según la programación.
2. Envío de las muestras de aceite al laboratorio

3. Importación a la BD de los resultados entregados por el laboratorio.
4. Estudio de la información entregada por el laboratorio y los análisis de vibración y temperatura recopilados en la **RTO** para dar las recomendaciones necesarias en cada caso al personal de operaciones y a los ingenieros y técnicos de confiabilidad.

3.7 ETAPA DE SEGUIMIENTO AL PROGRAMA DE LUBRICACIÓN

Luego de haber superado la etapa de implementación y desarrollo se inicio la etapa final, la cual consiste en el seguimiento (Auditoria) al programa de monitoreo de la condición del aceite y a los demás programas de lubricación, realizando una visita mensual a cada una de las plantas de la refinería. Esta auditoria se desarrollo bajo el nombre Visita de Tribología Mensual (*VITRIB*), para involucrar todos los programas de lubricación de la refinería (*RTO, Monitoreo de la condición del Aceite, Reengrase De Mecanismos y Reengrase De Motores*) con el objetivo de trabajar en el diagnóstico de anomalías, fallas de operación, identificación de equipos por fuera de los límites permisibles, verificando la ejecución de todos los programas de lubricación por parte del personal técnico de la refinería.

4 FUNCIONES DE LOS INTEGRANTES DEL PROGRAMA

4.1 LÍDER DE TRIBOLOGÍA OPERATIVO

- Responsable de la recolección de la muestra de aceite programada en la BD.
- Asegurar el correcto etiquetamiento de cada una de las muestras.
- Brindar la capacitación necesaria para la consulta de resultados de laboratorio en la BD para quien requiera dicha la consulta.
- Capacitación del personal de planta (operarios) en el procedimiento de toma de muestra de aceite.
- Garantizar que se cuente con el suficiente número de frascos de muestra de aceite.

4.2 INGENIERO DE SOPORTE DEL PROVEEDOR DE LUBRICANTES

- Recolección de la muestras de aceite en cada planta.
- Enviar las muestras para análisis de laboratorio semanalmente.
- Asegurar el número suficiente de recipientes de muestreo y de etiquetas en cada planta.
- Capacitar al líder de tribología en la toma correcta de la muestra de aceite.

4.3 INGENIERO Y TÉCNICO DE CONFIABILIDAD

- Consultar los resultados de los equipos de la planta correspondiente.
- Registrar datos pertinentes al seguimiento de los equipos.
- Tomar acciones predictivas de acuerdo a los resultados.

- Generar Ordenes de trabajo (Ots) correctivas con respecto a los aceites analizados.
- Hacer seguimiento a las Ots correctivas.

4.4 INGENIERO DE LUBRICACIÓN

Es el administrador del programa de lubricación y realiza las siguientes funciones:

- Programar envío de muestras semanalmente.
- Exportar resultados de laboratorio a la BD.
- Actualizar registros de equipos en la BD de acuerdo a necesidades del negocio.
- Dar conferencias de capacitación a los líderes de tribología operativos e ingenieros de confiabilidad en la filosofía del programa, el manejo de la BD e interpretación de los resultados de laboratorio.
- Dar asesoría que requieran los clientes internos.
- Enviar informes con los índices de gestión del programa a los jefes de departamento.

5 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA EN LA REFINERÍA

En este capítulo se describen los procedimientos que se siguen en la refinería de la GCB, para llevar a cabo la realización del programa de monitoreo de la condición del aceite. Previamente se consulta en la red en la dirección:

W:\OPTIMIZACION\06. Integridad Operativa\PFIs\2. Enfoque Confiabilidad\ Análisis de Aceites\Programa

la fecha de recolección de la muestra de aceite, paso en el cual comienza el desarrollo del programa en campo, posteriormente se realiza la recolección de la muestra y luego se inicia con el proceso de aseguramiento y análisis de la información. A continuación se describen los procedimientos a seguir:

5.1 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE LA MUESTRA DE ACEITE

5.1.1 Limpieza del punto de toma de la muestra aceite:

Habiendo asegurado durante la etapa de recolección de la información del equipo en campo:

- Existencia del punto de toma de la muestra de aceite y que sea de fácil acceso.

Figura 4. Limpieza de la boquilla de descarga



- Montaje adecuado de la tubería y la válvula de drenaje.
- Existencia del tapón de la boquilla de descarga.

Se procede a quitar el tapón y luego con un pedazo de tela limpio o una servilleta (Figura 4) se limpia el extremo de la tubería (boquilla) del drenaje del equipo, con el objetivo de contaminar lo menos posible el aceite en el momento de toma de la muestra. Con este procedimiento se evita la alteración de los resultados del laboratorio Debido a la presencia de suciedad en la boquilla de descarga.

5.1.2 Drenaje del agua del carter o las consolas de lubricación:

En la mayoría de los casos el aceite puede contener agua debido a la condensación del vapor de agua presente en el equipo o en la atmósfera, si las propiedades demulsificantes del aceite son buenas el agua se separa de este depositándose en el fondo del carter del equipo (equipos con sistema de lubricación por anillo ó circulación por neblina), en la consola (equipos con sistema de circulación de aceite). Debido a este fenómeno primero se debe drenar (eliminar) el agua presente en el aceite antes de recoger una muestra para análisis de laboratorio.

El agua se drena del aceite de la siguiente manera:

1. Se quita el tapón de la boquilla de descarga.
2. Se abre la válvula de drenaje.
3. Cuando comienza a salir aceite (no hay presencia de agua) se cierra la válvula de drenaje.

5.1.3 Toma de la muestra de aceite:

1. Se abre la válvula de drenaje y con una botella transparente se recoge el aceite hasta que este salga caliente (ver Figura 5). Se debe utilizar un embudo para evitar tirar el aceite al piso y facilitar la toma de la muestra.

Figura 5. Drenaje aceite en botella de vidrio



2. cuando este comienza a salir caliente se cierra la válvula de drenaje y el aceite recogido se suministra nuevamente al equipo.
3. se abre nuevamente la válvula de drenaje y se procede a recoger la muestra en un tarro plástico transparente de 100 cm³ (suministrado por el proveedor de lubricante). El tarro debe ser abierto solo en el momento de toma de la muestra de aceite, para evitar que esta se inflencie con los contaminantes presentes en el ambiente. Una vez el tarro esta lleno en aproximadamente el 95% de su volumen, inmediatamente se cierra la válvula de drenaje, se tapa el tarro y se coloca el tapón en la boquilla de la tubería de drenaje.

En caso de tener ambientes contaminados (Alto contenido de vapor, humos, cenizas y partículas en la atmósfera), la muestra se recoge en una botella de vidrio limpia, para lo cual se debe utilizar el embudo para evitar tirar el aceite al piso y facilitar la toma de la muestra. El embudo debe limpiarse cada vez que se tome una muestra, con una servilleta o un trozo de tela limpio para evitar la contaminación del aceite. Posteriormente en el cuarto de control de la planta se vierte el aceite recogido en la botella en el tarro de 100 cm³, con el objetivo de contaminar la muestra lo menos posible.

4. verificar el nivel de aceite del equipo, si el visor de nivel indica que esta bajo, debe completarse suministrando la cantidad de aceite requerida.
5. Limpiar la superficie exterior del tarro de recolección de la muestra de aceite para colocarle una etiqueta (suministrada por el proveedor de lubricante) con los datos del equipo (código), las horas de operación del aceite y el equipo, la fecha de toma y alguna observación de la máquina o el proceso para que el laboratorista pueda tener idea de la condición de trabajo del aceite y el equipo.

Para el caso de equipos con sistema de lubricación por anillo de volumen de aceite menor a 1 litro en el momento de toma de la muestra de aceite se debe tener cuidado en no desocupar el carter del equipo debido a que en muchos de estos la longitud equivalente de la tubería de drenaje es grande (mayor a 1m). Cuando se presenta el caso una segunda persona debe estar pendiente del nivel del aceite en el momento de toma de la muestra para que vaya completando el nivel y así evitar que el equipo se quede sin lubricación en el momento de toma de la muestra, lo cual podría causar una falla por falta de lubricación.

Existen casos donde antes de tomar una muestra de aceite, primero se lleva a cabo un proceso de cambio de aceite del equipo (en operación o stand by), eliminando (drenando) este aceite usado por la válvula de drenaje. El aceite drenado debe recogerse en canecas o pimpinas de almacenamiento de color negro (Figura 6) para su posterior procedimiento de dialización y/o filtración.

Figura 6. Drenaje de aceite en pimpinas negras



Una vez realizados los pasos anteriores, el ingeniero de lubricación del proveedor de lubricante procede a enviar la muestra al laboratorio para su análisis, iniciando así el proceso de manejo de información en la BD, para su posterior análisis.

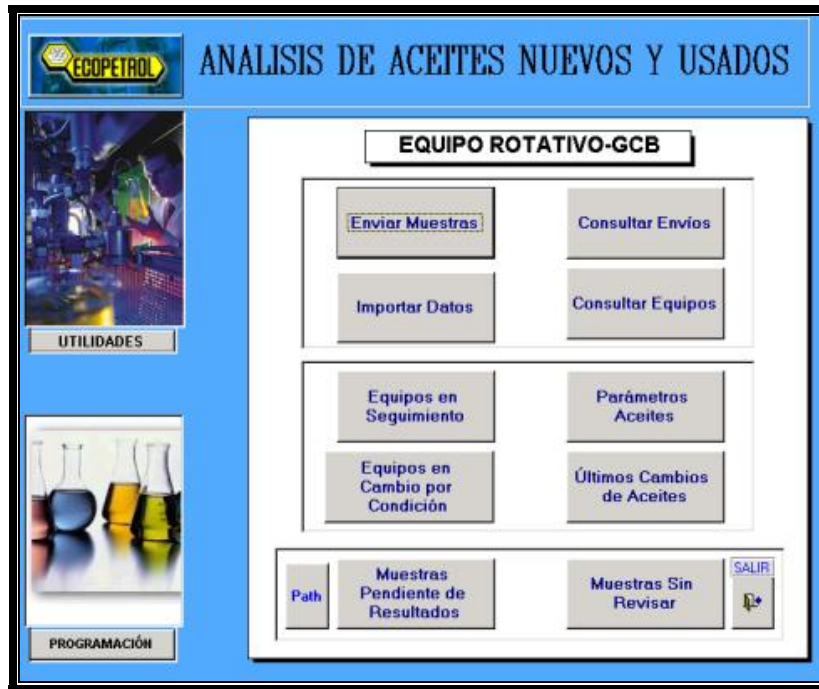
5.2 PROCEDIMIENTO Y MANEJO DE LA BASE DE DATOS

Una vez se han enviado las muestras al laboratorio, se inicia con el procedimiento de manejo de la Base de Datos, la cual se encuentra ubicada en el disco virtual w en la red de la refinería en la siguiente dirección:

- **W:\OPTIMIZACION\06. Integridad Operativa\PFI\2. Enfoque Confiabilidad\ Análisis de Aceites\BD**

Al ingresar al programa aparece la página principal de la BD (Figura 7), desde la cual se maneja toda la información referente a los resultados enviados por el laboratorio.

Figura 7. Página principal de la BD



5.2.1 Generación del formato de resultados:

Después de recoger la muestra de aceite esta se envía al laboratorio del proveedor de lubricante, para lo cual debe generarse un formato o tabla de datos que incluye:

- El código del equipo, especificando el mecanismo lubricado.
- El nombre del aceite que utiliza.
- La fecha de recolección de la muestra.
- El número de horas en servicio del equipo.
- El número de horas en servicio del aceite.
- El tipo de muestra (rutina o especial).

Este formato se envía a través del e-mail para que el laboratorio lo reenvie con los resultados obtenidos del análisis del aceite.

Registro Del Envío: Antes de generar el formato, se debe registrar en la base de datos el envío para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

- Dar clic en el icono **Enviar Muestras** de la Figura 7 para registrar las muestras. Allí se visualiza un formulario (Figura 8) en el cual se consignan los siguientes datos:
 1. el código del envío de la muestra de aceite, este no se digita pues se actualiza de forma automática en la BD.
 2. la fecha del envío de la muestra.
 3. Laboratorio al cual se envía la muestra.
 4. Número guía, el cual se digita con las siglas GCB-X, donde la X corresponde al código del envío, es un código interno que sirve para llevar un orden.
 5. Tipo de equipo (si es rotativo o estático).
 6. Responsable, que es la persona encargada de realizar el envío.

Figura 8. Registro del envío de muestras de aceite

The image shows a software window titled "Envios" with a subtitle "REGISTRO DE ENVIOS MUESTRAS ACEITE". The window contains a form with the following fields and controls:

- Código de Envío:** A text box containing the number "42".
- Fecha:** A text box with a calendar icon to its right.
- Laboratorio:** A dropdown menu.
- Número Guía:** A text box.
- Tipo de Equipos:** A dropdown menu.
- Responsable:** A text box.

At the bottom of the form, there are two buttons: "Registrar Muestras" and "CANCELAR".

Luego de realizar el procedimiento anterior se da clic en el icono **Registrar Muestras** de la Figura 8 con lo cual aparece un formulario (Figura 9) donde se consignan los datos necesarios para generar el formato de envío.

Figura 9. Formulario para generar el envío de datos al laboratorio para el registro de los análisis de la muestra de aceite.

Equipo	Aceite	Fecha Toma	HR Equipo	HR Aceite	Frec. Cambio	Tipo Muestra	Rutina	Gins Rellenos	Acciones
AG-2701	AG-2701				1			749	Registrar
AG-2806	AG-2806								Registrar
AG-2808	AG-2808								Registrar
AG-3656	AG-3656								Registrar
AG-965	AG-965								Registrar

En el formulario de la Figura 9 se consignan los siguientes datos:

- El código del equipo, el cual se escoge de un menú desplegable o escribiendo el código en la casilla **Equipo**.
- El nombre del aceite que utiliza, el cual se genera automáticamente una vez se escribe el código del equipo.
- La fecha de recolección de la muestra.
- El número de horas en servicio del equipo.
- El número de horas en servicio del aceite.
- El tipo de muestra (rutina o especial).

Al terminar se da clic en registrar. Todo este proceso se realiza para cada uno de los equipos, en el mismo formulario de la Figura 9. Al consignar todos los datos se regresa a la página principal del programa (Figura 7) y

se da clic en el icono **Consultar Envíos** para generar el formato con los datos requeridos por el laboratorio del proveedor de lubricante. Al hacer clic en este icono aparece un nuevo formulario (**Figura 10**). En la columna **N° Envío** esta registrado el número del envío, con el mouse posicionar el cursor que aparece en la parte inferior izquierda en la fila que corresponde al envío que se ha generado. Al realizar este paso se da clic en el icono **Crear Tabla de Envío** con lo cual automáticamente se genera el formato de datos que solicita el proveedor de lubricantes (Figura 11).

Figura 10. Formulario para la creación de la tabla de datos.

N° Envío	Fecha	Laboratorio	Número Guía
41	14-Abr-05	TERPEL	GCB-41
40	14-Abr-05	TERPEL	GCB-40
39	12-Abr-05	TERPEL	GCB-39
42	11-Abr-05	TERPEL	
38	08-Abr-05	TERPEL	GCB-38
37	04-Abr-05	TERPEL	GCB-37
36	17-Mar-05	TERPEL	GCB-36
35	15-Mar-05	TERPEL	GCB-35
34	15-Mar-05	TERPEL	GCB-34
32	10-Mar-05	TERPEL	GCB-32
33	10-Mar-05	TERPEL	GCB-33
30	08-Mar-05	TERPEL	GCB-30
28	04-Mar-05	TERPEL	GCB-28
29	04-Mar-05	TERPEL	GCB-29
27	02-Mar-05	TERPEL	GCB-27
26	28-Feb-05	TERPEL	GCB-26
25	28-Feb-05	TERPEL	GCB-25
24	22-Feb-05	TERPEL	GCB-24
23	17-Feb-05	TERPEL	GCB-13
9	14-Feb-05	TERPEL	GCB-09

Este formato se envía a través del e-mail para que los proveedores de lubricante consignen los respectivos resultados del análisis de laboratorio para cada equipo estudiado.

Figura 11. Formato de recolección de los análisis del laboratorio.

A	B	C	E	F	G	H
Código ECP	Equipo/Serial	Descripción de Equipo	Laboratorio	Aceite	Fecha Toma	Horas Eq
664	P-901G LEX	BOMBA DE CONDENSADO	TERPEL	TUREBINA 66	17.03/2005	
665	NP-901H LGOOB	TURBINA DE VAPOR DE BOMBA DE CONDENSADO	TERPEL	TURBINA 220	17.03/2005	
666	NP-901H LAC	TURBINA DE VAPOR DE BOMBA DE CONDENSADO	TERPEL	TURBINA 220	17.03/2005	
667	P-901H LAC	BOMBA DE CONDENSADO	TERPEL	TURBINA 66	17.03/2005	
668	P-901H LEX	BOMBA DE CONDENSADO	TERPEL	TURBINA 66	17.03/2005	
684	P-901H LEX	BOMBA DE CONDENSADO	TERPEL	TURBINA 66	30.03/2005	
669	NP-1111	TURBINA DE VAPOR DE BOMBA DE CARGA DE ACEITE A TRATAMIENTO	TERPEL	TURBINA 66	28.03/2005	
670	P-1111	BOMBA DE CARGA DE ACEITE A TRATAMIENTO	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	28.03/2005	
671	P-1121B	BOMBA CARGA DE CERA A TRATAMIENTO	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	28.03/2005	
672	F-1201B	VARIADOR VELOCIDAD FILTRO GIRATORIO SEPARADOR CERA DEL ACEITE	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	28.03/2005	
673	F-1202C	VARIADOR VELOCIDAD FILTRO GIRATORIO SEPARADOR CERA DEL ACEITE	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	28.03/2005	
674	F-1203A	VARIADOR VELOCIDAD FILTRO GIRATORIO SEPARADOR CERA DEL ACEITE	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	28.03/2005	
675	F-1203B	VARIADOR VELOCIDAD FILTRO GIRATORIO SEPARADOR CERA DEL ACEITE	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	28.03/2005	
676	C-1201	TURBOCOMPRESOR MANEJO DE PROPILENO	TERPEL	TUREBINA 32	28.03/2005	
677	C-1202	TURBOCOMPRESOR MANEJO DE CO2	TERPEL	TUREBINA 32	28.03/2005	
678	C-2403	COMPRESOR ALTERNATIVO MANEJO DE AIRE	TERPEL	ENGRANAJES EP 150	17.03/2005	
679	UF-956 LAC	VENTILADOR DE TIRO FORZADO	TERPEL	TUREBINA 66	30.03/2005	
680	UF-956 LAC	VENTILADOR DE TIRO FORZADO	TERPEL	TUREBINA 66	31.03/2005	
681	UF-956 LAC	VENTILADOR DE TIRO FORZADO	TERPEL	TUREBINA 66	01.04/2005	
682	MDP-3903A	MOTOR DIESEL BOMBA CONTRAINCENDIO	TERPEL	MAXTER MULTIGRADO CH-4 SAE 15W/40	01.04/2005	
683	MDP-3903A	MOTOR DIESEL BOMBA CONTRAINCENDIO	TERPEL	MAXTER MULTIGRADO CH-4 SAE 15W/40	02.04/2005	

Este formato una vez generado se archiva automáticamente con el nombre del envío en una carpeta llamada **ENVÍO** ubicada en el W para posteriormente enviarla vía e-mail desde esa ubicación. Esta carpeta se encuentra en la siguiente dirección:

- W:\OPTIMIZACION\06.IntegridadOperativa\PFI\2. Enfoque Confiabilidad\ENVIO

5.2.2 Importación de los análisis del laboratorio a la BD

Cuando el laboratorio ha realizado todos los análisis a cada una de las muestras de aceite enviadas, el laboratorista consigna los resultados en el formato que se le envió vía e-mail y lo reenvía a la empresa a través del mismo medio. Una vez los resultados han llegado al computador del

administrador del programa procede a importar los datos a la BD realizando los siguientes pasos:

Selección de los datos: Se busca en el e-mail el envío del laboratorio, se abre el archivo y se selecciona todo su contenido exceptuando la primera fila donde aparecen los nombres de los datos (Figura 12). Seguidamente se copian y luego se ingresa a la BD ubicada en la red, se da clic en el icono **Importar Datos** de la pagina principal (Figura 7) para que se genere un formulario (Figura 13), se selecciona la fila que aparece dando clic en la flecha, sin importar el número de equipos y se pegan los datos copiados del envío recibido del laboratorio, el cual fue entregado con anterioridad vía e-mail. En el formulario de la Figrua 13, luego de pegar los datos se digita la fecha de llegada de estos y el número del envío al cual corresponden y finalmente se da clic en el icono **Actualizar** para registrar automáticamente todos los datos del laboratorio en la BD quedando disponibles para su consulta desde cualquier planta de la refinería.

Figura 12. Selección de los datos para importarlos a la BD

A	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Codigo ECP	Horas Aceite	Envío	Tipo de Muestra	Relleno	Código Terpel	Viscosidad	TBN	TAN	Hollin	Oxidación	Nitración	Aqua	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	S
685	4500	38	RUTINA	4	2285	153.67	0.33					2.4	0	0	8	0	0	0
687	12360	38	RUTINA	20	2287	32.63	0.96					0	0	0	0	0	0	0
688	2160	38	RUTINA		2288	132.64	1.72					0	0	0	0	3	22	0
689	4320	38	RUTINA		2286	154.86	0.72					0.5	0	0	11	3	0	0
690	4320	38	RUTINA		2290	151.16	0.36					0	0	0	0	0	0	0
691	4320	38	RUTINA	4	2291	253.69	1.86					0	0	0	0	0	0	0
692	4320	38	RUTINA		2292	148.96	0.72					0	0	0	5	5	9	0
693	1800	38	RUTINA		2293	71.17	0.43					0	0	0	0	0	0	0
694	720	38	RUTINA		2294	70.42	0.47					0.1	0	0	0	0	16	0
696	2160	38	RUTINA		2296	77.7	0.46					0	0	0	0	0	0	0
697	720	38	RUTINA		2297	67.87	0.45					0	0	0	0	0	0	0
698	720	38	RUTINA		2298	70.39	0.45					0	0	0	0	0	0	0
699	1800	38	RUTINA		2299	67.4	0.48					0.1	0	0	0	0	0	0
700	720	38	RUTINA		2300	72.86	0.33					0.1	0	0	13	0	0	0
701	720	38	RUTINA		2301	66.87	0.43					0	0	0	5	0	8	0
702	980	38	RUTINA		2302	66.93	0.46					0	0	0	0	0	0	0

Figura 13. Formulario para importar los datos del laboratorio.

CM_Codi	Equ_Codi	Equ_Desc	EF_Codi	Lab_Codi	Ace_Nomb	AAM_Fec	AAM_HR	AAM_HR_Ac	Env_Co	TM_Des	AAM_Rel	/

5.2.3 Consulta de los análisis:

Una vez se han importado los datos a la BD se puede acceder desde cualquier cuarto de control de la refinería para consultar los análisis entregados por el laboratorio y las recomendaciones dadas por los ingenieros y técnicos de confiabilidad. El procedimiento a seguir se explica gráficamente a continuación:

Inicio de la BD: En esta etapa comienza el proceso de consulta de los análisis del laboratorio siguiendo los pasos que se explican en la figura 14.

Figura 14. Inicio de la consulta de los análisis del aceite



En la figura 14 también se señala el icono **Programación**, al dar clic sobre el se encontrara un formato donde están los equipos y las fechas en las cuales se debe recoger la muestra de aceite para su análisis en los laboratorios de los proveedores de lubricante dar clic en el icono **Utilidades** la base de datos muestra 2 esquemas gráficos, el primero muestra las equivalencias de aceites según el grado ISO entre las diferentes proveedores de aceites lubricantes. El segundo esquema muestra la equivalencia de viscosidad en diferentes unidades.

5.2.4 Resultados del laboratorio:

Se procede como se indica en la Figura 15.

Figura 15. Inicio de la consulta de los equipos a los cuales se les realizo la toma de muestra de aceite



Una vez realizado este procedimiento aparecerá un nuevo formulario (Figura 16) el cual permitirá buscar un equipo específico. En esta figura se explica el procedimiento a seguir.

Figura 16. procedimiento de búsqueda para un equipo específico.

The screenshot shows a software interface titled "LISTADO DE EQUIPOS-GCB" with a table of equipment. The table has columns for "Equipo", "Descripción", "Frecuencia", "Seg.", and "Ubicación". The first row is highlighted in black, indicating it is the selected item. Below the table, there are search filters and buttons. Red arrows point from numbered text boxes to specific elements in the interface.

3. Escribir el nombre del equipo así:
primero la letra que lo identifica, seguido de un guión y finalmente el número.

4. Seleccionar Equipos_L

5. Seleccionar Cualquier parte del campo, si no funciona así seleccionar Hacer coincidir todo el campo.

6. Dando clic aquí encontrará el equipo buscado, siendo el que aparece con el cursor en negro en el inicio de la pantalla.

7. Dando clic aquí podrá ver el análisis dado por el laboratorio del equipo encontrado.

Wilson Javier Acevedo
Eder F. Ruiz

REGOPETROL

5.2.5 Análisis del aceite de los equipos:

Luego de realizar el procedimiento descrito en la Figura 16 aparece un nuevo formulario y se continúa con los pasos de la Figura 17.

Figura 17. Resultados del laboratorio

This screenshot is identical to the one in Figure 16, showing the "LISTADO DE EQUIPOS-GCB" interface with the same table and search filters. The instructions and annotations are also identical, providing a step-by-step guide for searching for a specific equipment item.

3. Escribir el nombre del equipo así:
primero la letra que lo identifica, seguido de un guión y finalmente el número.

4. Seleccionar Equipos_L

5. Seleccionar Cualquier parte del campo, si no funciona así seleccionar Hacer coincidir todo el campo.

6. Dando clic aquí encontrará el equipo buscado, siendo el que aparece con el cursor en negro en el inicio de la pantalla.

7. Dando clic aquí podrá ver el análisis dado por el laboratorio del equipo encontrado.

Wilson Javier Acevedo
Eder F. Ruiz

REGOPETROL

Al seguir el paso número 8 de la Figura 17 encontrará un nuevo formulario (Figura 18) donde aparecen los límites permisibles (valores en rojo) de cada parámetro medido en el laboratorio además de las recomendaciones dadas por el laboratorio, los ingenieros y técnicos de confiabilidad escritas en el cuadro **Recomendaciones** de la Figura 18. se debe solicitar acceso de escritura, al administrador de la BD, para poder escribir las recomendaciones en el cuadro en mención.

Figura 18. Reporte detallado del análisis del laboratorio con las respectivas recomendaciones

MUESTRAS DE ACEITE EQUIPOS-GCB

Código: 647
 Equipo: C2251/52
 Laboratorio: TERPEL
 Aceite: TURBINA150
 Fecha de Toma: 14-Mar-05
 Horas de Equipo:
 Horas de Aceite: 1440
 Tipo Muestra: RUTINA
 Rutina:
 Gins. Relleno:
 Fecha de Envio: 17-Mar-05
 Número de Envio: 36
 Recibido:
 Fecha de Recibo: 30 Dic-99
 Código Resultado: 1744

RESULTADO DE ANALISIS

	VALOR	LIMITE		VALOR	LIMITE
Viscosidad	141.3	172.1 120	Hollin		
TBN			oxidación		
TAN	1.04		Nitración		
Dilución por Combustible:			% Agua	0	0.2
			Aluminio	0	50
			Cromo	0	10
			Cobre	0	50
			Hierro	0	75
			Plomo	0	20
			Silicio	0	20

Revisado Seguimiento Gestionado

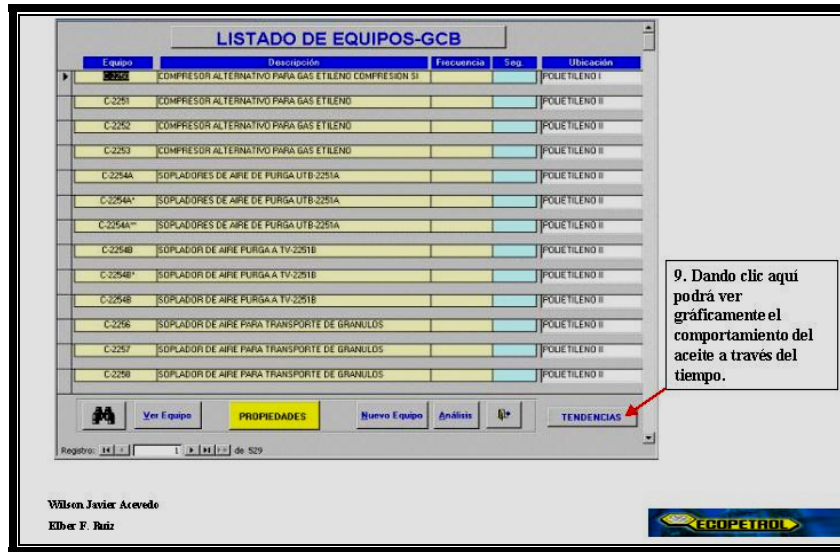
RECOMENDACIONES

Aceite dentro de especificaciones.

5.2.6 Tendencias:

Par consultar las tendencias, regresar a la ventana de la Figura 15 y se sigue el procedimiento mostrado en la Figura 19.

Figura 19. Consulta de las tendencias de la condición del aceite lubricante



A continuación se efectúa el procedimiento de la Figura 20.

Una vez ha encontrado el equipo buscado cierre la ventana de búsqueda para que pueda observar las gráficas de las tendencias de cada uno de los parámetros analizados por el laboratorio (Figura 21 y Figura 22).

Cuando haya terminado la consulta de las gráficas cierre la ventana con el icono salir. Luego regrese a la página principal de la BD realice el mismo procedimiento para salir del programa.

Figura 20. Procedimiento de búsqueda de las tendencias de un equipo específico

10. De clic para buscar el equipo con sus respectivas gráficas.

11. Escribir el nombre del equipo así: primero la letra que lo identifica, seguido de un guión y finalmente el número.

12. Seleccionar Equipos1

13. Seleccionar Cualquier parte del campo, si no funciona así seleccionar Hacer coincidir todo el campo.

14. Dando clic en Buscar siguiente encontrara el equipo buscado.

Figura 21. Tendencias para cada equipo de los parámetros evaluados por el laboratorio del proveedor de lubricante

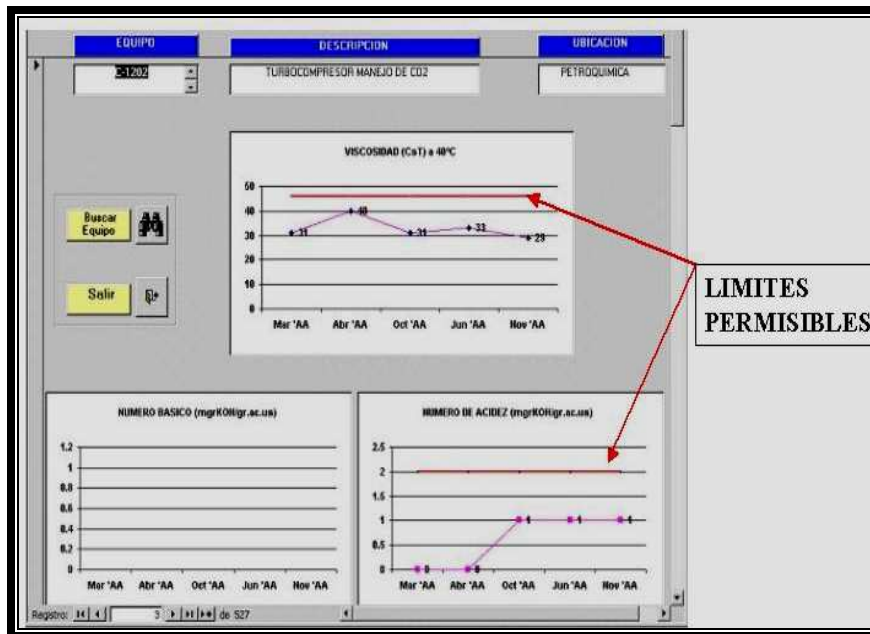
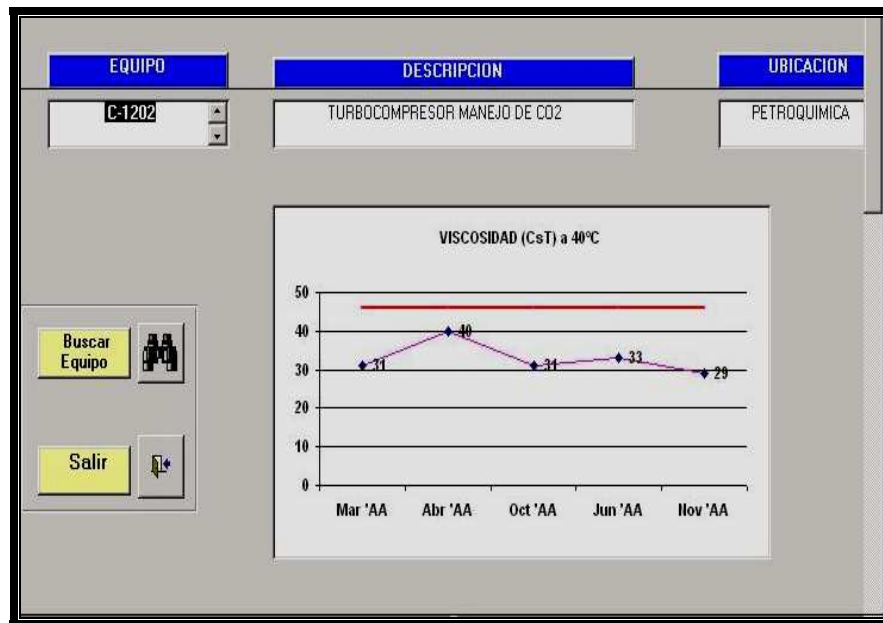


Figura 22. Tendencias para cada equipo de los parámetros evaluados por el laboratorio del proveedor de lubricante

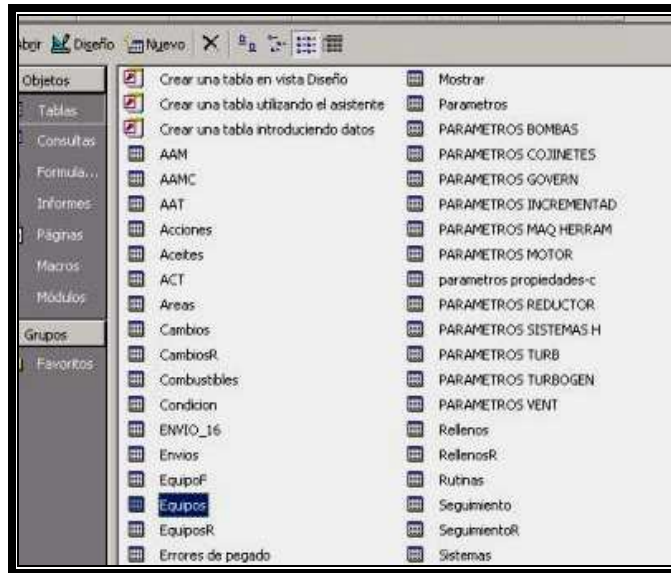


5.2.7 Inclusión de equipos al programa :

En aquellos casos donde se requiera incluir un nuevo equipo al programa monitoreo de la condición del aceite, debido a que se ha programado para tomarle muestras de aceite usado, o que se requiere una muestra especial para analizarla en el laboratorio, se debe realizar el siguiente procedimiento para registrarlo en la base de datos:

Ingreso al programa: Se ingresa a la carpeta donde esta ubicada la BD se da un solo clic izquierdo sobre el icono del programa con el objeto de seleccionarlo (no se requiere abrirlo), posteriormente se oprime la tecla shift y se mantiene oprimida, a la vez con el mouse se da doble clic sobre el programa, de esta forma aparecen las hojas y los formularios de la Base de datos (Figura 23).

Figura 23. Ventana de tablas y formularios de la BD



Luego de que aparece la ventana de la Figura 23 en el menú **objetos** (extremo superior izquierdo) se selecciona **Tablas** luego se da doble clic sobre la palabra **equipos** (aparece resaltada en la Figura 23) para ver la tabla de la Figura 24 en la cual se deben ingresar en la última fila los respectivos datos que se piden en la BD.

Figura 24. Ingresos de los datos para incluir un nuevo equipo

Equi Codi	Equi Desc	Sis Codi	Are Codi	Ubi N
P-4104B	COMPRESOR MANEJO DE PROPILENO	ENGRANAJES Y RODAMIENTOS	CRIOGENICA	PETROQUIMI
EX-2201	REDUCTOR DE VELOCIDAD EXTRUSOR	RODAMIENTOS-ENGRANAJES	POIETILENO I	PETROQUIMI
EX-2251	REDUCTOR DE VELOCIDAD EXTRUSOR	RODAMIENTOS-ENGRANAJES	POIETILENO II	PETROQUIMI
P-1601A	INCREMENTADOR DE VELOCIDAD DE BBA MANEJO TOLUE	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	AROMATICOS	PETROQUIMI
P-1601B	INCREMENTADOR DE VELOCIDAD DE BBA MANEJO TOLUE	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	AROMATICOS	PETROQUIMI
P-2657A	REDUCTOR DE VELOCIDAD BOMBA MANEJO DE AGUA DE CONSOLA DE ACEITE		UNIBON	REFINANCIO
P-2657B	REDUCTOR DE VELOCIDAD BOMBA MANEJO DE AGUA DE CONSOLA DE ACEITE		UNIBON	REFINACION
P-3031B	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	CAMARAS DEL SEPAR	ELEMENTOS
P-3050A	REDUCTOR BOMBA DE CARGA AL SEPARADOR (AGUAS A	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3050B	REDUCTOR BOMBA DE CARGA AL SEPARADOR (AGUAS A	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3085A	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3085A	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS-ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3085B	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3085B	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS-ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3090A	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3090A	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS-ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3090B	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3090B	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS-ENGRANAJES	SEPARADOR NORTE	ELEMENTOS
P-3091A	REDUCTOR DE VELOCIDAD DE LA BOMBA DE CARGA AL S	RODAMIENTOS Y ENGRANAJES	PISCINAS DE AGUAS LI	ELEMENTOS
P-801P	CONVERTIDOR DE VELOCIDAD DE ANGULO- BOTE DEL RIO	RODAMIENTOS Y PIÑONES HELICOID	BOTE DEL RIO	SERVICIOS IN
P-810C	CONVERTIDOR DE VELOCIDAD DE ANGULO- PTA AGUA BO	RODAMIENTOS Y PIÑONES HELICOID	CASA BOMBAS MIRAM	SERVICIOS IN
UF-954	REDUCTOR DE VELOCIDAD DEL VENTILADOR TIRO FORZAC	RODAMIENTOS Y PIÑONES	CALDERAS DISTRAL	SERVICIOS IN
UF-955	REDUCTOR DE VELOCIDAD DEL VENTILADOR TIRO FORZAC	RODAMIENTOS Y PIÑONES	CALDERAS DISTRAL	SERVICIOS IN

Los datos que se deben incluir, según el orden de las columnas de la tabla **equipos** son:

- código del equipo.
- Descripción del equipo.
- Elemento lubricado
- Planta donde esta ubicado.
- Departamento al cual pertenece la planta.
- Código del aceite

El código del aceite aparece en una tabla la cual se busca ingresando a la ventana de la Figura 23 y seleccionando la tabla **Aceites**. En la tabla aceites (Figura 25) aparecen los nombres de los aceites utilizados en los equipos rotativos de la refinería junto con el grado ISO y un código, siendo este el que debe ingresarse en la tabla de la Figura 24. En caso de que no exista el aceite se incluye en la ultima fila de la tabla de la Figura

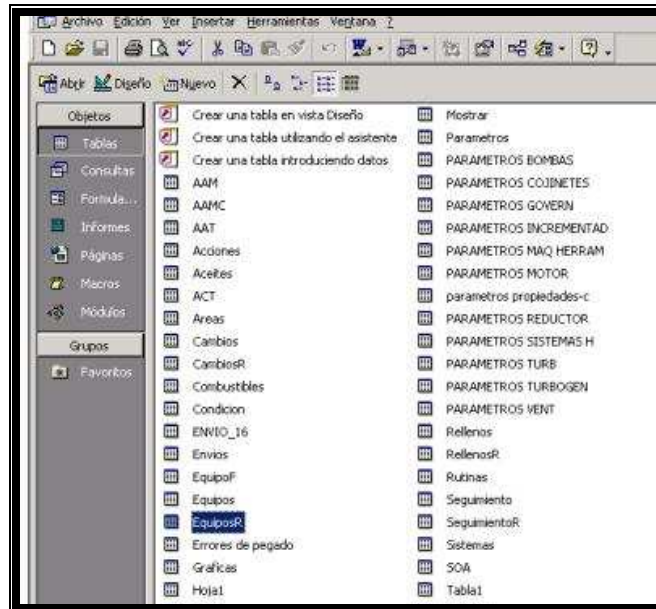
25, el código correspondiente será el número siguiente al código que tiene el aceite de la fila anterior.

Figura 25. Tabla de códigos de los aceites

Ace_Codi	Ace_Nomb	Ace_Tipo	Ace_Fabr	Ace_Grado
3	ENGRANAJES EP 460	M	TERPEL	ISO 460
4	GEOGAS 40	M	TERPEL	SAE 30
5	MAXTER MARINO TBN 30 SAE 40	M	TERPEL	SAE 40
6	MAXTER MULTIGRADO CH-4 SAE 15W40	M	TERPEL	SAE 15W40
7	TURBINA 100	M	TERPEL	ISO 220
8	TURBINA 68	M	TERPEL	ISO 68
9	TURBINA150	M	TERPEL	ISO 150
10	MOBIL DT OIL BB	M	MOBIL	
11	MOBIL PEGASUS 80	M	MOBIL	
12	TURBINA 46	M	TERPEL	ISO 46
13	MOBIL DTE OIL MEDIUM	M	MOBIL	
14	GLYCOLUB 46	S	EXXON	ISO 46
17	SAPPHIRE 442	S	ROCOL	NLGI 2
18	TURBINA 100	M	TERPEL	ISO 100
19	ENGRANAJES EP 220	M	TERPEL	ISO 220
20	ARTIC SHC 426	M	MOBIL	ISO 68
21	ENGRANAJES EP 320	M	TERPEL	ISO 320
22	ALBANOL 1500	M	DOW-CHEMICAL	ISO 320
23	GLYCOLUB 150	S	EXXON	ISO 150
24	OKS	S	OKS	OKS 410
25	GLYCOLUB 68	S	EXXON	ISO 68
26	CILINDRO 680	S	TERPEL	ISO 680
27	TURBINA 32	S	TERPEL	ISO 32
28	ESSOLUBE X3-40	S	ESSO	SAE 40
29	GENLUBE GL EP	S	Ingersoll Rand	NLGI 1
30	TECHTROL GOLD III	S	Ingersoll Rand	ISO 32
31	SLG 100	S	EXXON	ISO 100
32	GLYCOLUB 32	S	EXXON	ISO 32
33	MTS 1000	S	ROCOL	NLGI 2
34	GLYGOYLE 22	S	MOBIL	ISO 22
35	ARTIC SHC 424	S	MOBIL	ISO 32
36	ENGRANAJES EP 150	M	TERPEL	ISO 150
37	DTE LIGHT	M	MOBIL	
38	DTE 25	M	MOBIL	

Una vez se ha realizado el procedimiento anterior se cierran las tablas **Equipos** y **Aceites** respectivamente. Luego de esto en la ventana de la Figura 23 se selecciona la tabla **EquipoR** como se muestra en la Figura 26.

Figura 26. Tabla EquipoR



Se da doble clic sobre este icono para ver la tabla en la cual se deben ingresar los datos finales para la inclusión del nuevo equipo en la BD, la tabla se muestra en la Figura 27, en esta tabla se ingresan los datos comenzando por la primera columna y en el orden que se da a continuación:

- Código del equipo.
- Descripción del equipo.
- Código del aceite.

El código del aceite es el mismo código digitado en la tabla **Equipos** de la Figura 24. Una vez se ha realizado este procedimiento se cierran todas las ventanas de la BD quedando así incluido el equipo en el programa de monitoreo del Aceite nuevo y usado.

Es importante resaltar que cuando se incluye un nuevo equipo se debe tener cuidado en no modificar ningún otro dato perteneciente a los demás

equipos, ya que podría afectar el programa, debido a que se ha ingresado a la Base de Datos principal, que es donde se modifica la información.

6 AUDITORIA VISITA MENSUAL DE LUBRICACION-VITRIB

6.1 OBJETIVO:

El objetivo de la VISITA DE TRIBOLOGIA, es el de realizar auditoria a todos los programas de lubricación, verificando el estado de la lubricación de los mecanismos lubricados con aceite ó con grasa, incluyendo el lubricante, el sistema de lubricación y otros aspectos que tengan que ver con su correcto funcionamiento, y emitir un informe en el cual se especifiquen aquellos equipos rotativos a los cuales es necesario corregirles el estado de la lubricación ó mejorarla mediante lubricantes ó mejores métodos de lubricación, que garanticen su correcto funcionamiento, alta confiabilidad y bajos costos de mantenimiento.

Es muy importante tener en cuenta antes de realizar cualquier procedimiento de auditoría tener en cuenta quienes son los responsables de los programas de lubricación. A continuación se muestran cada uno de los responsables y las funciones que deben llevar a cabo.

6.2 RESPONSABLES DE LOS PROGRAMAS DE LUBRICACIÓN EN LA GCB:

Los responsables de la ejecución de los programas de lubricación en la GCB son las siguientes personas:

Operadores:

- Verifican y corrigen el estado de la lubricación de los mecanismos lubricados con aceite.

- Reengrasan los mecanismos contemplados en el Programa Reengrase de Mecanismos (PRM).
- Toman las muestra de aceite a los equipos rotativos contemplados en el programa de Análisis de aceites nuevos y usados .

Mantenedor de primera línea:

- Reengrasa los mecanismos contemplados en el Programa Reengrase de Mecanismos (PRM).
- Reengrasa los acoples de piñones contemplados en el Programa Reengrase de Mecanismos (PRM).
- Cambia los filtros de aceite.

Monitoreo:

- Monitorea y lubrica los motores eléctricos (*SPM*).

Ingeniero de Confiabilidad:

- Elabora las OT's correctivas y predictivas, y las recomendaciones con base en los resultados del programa de Monitoreo de aceites nuevos y usados.

6.3 PARTICIPANTES EN LA VISITA DE TRIBOLOGÍA:

Los responsables de llevar a cabo la VISITA DE TRIBOLOGIA son las siguientes personas:

- El ingeniero de lubricación.
- El supervisor de operaciones.

- El operador de planta.

6.4 PERIODICIDAD DE LA VISITA DE TRIBOLOGÍA

La VISITA DE TRIBOLOGIA se lleva a cabo una vez al mes, tiene una intensidad de 2 horas y el día está programado en una fecha específica del mes.

6.5 METODOLOGÍA

La visita de tribología mensual **VITRIB** es una auditoria en campo para todos los equipos rotativos lubricados con grasa ó aceite. Se debe realizar el siguiente procedimiento para el desarrollo de la visita de tribología:

Programación: Existe un documento donde están programadas las fechas de visita a las plantas de la GCB durante todo el año (Figura 27). Por lo tanto se debe consultar para conocer a que planta le corresponde realizar la visita de tribología.

Figura 27. Formato fechas de la VITRIB

Ecopetrol		PROGRAMACION VISITAS MENSUALES DE LUBRICACION AÑO 2005											
DEPARTAMENTO	PLANTA	FECHA											
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
PETROQUIMICA	Bifenilo				4								
	Criogénica				4								
	Aromáticos				6								
	Parafinas				7								
	Poliétileno I				8								
CRACKING	Poliétileno II				9								
	UOP I				10								
	UOP II				5								
	Alquilación				11								
	Orthoflow				12								
REFINACION	Modelo IV				13								
	Acido				13								
	Unidad 150				14								
	Unidad 200				14								
	Unidad 250				14								
	Unidad 2000				6								
	Unidad 2100				15								
	Soda y especiales				15								
	Demex				18								
	Unibon				18								
	Hidrogeno				18								
	Viscorreductora				18								
	Unidad 800				19								
	Unidad 830				19								
	Unidad 850				19								
S. INDUSTRIALES	Casa Bombas miramar				20								
	Bote del Rio				20								
	Torre 801				21								
	Torre 820				21								
	Torre 880				21								
	Torre 850				22								
	Torre 890				22								
	Calderas Foster				25								
	Torre 831				25								
	Unidad 900-950				25								
	Calderas B951-B952				26								
	Calderas Distral				26								
	Centrales Norte				26								
	Planta de agua				7								
	Planta eléctrica				7								
Turbinas				7									
MATERIAS PRIMAS	Casa bombas 2				28								
	Casa bombas 4				28								
	Separador Sur				28								
	Separador norte				29								
	PTAR				8								
	Casa bombas 5				29								
	Casa bombas A					2							
	Casa bombas B					2							
	Casa bombas C					2							
	Casa bombas 1					2							
Casa bombas 9					2								
Casa bombas 5-B-7					3								
OLP					3								

Inspección de los equipo rotativos en campo en búsqueda de anomalías:

La visita de tribología mensual debe realizarse en cada una de la plantas siguiendo un procedimiento de inspección a los equipos rotativos lubricados con aceite ó con grasa en estado OP y SB así:

- asegurar la disponibilidad de los equipos necesarios para el monitoreo de las variables de condición (Temperatura y Vibración) y el formato de registro de las anomalías.
- Solicitar el permiso de trabajo en el cuarto de control de la planta.
- Una vez autorizado el permiso, tomar los valores de temperatura y vibración de los equipos rotativos lubricados con grasa o aceite (rodamientos, chumaceras) y para aquellos que sobrepasen los límites permisibles apuntarlos en el formato. En el caso de los motores si la temperatura sobrepasa el límite permisible (70°C), determinar si hay o

no presencia de grasa. Si no se observa que han sido reengrasados recientemente se debe reportar en el formato.

- Inspeccionar que el equipo cuente con los elementos adecuados y bien instalados para su correcta lubricación. Los faltantes o inadecuados reportarlos en el formato.
- Inspeccionar visualmente el estado de la grasa y de las graseras de los mecanismos de los equipos rotativos en estado OP Y SB, y reportar en el formato las anomalías encontradas.

6.5.1 Elaboración del reporte:

Una vez finalizada la **Visita de Tribología (VITRIB)** en campo, se inicia con el proceso de elaboración del informe, en el cual se reportan las anomalías encontradas y las recomendaciones respectivas para resolverlas. El ingeniero y el técnico de Confiabilidad, junto con el personal de operaciones deben ser las personas encargadas de dar solución a las anomalías reportadas con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos rotativos. El reporte técnico que contiene las anomalías encontradas en la VITRIB se le enviará a los ingenieros y técnicos de confiabilidad, a los Departamentos de Operaciones, ATP y Equipo Rotativo.

Responsable de elaborar el informe:

- Ingeniero de lubricación.

Tipos de reportes generados en el informe: El informe general el cual se envía a los ingenieros y técnicos de confiabilidad, a los Departamentos de Operaciones, ATP y Equipo Rotativo. Contiene 3 tipos de reportes, que son:

Reporte de ausencia ó daño de los elementos constitutivos de los sistemas de lubricación: En este caso en el informe se adjunta un documento elaborado por el ingeniero de lubricación responsable de la VITRIB basado en todas las anomalías de este tipo encontradas en la refinería especificando la anomalía y la respectiva recomendación con el objeto de que el ingeniero y técnico de confiabilidad realicen las respectivas acciones correctivas para cada caso.

Responsable:

- Ingeniero de lubricación.

Reporte de alta temperatura en los motores eléctricos: En el informe de la visita de tribología se entregará un reporte de todos los motores con problemas de alta temperatura al grupo de monitoreo de motores eléctricos por condición para que ellos sean quienes hagan una evaluación de estos equipos y determinen si deben reengrasar el motor.

Responsable:

- Grupo de monitoreo de motores eléctricos por condición (SPM).

Reporte de criticidad de los equipos para su inclusión en el programa de monitoreo de la condición del aceite nuevo y usado: En este caso en el informe se reportan los equipos que deben incluirse en el programa para que el administrador de este los incluya.

responsable:

- Ingeniero de Lubricación.

6.5.2 Anomalías reportadas en la visita de tribología:

Las siguientes son las anomalías que se reportan en la VISITA DE TRIBOLOGIA:

- FI (01): Falta Indicador del nivel de aceite.
- FV (02): Falta Válvula y tubería de drenaje.
- FT (03): Falta Tubo de ventilación.
- FB (04): Falta Botella ó Depósito de Aceite Auxiliar.
- FM (05): Falta Rótulo metálico que identifica el tipo de lubricante.
- AN (06): Alto Nivel de aceite.
- BN (07): Bajo Nivel de aceite.
- FA (08): Fuga de Aceite.
- AP (09): Aceite con partículas metálicas.
- AQ (10): Aceite Quemado.
- AE (11): Aceite Emulsionado.
- AA (12): Aceite Con Agua.
- AT(13): Alta Temperatura del mecanismo.
- EI (14): Enfriador de Aceite Inadecuado.
- TD (15): Tubería de Drenaje de aceite taponada.
- TI (16): Tubería de Drenaje Inadecuada.
- TC (17): Tubería de Circulación de aceite taponada.
- TA (18): Tubería de Circulación de agua Taponada.
- FE (19): Falta Tubería de enfriamiento.
- FA (20): Falta aislamiento ó Inadecuado.
- GD (21): Grasea Defectuosa ó no tiene.
- FR (22): Falta reengrasar.
- TR (23): Tubería para Reengrase en mal estado ó no hay.

6.5.3 Registro de la información:

Para registrar la información en planta de la condición de la lubricación de los equipos rotativos se utiliza un formato donde están todas las posibles anomalías.

La información recopilada durante la VISITA DE TRIBOLOGIA se debe registrar en una aplicación informática y analizar con el fin de llevar a cabo los correctivos que sean necesarios de manera inmediata por parte del operador, del mantenedor de primera línea ó del personal de Monitoreo.

Contenido del informe: Una vez recopilada la información de la VISITA DE TRIBOLOGIA, el ingeniero de lubricación debe elaborar un informe que incluya los siguientes aspectos:

- Equipos con anomalías en lubricación. Ver Figura 28.
- Número total de cada tipo de anomalías en lubricación encontradas. Ver figura 29.
- Correctivos que es necesario llevar a cabo a corto y a mediano plazo. Ver Figura 30.

Figura 28. Anomalías reportadas por equipo

EQUIPO		FALTA EN EL EQUIPO													PROBLEMAS ACEITE							PROBLEMAS EQUIPO						
PUNTO	UOP II	Rótulo metálico tipo fabricante	Indicador nivel de aceite	Válvula de drenaje	Tubo de ventilación	Botella o depósito de aceite auxiliar	Botella de enfriamiento	Reengrasar	Aislamiento es inadecuado	Bajo nivel	Alto nivel	Particulado	Quemado	Emulsionado	Agua	Fugas	Alta temperatura del mecanismo	Enfriador de aceite inadecuado	Tubería circulación agua taponada	Tubería circulación aceite taponada	Drenaje aceite taponado	Tubería de drenaje mal instalada	Tubería de reengrase mala o no hay	Grasera defectuosa o no tiene				
SP-4255A					X	X																						
SP-4255B						X																						
SP-4254B						X	X																					
SP-4207A						X	X																X					
SP-4205A						X	X																					
SP-4208A					X	X	X																					
SP-4202B	LAC	X															X											
NP-4208B	LGOB		X														X											
NP-4208B	LAC		X																									
SP-4209B		X	X														X											
SP-4206A	LEX		X	X	X	X																						
SP-4206A	LAC		X	X	X	X																						
SP-4208B	LAC	X		X	X	X									X													
NP-4208A					X																							
NP-4205B	LAC				X																							
SP-4208	LAC	X		X																								
MP-4204B	LAC				X			X																				
MP-4204B	LEX				X			X																				
SP-4204B	LAC	X	X	X	X										X		X											
NP-4201A	LGOB				X	X																						
NP-4201A	LAC			X	X	X																						
SP-4201A	LAC			X	X	X												X										
NP-4264A	LGOB	X	X												X													
NP-4264A	LAC	X													X													
MUF-4202								X																				
MUF-4201								X																				
NP-4261A	LGOB	X	X	X																								
NP-4261A	LAC	X		X		X																						
SP-4261A	LAC			X	X	X												X										
SP-4261B		X		X	X	X												X										
SP-4252A				X	X	X																						

Figura 29. Tendencia de anomalías por negocio

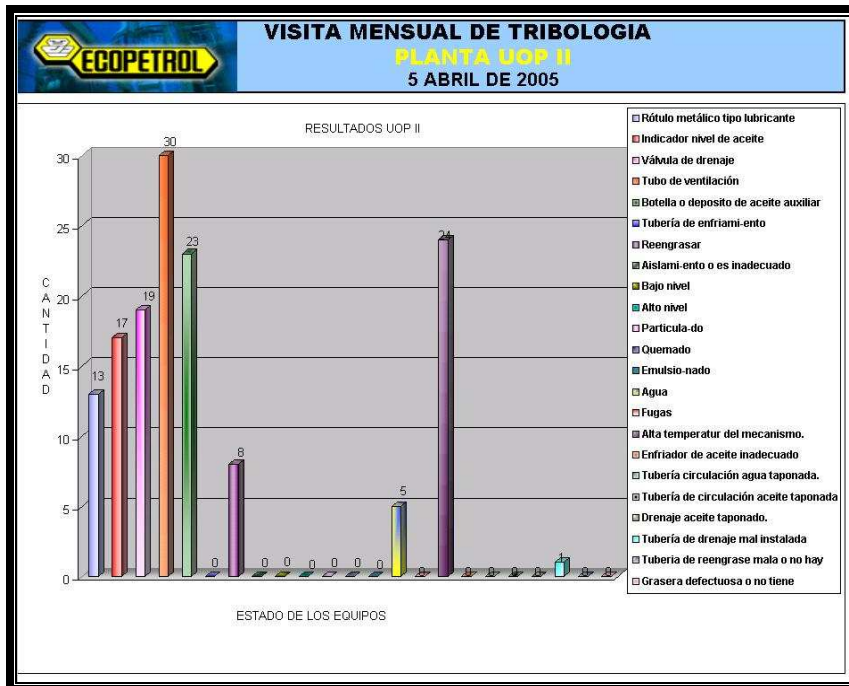


Figura 30. Reporte de observaciones y recomendaciones

		VISITA MENSUAL DE TRIBOLOGIA OBSERVACIONES 5 de Abril de 2005	
PLANTA	EQUIPO	PUNTO	OBSERVACIONES
UOP II	P-4207A		Reformar tuberia del drenaje, reformar posicion el LG
	P-4208A		Cambiar indicador de nivel por uno más largo
	P-4208A		Cambiar indicador de nivel por uno más largo, cambiar aceite de la bomba y turbina (agua y oxidación)
	SP-4206A		Monitorear el motor y lubricar
	SP-4208B		Limpiar rótulo de aceite, guarda acople no deja abrir válvula de drenaje.
	SP-4212B	LEX	Cambiar aceite, enfriador del equipo deficiente
	SP-4263	LEX	Cambiar aceite (agua, espumado)
	MP-4282A		Alta temperatura, 80°C
	SP-4301A		Cambiar aceite de la bomba, posible contaminación con el producto.
	NP-4431B		Enfriador incorrecto
	SP-4208A		Alta temperatura, 64°C
	NP-4208B	LGOB	Alta temperatura, 94°C
	SP-4208B		Alta temperatura, 73°C
	NP-4208B	LAC	Alta temperatura, 115°C
	SP-4204B	LAC	Alta temperatura, 61°C
	NP-4201A	LAC	Alta temperatura, 105°C
	NP-4261A	LAC	Alta temperatura, 108°C
	SP-4261A	LAC	Alta temperatura, 74°C
	SP-4260B		Alta temperatura, 60°C
	MP-4269A		Alta temperatura, 64°C
	NP-4112B		Alta temperatura, 120°C
	SP-4112B	LEX	Alta temperatura, 65°C
	NP-4253A		Alta temperatura, 65°C
	SP-4310A	LAC	Alta temperatura, 75°C
	NP-4310A	LGOB	Alta temperatura, 98°C
	NP-4310A	LAC	Alta temperatura, 97°C
	NP-4311A	LGOB	Alta temperatura, 79°C
	NP-4311A	LAC	Alta temperatura, 91°C
	SP-4309A	LAC	Alta temperatura, 74°C
	MP-4282A		Alta temperatura, 80°C
	SP-4283A	LAC	Alta temperatura, 63°C
	NP-4431C	LGOB	Alta temperatura, 93°C
NP-4431C	LAC	Alta temperatura, 80°C	
SP-4431C	LEX	Alta temperatura, 76°C	

6.6 BENEFICIOS VISITA DE TRIBOLOGÍA-VITRIB

La ejecución de la Visita de Tribología-VITRIB permite obtener los siguientes beneficios:

- Evitar que los equipos rotativos pasen del estado OP y SB a OF ó EF.
- Asegurar en tiempo real y de manera inmediata que los mecanismos de los equipos que se encuentran en operación, están correctamente lubricados.
- Predecir, prevenir y corregir las anomalías de lubricación que presentan los equipos rotativos.
- Asegurar que los programas de lubricación *predictiva Monitoreo de la condición del aceite* y los que lleva a cabo el operador en el programa *Ruta*

de Tribología Operativa-RTO dentro de las “Rondas Estructuradas”, el Mantenedor de primera línea y el personal de Monitoreo, sean eficientes en cuanto a su calidad y cumplimiento.

7 EL ANÁLISIS DE ACEITE UN INSTRUMENTO VALIOSO EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Uno de los elementos constitutivos más importantes en un equipo es el lubricante que protege sus diferentes componentes. Un funcionamiento defectuoso del equipo depende en muchos casos, tanto de la calidad del aceite utilizado como de la degradación que éste pueda sufrir a través del tiempo. En la industria hay equipos en los cuales la frecuencia del mantenimiento preventivo esta sujeta a cambio de aceite, es decir que si se logran ampliar los intervalos de drenaje del aceite usado, es posible dejar el equipo en operación durante un periodo de tiempo más prolongado. Tal es el caso de turbocompresores en refinerías que trabajan con 3000 o más galones, en los cuales cambiar el aceite resulta costo, aparte que para hacerlo es necesario parar el equipo.

Es probable que uno de los elementos más valiosos con que cuenta la gerencia técnica de una planta sea el análisis periódico de laboratorio, tanto al aceite nuevo como al usado. Este permitirá corroborar que la calidad del aceite nuevo sí corresponde a la recomendación por el fabricante del equipo y permite determinar la protección que éste le asigna a los diferentes mecanismos, al igual que la frecuencia con la cual se debe cambiar.

En primer término es necesario destacar, que los ensayos que se le practican al aceite, en virtud de conocer el estado del mismo, difieren de aquellos efectuados a fin de establecer la condición de operación de la maquinaria y que son los propios que utiliza el Mantenimiento Predictivo (llevados a cabo en la RTO).

La idea general de esta técnica, es la de controlar las variables más significativas de los ensayos de aceite lubricante. En este sentido, destacan las propias de los ensayos físico químicos, siendo de gran utilidad los parámetros de dilución por combustible y el contenido de agua; y por otro lado los relativos a los ensayos metalográficos, que muestran la acumulación de trazas metálicas producto del desgaste de los componentes internos de la maquinaria. Como es obvio, se deberán controlar los metales que estén presentes en los componentes más susceptibles a desgaste de la máquina. En relación, a los valores máximos de aceptación de trazas metálicas en el aceite lubricante, estos se referirán a la razón de desgaste por intervalo de tiempo, de esta forma el estudio de tendencias se hace fundamental para el correcto diagnóstico de la maquinaria. En otras palabras, no serán de relevancia en general los valores puntuales de contenido de trazas metálicas, sino el aumento relativo de ellas a través del tiempo. Por tanto, el determinar las tasas de desgaste aceptables para cada metal y cada maquina en particular será un trabajo de relevante importancia y que deberá ser abordado en las primeras etapas de la implementación de esta técnica. Es importante señalar, que sólo deberán ser consideradas dentro del estudio de tendencias, aquellas muestras que sean representativas. Se deberá prestar atención a las condiciones de orden operacional a las que estuvo sometido el aceite.

7.1 ANÁLISIS FISICO-QUIMICO DEL ACEITE

Todos los aceites no utilizados a plena pérdida, sino en sistemas cerrados o de circulación, se oxidan y/o se contaminan durante su servicio y los aditivos que poseen se agotan. El método más confiable para determinar si un aceite puede continuar en servicio o no es por medio de un análisis de laboratorio. De esta manera se evalúan los tipos contaminantes que pueda

tener la muestra de aceite usado, como polvo, partículas abrasivas (sílice), partículas metálicas provenientes del desgaste de los diferentes mecanismos que dicho aceite lubrica (hierro, zinc, plomo, cobre, plata, etc), productos de oxidación y las características fisico-químicas más importantes del aceite, como la viscosidad, la gravedad específica, el número de neutralización, el TBN, el porcentaje de agua, etc

Un análisis de laboratorio bien elaborado es muy valioso dentro de cualquier programa de mantenimiento preventivo porque permite corregir anomalías en el diseño original de los mecanismos, evaluar la calidad de los repuestos y reducir considerablemente los costos por consumo de lubricantes. Básicamente un aceite se vuelve inapropiado por dos razones: cuando ocurre un cambio químico en su composición como resultado de su oxidación y cuando el contenido de contaminantes es muy elevado.

A medida que el aceite lubrica, refrigera o acciona un mecanismo, fluye y recubre las piezas, recogiendo información muy valiosa, que luego lleva al depósito. Si se analiza una muestra de dicho aceite, se tendrá un diagnóstico completo de lo que sucede en el interior del mecanismo.

Un aceite se debe analizar cuando huele a quemado, presenta un color opaco u oscuro (en el caso de los aceites industriales), o se quiere determinar cuál es la frecuencia entre cambios o nivel de protección que éste le da a los mecanismos lubricados.

7.2 TIPOS DE ACEITES QUE SE ANALIZAN

Básicamente se analizan dos tipos de aceites:

Los empleados en la lubricación de la maquinaria industrial, tales como: turbinas de vapor, a gas e hidráulicas, sistemas hidráulicos, sistemas de circulación, en transformadores, en compresores de aire y refrigeración, en

reductores de velocidad si el volumen de aceite utilizado en ellos es lo suficientemente elevado para que se justifique la inversión y el tiempo empleado para llevar a cabo dicha análisis.

Los utilizados en la lubricación de motores de combustión interna(a gasolina, Diesel y a gas), especialmente cuando se trata de vehículos en donde, al prolongar la frecuencia entre cambios, se pueden ahorrar considerables sumas de dinero, o si se requiere evaluar la protección que el aceite le está dando al motor.

Es necesario tener en cuenta que le análisis de laboratorio por sí solo no es suficiente para determinar la causa de una falla, sino que tambien se deben considerar las condiciones de operación bajo las cuales funciona el mecanismo. Para sacar una conclusión acerca del estado del aceite usado que se ha analizado, es necesario observar la coincidencia de varios factores en una misma causa para darla por cierta

7.3 NORMAS ASTM

La ASTM (Sociedad Americana para pruebas y Materiales) ha establecido una serie de normas para evaluar las propiedades físico-químicas, tanto del aceite nuevo como usado. Cada norma tiene un método estandarizado, el cual debe ser el mismo, cualquiera sea el laboratorio en donde se lleve acabo dicho análisis. Una prueba de laboratorio no quedará bien especificada si no tiene en cuenta el método ASTM bajo cual se efectuó. Es importante que el laboratorio al reportar los resultados de un análisis especifique el método ASTM; esto le permitirá al usuario comparar las propiedades físico-químicas del aceite nuevo con las del aceite usado. Hay características que se pueden evaluar por dos métodos diferentes y los resultados obtenidos son igualmente diferentes. Tal es el caso del TBN (Número Básico Total) Para cual se puede utilizar el método ASTM D-664 o el ASTM D-2896. Por el primero el valor obtenido es más bajo y por el

segundo más alto. Si el fabricante del aceite lo analiza por un método y el usuario por el otro, los resultados serán diferentes, dando lugar a controversias entre uno y otro.

En Europa se utilizan las normas DIN, las cuales no se emplean en nuestro medio. Entre uno y otro sistema hay diferencias en cuanto al método evaluativo, pero los resultados obtenidos son equivalentes.

7.3.1 Viscosidad. método ASTM D-88 y ASTM D-445

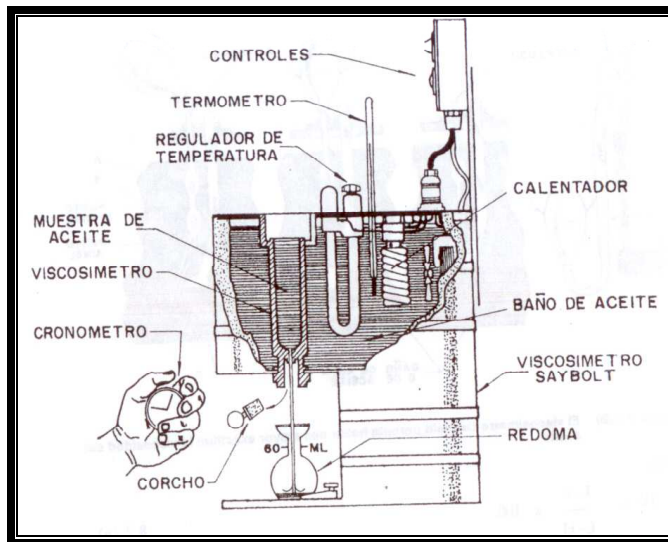
La viscosidad del aceite usado es uno de los factores más significativos para determinar si puede o no continuar en servicio.

La viscosidad de todos los aceites puede aumentar o disminuir, dependiendo del tipo de contaminante que se halle presente: los productos de la oxidación y de la polimerización del aceite permanecen en suspensión y solubles en él, al igual que la humedad y las materia sólidas extrañas. Estos contaminantes aumentan la viscosidad del aceite, mientras que la contaminación con combustible la disminuye (dilución). Los factores que alteran la viscosidad del aceite pueden ser físicos (contaminación) o químicos (oxidación). La viscosidad del aceite en segundos Saybolt Universal (SSU) se evalúa a 100°F y a 210°F, mediante el método ASTM D-88 y en Centistokes (cSt) a 40°C y a 100°C, según el método ASTM D-445. Algunas veces se emplean otros viscosímetros, como el Redwood y el Engler. Sin embargo, se puede emplear cualquier viscosímetro y luego convertir la viscosidad hallada en las unidades requeridas.

El viscosímetro Saybolt se muestra en la figura 31. Básicamente está constituido por un recipiente cilíndrico de 28mm de diámetro y 90 mm de largo, con un tubo de descarga en el fondo de 1.765 mm de diámetro y 12 mm de largo, el cual se halla taponado con un corcho. Debajo del corcho hay otro recipiente de forma semiesférica, que posee una capacidad un

poco mayor de 60 cc (una marca delimita este volumen). En la parte exterior del recipiente hay una especie de camisa o chaqueta que contiene agua, la cual se calienta y permite mantener la muestra de aceite a la temperatura deseada, en este caso a 100^o o a 210^oF. Una vez que se coloca la muestra de aceite en el viscosímetro, y se alcanza la temperatura deseada, se quita el corcho y se registra con un cronómetro el tiempo (en segundos) necesario para llenar el recipiente semiesférico hasta la marca de 60 c.c Este tiempo es el numero de SSU a 100^o ó a 210^oF, según el caso. El viscosímetro Saybolt se emplea para aceites de mediana y baja viscosidad. Para los de alta viscosidad se utiliza el viscosímetro Furol (SSF). El valor obtenido de la viscosidad debe ir acompañado de la temperatura a la cual se realiza la prueba.

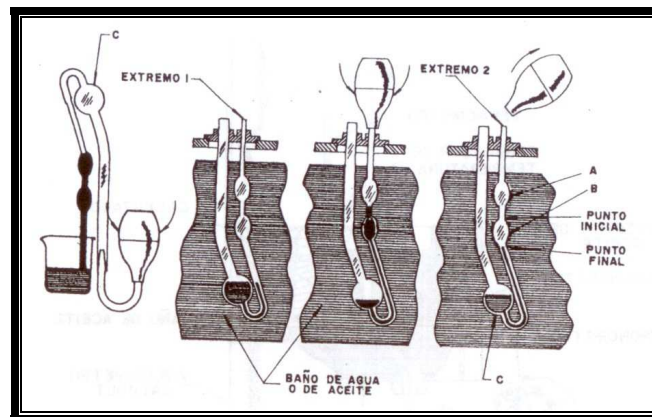
Figura 31. Viscosímetro Saybolt



La viscosidad cinemática se determina con un instrumento llamado viscosímetro cinemático Ostwald, que consiste en un sistema de tubos comunicantes de vidrio en forma de U, con tres depósitos, A, B y C. Como se muestra en la figura 32., el diámetro del tubo capilar se selecciona previamente, de acuerdo con la viscosidad del aceite, liviana, mediana o

pesada Para hallar la viscosidad cinemática de la muestra de aceite se invierte el viscosímetro y se sumerge el extremo (1) en la muestra del aceite; por el extremo (2) se hace vacío hasta llenar totalmente los depósitos A y B. Se invierte de nuevo el viscosímetro y se coloca dentro de un baño de agua que se encuentra a la temperatura del ensayo. Al invertir el viscosímetro el aceite fluye hacia el depósito C y una vez que éste alcanza la temperatura deseada, se hace vacío por el extremo del tubo (1), hasta un nivel de 6 mm por encima del bulbo B; se quita el vacío y se anota el tiempo en segundos que demora la muestra de aceite en descender desde la marca superior hasta la marca inferior del bulbo B. El tiempo invertido se multiplica por la constante del viscosímetro y se obtiene la viscosidad cinemática del aceite a la temperatura de prueba.

Figura 32. Viscosímetro Ostwald



El valor hallado de la viscosidad, considerado aisladamente, no tiene razón valedera porque aunque éste puede ser exactamente igual al del aceite original, el aceite analizado puede estar oxidado y diluido en la misma proporción, lo cual hace que su viscosidad no varíe.

7.3.2 Índice de viscosidad. metodo ASTM D-2270

El índice de viscosidad (IV) de un aceite es un número empírico y se evalúa solamente para aceites nuevos; en aceites usados puede dar un valor incorrecto de la estabilidad del aceite. Sin embargo si se analiza, un incremento o una disminución puede indicar contaminación con otro producto. Si disminuye, puede ser un indicio de la baja resistencia a la cizalladura de los aditivos mejoradores de IV.

Esto es común que se presenta en ciertos aceites para transmisiones automáticas y en aceites automotores, principalmente multigrados. En unos pocos casos, la oxidación causa un incremento en el IV del aceite usado.

7.3.3 Punto de inflamación de chispa.

Método ASTM D-92 Y ASTM D-93.

En los aceites nuevos se emplea como parámetro de referencia para determinar la temperatura máxima hasta la cual se pueden emplear sin riesgo alguno, y en los aceites usados, si ha disminuido, puede indicar que el aceite está diluido con un solvente o con un combustible, o está contaminado con un aceite de menor viscosidad, o se ha quemado debido a quemado debido a temperaturas de trabajo excesivamente altas. Si el punto de inflamación del aceite usado ha aumentado, es porque lo han mezclado con un aceite de mayor viscosidad

El punto de inflamación se determina calentando la muestra en aparatos normalizados y aplicando una llama en la proximidad de su superficie. Ver figuras 33 y 34.

Figura 33. Punto de inflamación o de chispa

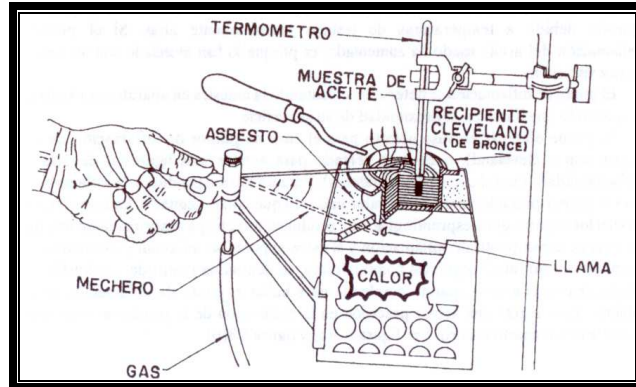
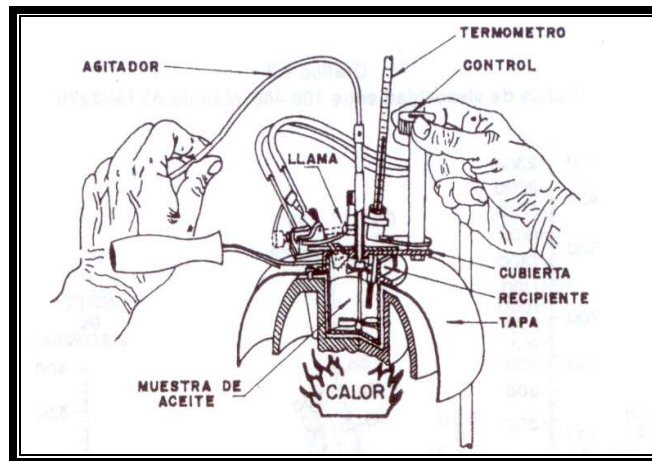


Figura 34. Punto de inflamación en vaso cerrado

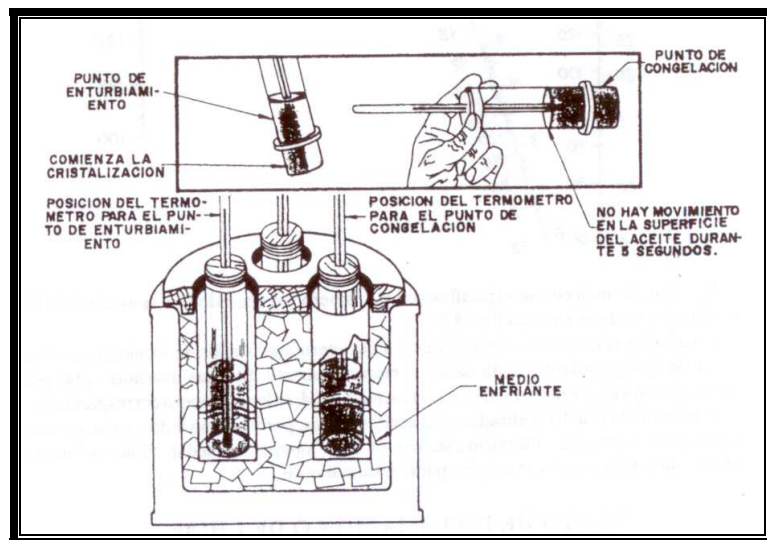


7.3.4 Punto de fluidez. método ASTM D-97

Se le analiza solamente a aceites nuevos que van a trabajar a bajas temperatura. Esta prueba es importante para determinar la fluidez del aceite en el momento en que pone en marcha el mecanismo cuando está sometido a bajas temperaturas.

Esta prueba consiste en someter una muestra de aceite nuevo a un proceso de enfriamiento y se registra la temperatura más baja a la cual el aceite aún fluye. Ver figura 35.

Figura 35. Evaluación de los puntos de congelación y de enturbiamiento por el método ASTM D-97



Otra característica que vale la pena tener en cuenta es el punto de floculación en los aceites para compresores de refrigeración que trabajan con refrigerantes miscibles en el aceite y pueden orientar sobre su comportamiento en los serpentines del evaporador. Esta característica comparada con el punto de fluidez presenta un valor más bajo. Así por ejemplo, un aceite para refrigeración puede tener un punto de fluidez de -40°C . Mientras que el floculación puede estar por el orden de los -15°C . Por lo tanto, un aceite de este tipo se selecciona con el punto de floculación y no con el de fluidez.

7.3.5 Numero de neutralización (NN) O TAN.

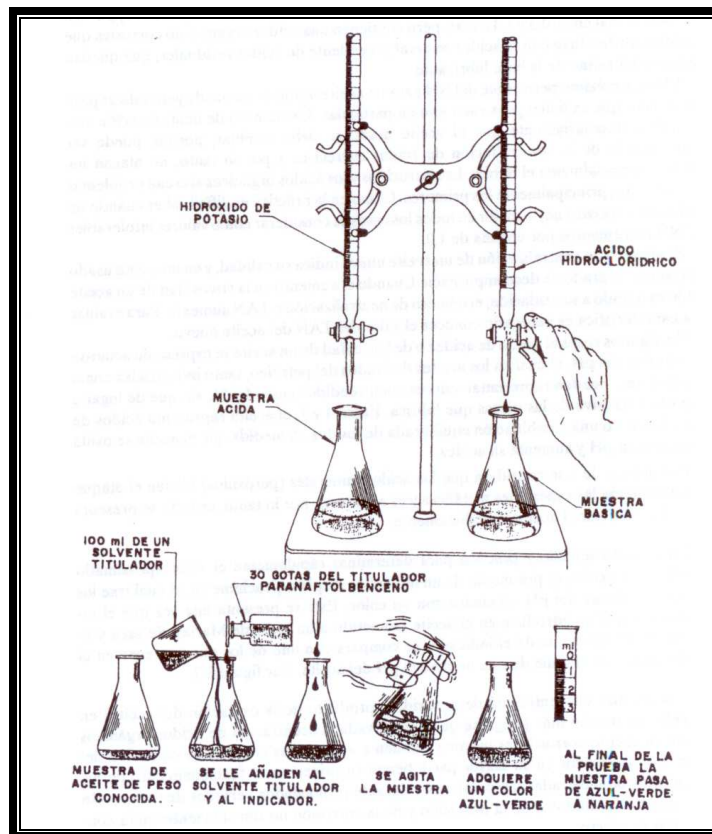
Método ASTM D-664 Y ASTM D-974:

Constituye una medida de la acidez total del aceite y su valor debe compararse con respecto a la acidez del aceite original. Está íntimamente relacionado con el TAN (Número Ácido Total), el cual determina todos los constituyentes ácidos presentes en la muestra de aceite, débiles y fuertes. Todos los aceites durante su servicio se oxidan, y si los productos de la

oxidación son peróxidos o ácidos orgánicos, producen desgaste corrosivo en las piezas que lubrican. Los ácidos que se forman en el aceite tienen un doble efecto; por un lado atacan directamente algunos metales, ocasionando desgaste corrosivo, y por otro lado, aceleran la oxidación del aceite.

El método ASTM D-664 es un método potenciométrico y se define como el número de miligramos de una base, en términos de hidróxido de potasio (KOH) que es necesario añadirle a un gramo de la muestra de aceite para que reaccione con los constituyentes ácidos y alcance un punto final equivalente a un PH de 11. El método ASTM D-974 es colorímetro y se utiliza para evaluar la acidez de los aceites de color claro, en donde el cambio de color claro es evidente. Ver figura 36.

Figura 36. Numero de neutralización (TAN) por el método ASTM D-974



7.3.6 Numero BASICO TOTAL (TBN) METODO ASTM D-664 Y ASTM D-2896:

El TBN es básicamente una medida del potencial que tiene el aceite para neutralizar los ácidos que se vayan formando, como son: los compuestos de azufre, cloro y bromo. El TBN analizado por el método ASTM D-664 indica la cantidad de miligramos de ácido clorhídrico (HCL), y si es por el método ASTM D-2896, el de miligramos de ácido perclórico, que es necesario añadirle a un gramo de la muestra de aceite para neutralizar todos los componentes básicos. La cantidad añadida de algunos de estos ácidos se puede dar en función de miligramos de hidróxido de potasio (KOH), hallando el número equivalente.

El TBN analizado por el método ASTM D-2896 (calorimétrico) da mayor que por el ASTM D-664 (potenciométrico); por consiguiente, siempre que se evalúe esta característica con fines corporativos se debe hacer por el mismo método. La tendencia actual es utilizar solamente el método ASTM D-664.

7.3.7 Dilución por combustible. método ASTM D-332

La dilución exagerada por gasolina y gasoil, en los aceites automotores puede tener varias consecuencias sobre el engrase y la seguridad del funcionamiento del motor, debido a la disminución de la viscosidad, del punto de inflamación y de la calidad del aceite.

La dilución en los aceites para motores a gasolina se determina por destilación, según el método ASTM D-332 y en los motores Diesel al analizar la disminución de la viscosidad del aceite y compararla con la del aceite original.

El método ASTM D-332 consiste en agregar 500 ml de agua al aceite por cada 25 ml de éste que se vaya a analizar y se somete a una temperatura tal que sea igual a la del punto de ebullición del agua. En este caso se aprovecha la mayor volatilidad del combustible, el cual se evapora

primero que el aceite y lo hace junto con el agua. Estos vapores se hacen pasar por un condensador en donde se licuan, la mezcla obtenida se coloca en un tubo graduado (en ml ó cc), que permite determinar la cantidad de gasolina obtenida ya que ésta, por ser menos densa que el agua, va a aparecer en la parte superior. El volumen de agua agregado a la muestra de aceite debe ser alto, con el fin de que garantice que en todo momento, durante la prueba a alta temperatura va a haber suficiente cantidad de ésta hasta que se evapore la totalidad del combustible presente.

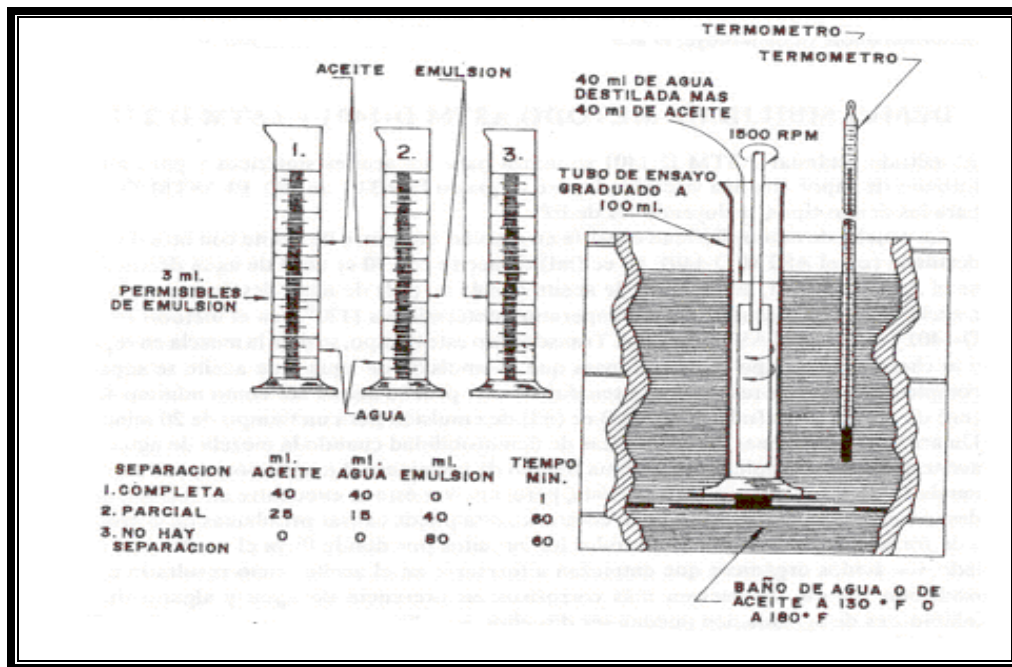
7.3.8 Demulsibilidad. Método ASTM D-1401 y ASTM D-2711

El método estándar ASTM D-1401 se utiliza para los aceites sintéticos y para los de turbinas de vapor con una viscosidad entre un ISO 32 y un 100. El ASTM D-2711 para los demás tipos incluyendo los EP (Extrema Presión).

La prueba de demulsibilidad consiste en mezclar una parte de aceite con otra parte de agua destilada (en el ASTM-1401, 40 cc de aceite con 40 cc de agua destilada, en ASTM D-2711, 405 cc de aceite con 45 cc de agua destilada), y agitando la mezcla durante 5 minutos, a una temperatura determinada (130 F por el método ASTM-1401 y 180 F en el ASTM D-2711). Transcurrido ese tiempo, se deja la mezcla en reposo y se chequea el tiempo requerido para que la emulsión de agua y de aceite se separe completamente. Los resultados obtenidos en esta prueba deben ser como mínimo 40 cc de aceite, 37 cc de agua y 3 cc de emulsión para un tiempo de 20 minutos. Un aceite posee buenas características de demulsibilidad cuando la mezcla agua y aceite se separa completamente en un tiempo de un minuto. La agitación ayuda a que la emulsión de un aceite con agua persista, pero, una vez éste se encuentre en reposo, debe desaparecer de inmediato; de lo contrario, ésta puede causar problemas de corrosión y de formación de herrumbre en todos los circuitos por donde fluya aceite.

Por otro lado los ácidos orgánicos que empiezan a formarse en el aceite como resultado de la oxidación normal, se vuelven más corrosivos en presencia de agua y algunos de los inhibidores de la oxidación pueden ser disueltos por ella.

Figura 37. Método ASTM para evaluar la demulsibilidad de un aceite cuando se encuentra en presencia de agua



En la figura 37 se puede observar el método ASTM D-1401 para evaluar las características de demulsibilidad de un aceite cuando se encuentra en presencia de agua.

7.3.9 Resistencia a la formación de espuma método

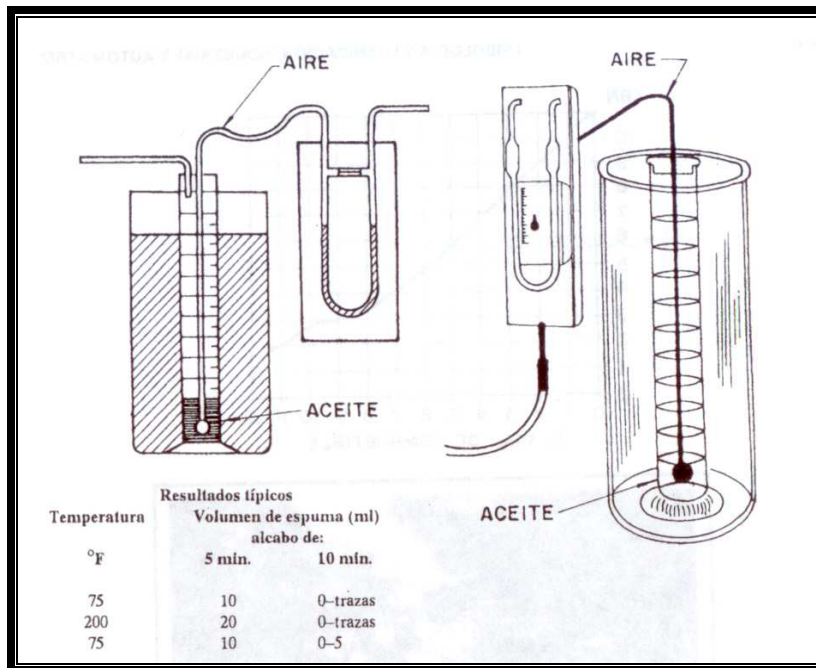
ASTM D-982:

Entre las causas que favorecen la formación de espuma, se tienen: un bajo nivel de aceite en la consola, tubo de retorno del aceite por encima del nivel normal, entrada de aire en la tubería de succión de la bomba, y agua en el aceite. Los aceites de baja viscosidad favorecen la resistencia a la

formación de espuma porque liberan más fácilmente el aire que los aceites de alta viscosidad. Trazas de contaminación en el lubricante causadas por materiales activos, tales como los preservativos de herrumbre y detergentes, causan espuma.

El método ASTM D-982 consiste en barbotear aire seco durante 5 minutos en 200 cc de la muestra de aceite nuevo, a una temperatura dada. Transcurrido este tiempo se determina la tendencia a la formación de espuma. Al cabo de 10 minutos de reposo se efectúa una segunda lectura del volumen de espuma y se obtiene la medida de la especificidad de las espumas. Las especificaciones de los aceites fijan los volúmenes límites misibles en ambas lecturas que corresponden a ensayos efectuados a 75 F, a 200 F luego de haber enfriado el aceite desde 200 F. Ver la figura 38.

Figura 38. Resistencia a la formación de espuma, según método ASTM D-892



7.3.10 Determinación del contenido de agua y sedimentos en el aceite método ASTM D-95 Y ASTM D-96

Para determinar el contenido de agua en una muestra de aceite usado se pueden emplear varios métodos: la centrifugación, la destilación y el análisis infrarrojo (métodos cuantitativos). En estos casos se halla la relación por volumen entre el agua obtenida y el volumen total de la muestra de aceite usado. Por el método ASTM D-96 se obtienen agua y sólidos por centrifugación (BSW), y por el método ASTM D-95 se obtiene agua por destilación y el sedimento mediante extracción con un solvente o por filtración en caliente.

El contenido de agua en una muestra de aceite usado por debajo de 0.1% por volumen no representa ningún problema, entre 0.1% y 0.2% el contenido se considera alto, pero es controlado por los aditivos antiemulsionantes, antioxidantes y anticorrosivos, que el aceite posee; por encima de 0.2% es crítico y es necesario buscar la causa que lo origina. Entre las más probables se encuentran cambios bruscos en la temperatura de funcionamiento, operación a baja temperatura acompañada de una deficiente ventilación, serpentines de enfriamiento rotos, etc. En las turbinas de vapor indica fugas de vapor a través de los sellos de carbón o de laberinto hasta el sistema de lubricación.

7.3.11 Espectrofotometría de absorción atómica

Es un método utilizado para determinar el contenido de metales en un aceite. Este análisis en un aceite nuevo indica el contenido de aditivos metálicos, o la contaminación accidental con una fuente externa; en un aceite usado, el desgaste del elemento lubricado o la contaminación del aceite con una fuente exterior. Un solo análisis del contenido de metales en una muestra de aceite usado, no es representativo para sacar conclusiones acerca de lo que está sucediendo en el interior del motor, sólo una secuencia programada permitirá obtenerlas.

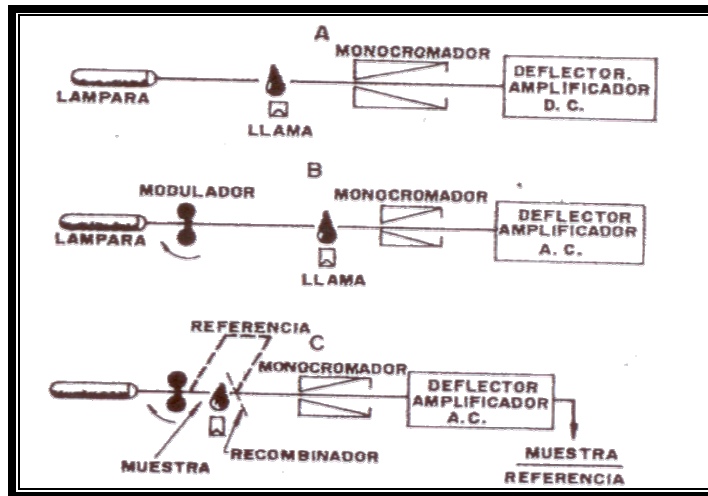
Principios de funcionamiento de la espectrofotometría de absorción atómica:

La ciencia de espectroscopia por absorción atómica ha dado origen a tres técnicas de uso analítico: la emisión, fluorescencia y la absorción. En los últimos años se ha incrementado considerablemente el empleo de la espectrofotometría por absorción atómica. El principio básico de este procedimiento analítico puede describirse como el inverso de los métodos de emisión para la determinación de partículas metálicas. En todas las técnicas de emisión (llama, arco, chispa, fluorescencia por rayos X, y activación neutrónica), la muestra se excita de algún modo para hacer que ésta emita radiación de interés. Sin embargo, no puede evitarse que la muestra emita radiación que no sea de interés. Por lo tanto, el analista debe emplear un sistema de filtros para seleccionar la radiación en la que se halla interesado. Luego mide la intensidad de la radiación y por comparación con patrones se determina la concentración del elemento deseado en la muestra. En absorción atómica se lleva a cabo el proceso inverso; el elemento de interés en la muestra no se excita, sino que simplemente se disocia de sus enlaces químicos y se coloca en un estado no excitado, no ionizado y en su nivel mínimo de energía. En estas condiciones, el elemento es capaz de absorber radiación emitida en líneas discretas de ancho de banda angosta (las mismas líneas que serían emitidas por el elemento al excitarse). La disociación se efectúa actualmente, con muy pocas excepciones, quemando la muestra en una llama.

En la Figura 39 se muestra el principio básico de la absorción atómica. Una luz procedente de una lámpara de cátodo hueco se pasa a través de una llama, pero la luz de la fuente se divide en dos, mientras que la luz de la llama se deja inalterada. Como a luz desviada da lugar a una corriente alterna en el detector, este sistema se conoce como simple alterno. El circuito electrónico está diseñado para amplificar únicamente la señal

proveniente de la llama. La mayor parte de los equipos convencionales operan de acuerdo con este principio.

Figura 39. Equipo para espectrografía por absorción atómica y principios básicos de funcionamiento



la espectrografía por absorción atómica en aceites industriales se emplea muy poco, excepto para aquellos **equipos críticos** que por su importancia dentro de un sistema de producción puedan en un momento dado parar toda una planta. Por lo general los metales que se analizan y su origen son:

- **Hierro:** Engranajes y rodamientos
- **Cobre:** Babbitt de cojinetes de fricción o del separador en rodamientos (no en todos los casos).
- **Silicio:** Aire exterior.
- **Nitrógeno:** Proviene de los dispersantes y de los mejoradores de viscosidad.

- **Calcio, magnesio (bario, sodio):** proviene de los detergentes o de las goteras de anticongelante del radiador.
- **Fósforo y zinc:** provienen del antidesgaste y del antioxidante.

Otros elementos posibles pueden ser el cobre, molibdeno y boro. El cobre puede estar presente como aditivo hasta en 200 ppm. Este y el molibdeno pueden ser consecuencia también del desgaste de ciertos mecanismos lubricados. El boro puede proceder del anticongelante del radiador.

Ventajas de la espectrografía por absorción atómica:

Un buen análisis de espectrografía por absorción atómica ofrece una invaluable información que si el usuario la interpreta correctamente, le permite obtener las siguientes ventajas:

- Evita reparaciones innecesarias en los equipos.
- Predice fallas que se están iniciando en uno o en varios componentes.
- Evalúa la calidad del lubricante utilizado.
- Reduce el tiempo de mantenimiento preventivo porque antes de parar el equipo se conocen elementos que es necesario cambiar.

7.3.12 Análisis por ferrografía:

Para poder detectar procesos de lubricación anormales o insuficientes y elegir la mejor técnica de lubricación, una importante alternativa es utilizar la ferrografía, la cual analiza la concentración, el tamaño, la forma y la procedencia de las partículas metálicas presentes en el aceite.

La ferrografía es la técnica más exitosa y de mayor validez y amplitud, de uso en la industria, la minería y plantas de servicios, la cual ha sido utilizada desde 1984 a nivel mundial, destacándose como una técnica que detecta, cuantifica, alerta, pronostica y diagnostica problemas mecánicos que pueden llegar a ser de gran seriedad.

La ferrografía capta partículas metálicas en el rango de 0,1 a 500 μm , con lo cual cubre no solamente el campo de desgaste anormal y traumático (10 a 100 μm), sino que opera también en el rango de los espectrógrafos (espectrofotometría por absorción atómica); esto significa que pueden obtenerse mediciones valiables y completas en todo el rango.

Las características más visibles de la ferrografía es que consiste en un método escalonado de detección, separación y conteo (cuantitativo) y estratificación, análisis y reconocimiento (cualitativo).

La ferrografía, permite, entonces, en primer lugar, la detección temprana de un problema mecánico que se manifiesta a través del desprendimiento de una cantidad y un tamaño anormal de partículas de desgaste. Seguidamente se almacenan datos de dicho perfil de distribución y concentración de partículas en el tiempo, y asistida por un programa computacional, permite hacer la predicción del agravamiento del problema mecánico interno.

Finalmente y a nivel de laboratorio, la ferrografía con la ayuda del microscopio y de patrones de reconocimiento, realiza un análisis de la forma y del tamaño de las partículas y del desgaste. Esto significa avanzar hacia un preciso diagnóstico del origen del problema de su naturaleza y evolución.

7.4 LIMITES PERMISIBLES DE LOS ANALISIS DEL ACEITE

A continuación en la Tabla 4 se muestran los límites permisibles manejados en la GCB para los parámetros del aceite nuevo y usado medidos en los laboratorios de los proveedores de lubricante.

Tabla 1. Valores permisibles manejados en la refinería GCB¹

LIMITES PERMISIBLES DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL ACEITE							
ACEITE	VISCOSIDAD V		TAN	TBN	DILUSION (%V)	DEMULSIBILIDAD	AGUA (%)
TODOS	ARRIBA	ABAJO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MAX	MAXIMO
	25%	15%	1.5	1	5%	30 minutos	0.2
LIMITES PERMISIBLES DEL CONTENIDO DE PARTICULAS SÓLIDAS EN LOS EQUIPOS EN ppm							
EQUIPO	Si	Pb	Cu	Fe	Al	Sn	
Reductores de velocidad	20	NA	20	100	NA	NA	
Turbinas de vapor	20	20	20	40	NA	NA	
Ventiladores de calderas	20	20	20	40	NA	NA	
B. Centrifugas y Alternativas	20	20	20	40	NA	NA	
Motores eléctricos	20	20	20	40	NA	NA	
Compresores Centrifugos	20	20	20	40	NA	NA	
Compresores de tornillo	20	20	20	40	NA	NA	
Compresores y alternativos	20	40	20	60	NA	NA	
Turbogeneradores	20	40	20	100	NA	NA	
Motores de combustión interna	20	20	20	100	15	20	
Incrementadores de velocidad	20	NA	20	40	NA	NA	

NA: No Aplica

7.5 INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO.

Los análisis de laboratorio son una valiosa herramienta dentro del mantenimiento, siempre y cuando los resultados se sepan interpretar. Poco o nada se ganaría con mandar al laboratorio una cantidad de muestras de aceite usado, si en el momento de obtener los resultados el

¹ Límites manejados en la BD del monitoreo de la condición del aceite nuevo y usado. GCB

usuario no tiene los conceptos claros para interpretar y correlacionar las diferentes pruebas efectuadas.

Es igualmente importante que a las muestras que se envíen al laboratorio se le realicen los análisis que realmente necesiten, porque, dependiendo del tipo de aceite, puede requerir más o menos pruebas, las cuales pueden resultar importantes para un tipo de aceite e inservibles para otro. Las pruebas efectuadas que no se requieran elevan innecesariamente el costo del análisis.

8 LOGROS OBTENIDOS

- Creación e implementación del programa de lubricación sistema de monitoreo de la condición del aceite lubricante nuevo y usado para la detección de fallas de los equipos rotativos críticos de la refinería GCB.
- Creación de la VITRIB para la auditoria de los programas de lubricación.
- Se dictaron 2 seminarios de lubricación (80 personas en total).
- Capacitación en los cuartos de control acerca del programa (120 personas en total).
- Definición de los procedimientos de recolección de la muestra de aceite para el análisis de laboratorio.
- Elaboración de un manual de fallas típicas de lubricación y las recomendaciones para su corrección. Ver Anexo I.
- Apoyo técnico en el análisis del aceite lubricante y el desempeño del aditivo antifricción CRC para determinar la evolución del desgaste de la chumacera del ventilador de la caldera 956 planta Calderas Distral.
- Estudio y estandarización del aceite lubricante de los reductores de los ventiladores de las torres de enfriamiento. (45 reductores). Ver Anexo I
- Estudio de los Skid Hidráulicos y estandarización de los aceites (8 equipos). Ver Anexo I

- Estudio del circuito de lubricación de los turbogeneradores de la GCB de acuerdo a la norma API 614 (5 equipos). Ver Anexo I
- Muestreo y análisis del aceite en los ventiladores de las calderas de la GCB. Ver Anexo I
- Informes de motores eléctricos con alta temperatura (grupo SPM) (1 informe). Ver Anexo I
- Informes del programa de monitoreo de aceites nuevos y usados (8 informes). Ver Anexo I
- Informes de la VITRIB para los departamentos de la GCB. (6 informes).
- Demarcación de los puntos de monitoreo de vibración y temperatura en la UOP II. (105 equipos rotativos)
- Documento de filosofía y procedimiento de los programas de lubricación desarrollados.

CONCLUSIONES

Actualmente la Refinería esta pasando por un momento en su historia en el cual la filosofía del mantenimiento apunta hacia el mantenimiento **PROACTIVO**, esto ha llevado al ingeniero de lubricación de la empresa a desarrollar un conjunto de programas de lubricación con miras a que todo el personal técnico los ponga en práctica y así contribuir al buen funcionamiento de los equipos, buscando que la lubricación en la empresa pase de ser correctiva a una *lubricación proactiva*.

- Con este proyecto de grado se ha creado un programa de lubricación en el cual periódicamente, se analizan principalmente los aceites usados de los equipos rotativos críticos de la refinería con el objetivo de determinar a tiempo posibles fallas que puedan ocasionar una parada imprevista del equipo y probablemente de la planta en la cual opera.
- Este programa de lubricación forma parte del mantenimiento proactivo, ya que no se centra en las causas que originan un problema, este va mas allá, busca la causa raíz del problema, mira que se puede hacer para evitarlo, como se puede predecir, como se corrige y que se debe hacer para que no vuelva a ocurrir. Por lo tanto este programa de lubricación es una herramienta valiosa para los ingenieros y técnicos de confiabilidad de la refinería, el cual entrega con la ayuda de la Base de Datos las herramientas necesarias para determinar una posible causa de falla en un equipo y las acciones a tomar, para que sean ellos quienes a través de la misma BD entreguen al personal de operaciones las recomendaciones necesarias para corregir las anomalías detectadas durante la ejecución del programa de lubricación.

- El programa de monitoreo de la condición del aceite lubricante de los equipos rotativos críticos la GCB cuenta con gran flexibilidad, ya que permite ingresar nuevos equipos que no se han incluido para análisis, y a su vez permite eliminar aquellos equipos que por alguna razón dejen de considerarse críticos.

- Con este programa de lubricación se ha completado el paquete de lubricación de la refinería el cual comprende, La Ruta de Tribología Operativa, el programa de reengrase de mecanismos y motores eléctricos, el programa de cambio de filtros, el programa de dialización, y el programa de monitoreo de la condición del aceite lubricante nuevo y usado. Con estos se busca en los próximos 2 años contribuir en un 100% con la disminución de los problemas de lubricación actuales de la refinería, bajando sustancialmente los costos por parada de planta no programa, pérdida o daño grave en las máquinas, y pérdida de lubricante por mal manejo o desaprovechamiento del aceite desechado el cual al pasar por el proceso de filtración puede ser reutilizado, con un 95% de confiabilidad respecto del aceite nuevo.

RECOMENDACIONES

Es muy importante que todo el personal técnico de la refinería tenga en mente que este programa de lubricación no busca los valores puntuales de los análisis que entrega el laboratorio, lo importante es la tendencia en el tiempo de estos, ya que permiten determinar cual es el comportamiento de la máquina estudiada durante el periodo de tiempo en el cual se le realizan los análisis.

- Lo más relevante es la tendencia de la evolución del desgaste en los elementos rodantes de la máquina (rodamientos, chumaceras, Engranajes y ejes), ya que esto indica cual es el grado de deterioro de la vida útil de estos. De hay la importancia de conservar los históricos de los análisis, de nada serviría realizarlos y no generar la tendencia en el tiempo, ya que se perdería la información más valiosa, el comportamiento de la máquina en operación.
- La efectividad de todos los programas de lubricación, especialmente del sistema de monitoreo de la condición del aceite lubricante nuevo y usado, depende de los ingenieros y técnicos de confiabilidad, ya que son ellos los líderes de estos programas en cada uno de sus negocios, y los directos responsables del cumplimiento por parte de operaciones de cada programa. De ellos depende la disminución de las anomalías de lubricación ya que son quienes deben generar las recomendaciones a seguir por parte de operaciones y mantenimiento una vez se ha detectado algún problema en un proceso o una máquina.
- Con el programa de monitoreo de la condición del aceite lubricante nuevo y usado se han sentado las bases de una nueva etapa de

lubricación en la refinería, donde los problemas se atacan desde la causa raíz, buscando siempre que nunca se vuelvan a presentar y si así fuera, se tenga el conocimiento necesario para enfrentarse a estos. Es por ello que se debe seguir con la ejecución de este programa de una forma continua y responsable para que su legado perdure en el tiempo y no se pierda como ha venido sucediendo con otros programas, años atrás.

BIBLIOGRAFIA

ALBARRACÍN AGUILLÓN PEDRO, Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz, Tomo 1, 2da Edición LITOCHOA, Bucaramanga, julio de 1993

ALBARRACÍN AGUILLÓN PEDRO, Lubricantes Ecologicos, Artículo, Medellín - Colombia, Abril 10 de 2000.

ALBARRACÍN AGUILLÓN PEDRO, Lubricantes Vegetales, Artículo, Medellín - Colombia, Abril 17 de 2000.

ALBARRACÍN AGUILLÓN PEDRO, Cálculo de Ahorro de Energía por fricción según el Tipo de Película Lubricante y el Lubricante Utilizado, Artículo, Medellín - Colombia, Abril de 2000.

<http://www.agenciac.com.ar/clientes/competir/006/email.asp>

<http://www.colciencias.gov.co/herramientas/mapa/ricino-colciencias.html>

http://www.ingelub.com.co/NOTA26_LUBRICANTESECOLOGICOS.htm

ANEXOS

ANEXO A. CUIDADO BASICO DEL EQUIPO BEC EN LA REFINERIA DE ECOPETROL S.A.

El cuidado básico de equipo BEC² es un programa de mantenimiento primario que busca realizar acciones de tipo preventivo y predictivo sobre los equipos de una empresa para evitar y determinar a tiempo las posibles fallas que se pueden presentar, con el objetivo de corregirlas antes de que ocasionen daños graves a la máquina y al proceso productivo de la empresa, generando grandes pérdidas de dinero, dependiendo de la criticidad del equipo. La operación confiable de un equipo en una empresa depende de esas acciones las cuales se deben llevar a cabo durante su operación. Esas acciones tienen que ver con realización de programas de lubricación, limpieza, la revisión de los sistemas auxiliares de cada equipo, y velar por que las condiciones de trabajo se mantengan dentro de los límites establecidos para estos parámetros dependiendo del equipo analizado. Lo anterior se lleva a cabo inspeccionando cada uno de los equipos semanalmente ya sea de forma visual o con equipos de monitoreo, las variables a controlar con el fin de identificar cuales son aquellas máquinas que presentan algún tipo de anomalía y así generar acciones para evitar que el daño sea progresivo.

Anteriormente las tareas de cuidado de los equipos en la refinería se limitaban solo al uso de los sentidos para detectar las posibles fallas al notar algún cambio en el funcionamiento de estos y así realizar un diagnóstico

² Basic Equipment Care: Cuidado básico de equipos.

basado en la experiencia. Esto traía consigo problemas de subjetividad en el reporte de los posibles problemas, mala interpretación de la información y por lo general, acciones correctivas muy tardías por no tener claridad de las posibles fallas o por no ser detectadas dado que no se cuantificaban, pues todo se hacía de forma cualitativa.

Durante la ruta semanal el personal de mantenimiento observa la calidad del aceite tomando las acciones correctivas del caso, por ejemplo completar nivel o cambiar el aceite, y recolecta los datos de vibraciones y SPM³ en equipos portátiles para luego descargarlos en una base de datos que permite al personal de confiabilidad realizar el análisis de la información. Los resultados del análisis se ven reflejados en una orden de trabajo del tipo correctiva, si la falla detectada es inminente, o predictiva si la falla es incipiente y toma un tiempo prudente mientras se desarrolla.

Debido a la complejidad del proceso de desarrollo de las fallas en elementos propios de los equipos rotativos como rodamientos, cojinetes, engranajes, etc. existe la posibilidad del inicio de alguna falla entre rutas y, en el peor de los casos, estas fallas incipientes han llegado hasta tal punto de avance que producen la parada no programada de los equipos antes de la ejecución de la próxima ruta de monitoreo. Debido a la gran importancia que tiene el equipo rotativo en la disponibilidad de las plantas de la refinería y con el fin de incrementar su confiabilidad, evitando o reduciendo al máximo el desarrollo de fallas propias de una operación inadecuada o un mantenimiento primario deficiente, se ha desarrollado el módulo de Cuidado Básico de los Equipos, BEC, con la participación, en primera instancia, de los operadores de planta en un marco de trabajo en equipo donde están

³ Shock Pulse Method: método de pulsos de choque utilizado para diagnosticar el estado de los rodamientos así como la calidad de su lubricación.

involucrados el personal de mantenimiento y confiabilidad con miras a obtener una mejora en el desempeño y la confiabilidad del equipo rotativo.

METODOLOGÍA BEC

Partiendo del hecho de que los equipos fueron bien seleccionados para la aplicación y no hubo defectos en su instalación y montaje, su operación confiable en la planta depende de aquellas acciones de cuidado básico que se les haga durante su operación.

Con el fin de hablar un lenguaje común entre operaciones y mantenimiento acerca del estado de los equipos se viene trabajando con la siguiente nomenclatura:

- **OP:** Equipo que opera en buenas condiciones
- **OF:** Equipo que opera con alguna falla identificada en cualquiera de sus componentes pero que puede cumplir con su función.
- **SB:** Equipo en stand-by, que esta disponible para cumplir con su función en buenas condiciones.
- **SF:** Equipo en stand-by, que esta disponible para cumplir con su función con algún tipo de falla identificada.
- **EF:** Equipo cuya falla impide su operación porque puede poner en riesgo su integridad, la de las instalaciones o las personas.
- **MC:** Equipo que esta siendo intervenido por el personal de mantenimiento en la planta.
- **MT:** Equipo que esta siendo intervenido por el personal de mantenimiento en el taller.

Implementación del programa: La implementación del módulo BEC se ejecutó durante las siguientes etapas:

- Capacitación al personal de operaciones en las variables críticas de condición de los equipos rotativos.
- Consecución de un Kit básico de monitoreo de vibraciones, temperatura y condición del aceite (Kit de Tribología) así como capacitación al personal de operaciones en su utilización.
- Determinación de los límites de alarma críticos para cada una de las variables de condición asociadas con los equipos.
- Establecimiento de un portal en la red donde se reporta diariamente el estado de los equipos con sus respectivos comentarios.
- Utilización de un software de gestión de rutas, donde se establecen las rutas de tribología por planta, se almacenan los datos y se reportan informes y se analizan tendencias de las variables de condición críticas.

Desarrollo del programa:

El desarrollo del programa se inició en las plantas de destilación de crudos donde la mayoría de los equipos son equipos de bombeo compuestos por una bomba principal y una bomba auxiliar. En condiciones normales de disponibilidad de estos sistemas el equipo principal se encuentra en estado OP y el equipo auxiliar se encuentra en estado SB.

Con el objeto de medir la disponibilidad del equipo auxiliar en las plantas y la efectividad del programa se definió el siguiente indicador llamado factor de stand-by, FS:

$$FS = \frac{(\text{Equipos Disponibles} - \text{Equipos Requeridos})}{(\text{Equipos Instalados} - \text{Equipos Requeridos})} \quad (1)$$

En términos del estado de los equipos:

$$FS = \frac{(OP + OF + SB + SF) - (OP + OF)}{(OP + OF + SB + SF + MC + MT + EF) - (OP + OF)} \quad (2)$$

y simplificando,

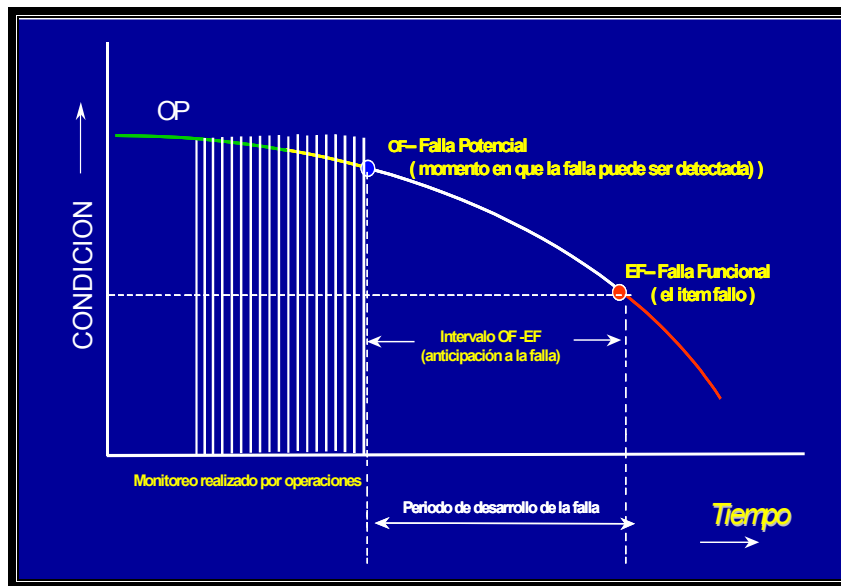
$$FS = \frac{SB + SF}{SB + SF + MC + MT + EF} \times 100\% \quad (3)$$

El estado diario de los equipos, se reporta mediante una hoja de cálculo en la red interna de la refinería, donde se visualiza diariamente el factor de Stand-by. Esta hoja de cálculo es alimentada diariamente por los operadores de la planta. Como esta información se encuentra en red puede ser accesada directamente por el personal de mantenimiento y confiabilidad como información de primera mano acerca del desempeño de los equipos. Uno de los valiosos aportes de esta información esta en el reporte de aquellas variables que se salen de control mediante cambio de estado de OP a OF gracias al monitoreo de las variables críticas. En los comentarios en la hoja de calculo los operadores digitan las condiciones que sustentan el hecho por el cual el equipo se encuentra en alguno de los estados de falla, (OF, SF, EF).

En el caso de un equipo que se encuentra operando en buenas condiciones, estado OP, es monitoreado por el operador y detecta alguna variable por fuera de los límites de alarma, éste realiza la primera acción correctiva sobre el equipo, en el caso de un sistema de bombeo se inspecciona la calidad y el nivel del aceite, flujo de agua de enfriamiento, condiciones de presión y caudal del equipo, y otras que apliquen para el caso específico. Cuando el operador no puede llevar la variable objetivo a condiciones de control debe reportar el estado del equipo en la hoja de cálculo como equipo operando en falla, OF, o SF si tuvo que apagar el equipo y poner en servicio el auxiliar. En el caso de que la variable de condición no pueda ser retornada a sus límites

de control ya sea porque implica una acción de mantenimiento mayor, inclusive traslado del equipo al taller, o porque no se identifica claramente el origen del problema, se recurre al personal de confiabilidad para inspeccionar nuevamente el equipo y analizar en conjunto con mantenimiento y operaciones la información recolectada. Como producto de este análisis se genera una recomendación de tipo operacional, por ejemplo incremento o disminución del caudal que maneja la bomba, o una orden de trabajo para mantenimiento que puede tener dos características: del tipo correctiva cuando la falla está muy desarrollada y debe corregirse en un periodo inferior a un mes, y del tipo predictiva, cuando la falla es incipiente y el equipo puede continuar operando con un monitoreo más frecuente, en varios casos se estima que el equipo trabajará de manera confiable bajo estas condiciones por lo menos durante dos meses más.

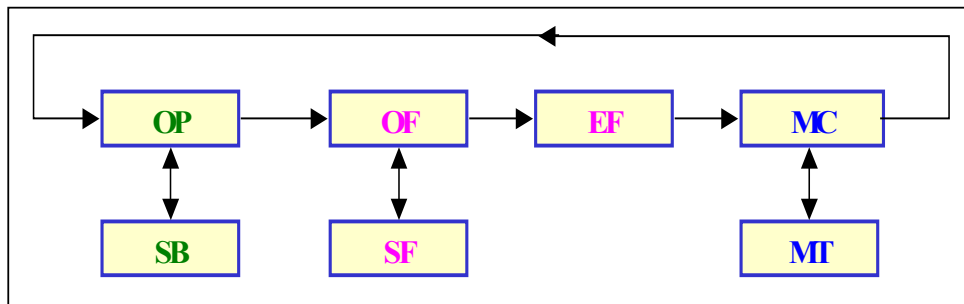
Figura 40. Seguimiento al estado del equipo rotativo de acuerdo al monitoreo de las variables de condición.



Cuando la orden de trabajo es del tipo correctiva porque la falla es inminente el estado del equipo se debe cambiar a EF, lo que impacta de manera negativa al factor de Stand-by, ver ecuación (3).

En el caso de que la orden de trabajo sea del tipo predictiva se confirma el estado del equipo como OF, o SF, y se hace un seguimiento a sus variables de condición hasta cuando se estime que no puede seguir operando de manera confiable, en este momento su estado cambia a EF. De esta manera se mantiene un control sobre la condición del equipo a través del tiempo como se puede apreciar en la figura 40. Una vez el equipo se encuentra en estado EF queda disponible para que el personal de mantenimiento ejecute las respectivas acciones correctivas recomendadas en la orden de trabajo, si estas acciones son ejecutadas en la planta el estado del equipo se debe reportar como MC y si son ejecutadas en el taller el estado del equipo es reportado como MT. Cuando las acciones correctivas han culminado el equipo es instalado en la planta y puesto en servicio, en esta etapa cambia nuevamente al estado OP, o SB, y el ciclo de trabajo inicia de nuevo, esto se puede apreciar gráficamente en la figura 41.

Figura 41. Ciclo de estados de los equipos



ANEXO B. GUIAS OPERATIVAS Y VENTANAS

GUÍAS OPERATIVAS

Se refiere a los límites superior e inferior del punto de control de una variable del proceso ó el equipo que asegura la calidad y los rendimientos de los productos terminados o intermedios. Cuando una variable controlada se sale de estos límites se genera una *no conformidad*. Una no conformidad debe reportarse en el libro de turno, en lo posible colocándole el valor del limite de control y el punto que alcanzó la variable y además la posible razón por la cual se genera la no conformidad.

Las guías operativas deberán ser de cumplimiento estricto para el supervisor y operador responsable, si en algún momento por condiciones operacionales o de otra índole, se decide trabajar por fuera de estas guías de control se deberá a analizar lo que esto implica, la razón por la cual se hace y quien autoriza este esquema de operación.

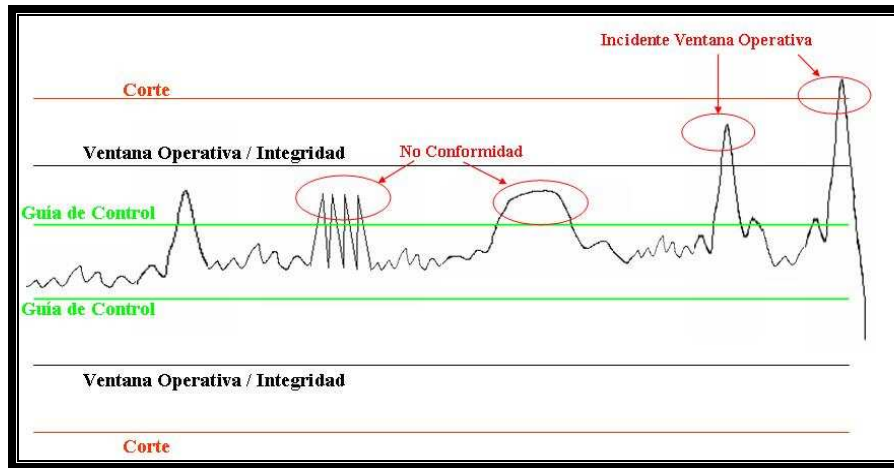
VENTANA OPERATIVA

Se refiere a los límites superior e inferior del punto de control de una variable que asegura la integridad de las personas y equipos evitando paradas de planta no programada y las respectivas pérdidas económicas. Cuando una variable controlada se sale de estos límites se genera un *incidente*.

Un incidente debe reportarse en el libro de turno, en lo posible colocando el valor del límite de control y el punto que alcanzó la variable y además la posible razón por la cual se genero el incidente al igual lo harán los

supervisores en su respectivo reporte de turno. Si se superan las ventanas operativas, se genera el riesgo de una falla inesperada de la máquina, que puede ocasionar un daño a las personas y a los equipos. Este límite es el *punto de corte*, el cual es el máximo valor permisible de la variable de control. Ver Figura 42.

Figura 42. Guías de control, y ventanas operativas.⁴



³ Tomado de presentación en PowerPoint: "Ventanas operativas", Optimización de la refinación. Ecopetrol S.A., - GCB, 2004.

ANEXO C. MANTENIMIENTO

Es un conjunto de acciones, operaciones y actitudes para reestablecer un bien a un estado específico asegurando un servicio determinado. Para lograrlo se deben realizar operaciones tales como limpieza, lubricación, inspección, conservación, reparaciones y mejoras que permitan conservar el potencial de un equipo para asegurar su continuidad y garantizar la calidad de la producción utilizando inteligentemente la planeación, la programación y el control, de manera que mejoren la efectividad, la productividad, se disminuyan las paradas de planta y los costos de mantenimiento.

Existen en la actualidad diferentes formas de clasificar las estrategias de mantenimiento, la más comúnmente usada es la que se refiere a las causas que originan el llevar a cabo las rutinas de mantenimiento de los equipos y maquinaria. Esta clasificación es la siguiente:

MANTENIMIENTO REACTIVO

En esta estrategia se permite que la máquina funcione hasta que se produzca la falla. En ese instante se realiza la reparación o reemplazo de ella. Es comúnmente utilizada en equipos electrónicos, donde es difícil hacer un diagnóstico y las fallas se presentan en general en forma aleatoria.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

En esta estrategia se interviene la máquina periódicamente para inspeccionar y reemplazar componentes, aún cuando se encuentre operando satisfactoriamente.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO O POR DIAGNÓSTICO

En esta estrategia de mantenimiento se evalúa la condición mecánica de la máquina y su evolución a través del tiempo, mediante el uso de diversas técnicas de diagnóstico y el estudio de la tendencia de los parámetros operacionales. En base a estas indicaciones, se programan las necesidades de mantenimiento de la maquinaria.

MANTENIMIENTO PROACTIVO

En esta reciente estrategia de mantenimiento se identifica y corrige la causa primaria de las fallas de la maquinaria, tratando de maximizar su vida útil operativa, a través de acciones que modifican sus condiciones de operación. El Mantenimiento Proactivo es producto de una nueva estrategia de mantenimiento que pretende disminuir los costos, a través de la reducción de la tasa de fallas que presenta la maquinaria.

Cuando sumamos los costos de mantenimiento en las empresas de hoy, tenemos que sumar más que repuestos, aceites, herramientas y mano de obra. El costo más grande para la mayoría de las empresas es la pérdida de producción durante el tiempo que el equipo o la planta están parados para la reparación. Es por estos costos altos que las plantas exitosas están tratando de ser proactivas en su mantenimiento, tratando de romper el hábito de reparar las cosas cuando se rompen y diseñar su programa de

mantenimiento para eliminar o minimizar las fallas. Esto requiere un diseño de programas de mantenimiento que extiendan el intervalo entre reparaciones o paradas para cambios de aceites o piezas.

Cuando estudiamos los programas de mantenimiento en las plantas, típicamente encontramos que las empresas tradicionales pasan más del 55% de su tiempo en mantenimiento correctivo (arreglando equipo después de una falla) y otros 35% cambiando piezas que creen que están por romperse porque ya pasaron por las horas que consideran “normales”. Este es el mantenimiento más costoso que se conoce. Requiere un inventario de piezas, personal disponible y personal de producción desocupado mientras se corrige el problema.

Si observamos las empresas más exitosas, encontramos que están utilizando mantenimiento basado en condiciones. El programa de mantenimiento basado en condiciones (RCM) reduce el presupuesto de mantenimiento un promedio de 83%. Una vez implementado el programa RCM, es fácil reducir el presupuesto mas aún utilizando tácticas proactivas. ¿Como es posible? Mientras lo típico es pensar: “Hay que ver para creer.” A veces *hay que creer para ver*. Cuando lo analizamos encontramos que es muy simple.

La mayor reducción en el presupuesto de mantenimiento viene de la aplicación de tres principios:

1. Por cada falla hay una causa.
2. Siempre hay una mejor manera de hacerlo o un mejor producto para usar.
3. Si otra empresa similar puede obtener mejores resultados, nosotros también podemos (Benchmarking).

El Mantenimiento Proactivo esta basado en tres principios:

1. Mejorar los Procedimientos antes de que causen fallas.
2. Evitar Paradas del equipo para mantenimiento correctivo.
3. Aumentar el tiempo entre intervalos para mantenimiento preventivo.

Causa - Efecto: Típicamente aceptamos que las piezas se gastan o se rompen, reparamos y volvemos a lo mismo sin pensar que las piezas no se rompen por si. Se rompen por descuido, sobrecarga, contaminación, temperatura, exceso de vibraciones, falta de lubricación u otra causa. Si eliminamos la causa, postergaremos la falla.

ANEXO D. GENERALIDADES SOBRE EQUIPOS ROTATIVOS DE LA REFINERIA

1. BOMBAS CENTRIFUGAS

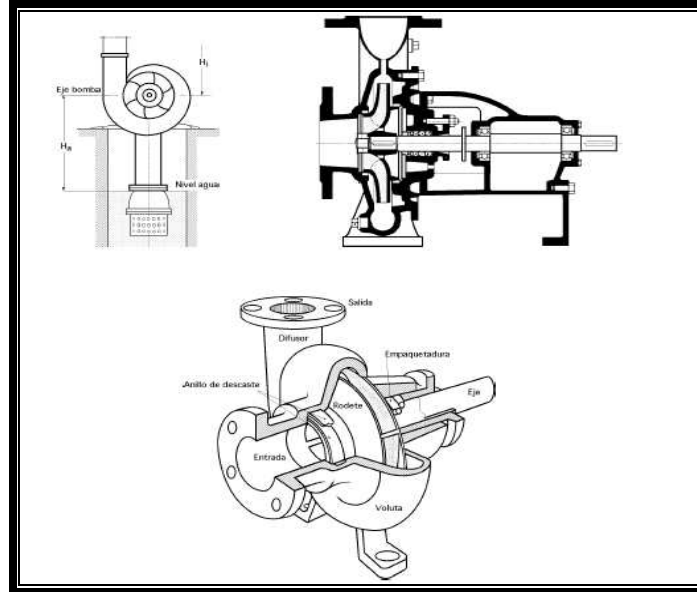
Es un equipo cuya función es convertir la energía mecánica en energía hidráulica de un líquido a fin de moverlo de un punto a otro. Las bombas centrífugas son aquellas que tienen como elemento básico giratorio un elemento llamado *impulsor* que hace circular el líquido desde el centro de este (ojo) hacia la periferia, transmitiéndole a la masa del líquido la *velocidad* periférica de los alabes, determinando la *presión* de trabajo.

Se utilizan en servicios de alta capacidad y en servicios de baja a media presión (o Cabeza). Estas bombas son las más ampliamente utilizadas en la industria para la transferencia de líquidos de todo tipo, suministro de agua, industria química, petrolera, etc.

Las partes mas importantes de la instalación de una bomba centrífuga son:

- Una tubería de aspiración.
- El impulsor o rodete.
- La voluta.
- Una tubería de impulsión.

Figura 43. Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva



Se clasifican de acuerdo con:

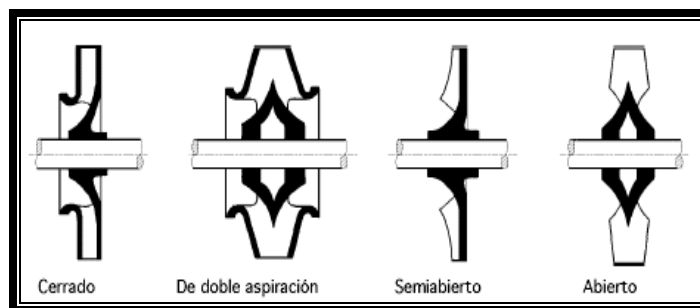
Según Tipo de Carcasa:

- Voluta (caracol)
- Difusor
- Turbina (vórtice).

Según el Impulsor:

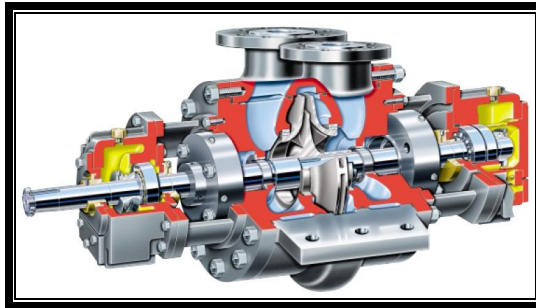
- Por dirección de flujo (Radial, axial o mixto).
- Por configuración mecánica (*Cerrados* para alta presión, abiertos para baja presión y pequeños flujos y *semiabiertos* de uso general).

Figura 44. Tipos de impulsor



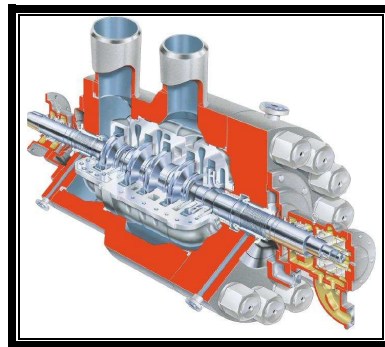
- Por tipo de succión sencilla o doble.

Figura 45. Bomba de doble succión.⁵



- Por forma de los álabes (Curvatura simple, tipo Francis).
- Por número de impulsores (Una etapa, multietapa).

Figura 46 Bomba multietapas.⁶

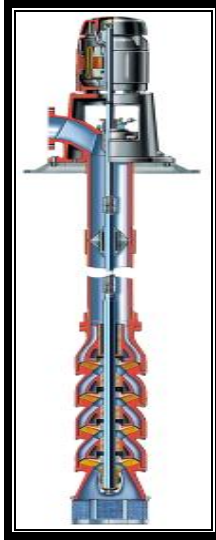


- Por posición del impulsor (Vertical, horizontal).

⁵ Tomado de catálogo para bombas Flowserve.

⁶ Tomado de catálogo para bombas Flowserve.

Figura 47. Bomba vertical⁷



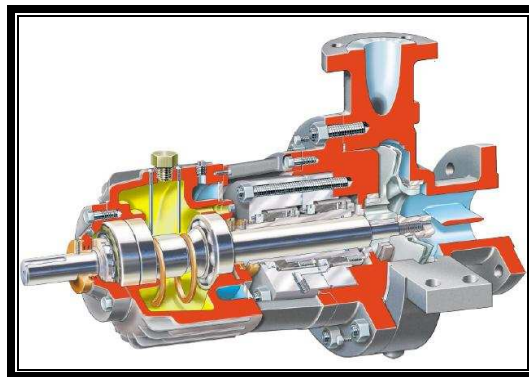
Según boquilla de succión:

- Simple o doble.
- Por un extremo (lateral, superior, inferior).

Según la norma API 610, 10 edición (bombas centrífugas para la industria del petróleo, petroquímica y gas natural), las bombas se clasifican en 3 grandes grupos:

- *Overhung* (de impulsor en voladizo).

Figura 48. Bomba API 610 en voladizo marca Flowserve⁸

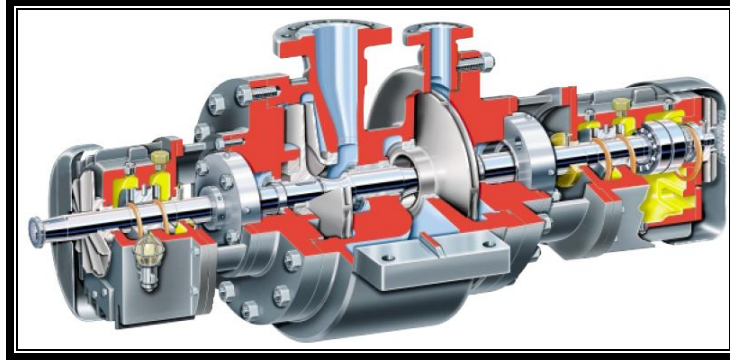


⁷ Tomado de catálogo para bombas Flowserve.

⁸ Tomado de catálogo para bombas Flowserve

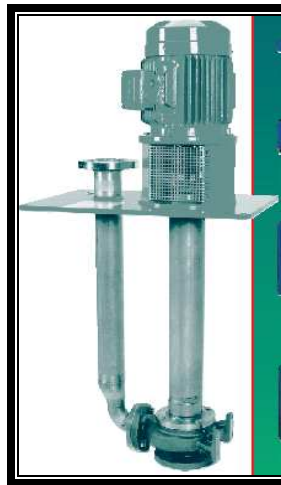
- *Between-bearings* (de impulsor entre rodamientos). Ver Figura 4.

Figura 49. Bomba API 610 Between-bearings marca Flowserve⁹



- *Vertically suspended* (Verticalmente suspendidas). Ver Figura 11.

Figura 50. Bomba API 610 vertical marca FLOWSERVE¹⁰



2. COMPRESORES

Un compresor es un mecanismo accionado por una fuerza motriz para elevar la presión de un gas sobre el cual actúa realizando un trabajo. Los compresores se fabrican en diversos tamaños y diseños para satisfacer las variadas exigencias de aplicaciones industriales, comerciales y domésticas.

⁹ Tomado de catálogo para bombas Flowserve.

¹⁰ Tomado de catálogo para bombas Flowserve.

Las máquinas compresoras se pueden clasificar en varios grupos según sus características:

CLASIFICACIÓN DE LOS COMPRESORES

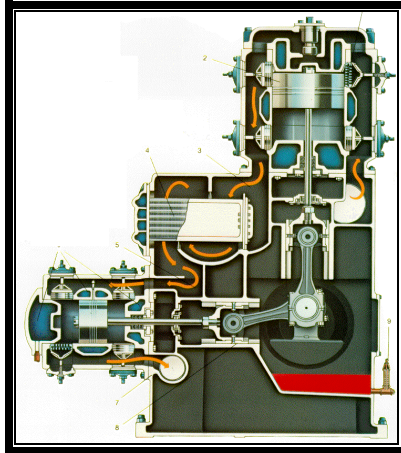
De desplazamiento positivo

Aumentan la presión directamente por reducción del volumen de la cámara que encierra el gas. Según esta consideración los compresores pueden ser:

De movimiento alternativo o reciprocantes

Llamados de pistón ó recíprocos es uno de los tipos de compresores más comunes. Las unidades más pequeñas son en su mayoría de efecto simple, es decir, el pistón efectúa solamente una carrera de aspiración y una de compresión por cada revolución del cigüeñal. La disposición del pistón, biela, cigüeñal y cárter es similar a la de un motor de gasolina. Las unidades mayores son generalmente de doble acción dado que el pistón posee dos caras, realiza dos veces más trabajo por revolución del cigüeñal, ejecutando dos carreras de aspiración y dos de compresión.

Figura 51. Compresor recíprocante de dos etapas¹¹

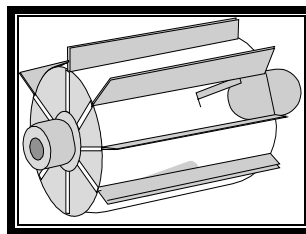


Cada cilindro del compresor tiene por lo menos una válvula de admisión y una de descarga para controlar la entrada y la salida del gas. Estas válvulas son del tipo automático que se abren y se cierran a modo de cheque al producirse inversiones de presión a través de ellas.

De tipo rotativo

Este tipo de compresores no tiene válvulas. Un ejemplo muy utilizado es el de paleta deslizante.

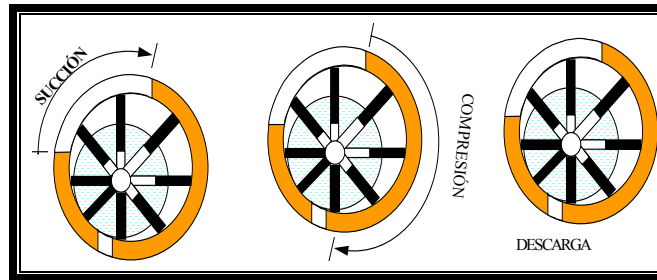
Figura 52. Rotor de un compresor de paletas deslizantes¹²



¹¹ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A – GCB, 2003.

^{12_22} Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A – GCB, 2003.

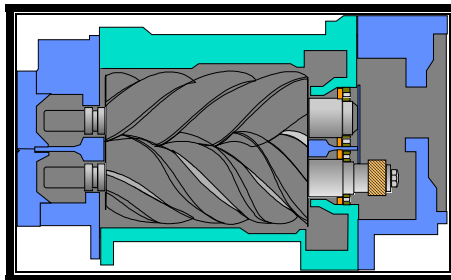
Figura 53. Proceso de Compresión en Compresor de Paletas Deslizantes¹³



De tipo tornillo

En estos compresores la parte principal de la unidad está constituida por un par de elementos de contra rotación con acanaladuras helicoidales que engranan entre sí y que están encerrados en una cubierta ajustada. El aire es aspirado por un extremo por entre las acanaladuras abiertas, queda atrapado cuando la rotación engrana las acanaladuras de tras de él, aislando el espacio ocupado por el aire. La rotación posterior obliga al aire a avanzar por delante de las acanaladuras que se van engranando progresivamente, impulsando el aire hacia la sección de descarga de alta presión ubicada en el otro extremo.

Figura 54. Compresor de tornillos¹⁴

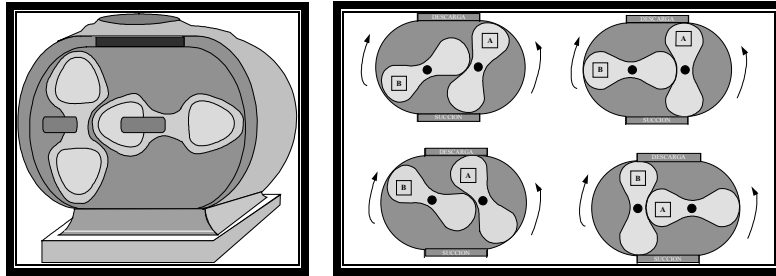


¹⁴ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A – GCB, 2003.

De tipo lóbulo

Se limitan a bajas relaciones de presión y por lo tanto son más conocidos como sopladores.

Figura 55. Compresor de Lóbulos Rectos y Proceso de Compresión.¹⁵



Compresores cinéticos o dinámicos

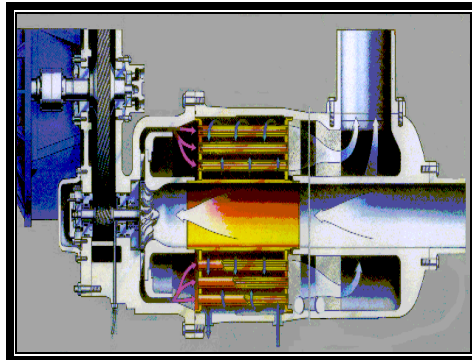
Están diseñados para imprimir velocidad al gas y luego convertir esa velocidad en presión. Aunque algunos de estos compresores están diseñados para relaciones de presión muy elevadas, se usan generalmente para servicios de baja presión y grandes caudales.

Un compresor cinético se compone esencialmente de una sola pieza móvil, un rotor de aspas, que gira en una cubierta envolvente bien ajustada. El aire entrante choca contra las aspas que giran con gran rapidez siendo acelerado a una alta velocidad. Al disminuir la velocidad del flujo por su encuentro con la presión creciente, aumenta la presión estática. Según esta consideración los compresores pueden ser:

¹⁵ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A – GCB, 2003.

Tipo centrífugo

Figura 56. Compresor Centrífugo Radial¹⁶



COMPRESORES UTILIZADOS EN LA GCB:

Compresores Ingersoll Rand

Son los compresores más utilizados en el sistema de aire de Refinería Gerencia Complejo Barrancabermeja, aunque son de diferentes capacidades son de características muy similares. Son en su totalidad de 10" de carrera y la diferencia de capacidad está dada por el diámetro de los cilindros. Son todos de doble acción, de dos etapas y la posición de los cilindros es angular.

3. VENTILADORES

El ventilador es una bomba rotodinámica de gas que sirve para transportar gases, absorbiendo energía mecánica en el eje y devolviéndola al gas; se distingue del turbocompresor en que las variaciones de presión en el interior del ventilador son tan pequeñas, que el gas se puede considerar prácticamente incompresible.

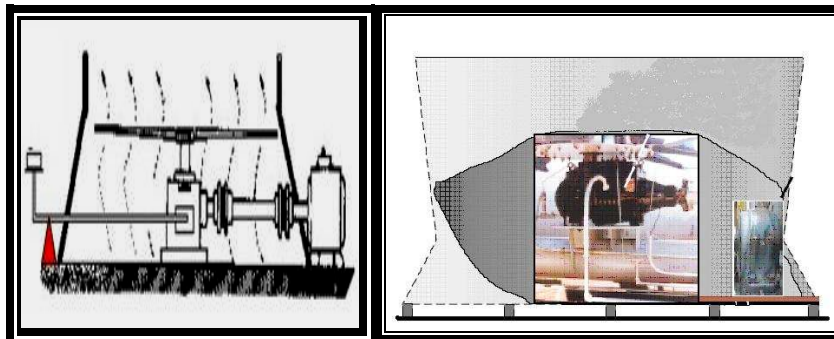
¹⁶ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A – GCB, 2003.

Los ventiladores que se emplean comúnmente se pueden dividir en tres tipos generales, de hélice, axiales y centrífugos. Los ventiladores se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y con rotación del impulsor, ya sea en el sentido de las agujas del reloj o viceversa. Salvo raras excepciones, se pueden proporcionar para acoplamiento directo o para bandas V.

Ventilador de hélice

Este ventilador consiste en una hélice dentro de un anillo o marco de montaje. La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se emplea para trasladar aire de un lugar a otro, o hacia el ambiente exterior, o para introducir aire fresco. Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja, raramente a presiones estáticas mayores de 25 mm de c.a. Se fabrica en muchos estilos y tipos para trabajos específicos.

Figura 57. Ventilador torre de enfriamiento¹⁷



Los ventiladores de extracción (extractores) de uso normal, pueden tener desde 2 hasta 16 aspas, dependiendo ello del funcionamiento particular

¹⁷ Tomado del documento "Sistema de protección y diagnóstico de los ventiladores de las torres enfriadoras BENTLY 1900/55." Ecopetrol s.a. - GCB.

del ventilador. Generalmente las unidades de poco número de aspas se usan en ventiladores de baja presión y los que cuentan con un número mayor de aspas se emplean en aquellas aplicaciones que requieren presión.

El ancho de las aspas, su ángulo, su velocidad axial y número de etapas, son factores todos que intervienen en el diseño y la capacidad.

Ventilador axial

El ventilador axial es de diseño aerodinámico; este tipo de ventilador consiste esencialmente en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica. La adición de álabes-guía, detrás del rotor, convierten al ventilador tubo-axial en un ventilador axial con aletas guía. Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a medias y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador tubo-axial y ser más eficiente; los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad.

Aprovechando la conversión del componente rotativo de la corriente de aire, este ventilador puede alcanzar una presión estática más alta que el de tipo de hélice de aspas rectas, a la misma velocidad axial, y hacerlo más eficientemente. La facilidad de montaje y el flujo del aire en línea recta los hace ideales para muchas aplicaciones.

Ventilador centrífugo

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble.

Figura 58. Ventilador de tiro forzado de una caldera



En un ventilador de entrada doble, el aire entra por ambos lados de la envolvente succionado por un rotor doble o por dos rotores sencillos montados lado a lado. Los rotores se fabrican en una gran variedad de diseños, pudiéndose clasificar, en general, en aquellos cuyas aspas son radiales, o inclinadas hacia adelante, o inclinadas hacia atrás del sentido de la rotación.

4. TURBINAS DE VAPOR

Las turbinas convierten la energía térmica del vapor en trabajo mecánico. En primer lugar hay una conversión de energía térmica en cinética en las toberas y en segundo lugar una conversión de energía cinética en trabajo en los alabes. Las toberas son componentes mecánicos que usan una reducción de área para hacer la transformación energética y direccionan el vapor hacia los alabes de empuje.

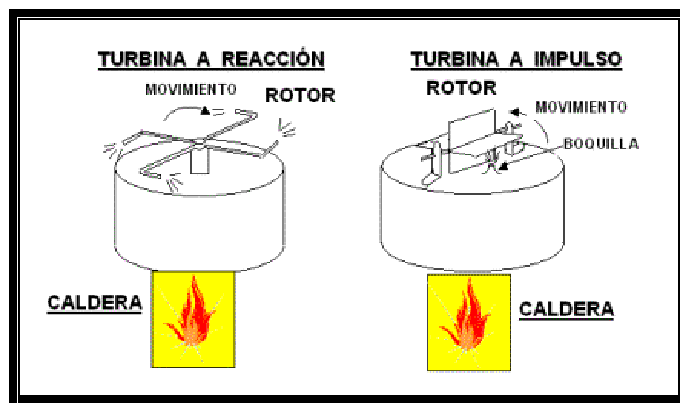
Figura 59. Rotor de turbina de vapor.¹⁸



Clasificación de las turbinas de vapor

Según el tipo de alabes que se empleen, se pueden clasificar en turbinas de *acción* (o de impulso) y *de reacción*. Comercialmente se emplean ambas y en las grandes unidades, una combinación de las dos

Figura 60. Comparación esquemática de los tipos de turbina

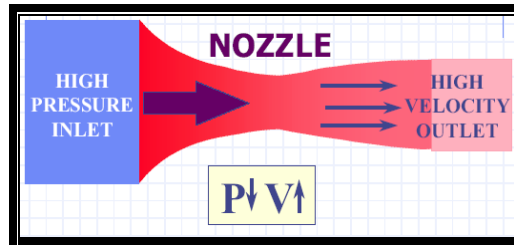


Turbinas de acción: Se caracterizan porque el proceso termodinámico (transformación de la energía térmica en cinética) se realiza en órganos fijos llamados toberas o alabes directores. En este caso, la energía potencial en el vapor vivo se convierte en energía cinética en los alabes móviles. La presión antes y después del alabe móvil permanece constante.

¹⁸ Tomado del documento: "Turbinas de vapor", Ecopetrol S.A. - GCB, 2004.

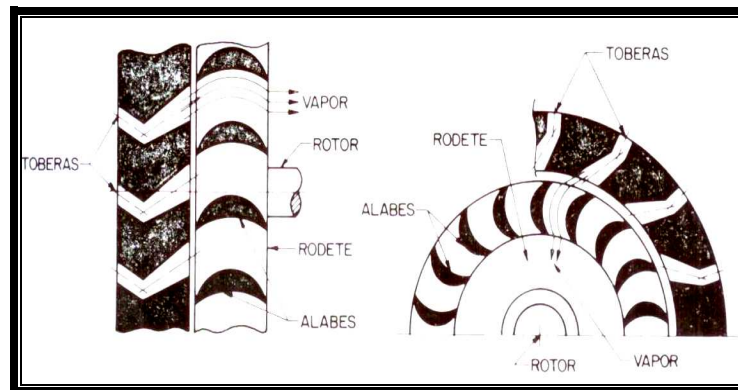
El vapor al expandirse adquiere gran velocidad, lográndose la máxima fuerza de impacto sobre los alabes. La presión del vapor cae completamente al expandirse en la sección divergente de la tobera y permanece constante hasta salir de la turbina, mientras que la velocidad disminuye progresivamente, a medida que pasa por cada hilera de alabes.

Figura 61. Conversión de energía en el alabe



La clasificación más común de este tipo de turbinas es en axiales y radiales, según que la entrada del vapor con respecto al rotor sea paralela o perpendicular. Ver siguientes figuras:

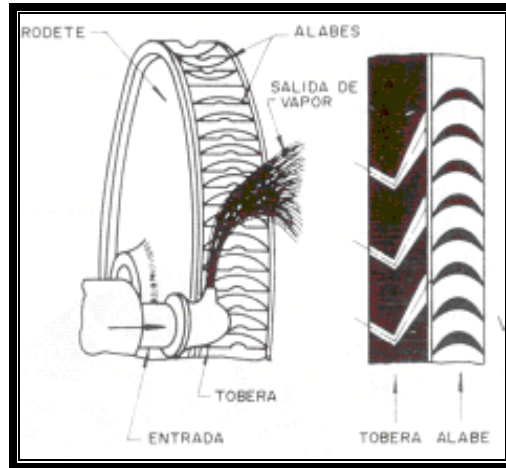
Figura 62. Turbinas axiales y radiales



Turbinas de acción de velocidad escalonada: En este tipo de turbinas la velocidad del vapor se puede regular con una sola hilera de alabes móviles, pero con cámara de reversión de vapor, que permite recircular varias veces el flujo, lográndose así una disminución gradual de la

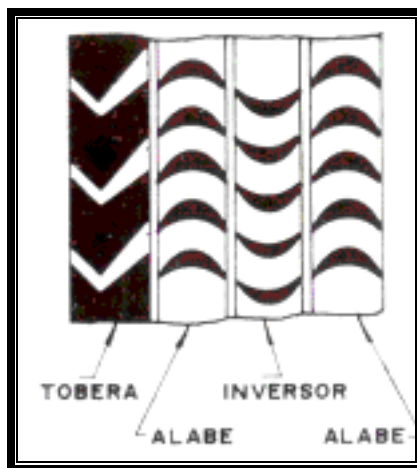
velocidad y un aprovechamiento más eficiente de la energía cinética del vapor.

Figura 63. Turbina de velocidad escalonada



Otra forma no muy común, de regular la velocidad del vapor consiste en un rodete con dos hileras de alabes o dos rodetes independientes y entre ellos una hilera de alabes inversores de flujo o directrices.

Figura 64. Turbina de velocidad escalonada (disposición Curtís)

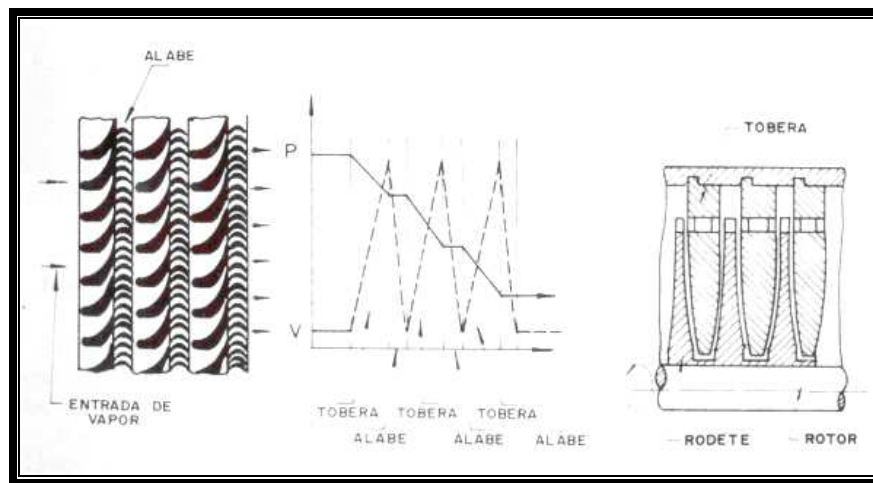


La alta velocidad relativa con que fluye el vapor por el largo y sinuoso camino que forman los alabes móviles y los inversores dan lugar a

elevadas pérdidas, haciendo que en la práctica el número de escalonamientos de velocidad no pase de tres, siendo el más común el de dos. En las grandes turbinas de acción y reacción (mixtas), es frecuente el empleo de un doble escalonamiento de velocidad en el lado de AP.

Turbinas de acción de presión escalonada: En este tipo de turbinas el rozamiento del fluido sobre los alabes es menor a causa de la velocidad relativa más baja, siendo ésta la misma a la entrada de cada rodete. Por lo general, está constituida por dos secciones de toberas o diafragmas y dos rodetes, por lo que se puede considerar como dos turbinas de acción de velocidad escalonada montadas en serie. Ver figura 65.

Figura 65. Turbina de acción de presión escalonada

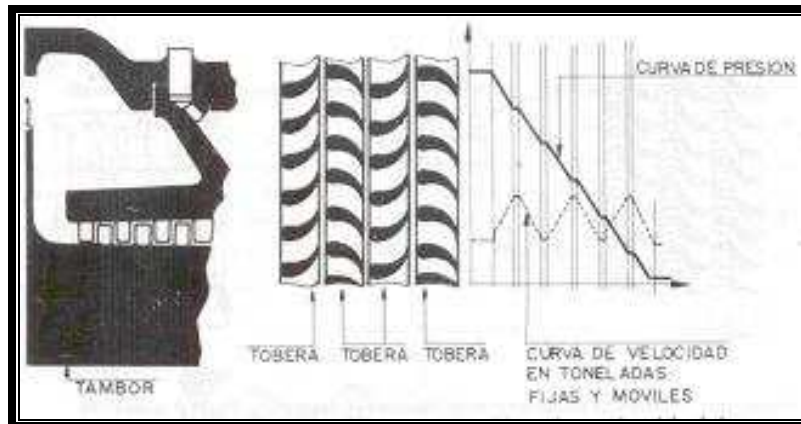


En las turbinas de presión escalonada se presenta un empuje entre secciones de toberas el cual debe ser absorbido por un rodamiento de empuje en el lado de Alta Presión (AP).

Turbinas de Reacción: Se caracterizan porque la expansión del vapor se realiza en alabes fijos y móviles. Reciben también el nombre de turbinas de alabes Parsons. En este caso, las toberas tienen la forma de cuchillas, que

permiten el paso de vapor directamente a los alabes móviles, los que a su vez hacen las veces de toberas móviles, o sea que la expansión del vapor ocurre a lo largo de la turbina. Ver figura 66.

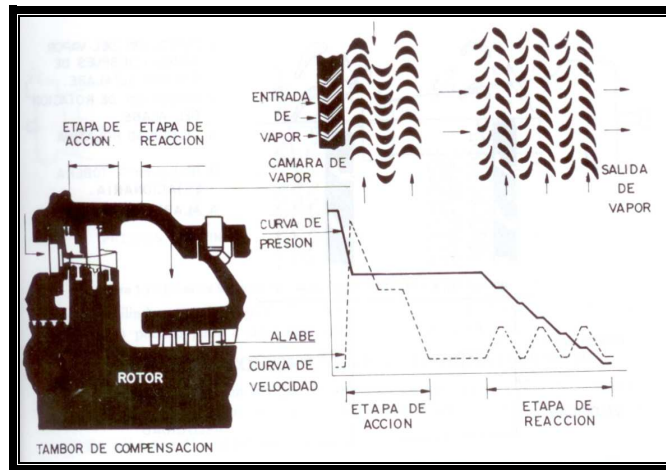
Figura 66. Turbinas de reacción



En las turbinas de reacción los juegos se tienen que reducir hasta un mínimo absoluto, ya que las fugas de vapor pueden aumentar como consecuencia de la diferencia de presión encima de los alabes móviles, lo que disminuye el rendimiento. Esta característica constructiva hace que la turbina de reacción sea muy sensible en caso de arranques rápidos y cambios repentinos de carga.

Turbinas de acción y reacción mixtas: Las grandes turbinas industriales generalmente tienen la primera etapa de acción de velocidad escalonada y las siguientes de reacción. Ver figura 67.

Figura 67 Turbinas Mixtas



Los alabes de reacción tienen menor curvatura, lo que disminuye las pérdidas de rozamiento y los torbellinos de vapor en los conductos. Sin embargo, presentan problemas desde el punto de vista de la resistencia al desgaste y a la vibración tangencial

Componentes de una turbina

Las turbinas de vapor se componen de las siguientes partes:

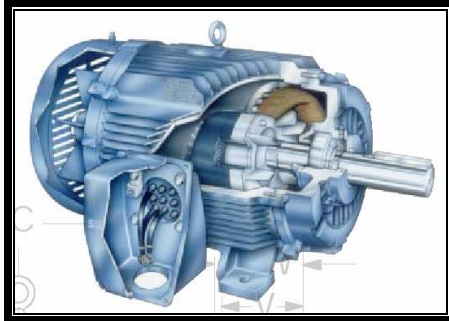
- Carcasa: vasija contenedora.
- Rotor: compuesto del eje, ruedas, alabes y transmite trabajo.
- Chumaceras: soportan el rotor y lo mantienen en posición.
- Válvula de admisión: controla velocidad y potencia de salida.
- Sellos de alta presión: usados para reducir las fugas.
- Sellos de baja presión: previenen la entrada de aire desde el ambiente.

- Sistemas auxiliares.
 - Sistema de lubricación.
 - Sistema de vapor de sello.
 - Sistema de vacío.

- Sistema de protección.
- Sistema de gobernación.

5. MOTORES ELÉCTRICOS

Figura 68. Motor eléctrico¹⁹



De Corriente alterna

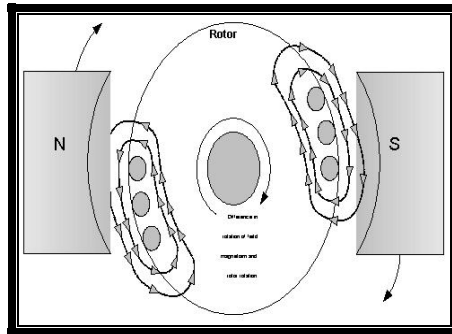
Se diseñan dos tipos básicos de motores para funcionar con corriente alterna polifásica: los motores síncronos y los motores de inducción.

Los motores síncronos pueden funcionar con una fuente de potencia monofásica mediante la inclusión de los elementos de circuito adecuados para conseguir un campo magnético rotatorio.

El más simple de todos los tipos de motores eléctricos es el motor de inducción de caja de ardilla que se usa con alimentación trifásica. La armadura de este tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor síncrono.

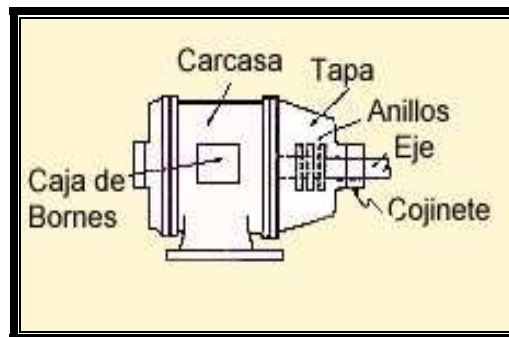
¹⁹ Tomado de presentación PowerPoint: "Curso de motores eléctricos", Ecopetrol S.A. - GCB, 2003.

Figura 69. Campo magnético inducido en el rotor.²⁰



El motor de inducción es uno de los equipos eléctricos de mayor aplicación en el ámbito industrial. La mayoría de estos motores de gran capacidad se utilizan en las plantas de la refinería como fuente motriz de los equipos de bombeo de los diferentes productos que se obtienen de la refinación de crudo y demás fluidos necesarios para el proceso.

Figura 70. Partes básicas de un motor eléctrico.²¹



De corriente continua

En general, los motores de corriente continua son similares en su construcción a los generadores. De hecho podrían describirse como generadores que funcionan al revés. Debido a que la velocidad de rotación

²⁰ Tomado de presentación PowerPoint: "Curso de motores eléctricos", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

²¹ Tomado de presentación PowerPoint: "Curso de motores eléctricos", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

controla el flujo de la corriente en la armadura, deben usarse aparatos especiales para arrancar los motores de corriente continua.

Cuando la armadura está parada, ésta no tiene realmente resistencia, y si se aplica el voltaje de funcionamiento normal, se producirá una gran corriente, que podría dañar el conmutador y las bobinas de la armadura.

La velocidad a la que funciona un motor depende de la intensidad del campo magnético que actúa sobre la armadura, así como de la corriente de ésta. Cuanto más fuerte es el campo, más bajo es el grado de rotación necesario para generar un voltaje inducido lo bastante grande como para contrarrestar el voltaje aplicado. Por esta razón, la velocidad de los motores de corriente continua puede controlarse mediante la variación de la corriente del campo.

6. REDUCTORES DE VELOCIDAD

Los reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

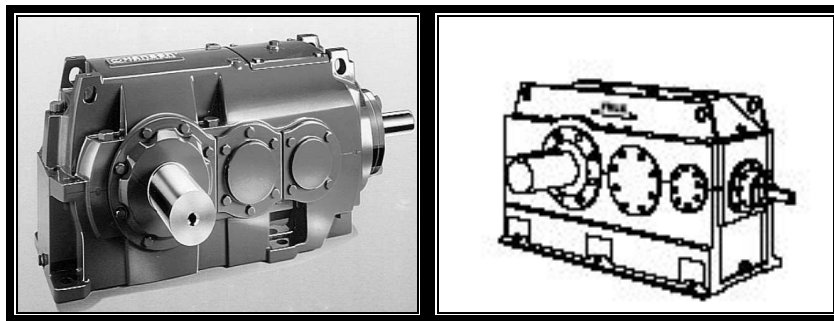
Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

Al emplear REDUCTORES se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.

- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Figura 71. Reductor de velocidad.²²



Los engranajes y los rodamientos están lubricados por inmersión o salpique del aceite alojado en la carcasa. Se debe revisar el nivel del aceite antes de poner en marcha la unidad de reducción. En la carcasa se encuentran los tapones de llenado, nivel y drenaje de aceite. El de llenado posee un orificio de ventilación el cual debe permanecer limpio.

Los reductores tienen una placa de identificación, en la cual se describe el tipo de lubricante a utilizar en condiciones normales de trabajo.

El aceite a usar debe contener aditivos de extrema presión del tipo azufre-fósforo, los cuales le dan características antidesgaste de reducción a la fricción, disminuyendo así la elevación de temperatura en los engranajes; adicionalmente aditivos contra la formación de herrumbre y la corrosión,

²² Tomado del Manual HANSEN P4 - TRANSMISSIONS.

así como agentes especiales para aumentar la estabilidad a la oxidación y resistencia a la formación de espuma.

ANEXO E. LUBRICACIÓN

GENERALIDADES DE LA LUBRICACIÓN

En la actualidad la lubricación no se considera como una ciencia alistada, si no que esta íntimamente relacionada con la fricción, con el desgaste, con los materiales de los equipos, con el diseño, con la operación y con el mantenimiento. Todo se resume como tribología. La vida útil de un equipo se logra si éste se involucra dentro de un sistema tribológico, que con su conocimiento se puede optimizar al máximo la calidad del mantenimiento para garantizar una operación normal y un desgaste mínimo.

Un buen lubricante debe cumplir las siguientes funciones:

- Disminuir el rozamiento.
- Reducir el desgaste.
- Evacuar el calor generado por las perdidas de potencia en el mecanismo.
- Sellar.
- Evacuar impurezas de tipo orgánico o metálico.
- Transmitir potencia.

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA TRIBOLOGÍA

Conociendo los elementos que constituyen la tribología se puede definir para cada equipo o mecanismo diferente los factores que afectan la lubricación y con esto seleccionar un lubricante que evite que estos

elementos afecten la operación de los equipos y que además disminuya el desgaste de los elementos de estos.

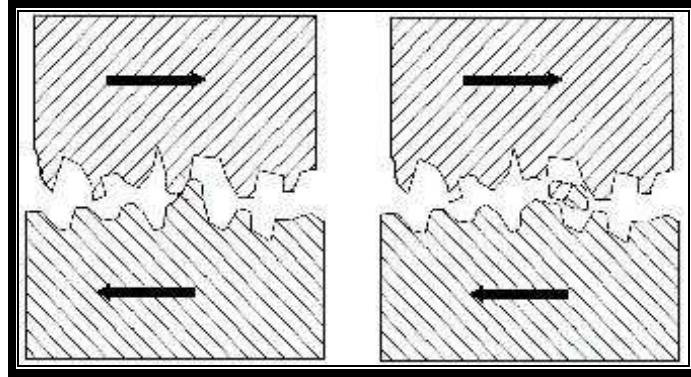
DESGASTE

Un factor importante en la reducción de la vida útil de un mecanismo o elemento mecánico particular de un equipo es el desgaste o deterioro de estos elementos por el contacto de sus rugosidades superficiales, el desgaste también se define como la pérdida de material proveniente de dos superficies que se encuentran en movimiento relativo y puede ser ocasionada por la fricción entre la película lubricante con la rugosidad de las superficies, por el contacto directo entre ellas o por contaminantes externos que hacen variar su forma y por consiguiente alterar el correcto funcionamiento del mecanismo, perjudicando de manera progresiva la operación correcta del equipo. Por cada tipo de contacto hay un tipo de desgaste que depende también del método de lubricación y de la forma en que esta se realiza.

Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo se presenta por contacto metal-metal causado por la pérdida de la película lubricante la cual puede romperse por cargas excesivas, por bajas velocidades o disminución en la viscosidad del lubricante. En el arranque o parada de un equipo donde hay pérdida de la película lubricante se presenta este tipo de desgaste. Los lubricantes deben tener propiedades que disminuyan este desgaste en los equipos.

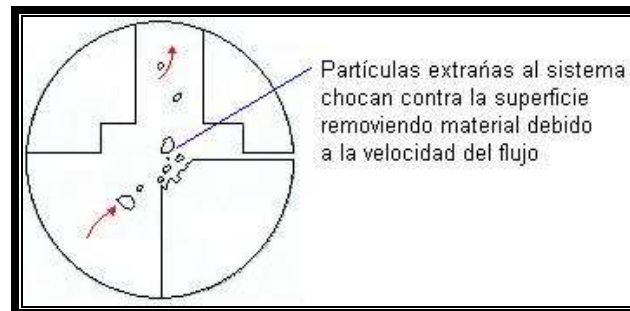
Figura 72. Desgaste adhesivo por contacto metal-metal.



Desgaste Erosivo

Es causado por partículas sólidas que chocan a gran velocidad contra la superficie de algún componente produciendo el desprendimiento de material y generando más partículas contaminantes. Este tipo de desgaste es progresivo, se debe filtrar constantemente el aceite para disminuirlo.

Figura 73. Desgaste erosivo.

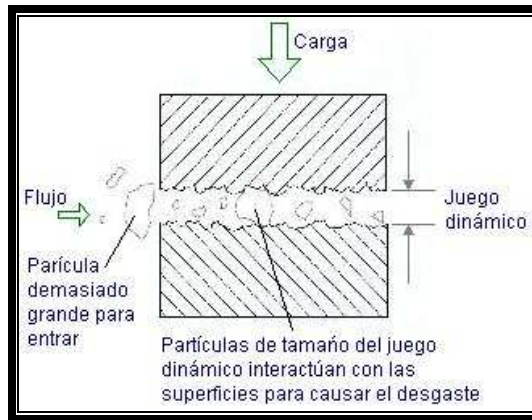


Desgaste Abrasivo

Este desgaste se presenta por la presencia de partículas extrañas de igual o mayor dureza que las superficies en movimiento y/o de mayor tamaño que el juego entre las superficies. Las principales causas del desgaste abrasivo son los cambios dimensionales, sobrecargas, contaminación del aceite con partículas procedentes del medio ambiente o del desgaste adhesivo y/o corrosivo. Los efectos son cambios dimensionales, escapes

de aceite, pérdida de eficiencia y generación de partículas que generan más desgaste. Para proteger las superficies del desgaste abrasivo, las partículas de tamaño aproximado al juego dinámico deben ser removidas.

Figura 74. Desgaste abrasivo.



Desgaste Corrosivo:

Las causas de este tipo de desgaste son el uso del aceite por encima de su frecuencia normal, contaminación del aceite con ácidos o agua, vibraciones y humedad en el ambiente, lo que da lugar a el deterioro lento y progresivo de las superficies metálicas por sustancias ácidas que afectan la metalurgia de los mecanismos y se produce la pérdida de la película lubricante y la humedad corroe las superficies.

ACEITES LUBRICANTES

Los aceites lubricantes tienen varias clasificaciones dependiendo del tipo de aceite base que se use para su fabricación, de los aditivos que posea y de su aplicación, pero la más común de las clasificaciones es en lubricantes minerales, sintéticos y vegetales, siendo los lubricantes minerales los más utilizados, por su bajo costo y comercialidad pero siendo también el más contaminante por su baja biodegradabilidad, luego los sintéticos por los

cuales aun se generan grandes luchas para implementarlos en la industria por sus costos elevados respecto a los minerales (aproximadamente 3 veces mas) pero los cuales tienen mayor biodegradabilidad y mejores propiedades lubricantes, a demás de presentar disminuciones en el ahorro de energía por sus bajos coeficientes de fricción, y por ultimo los lubricantes vegetales los cuales tienen características y propiedades similares a los lubricantes sintéticos siendo estos entre 90% y 100% biodegradables.

Lubricantes Minerales:

Son aceites derivados del petróleo, los cuales están constituidos por un paquete de aditivos que dan propiedades al aceite y una base lubricante que determina la mayor parte de las características del aceite como la viscosidad, el índice de viscosidad, la resistencia a la oxidación, el punto de inflamación, etc.. Las bases lubricantes pueden ser Parafínicas y Nafténicas teniendo cada una características y propiedades lubricantes diferentes sirviendo así para diferentes aplicaciones.

Lubricantes Sintéticos:

Los aceites sintéticos son en su mayoría de amplia aplicación, sin embargo debe tenerse un cuidado especial en su recomendación, ya que el funcionamiento de un equipo depende, además de la lubricación, de factores tan importantes como el proceso, su operación y el montaje del mismo. En sistemas de aire son muy usados los aceites tipos PAO'S (Polialfaolefinas), PAG'S (Polialquilenglicoles), Diésteres, Poliolester y los derivados del Petróleo (principalmente tratados con hidrógeno). Desde luego la gama es muy amplia, ya que hay mezclas de aceites y también aceites sintetizados, derivados del petróleo refinados con fenol y Metilpirrolidina, Éster de fosfatos y unos pocos derivados de siliconas. Las principales propiedades de los aceites sintéticos son:

- Elevado índice de viscosidad; mayor de 100.
- Excelente estabilidad térmica: soportan altas temperaturas sin descomponerse.
- Buena resistencia a la oxidación.
- No son inflamables a altas temperaturas.
- Mínima cantidad de residuos de evaporación.
- Adecuada protección contra la corrosión en ambientes críticos.
- Buena demulsibilidad: Se separan rápidamente del agua, antes que se forme la emulsión.
- Baja tendencia a la formación de espuma.
- Alta conductividad térmica.
- Alta adhesividad a las superficies metálicas.
- Alta miscibilidad a bajas temperaturas y baja solubilidad a altas, con todos los freones, en el caso de los aceites para refrigeración.

ADITIVOS

Los aditivos son sustancias químicas que se les añaden a las bases lubricantes, con el fin de darles ó de mejorarles determinadas propiedades que estos tienen y así obtener aceites lubricantes con cualidades específicas. La calidad de un lubricante depende no solo del tipo de base lubricante y de su proceso de refinación, sino también de la calidad y tipo de los aditivos utilizados.

El porcentaje por volumen de aditivos utilizados en un aceite varía entre el 0,1 (aceites para transformadores) y el 30% (aceites automotores) por volumen. Adicionalmente a los efectos beneficiosos que producen, los aditivos pueden tener efectos colaterales perjudiciales, especialmente si la dosis es excesiva ó si ocurren reacciones entre ellos. Por esto, es responsabilidad del fabricante del aceite obtener un balance exacto entre

los diferentes aditivos para que el desempeño del lubricante sea el óptimo y asegurarse por medio de análisis de laboratorio bajo los estándares de las normas ASTM y pruebas de campo que la combinación de los aditivos lograda no produce efectos colaterales indeseables.

Características de los aditivos:

Las características más importantes son:

- Disminuir la velocidad a la cual ocurren determinadas reacciones, como por ejemplo la oxidación que resulta indeseable en el aceite durante su período de servicio.
- Mejorar la estabilidad de la película lubricante garantizando que cambia menos con las variaciones en la temperatura de operación.
- Proteger las superficies lubricadas de la agresión de ciertos contaminantes como el agua, ácidos, etc.
- Mejorar las propiedades físico-químicas del aceite ó proporcionarle otras nuevas.

En la tabla 2 se especifican las propiedades físico-químicas más importantes de los aditivos.

Tabla 2. Propiedades físico-químicas de los aditivos

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Color	No es de gran importancia, aunque algunas veces se cae en el error de considerarlo un factor determinante de la calidad de un aceite.

Olor	Son inoloros y un olor indeseable sólo se deberá presentar como resultado del proceso de oxidación ó de descomposición normal del aceite
Compatibilidad	Deben ser compatibles entre sí cuando sean necesarios dos ó más aditivos en la misma base lubricante. La compatibilidad debe perdurar hasta que el aceite llegue al final de su vida de servicio.
Solubilidad	Deben ser solubles en la base lubricante para cualquier temperatura de funcionamiento dentro del rango normal. Igualmente no se deben volver insolubles ó parcialmente solubles durante el almacenamiento del aceite.
Insolubilidad	Deben ser insolubles con el agua con el fin de que no sean "lavados" cuando el aceite se encuentre contaminado con ella.
Volatilidad	Deben tener una baja volatilidad para que las moléculas más livianas del aceite no se evaporen cuando el aceite trabaje sometido a altas temperaturas y por lo tanto sea necesario restituir volúmenes apreciables de aceite.
Estabilidad	Debe permanecer estable durante la mezcla, almacenamiento y uso.
Flexibilidad	Sus propiedades físicas y químicas deben ser tales que permitan ampliar el rango de servicio y aplicación del aceite.

Tipos de aditivos

En la Tabla 3 se especifican los principales aditivos que se utilizan en los aceites.

Tabla 3. Tipos de aditivos

TIPO DE ADITIVO	DESCRIPCIÓN
Mejoradores de Índice de Viscosidad (IV)	Su función es mejorar la relación viscosidad-temperatura del aceite, ó sea que la viscosidad del aceite cambie poco con las variaciones en la temperatura de operación. Este efecto también se puede obtener mediante la super-refinación de la base lubricante ó por medio de procesos de síntesis de estructuras orgánicas específicas obteniendo los llamados aceites sintéticos.
Depresores del Punto de Fluidez	Se emplean en los aceites parafínicos con el fin de poderlos utilizar a temperaturas mucho más bajas que si se estuviera utilizando la base lubricante sola.
Inhibidores de la oxidación	Se utilizan para retardar la oxidación del aceite, aun cuando se esté utilizando una base lubricante apropiadamente refinada.
Inhibidores de la corrosión	Protegen los metales no ferrosos, susceptibles a la corrosión por la acción de ácidos presentes en el aceite, los cuales pueden tener su origen en los ácidos orgánicos generados por la oxidación del aceite y/ó por los ácidos provenientes del proceso en el cual está involucrado el funcionamiento de la máquina.
Inhibidores de la herrumbre	Se emplean para proteger las superficies ferrosas (hierro y acero) contra la formación de óxidos, cuando están expuestas al aire húmedo ó al contacto con el agua.
Antiemulsionantes	Se utilizan para separar el agua del aceite cuando este contaminante está presente en el aceite.

Mejoradores del poder detergente-dispersante	Se utilizan para lavar los depósitos como barnices, lacas, gomas y lodos que se forman en la cámara de combustión en los motores Diesel y a gasolina cuando se quema el combustible.
Antiespumantes	Unen las burbujas de aire que se encuentran en suspensión en el aceite, produciendo puntos débiles en ellas lo que da lugar a que se revienten formando burbujas más grandes, las cuales suben más rápidamente a la superficie del aceite en el depósito liberando de esta manera el aire.
Antidesgaste	Se utilizan para reducir la fricción sólida y el desgaste adhesivo cuando se tienen condiciones de película límite en el momento que un mecanismo que va a estar sometido a condiciones de lubricación fluida arranca ó para.
Extrema Presión	Se utilizan en la lubricación de mecanismos que trabajan bajo condiciones de lubricación EHL.

Los aditivos han permitido mejorar el nivel de desempeño de los aceites lubricantes logrando altas frecuencias entre cambios de aceite y reducir considerablemente el desgaste en los mecanismos lubricados. La mayor parte de los aceites utilizados en la actualidad contienen aditivos aunque los lubricantes sintéticos contienen menos aditivos, no obstante se les agregan, con lo cual se logra formular lubricantes de alto desempeño.

TIPOS DE LUBRICACIÓN

El tipo de lubricación depende de la película del lubricante entre las dos superficies a lubricar. La película del lubricante debe ser lo

suficientemente gruesa como para separar los componentes del mecanismo. El espesor necesario de película depende de la rugosidad superficial, la existencia de partículas de suciedad y la duración requerida. También depende de la viscosidad del medio y de las condiciones de funcionamiento, particularmente de la temperatura, velocidad de rotación y, en cierta forma, de la carga. Se pueden distinguir tres situaciones diferentes de lubricación:

- Capa límite
- Lubricación hidrodinámica
- Lubricación elasto-hidrodinámica (EHL)

Lubricación por capa límite:

Se obtiene lubricación por capa límite cuando el espesor de la película del lubricante es de una magnitud similar a las moléculas individuales de aceite. Esta condición se presenta cuando la cantidad de lubricante es insuficiente, o el movimiento relativo entre las dos superficies es demasiado lento. El coeficiente de rozamiento μ en este caso es alto, tan alto como 0.1, y sobre el incipiente contacto metálico puede alcanzar 0.5. Cuando el coeficiente aumenta (esto es, la resistencia aumenta), las pérdidas por rozamiento también aumentan. Estas se convierten en calor, aumentando la temperatura del lubricante y reduciendo su viscosidad de forma que la capacidad de carga de la película se reduce (el caso peor es cuando se reduce tanto que el contacto metálico se produce). Ello se puede evitar empleando aditivos que refuercen la resistencia de la película.

Lubricación Hidrodinámica ó fluida:

La lubricación hidrodinámica o lubricación de película gruesa, se obtiene cuando las dos superficies están completamente separadas por una película de lubricante. El espesor de la película excede así a las irregularidades combinadas de las superficies. El coeficiente del rozamiento es bastante menor que en la lubricación por capa límite, y en ciertos casos puede llegar a 0.005. La lubricación hidrodinámica evita el desgaste de las partes en movimiento, ya que no hay contacto metálico entre ellas.

Lubricación elastohidrodinámica o EHL:

La lubricación EHL se presenta en mecanismos cuyas superficies de fricción trabajan siempre entrelazadas y nunca llegan a separarse (altas presiones) a la velocidad nominal de operación, en este caso las crestas de las rugosidades permanentemente se están deformando elásticamente y el control del desgaste adhesivo y el consumo de energía dependerán de las características de la película adherida a las rugosidades y de la forma geométrica que tengan éstas. En la lubricación EHL las condiciones de película límite son permanentes, ó sea que no hay mucha diferencia entre las condiciones de la puesta en marcha del mecanismo y una vez que éste alcanza la velocidad de régimen. Este tipo de lubricación requiere de la utilización de lubricantes con aditivos de Extrema Presión (EP) en los cuales el producto utilizado como antidesgaste debe tener la suficiente capacidad de soportar altas cargas de compresión y esfuerzos cortantes sin que se rompa la película límite

En La lubricación Elasto-hidrodinámica, las crestas de la rugosidad de una de las superficies del mecanismo en el momento de la interacción con las de la otra superficie se deforman elásticamente sin llegar al punto de

fluencia del material bajo unas condiciones determinadas de carga y temperatura y luego una vez que termina de actuar la carga regresan a su posición original. A pesar de que la velocidad de funcionamiento del mecanismo no es la óptima para que se desarrolle una película hidrodinámica, no obstante, ésta se forma a un nivel más microscópico debido a que el aceite que queda atrapado entre las dos crestas deformadas elásticamente ejerce una presión hidráulica entre ellas formando una película fluida de un espesor mucho menor que el que tendría la que se forma en un mecanismo que funciona bajo condiciones de lubricación fluida.

En la lubricación hidrodinámica el espesor de la película lubricante puede ser del orden de los 5 micrones en adelante, mientras que en la lubricación EHL de 2 micrones ó menos.

Para condiciones de lubricación fluida por lo regular se utilizan aceites de un grado ISO 220 ó menores y sin aditivos de Extrema Presión; para condiciones de lubricación EHL la viscosidad del aceite requerido, por lo regular es de un grado ISO 220 ó mayor y deben contar con aditivos de Extrema Presión

ANEXO F. LUBRICACION EN LA REFINERIA

La lubricación es una de las facetas que mayores problemas presenta en la práctica. No obstante aspirar a la erradicación de estos problemas, es infructuoso si no se unen fuerzas.

En la GCB existe un frente de trabajo conformado por:

- El personal de equipo rotativo.
- Área de lubricación y tribología
- El personal de operaciones.

También se sugiere la participación de los ingenieros de soporte y servicio del área de proceso y un apoyo constante de los jefes de departamento y la gerencia.

Los lineamientos trazados hasta el momento ordenan el vasto campo de la lubricación en tres grandes corrientes interdependientes:

- Lubricación correctiva
- Lubricación preventiva y predictiva
- Lubricación preactiva

La idea es entonces entender el contexto del cual forman parte los operadores y conocer con que herramientas se cuenta en la GCB para aplicar el mejoramiento continuo en la lubricación.

LUBRICACION CORRECTIVA.

Los problemas de lubricación que deben corregirse a diario en la refinería son las altas temperaturas, aceites en mal estado, defectos en la instrumentación, mala filtración, entre otros.

Para ello los **operadores** pueden contribuir en aspectos como:

- Gestionar verificaciones de grado ISO y de tipo de lubricante.
- Gestionar mejoras urgentes en los aislamientos de las máquinas.
- Informar rápidamente sobre aceites sospechosos en mal estado.
- Ayudar a detectar fugas de aceite en los equipos.
- Corregir niveles en los depósitos.
- Corregir fallas en el almacenamiento de los lubricantes en la planta.

En fin, un sin número de tareas fundamentales en el mejoramiento continuo de la lubricación.

LUBRICACIÓN PREVENTIVA

La lubricación preventiva comprende las actividades que evitan los problemas. Se basa en el respeto de las frecuencias (por ejemplo el drenar el agua del aceite diariamente, es una medida preventiva).

Entre más exitosa sea la lubricación preventiva, menos lubricación correctiva será necesario hacer. De esta forma se observa claramente que la lubricación preventiva es la base del mejoramiento continuo de la lubricación en la planta.

Entre las principales actividades preventivas tenemos:

- Cambios de aceite a intervalos de tiempo específicos.
- En equipos que manejen gran cantidad de aceite se recomienda hacer análisis periódicos de estado del aceite.
- Drenado diario del agua presente en el aceite.
- Control sobre el cambio a tiempo de los filtros de aceite.
- Chequeo de las temperaturas con que llega el agua al enfriador.
- Realizar chequeo completo al enfriador.
- Revisión periódica de presiones.
- Hacer periódicamente monitoreo de temperatura en los diversos puntos del sistema de lubricación.
- Hacer periódicamente monitoreo de temperatura y vibración en los rodamientos o cojinetes lisos.

Estas actividades se realizan entre personal de operaciones y de equipo rotativo. El programa de las visitas de lubricación organizado por parte de equipo rotativo, debe aprovecharse para planear, informar y ejecutar trabajos con los operadores.

LUBRICACIÓN PREDICTIVA

Utiliza la medición continua de variables relacionadas con la lubricación, para a partir del estudio de su tendencia poder determinar una acción a tiempo que prevenga el lucro cesante y los grandes gastos por falla inesperada del equipo.

En la GCB se cuenta con dos tecnologías de punta a saber:

- Monitoreo de la condición de rodamientos **SPM**.

- Monitoreo de la condición del aceite (análisis cualitativo).

Monitoreo de la condición de rodamientos SPM:

Se basa en el método de pulso de choque, es decir detecta los choques entre los elementos rodantes y la pista, lo cual es señal de desgaste y/o de mala lubricación. Existen las categorías de SPM eléctrico y mecánico.

SPM eléctrico: Se monitorean dentro del programa los rodamientos de todos los motores eléctricos mayores de 5 HP.

SPM mecánico: Se monitorean aquellas bombas y turbinas que contienen rodamientos. El programa SPM funciona así:

Personal de equipo rotativo realiza visita a los equipos participantes y por medio de los sensores de choque captan la información cuando la máquina está operando. Esta información es almacenada y luego descargada en un colector de datos. Un software procesa esta información a la cual tiene acceso un analista quien es el encargado de interpretar y divulgar la información.

Monitoreo de la condición del aceite:

Es un análisis cualitativo realizado al aceite con un equipo denominado analizador, el cual indica si el aceite esta bueno o malo. Dependiendo del resultado el operador tomará la decisión de cambiarlo o no.

LUBRICACIÓN PROACTIVA.

La lubricación proactiva busca que las reacciones ante un problema, sean fruto del análisis para poder eliminar definitivamente dicho problema.

En la GCB, en el área de lubricación, se efectúan trabajos proactivos como:

- Recuperación de aceites (dialización).
- Programa lubricantes sintéticos.
- Control de la filtración.
- Rediseño de sistemas de lubricación.

Recuperación de aceites en la GCB

En la GCB se realiza recuperación de aceites que tengan perspectivas de vida (40% de vida, en adelante), esta evaluación de la vida del aceite se establece gracias al análisis de aceite. Dializar aceite con menos de un 40% de vida, no es rentable. El aceite dializado se considera con un 80% de vida.

El éxito de este programa radica en que los operadores recolecten bien el aceite ya usado en la planta. Por dos tambores (55 galones cada uno) de aceite usado que entregue la planta, entregue al área de lubricación y tribología, se le devolverá uno ya dializado, el otro tambor va a materiales.

Es importante que los aceites recolectados se clasifiquen, es decir, no mezclar aceites de diferentes grados ISO, marca o serie. El aceite recolectado debe estar libre de la contaminación con agua u otras sustancias.

Programa lubricante sintético:

Durante los últimos años la GCB viene implementando la tecnología de los lubricantes sintéticos en el desarrollo de sus procesos. Los beneficios que traen estos lubricantes con respecto a los derivados del petróleo son muchos: mayor resistencia ante condiciones críticas, menor fricción, mayor vida, lo cual genera menor desgaste, menos paradas de los equipos,

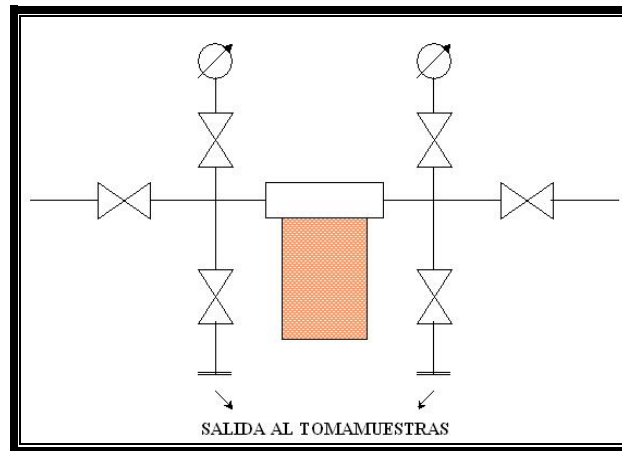
menos consumo de energía y menos consumo de lubricante, mayor vida a la máquina y menos lubricante deteriorado que ofenda el medio ambiente. Sin embargo el costo de estos lubricantes es considerablemente mayor que el de los derivados del petróleo, esta última característica ha frenado la implementación a gran escala de los sintéticos, en nuestro medio. No obstante las ventajas de su uso traen grandes beneficios económicos que hacen sumamente rentables su implementación. Su uso ha sido fundamental en la resolución de problemas en reductores, compresores alternativos, sistemas hidráulicos y turbinas.

Control de la filtración:

La filtración del aceite de lubricación es de suma importancia en el correcto funcionamiento de la máquina. Si la filtración es deficiente la falla del equipo es inminente. Es por esta razón que en los equipos críticos la filtración requiere un control especial basado en técnicas de punta que permiten precisar la eficiencia del elemento filtrante y el momento de su próximo cambio. Técnicas como esta forman parte de las políticas de lubricación predictiva y en GCB se tiene el caso del análisis de aceite, que en el caso de los filtros constituye una poderosa herramienta, que esta en etapa de implementación y seguimiento. La idea es sencilla:

Determinar la cantidad de partículas en una muestra de aceite tomada antes del filtro y en otra tomada después del filtro, con esta información se puede determinar y evaluar su desempeño. El momento de cambio del filtro puede establecerse con el procedimiento descrito. Sin embargo en muchos equipos no existen tomamuestras antes y después del filtro, razón por la cual se requiere su implementación, ver Figura 35.

Figura 75. Presencia de toma muestras antes y después del filtro



La lubricación proactiva propone para los filtros la toma de muestras que revelen si el filtro está haciendo bien su trabajo. La lubricación correctiva y preventiva es lo que hasta el momento se ha realizado: cambio del filtro cuando ya esté muy sucio y se produzca una caída de presión muy alta, o cambio del filtro con una frecuencia fijada por la experiencia o por el fabricante del filtro.

Rediseño de sistemas de lubricación

En algunas máquinas la lubricación representa solo problemas. Estos equipos "problema" requieren soluciones proactivas cuando las correctivas y preventivas no surgen buenos efectos. En algunos de estos equipos es necesario replantear todo el sistema de lubricación para quitarse de encima, definitivamente, los habituales problemas.

SISTEMAS DE LUBRICACION EN LA GCB

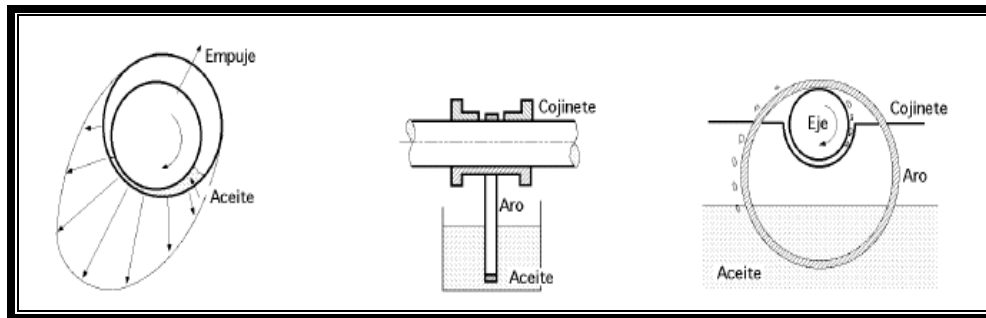
Actualmente en la refinería los equipos se lubrican a través de 3 procedimientos de lubricación:

- Lubricación por anillo.
- Lubricación por circulación de aceite.
- Lubricación por neblina.

Lubricación por anillo

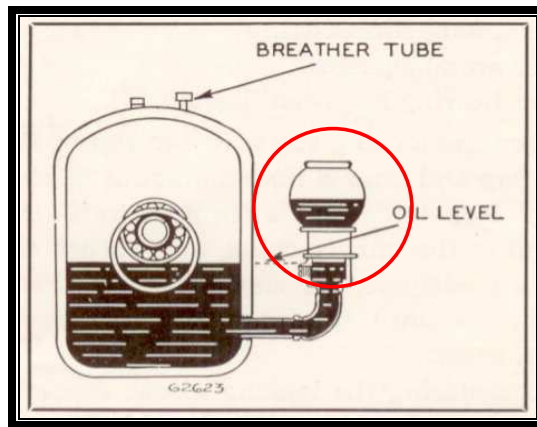
En la lubricación por anillo el equipo es lubricado mediante aros de arrastre de aceite que descansan sobre el eje conductor, el cual recoge el aceite del deposito y lo transporta hasta la parte superior, en donde lo distribuye sobre la superficie del cojinete liso o el rodamiento, de donde se introduce en el espacio comprendido entre el eje y el soporte, por gravedad, originándose allí la presión requerida por el efecto de bombeo del eje en su rotación. Ver Figura 76.

Figura 76. Sistema de lubricación por anillo



En este sistema de lubricación el aceite es arrastrado por el anillo desde el carter del equipo hacia el elemento rotativo de soporte de carga (rodamientos y cojinetes). En los equipos cuyo volumen de aceite es menor o igual a cinco litros (5 L) el nivel de aceite en el carter es controlado mediante un deposito auxiliar de aceite conocido como aceitera de nivel constante o botella. Ver Figura 77.

Figura 77. Aceitera de nivel constante o botella

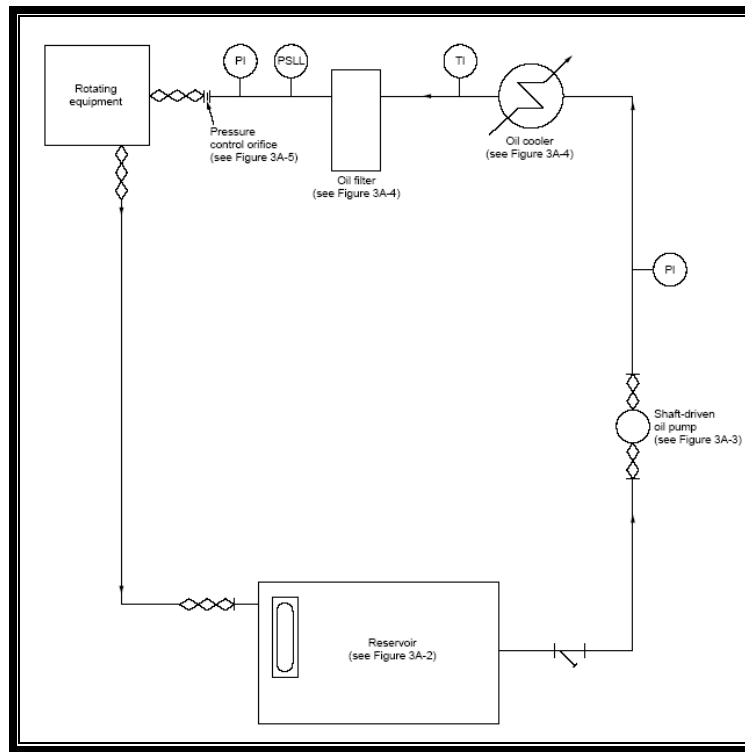


Lubricación por circulación de aceite

En este sistema de lubricación se utiliza un circuito cerrado (Ver Figura 78) para realizar la inyección de aceite a presión en el cojinete. Este sistema básicamente cuenta con:

- un tanque de aceite
- un sistema de bombeo
- un filtro
- válvulas y tuberías.

**Figura 78. Circuito básico de un circuito de circulación de aceite.
Norma API 614**



El aceite es impulsado por una bomba de desplazamiento positivo generalmente de engranajes internos. En este sistema el equipo lubricado cuenta con el anillo de lubricación con el objetivo de garantizar un mayor flujo de aceite a los rodamientos o cojinetes en el momento de la puesta en marcha del equipo.

Las ventajas de este sistema sobre el sistema de lubricación son:

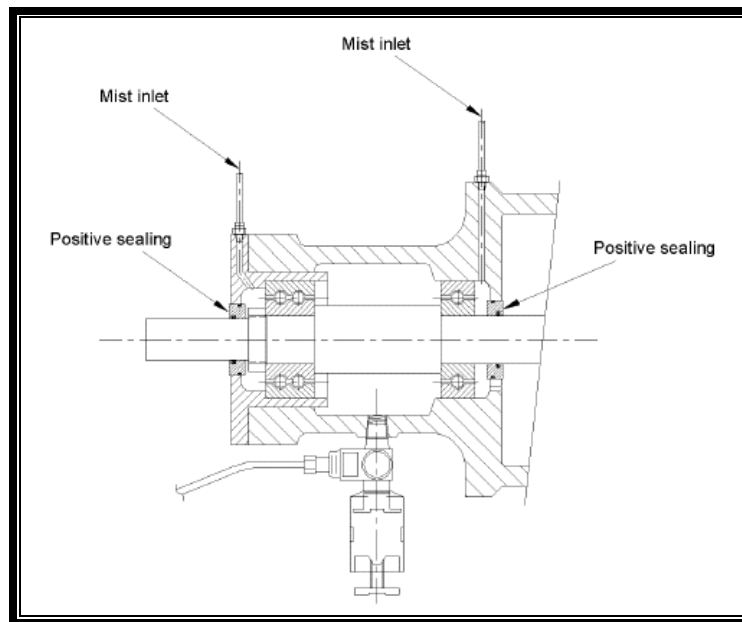
- contribuye al enfriamiento de los elementos lubricados.
- Limpia constantemente los elementos lubricados.
- Garantiza que el aceite de entrada al elemento lubricado sea constantemente filtrado.
- Garantiza un flujo de aceite constante.
- Permite lubricar diferentes equipos (Sistema Centralizado de Lubricación-SCL).

- Se aumenta el tiempo medio de cambio de aceite.

Lubricación por neblina (lubricación por pulverización de aceite)

Este sistema consiste en suministrar en diferentes puntos una alimentación continua de aceite de lubricación, atomizado mediante un sistema de distribución a baja presión utilizando aire comprimido. Ver Figura 79.

Figura 79. Lubricación por neblina



Existen dos sistemas de lubricación por pulverización de aceite:

Sistema Dry Sump Oil Mist:

Consiste en la eliminación del depósito de aceite en la caja de cojinetes (cárter seco), que se lubrican directamente mediante un suministro continuo de aceite fresco. La turbulencia generada por la rotación de los cojinetes hace que las partículas de aceite suspendidas en la corriente de la nube de aceite, condensen en los elementos rodantes, mientras la niebla pasa a través de los cojinetes y sale a la atmósfera; esta técnica ofrece una serie de ventajas, como:

- Las partículas de desgaste de los cojinetes no se reciclan a través de los cojinetes, sino que son arrastradas al exterior.
- Se elimina el cambio periódico de aceite.
- No existe el problema de descomposición del aceite, ni la formación de barros, así como la contaminación.

No es efectivo para cojinetes de camisa, ya que se necesitaría una gran cantidad de aceite.

Sistema Purge Oil Mist:

Consiste en la inyección de una nube de aceite, para reponer el de la caja de cojinetes. En este sistema se utiliza un depósito de aceite convencional integral con la caja de cojinetes; la niebla de aceite tiene como misión aportar lubricante para contrarrestar las pérdidas que del mismo se originan; si el aporte es correcto, el sistema suministra la lubricación adecuada cuando por cualquier razón, el nivel de aceite en la caja de cojinetes desciende por debajo del aro de aceite o parte inferior del cojinete. El aceite se inyecta en la caja de cojinetes a una presión ligeramente superior a la atmosférica; este sistema previene de la entrada de humedad y polvo del aire exterior; sin embargo no evita la contaminación del aceite de la caja, como consecuencia del deterioro del aro de aceite o la pérdida de los aditivos antioxidantes.

PARTES DE LOS EQUIPOS QUE REQUIEREN LUBRICACIÓN.

No se puede lubricar bien algo que no se conoce. Los mecanismos de las máquinas de la refinería que se lubrican son:

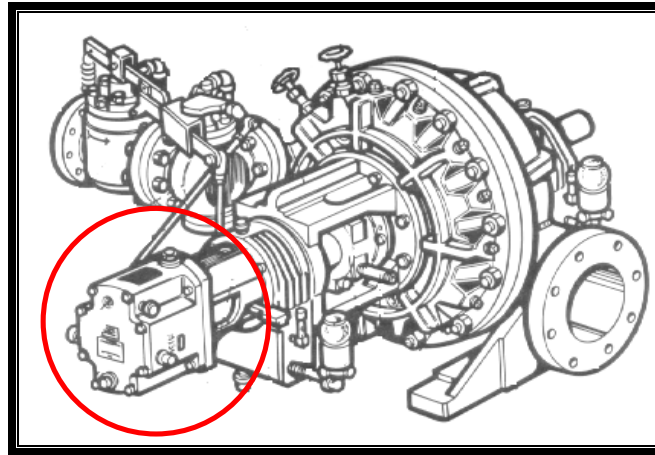
1. *Cojinetes lisos*: Ellos soportan cargas radiales o de empuje, según sea el caso. Se utilizan preferiblemente en máquinas cuyo eje se mueve a alta

velocidad (más de 3.600 RPM), como es el caso de las turbinas de vapor, los turbocompresores centrífugos y bombas centrífugas de gran capacidad.

2. *Cojinetes por rodadura (rodamientos)*: Ellos soportan cargas radiales y de empuje. Son preferidos a bajas velocidades. La forma del elemento rodante (bola, cilindro o aguja) influye en la capacidad y tipo de carga que soporta el rodamiento; los cilindros y agujas son muy utilizados en cargas de empuje y en otros casos en altas cargas radiales. Los rodamientos a bola se prefieren en cargas radiales pero a la vez toleran altos valores de carga de empuje.
3. *Reductores de velocidad*: Consiste en una caja de engranajes muy utilizada para acoplar máquinas conducidas que no trabajan a la misma velocidad del conductor.
3. *Acoples de engranajes*: Un acople “une” el eje de una máquina conductora, con el de la máquina conducida para transmitirle la potencia necesaria al ejecutar un trabajo.
5. *Gobernadores*: El gobernador (ver Figura 41) regula la velocidad de la turbina. Existen varios tipos:
 - Mecánico.
 - Hidráulico.
 - Electrónico.

La mayoría de turbinas en la refinería cuentan con gobernadores mecánicos (Figura 40) cuyo principio es la acción de la fuerza centrífuga sobre unas pesas que originan un movimiento que se aprovecha para abrir o cerrar la válvula de admisión de vapor.

Figura 80. Sistema de gobernación de una turbina de vapor



La gobernación hidráulica cuenta con un sistema hidráulico automático el cual se encarga de abrir a cerrar la válvula de paso de vapor a la turbina dependiendo de la velocidad de esta. Actualmente también se utilizan los gobernadores electrónicos los cuales trabajan con un circuito neumático para abrir ó cerrar la válvula de entrada de vapor a la turbina, estos no requieren lubricante.

En la Tabla 4 se muestran los tipos de aceite y el grado iso a utilizar en los equipos de aplicación los diferentes equipos de la refinería.

Tabla 4. Grado ISO del aceite y NLGI de la grasa ²³ para diferentes equipos rotativos

No	APLICACIÓN	TIPO DE LUBRICANTE			
		MINERAL		SINTETICO	
		ACEITE	GRASA	ACEITE	GRASA
Turbinas de vapor					
1	Lubricación por anillo y temperatura de operación hasta 80°C.	ISO 68		ISO 46	
	Lubricación por anillo y temperatura de operación mayor de 80°C y hasta 130°C.	ISO 220		ISO 46	
	Lubricación por presión, con filtro y enfriador de aceite.	ISO 68		ISO 46	

²³ Tomado Artículo Ingenieros de Lubricación. Por Pedro Albarracín Aguillón. Enero de 2004.

2	Turbinas de gas				
	Lubricación por circulación.			ISO 22	
3	Motores eléctricos				
	Velocidad hasta 1.800 rpm	ISO 68		ISO 46	NLGI 2
	Velocidad entre 1.800 y 3.600 rpm.	ISO 32		ISO 46	NLGI 2
4	Bombas				
	Centrífugas	ISO 68		ISO 46	NLGI 2
	Alternativas	ISO 150		ISO 100	NLGI 2
5	Compresores alternativos para aire y refrigeración				
	Carter y cilindro, para presiones de descarga menores de 150 psig	ISO 68		ISO 46	
	Carter, para presiones de descarga iguales ó mayores a 150 psig.	ISO 150		ISO 100	
	Cilindro, para presiones de descarga iguales ó mayores a 150 psig.	ISO 200 o 320		ISO 150	
6	Compresores alternativos para H2				
	Carter			ISO 150	
	Cilindro			ISO 100	
7	Compresores centrífugos				
	Cojinetes lisos	ISO 32 o 46		ISO 32	
8	Compresores de tornillo de cámara de compresión seca				
	Engranajes y rodamientos	ISO 220		ISO 150	
9	Compresores de tornillo de cámara de compresión húmeda				
	Rodamientos y tornillos, y velocidad de 1.800 rpm.	ISO 68		ISO 46	
	Rodamientos y tornillos, y velocidad de 3.600 rpm.	ISO 32		ISO 32	
10	Turbocompresores				
	Cojinetes lisos y acoples.	ISO 32 o 46		ISO 32	
	Sistema de aceite de sello.	ISO 32 o 46		ISO 32	
11	Turbogeneradores				
	Cojinetes lisos y acoples.	ISO 32 o 46		ISO 32	
12	Ventiladores de calderas				
	Lubricación por anillo.	ISO 68		ISO 46	
13	Bombas dosificadoras de químicos				
	Reductor sinfín-corona.	ISOEP320		ISOEP220	
	Diafragma.	ISO 68		ISO 46	
14	Reductor de velocidad accionado por turbina de vapor				
	Engranajes y rodamientos.	ISO 68		ISO 46	
15	Incrementador de velocidad				
	Engranajes y rodamientos.	ISO 46		ISO 32	
16	Sopladores de lóbulos				
	Engranajes y rodamientos.	ISO 220		ISO 150	
17	Ventilador de Hornos				
	Rodamientos.				NLGI 2
18	Motores eléctricos y bombas lubricados por niebla de aceite				
	Rodamientos.	ISO 68		ISO 46	
19	Gobernadores de velocidad				
	Contrapesas y guías.	ISO 68		ISO 46	

20	Sistemas hidráulicos			
	Servo-válvulas.	ISO 68		ISO 46
21	Lubricación de corrugadores y molinos papeleros			
	Cojinetes lisos.	ISO 220		ISO 150
22	Lubricación de molinos de bola			
	Cojinetes lisos	ISO 460EP		ISO320EP
23	Reductor de sinfin-corona			
	Engranajes y rodamientos.	ISO 320 a 680		ISO 320EP
24	Cadenas de transmisión			
	Rodillos y eslabones.	ISO 220 a 460		ISO 220
25	Acoples de piñones			
	Piñones y carreta.		NLGI 2 con MoS2	NLGI con MoS2

MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS TAMBORES DE ACEITE

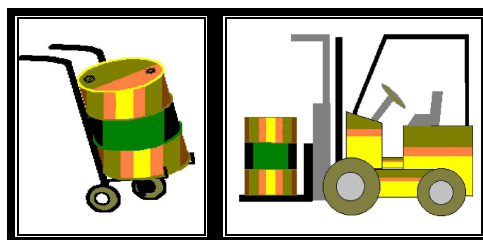
Previsiones de exposición del personal con el lubricante

- Se debe utilizar ropa para proteger todo el cuerpo.
- Se debe evitar las exposiciones prolongadas al lubricante.

Manejo de los tambores con el lubricante

- Se debe usar ropa que proteja todo el cuerpo.
- Se debe utilizar las Botas de seguridad para evitar golpes en los pies y guantes que protejan de las esquirlas de metal de los tambores.
- Use elementos apropiados para el acarreo y levante de los tambores, no los ruede y no los golpee. Ver Figura 81 y 82

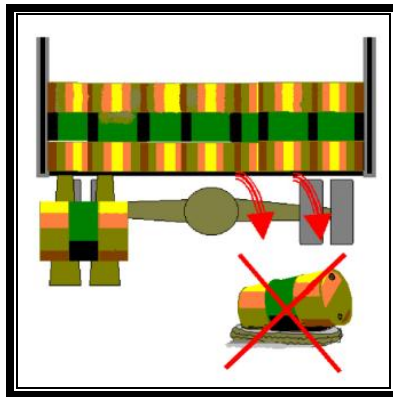
Figura 81. a) Carreta, b) Montacarga.



a.

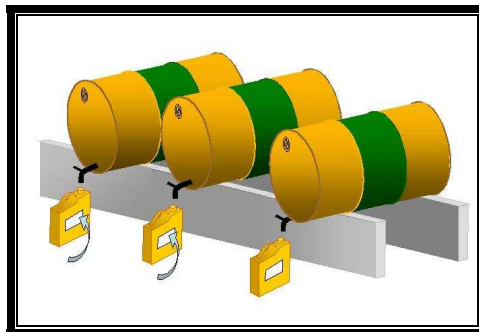
b.

Figura 82. No golpear los tambores en la descarga.



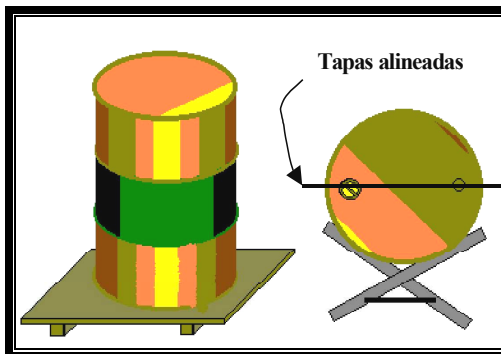
- Utilice recipientes limpios para cada tipo lubricante así evitará contaminarlo.
- Los tambores en uso deben estar en posición horizontal provistos de grifos o válvulas (D = 3/4 pulg.) que llenen los recipientes asignados. Ver Figura 83.

Figura 83. Tambores en posición horizontal



- Los tambores con producto en almacenamiento deben estar con las tapas hacia abajo, cubiertos o bajo techo, en lo posible evitar su contacto con el piso para evitar herrumbre. Si la disposición es horizontal sobre soportes las tapas deben estar alineadas. Ver Figura 84.

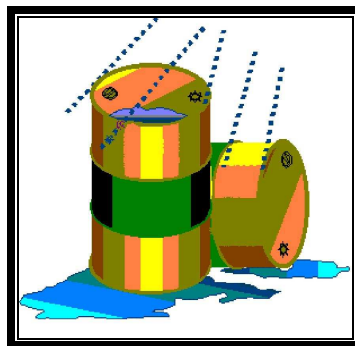
Figura 84. Posiciones correctas de los tambores de almacenamiento del aceite



Condiciones de almacenamiento de los tambores de aceite

- Mantener alejado de fuentes de calor.
- Mantener alejado de agentes oxidantes y corrosivos. Ver Figura 85
- Areas ventiladas. Si las áreas están confinadas usar ventilación forzada.

Figura 85. Presencia de agentes oxidantes y corrosivos



Elementos de protección personal-EPP

En manejo de aceite:

- Use ropa que proteja todo el cuerpo
- Usar gafas de seguridad o careta facial
- Guantes de nitrilo, neopreno u otros resistentes a solventes

- Cuando se está en los equipos haciendo cambios de aceite en lo posible use delantal, siempre y cuando estos no estén en movimiento. Si el ambiente esta contaminado con alto contenido de partículas y gases utilice mascarilla.

Con empaque metálico:

- Ropa que cubra todo el cuerpo
- Guantes de vaqueta u otro material resistente que proteja de esquirlas de metal de los aros del tambor.

Figura 86. Elementos de Protección Personal EPP



ANEXO G. ANÁLISIS DE VIBRACIONES

CONCEPTOS BÁSICOS DE ANÁLISIS²⁴

Una vibración mecánica se define como el movimiento oscilatorio de una máquina, de una estructura o de una parte de ellas, alrededor de su posición original de reposo. Siendo una de las formas más simples de vibración el movimiento armónico, el cual puede ser obtenido cuando se hace vibrar libremente un sistema masa resorte.

De los conceptos más usados frecuentemente en el análisis de las vibraciones se destacan el desplazamiento, velocidad y aceleración vibratorios, frecuencia de vibración y diferencia de fase. La teoría de vibraciones, acompañada de ensayos experimentales, ha logrado establecer relaciones entre el estado vibratorio de una máquina y su condición mecánica. En este sentido, se ha podido constatar que la señal vibratoria, es en general difícil de analizar en el dominio del tiempo, (forma de onda o de la vibración en el tiempo), de aquí que sea necesario su análisis en el dominio de la frecuencia. Se entiende por ello, a la descomposición de una vibración global proveniente de diferentes fuentes de excitación, en sus componentes que la conforman. De esta manera se ha podido definir la relación existente entre los espectros vibratorios y las probables fallas en desarrollo.

²⁴ Tomado Manual Ruta de Tribología Operativa. Por Iovan David Mendaza. GCB 2004

EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD VIBRATORIA.

La severidad de una vibración debe ser definida respecto al daño específico que ella pueda generar. De esta forma, las razones porque se establecen límites para las vibraciones, son de dos tipos:

Límites absolutos son establecidos para avisar de condiciones que podrían resultaren fallas de la maquinaria o elementos asociados.

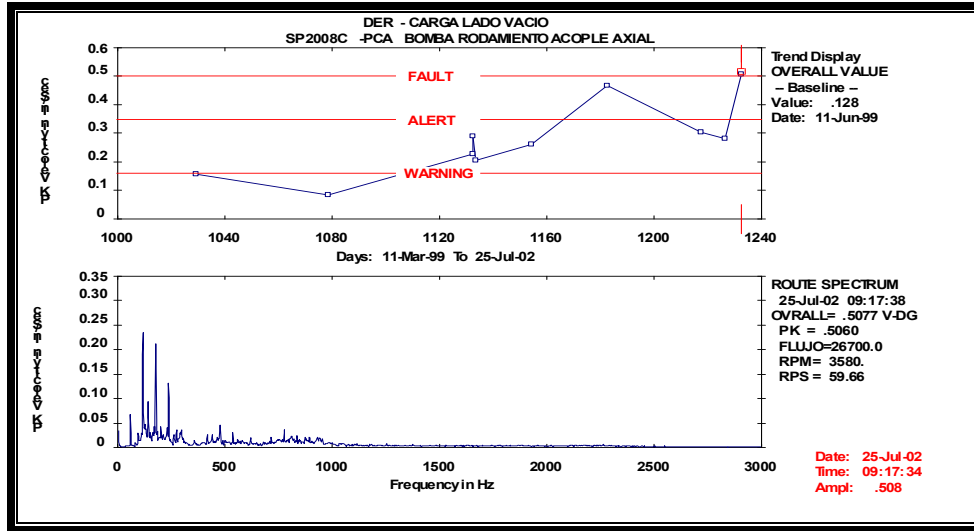
Límites para el cambio en los valores, son establecidos para proveer un aviso temprano de variaciones anormales.

Los organismos internacionales que regulan los estándares de severidad vibratoria son múltiples, sin embargo sus normativas pueden ser en la práctica consideradas equivalentes. Se destacan entre otras: ISO 2372, ISO 3945, VDI 2059, VDI 2063, ISO 2373 e ISO 2361/1, API 670. En forma general es necesario destacar que el parámetro de Velocidad Vibratoria es el que frecuentemente se utiliza para determinar el nivel de severidad vibratorio.

TENDENCIAS VIBRATORIAS.

Las tendencias de los niveles vibratorios tienen relevante importancia cuando se hace referencia al Mantenimiento Predictivo, pues es justamente su monitoreo el que facilita el prever las fallas futuras de la maquinaria y con esto llevar a cabo una óptima programación de las reparaciones. En la figura 87 se muestra el típico gráfico de tendencias vibratorias.

Figura 87. Oscilograma y tendencia.



En el estudio de tendencias se debe considerar lo siguiente:

- Fijar y mantener las condiciones a las cuales se tomarán las vibraciones a través del tiempo.
- Mantener una adecuada periodicidad de la toma de vibraciones.
- Elegir el parámetro de monitoreo según condiciones de operación de la máquina.

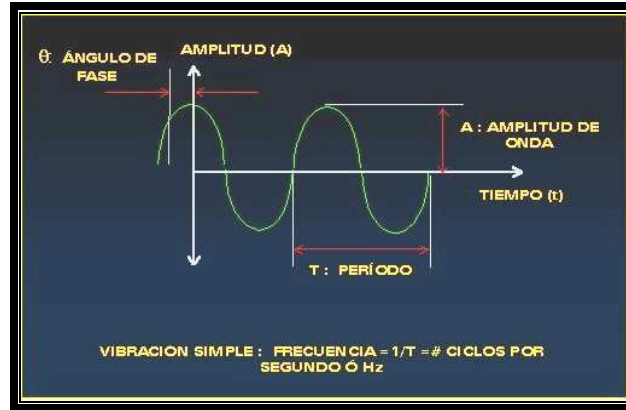
Efectuar proyección de niveles vibratorios, de acuerdo a experiencia que se tenga de la máquina en particular.

VIBRACIONES MECÁNICAS

Una vibración mecánica se define como el movimiento oscilatorio de una máquina, de una estructura o de una parte de ellas, alrededor de su posición original de reposo. Siendo una de las formas más simples de vibración el movimiento armónico, el cual puede ser obtenido cuando se hace vibrar libremente un sistema masa resorte. La mayoría de los conceptos frecuentemente usados en el análisis de las vibraciones son:

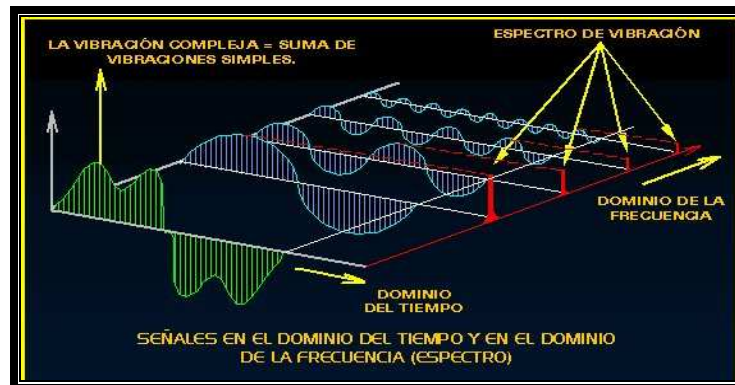
desplazamiento, velocidad y aceleración vibratoria, frecuencia de vibración y diferencia de fase.

Figura 88. Características de la vibración



La teoría de vibraciones, acompañada de ensayos experimentales, ha logrado establecer relaciones entre el estado vibratorio de una máquina y su condición mecánica. En este sentido, se ha podido constatar que la señal vibratoria, es en general difícil de analizar en el dominio del tiempo, (forma de onda o de la vibración en el tiempo), de aquí que sea necesario su análisis en el dominio de la frecuencia. Se entiende por ello, a la descomposición de una vibración global proveniente de diferentes fuentes de excitación, en sus componentes que la conforman. Ver figura 89.

Figura 89. Espectro de una vibración.

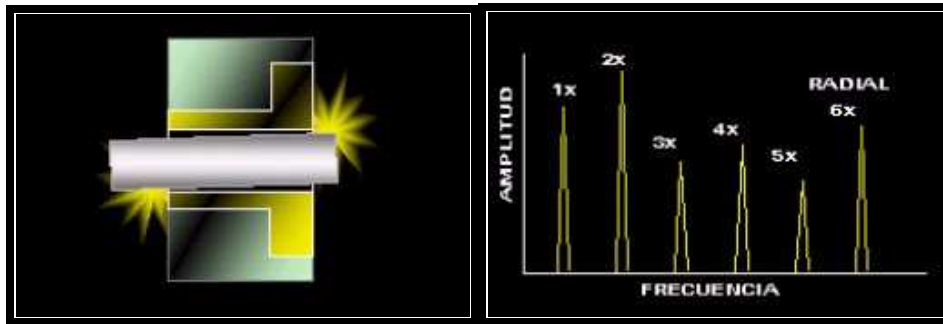


Podemos citar algunos casos particulares de diagnostico de fallas en elementos mecánicos en equipo rotativo:

Desgaste o juego:

Producido frecuentemente por desgaste de bujes o aflojamiento de manguitos. El espectro muestra presencia de armónicos a velocidad nominal.

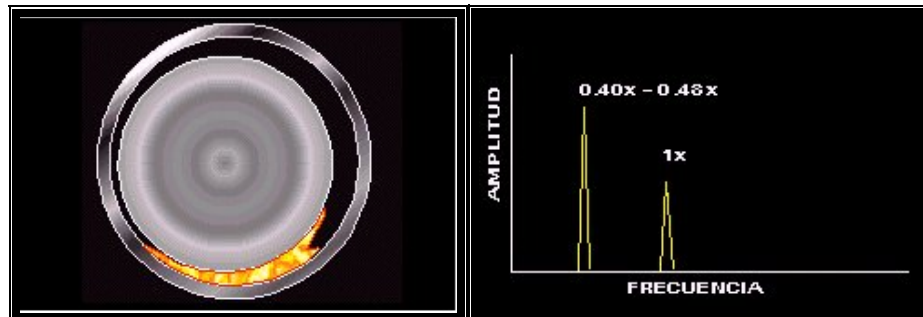
Figura 90. Juego mecánico



Remolino de aceite

Normal en chumaceras y crítico si el desplazamiento supera 0.5 veces la holgura eje-agujero. Ocurre entre 0.40X y 0.48X RPS y es muy grave si supera 0.5 veces la holgura eje-agujero. El fenómeno es excesivo si sobrepasa el 50% del juego.

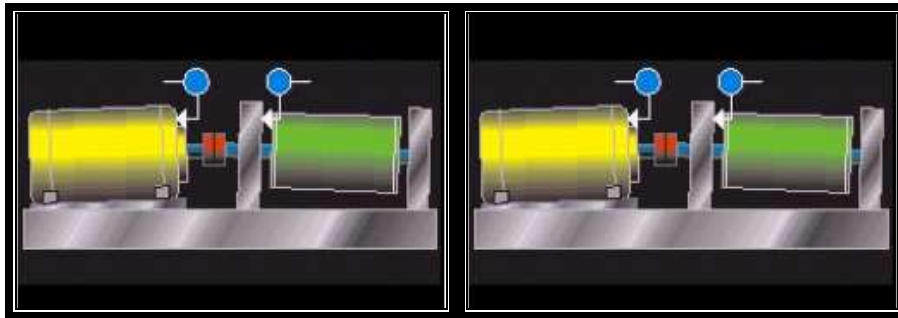
Figura 91. Remolino de aceite



Desalineamiento angular

Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos. Caracterizado por altas vibraciones axiales. 1 X RPS y 2 X RPS son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3 X RPS. Estos síntomas también indican problemas en el acople.

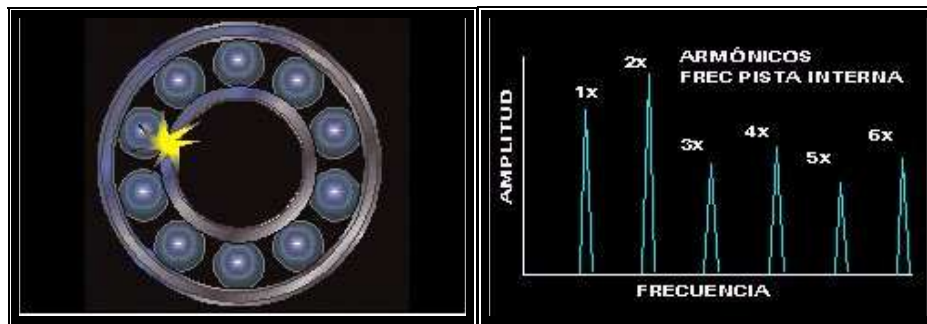
Figura 92. Desalineamiento angular



Falla en rodamientos (falla en pista interna)

Agrietamiento ó desprendimiento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz.

Figura 93. Falla en rodamientos



ANEXO H. DOCUMENTO OFICIAL



SISTEMA DE MONITOREO DE LA CONDICION DEL ACEITE LUBRICANTE NUEVO Y USADO ECOPETROL-GCB *ATP-Tribología*

Abril de 2005 - Barrancabermeja

INTRODUCCION

El Sistema De Monitoreo De La Condición Del Aceite Lubricante Nuevo Y Usado es un programa de **monitoreo periódico cuantitativo** de la condición del aceite lubricante nuevo y usado de los 700 equipos rotativos críticos de la, para predecir y prevenir las posibles fallas de estos. Consiste en un análisis periódico trimestral del aceite en los laboratorios del proveedor de lubricante, apoyado con uno de vibraciones y temperatura del equipo, que correlacionados permite a los ingenieros y técnicos de confiabilidad entregar mediante una Base de Datos, al personal de operaciones la información técnica de lubricación de cada equipo, las posibles causas de falla, las recomendaciones necesarias para corregirlas antes de que ocurran y el comportamiento de cada equipo a través del tiempo, convirtiéndose así en un instrumento de predicción y prevención de fallas para los

equipos críticos de la refinería, disminuyendo con esto las pérdidas de dinero por paradas de planta no programada.

OBJETIVOS DEL PROGRAMA

- Garantizar una recolección programada de muestras de aceite en los equipos críticos en cada una de las plantas de la GCB para su correspondiente análisis de laboratorio.
- Monitoreo de la condición de aceite lubricante para cada uno de los equipos críticos mínimo tres veces en el año.
- De acuerdo a los resultados de laboratorio en el análisis de los aceites usados, generación automática de tendencias graficas de los parámetros significativos del aceite con los límites permisibles para cadaa equipo.
- Seguimiento detallado de la evolución en las características del aceite lubricante que presento anomalías en los resultados de laboratorio, y tendencia al desgaste de los componentes lubricados, para cualquier equipo que amerite seguimiento de acuerdo al criterio del ingeniero de lubricación o de confiabilidad.
- Flexibilidad en la programación de los equipos críticos de tal forma que se pueda introducir nuevos equipos en el Programa en los que se justifica un análisis de laboratorio de su aceite.
- Consultar información pertinente para los equipos críticos programados, como cambio de aceite, aceite lubricante que usa, descripción del mecanismo lubricado, resultados de laboratorio para la

muestra tomada del equipo, recomendaciones acerca de los resultados, acciones tomadas por el ingeniero de confiabilidad en el equipo de acuerdo a los resultados, conclusiones para el equipo que entro en seguimiento, propiedades físico-químicas de los aceites lubricantes utilizados en las familias de equipos de la GCB, tabla de equivalencias entre aceites, aplicaciones de los aceites lubricantes y su referencia.

- Generación de acciones determinantes de acuerdo a los resultados de laboratorio para mejorar las condiciones operacionales tanto del equipo como del aceite lubricante que utiliza, tales como filtración, dializacion y cambio del aceite lubricante.

PROCEDIMIENTO PARA UTILIZAR EL PROGRAMA

1. En la dirección **W:\OPTIMIZACION\06.Integridad Operativa\PFIs\2. Enfoque Confiabilidad\Análisis de Aceite**, encuentra una carpeta llamada programación donde encontrará un archivo "Programa" se da clic en él, para ver la programación de la toma de muestras para cada planta, o si se desea obviar este paso y se puede consultar los equipos para toma de muestra desde la BD donde hay un botón llamado "programación".
2. En la dirección **W:\OPTIMIZACION\06.Integridad Operativa\PFIs\2. Enfoque Confiabilidad\Análisis de Aceite** - se encuentra un archivo llamado **BD**, se da doble clic en él.

Esta es la Base de Datos, en la cual se encuentra toda la información referente a los análisis del laboratorio.

CICLO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE LUBRICACION

1. Consultar equipos a los cuales se les va tomar muestra de aceite.
2. Toma de la muestra por parte del responsable en cada planta.
3. Recolección de la muestra de aceite en el cuarto de control correspondiente.
4. El ingeniero de soporte de la empresa suministradora de lubricantes a la GCB, envía los datos pertinentes de las muestras de aceite a ser analizadas al administrador del SAAU (quien es funcionario de la GCB).
5. Envío de las muestras al laboratorio para su correspondiente análisis.
6. El administrador de la BD programa el envío.
7. Recepción de los resultados del laboratorio a los 2 días siguientes del envío de la muestra.
8. El administrador del programa exporta los resultados de laboratorio al programa.
9. Automáticamente se genera el archivo de consulta con los resultados de laboratorio de las muestras de aceite, en la BD y sus correspondientes tendencias.
10. Cada ingeniero de confiabilidad y el ingeniero de lubricación de la GCB consulta los resultados y recomendaciones enviadas desde el laboratorio.
11. De acuerdo a los resultados y recomendaciones registradas en la BD se toma por parte del ingeniero de confiabilidad la decisión de clasificar un equipo en seguimiento y asignarle un código para su correspondiente análisis y generación de acciones tendientes a mejorar las condiciones del equipo, tales como filtración, dialización y cambio de aceite, dando sus respectivas recomendaciones al personal de operaciones.

FUNCIONES DE LOS ACTORES PARTICIPANTES DEL PROGRAMA

Líder De Tribología Operativo

- Responsable de la recolección de la muestra de aceite programada en la BD.
- Asegurar el correcto etiquetamiento de cada una de las muestras.
- Brindar la capacitación necesaria para la consulta de resultados de laboratorio en la BD para quien requiera dicha la consulta.
- Capacitación del personal de planta (operarios) en el procedimiento de toma de muestra de aceite.
- Garantizar que se cuente con el suficiente número de frascos de muestra de aceite.

Ingeniero de soporte del proveedor de lubricantes

- Recolección de la muestras de aceite en cada planta.
- Enviar las muestras para análisis de laboratorio semanalmente.
- Asegurar el número suficiente de recipientes de muestreo y de etiquetas en cada planta.
- Capacitar al líder de tribología en la toma correcta de la muestra de aceite.

Ingeniero de confiabilidad

- Consultar los resultados de los equipos de la planta correspondiente.
- Registrar datos pertinentes al seguimiento de los equipos.
- Tomar acciones predictivas de acuerdo a los resultados.
- Generar Ots correctivas con respecto a los aceites analizados.
- Hacer seguimiento a las Ots correctivas.

Ingeniero de lubricación (*Administrador del programa de lubricación*)

- Programar envío de muestras semanalmente.
- Exportar resultados de laboratorio a la BD.
- Actualizar registros de equipos en la BD de acuerdo a necesidades del negocio.
- Dar conferencias de capacitación a los líderes de tribología operativos e ingenieros de confiabilidad en la filosofía del programa, el manejo de la BD e interpretación de los resultados de laboratorio.
- Dar asesoría que requieran los clientes internos.
- Enviar informes con los índices de gestión del programa a los jefes de departamento.

ANEXO I. RESULTADOS OBTENIDOS

MANUAL DE LAS ANOMALIAS DE LUBRICACION MAS FRECUENTES EN LA REFINERIA

1. Drenaje de aceite inadecuado

El drenaje de aceite es inadecuado debido a:

- Se encuentra muy cerca de la base de la plataforma, lo cual no permite tomar las muestras de aceite, al no ser posible colocar la botella de recolección. Ver Figura 1.
- Es de difícil acceso debido a que el guarda-acople está muy cerca de la carcasa del equipo rotativo y no hace posible la toma de la muestra de aceite.
- La válvula de drenaje se encuentra en posición horizontal pero está muy cerca al equipo rotativo o no tiene el codo al final. Figura 2.

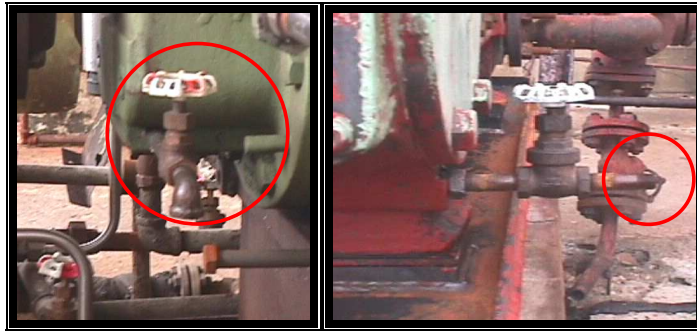
Figura 1. a) Drenaje cerca de la plataforma, b) Válvula en posición de difícil acceso y apertura.



a.

b.

Figura 2. a) Válvula de drenaje de aceite ubicada muy cerca del equipo, con codo y sin tapón, b) La válvula no tiene el codo de 90° ni el tapón.



a.

b.

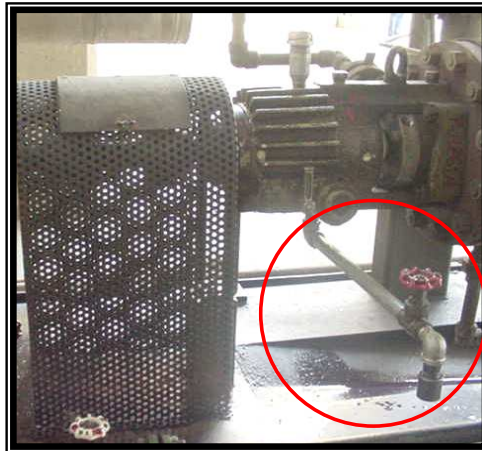
Recomendaciones:

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La válvula de drenaje debe quedar en posición horizontal.
- De ser factible, el niple vertical a la salida del drenaje de aceite del equipo rotativo debe ser lo más corto posible, con el fin de darle más altura a la válvula de drenaje.
- La válvula de drenaje debe estar al final del tramo horizontal
- Después de la válvula de drenaje se debe instalar un codo de 90° y en el extremo de éste, un tapón macho para evitar el escape de aceite, en caso de que la válvula de drenaje en algún momento esté defectuosa.
- El tramo de tubería horizontal debe ser lo más corto posible pero que sobresalga de la carcasa del equipo rotativo.
- El diámetro de la tubería debe ser de ½" y debe estar lo suficientemente apretada de tal manera que cuando se abra la válvula de drenaje la tubería no oscile.
- El material de la tubería y de la válvula de drenaje debe ser de acero inoxidable 304.

En la figura 3 se aprecia el montaje correcto de la tubería y la válvula de drenaje de los equipos rotativos.

Figura 3. Montaje correcto de la tubería y la válvula de drenaje del aceite de los equipos rotativos.



2. Intercambiador de calor inadecuado:

Intercambiador de calor de baja eficiencia para enfriar el aceite de lubricación, lo cual da lugar a elevadas temperaturas de operación. Ver Figura 4.

Figura 4. En este caso, el incrementador de velocidad presenta alta temperatura debido a que el intercambiador de calor es ineficiente.

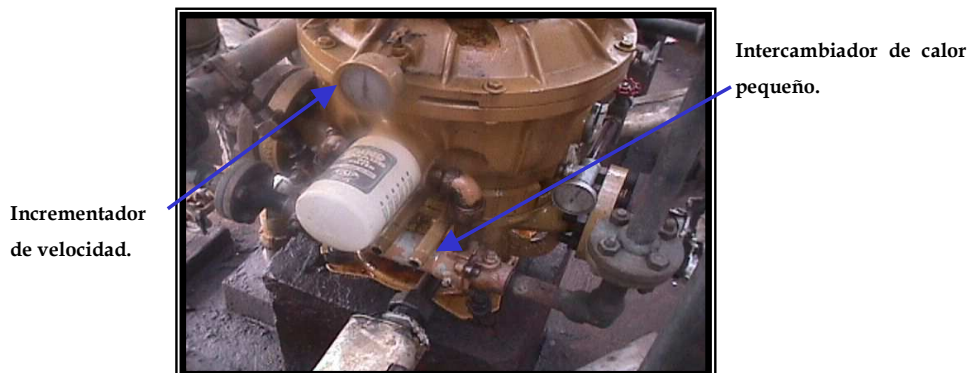
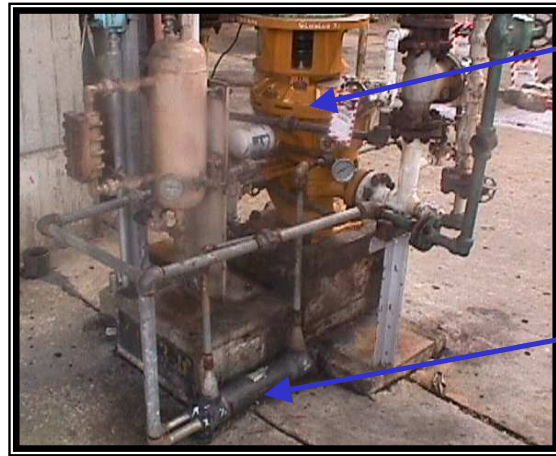


Figura 5. Intercambiador de calor de mayor capacidad de enfriamiento.



Incrementador de velocidad.

Intercambiador de calor de mayor capacidad de enfriamiento.

Recomendaciones

- Revisar si las tuberías de circulación de agua están taponadas y chequear la temperatura del agua a la entrada del intercambiador de calor. Si la tubería está bien y la temperatura del agua a la entrada es la requerida, lo más probable es que se debe cambiar el intercambiador de calor por uno de mayor capacidad de enfriamiento. Ver Figura No5.
- En caso de que sea necesario cambiar el intercambiador de calor, es requisito indispensable realizar los respectivos cálculos de transferencia de calor, con el fin de seleccionar el intercambiador de calor que cumpla con los requerimientos que le permitan garantizar una temperatura de operación del equipo rotativo dentro de los estándares recomendados.
- El código de materiales de los intercambiadores de calor estandarizados en la GCB son: CM693101 para un área de transferencia de calor de 5 pies² y el CM3940293 para 15 pies².
- Se deben tener en cuenta los siguientes valores máximos permisibles para la temperatura de operación para los siguientes componentes:

- Turbinas de vapor: 80°C
- Gobernadores: 70°C.
- Bombas centrifugas: 60°C.
- Motores eléctricos: 70°C.
- Reductores de velocidad: 50°C.
- Incrementador de velocidad: 60°C.
- Compresores: 50°C.

3- Aceite contaminado con agua:

Aceite con alto contenido de agua. Ver Figura 6.

Figura 6. Aceite contaminado con Agua.



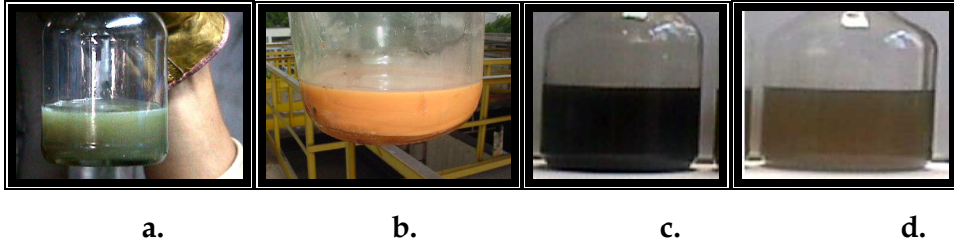
Recomendaciones:

- Abrir la válvula de drenaje todos los días, con el fin de eliminar el agua libre en el aceite.
- Verificar la causa del problema de contaminación con agua, como venteo inadecuado, entrada de agua a través de los retenedores, anillos de carbón defectuosos (en el caso de las turbinas de vapor), falta tapón de llenado, etc.

4. Aceite emulsionado, contaminado con otras sustancias y particulado:

Ver Figura 7.

Figura 7. a) Aceite emulsionado, b) Contaminado con oxido de hierro proveniente de la parte interna de la carcasa del equipo, c) particulado, d) quemado.



Recomendaciones

- Cuando el aceite esta emulsionado es porque los aditivos demulsificantes se han deteriorado por lo tanto se debe cambiar el aceite usado por aceite nuevo.
- En el caso de la presencia de oxido de hierro, se debe recubrir la parte interna de la carcasa con una pintura anti-oxidante para evitar la formación de oxidos.
- Cuando en el aceite hay presencia de partículas (visibles) lo más indicado es parar el equipo para intervenirlo, ya que es índice de desgaste excesivo de los elementos internos del equipo rotativo. Si el equipo es crítico se debe solicitar periódicamente (cada tres meses) al administrador de la BD del sistema de análisis de aceite ó al ingeniero del proveedor de lubricante un análisis de laboratorio para determinar la evolución del desgaste del equipo rotativo.
- Cuando el aceite esta quemado se debe a elevadas temperaturas en los equipos rotativos. Ver numerales 2,9 y10.

5. Falta de venteo:

El equipo rotativo no tiene venteo, está taponado ó es inadecuado como en el caso de tubo de venteo en forma de cuello de ganso, ó de una ranura hecha con segueta, etc. Ver Figura 8.

Figura 8. Equipo rotativo sin venteo.

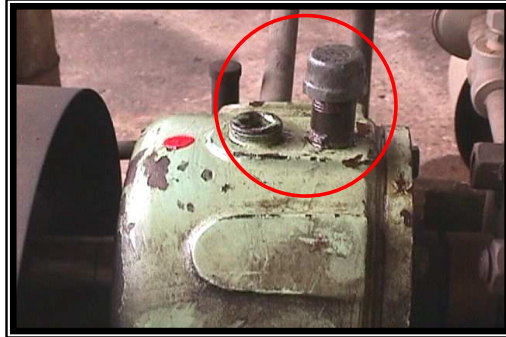


Figura 9. Ranura hecha con una herramienta de corte.



Recomendaciones:

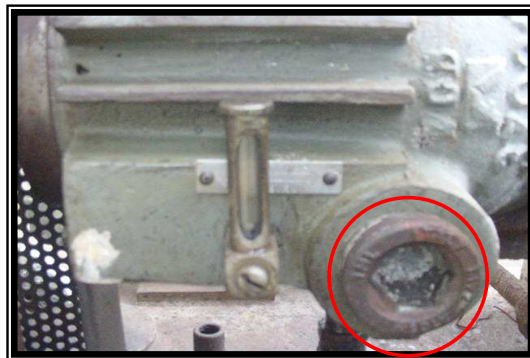
- En caso de no existir el venteo, se debe instalar uno que cumpla con los siguientes requerimientos técnicos:
 - Permitir la salida de los gases, pero no el ingreso de contaminantes del ambiente.
 - Debe ser material en acero inoxidable.

- Debe ser de fácil mantenimiento.
- Cuando el venteo esté taponado, se le debe hacer mantenimiento para destapar la abertura por donde salen los gases.
- Como venteo no se debe utilizar un tapón con agujeros ó ranuras, ya que estos permiten el ingreso de contaminantes presentes en el ambiente, como agua y partículas sólidas. Ver Figura 9.

6- Falta de aceitera de nivel constante ó botella.

Los equipos rotativos con volúmenes de aceite de 1 galón ó menos en el depósito de aceite, en general no cuentan con aceitera de nivel constante ó botella de aceite. Ver Figura 10.

Figura 10. Falta la aceitera de nivel constante o botella.



Recomendaciones:

- A los equipos rotativos que cuenten con un volumen de aceite menor ó igual a 1 galón de aceite, se les debe instalar la Aceitera de Nivel Constante. Figura No 11.
- La Aceitera de Nivel Constante ó Botella cumple con la función de completar el nivel de aceite en el depósito del equipo rotativo. Es importante destacar que debe existir tanto la Aceitera de Nivel Constante ó Botella como el visor de nivel de aceite ó LG.

- Se debe verificar semanalmente que la tubería horizontal que une la Aceitera de Nivel Constante ó Botella al depósito de aceite, no esté taponada, ya que esto puede conllevar a que este dispositivo no cumpla con su función de completar el nivel de aceite de manera automática, dejando los mecanismos del equipo rotativo sin la cantidad de aceite requerida para su correcta lubricación.
- Se debe tener cuidado de no utilizar botellas diferentes a la esférica, debido a que las condiciones de suministro de aceite pueden ser diferentes. El código de la botella para su compra en materiales es CM692400.
- La botella debe tener una protección metálica en forma de canasta.
- La botella y el visor de nivel de aceite no se deben conectar a la misma tubería. Ver Figura No 12.

Figura 11. Vista superior de dos cajas de rodamientos. a) sin la botella, b) con botella.

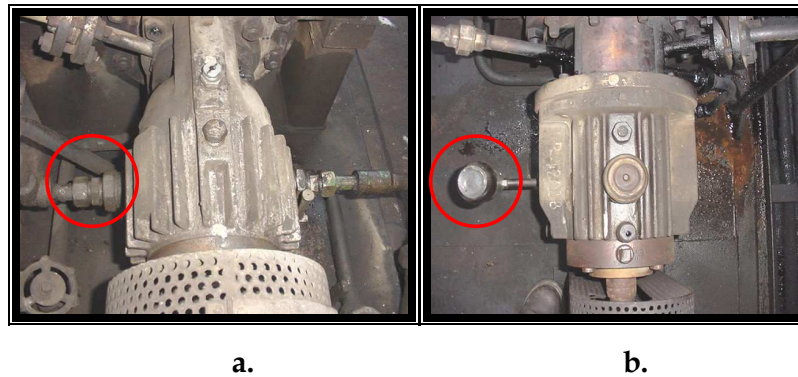


Figura 12. Montaje inapropiado del visor de nivel y la botella. No se deben conectar en la misma tubería.



7- Falta indicador del nivel de aceite

Los equipos rotativos con volúmenes de aceite de 1 galón ó menos en el depósito de aceite, en general no cuentan con indicador del nivel de aceite.

Figura 13.

Figura 13. Caja de rodamientos con botella y sin visor de nivel de aceite.



Recomendaciones:

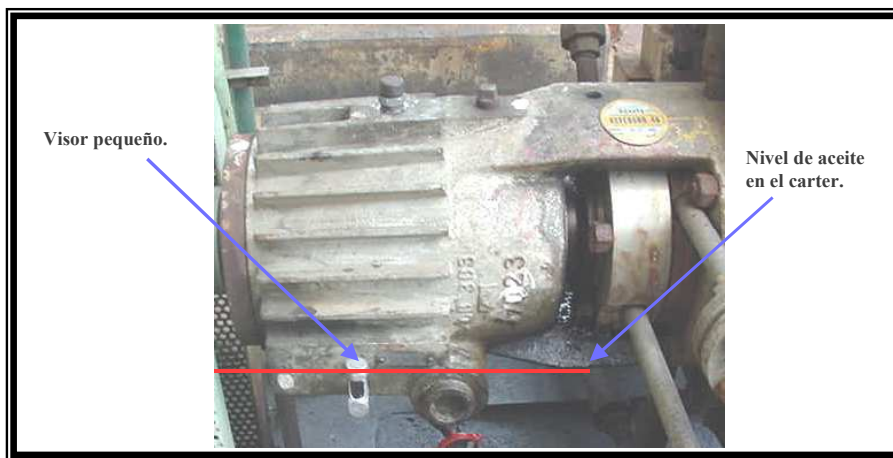
- El depósito de aceite de todos los equipos rotativos debe contar con el indicador del nivel de aceite.
- Las bombas centrífugas, las turbinas de vapor, los incrementadores de velocidad y los reductores de velocidad deben contar con el indicador de nivel de aceite.

- Entre el indicador del nivel de aceite y la carcasa del equipo rotativo debe haber una válvula que lo aisle en caso de que el tubo de vidrio se rompa.

8- Indicador del nivel de aceite inadecuado.

Indicador del nivel de aceite ó LG muy pequeño. Ver Figura 14.

Figura 14. El indicador de nivel es muy pequeño, quedando por debajo del nivel de aceite del deposito del equipo rotativo.



Recomendaciones

- Montar un indicador de nivel lo suficientemente grande con el fin de que se pueda verificar con exactitud el nivel del aceite dentro del depósito ó carcasa del equipo rotativo. Ver Figura 15.
- El indicador del nivel de aceite más recomendable es de 10 cm de longitud y 1/2" de diámetro.
- Antes de realizar el montaje del indicador del nivel de aceite ó LG se debe tener certeza de cual es el nivel del aceite correcto con el fin de montarlo de tal manera que el nivel de aceite quede en la mitad de la altura del indicador del nivel.

- El indicador del nivel de aceite se debe montar de tal manera que cubra la altura total del aceite en el depósito ó carter del equipo rotativo.

Figura 15. indicador de nivel de aceite de altura adecuada.



9- Alta temperatura en los cojinetes lisos de las turbinas de vapor.

Alta temperatura en los cojinetes lisos de las turbinas de vapor (mayor de 80°C). Ver Figura 16.

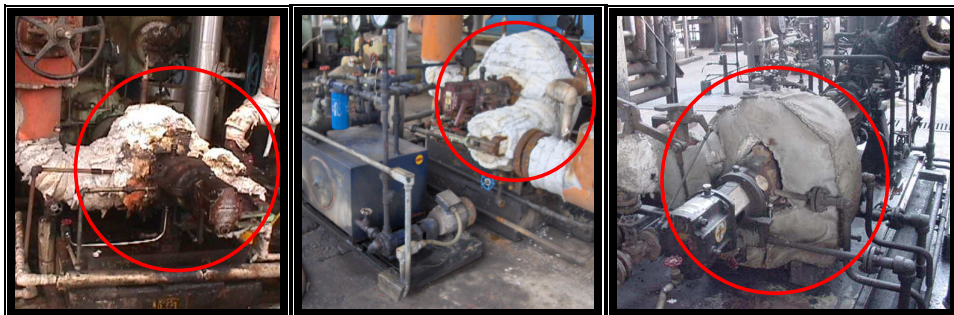
Figura No 16. Alta temperatura en el cojinete lado acople de la turbina.



Recomendaciones

- Revisar que la turbina de vapor tenga aislamiento, en caso tal de que lo tenga que sea el correcto ó que esté en buen estado. Ver Figura No 17.
- Verificar que los carbones estén en buen estado ó que estén funcionando correctamente.
- Verificar si los cojinetes lisos tienen circulación de agua y/ó sistema de circulación de aceite. En caso contrario, analizar la posibilidad de instalarle circulación de agua en los cojinetes lisos (tubo en U), ó un sistema de circulación de aceite constituido por un depósito de aceite, bomba de engranajes, filtro de aceite, enfriador y demás elementos que lo constituyen.
- En caso que la turbina de vapor tenga el sistema de circulación de aceite revisarle al intercambiador de calor las tuberías de entrada del agua para determinar si hay obstrucción, la temperatura de entrada del agua y evaluar la eficiencia del intercambiador de calor para determinar si es óptimo o no para la aplicación.

Figura 17. a) Aislamiento en mal estado, b y c) Tipos de aislamiento adecuados para las turbinas.



a.

b.

c.

10- Alta temperatura en los rodamientos de las bombas centrífugas.

Alta temperatura en los rodamientos de las bombas centrífugas (mayor a 60°C).

Recomendaciones

- Verificar si el grado ISO del aceite es el correcto, en caso contrario, consultar en el *CARLUB*, y cambiarlo según el caso. Un grado ISO mayor que el requerido, da lugar a exceso de fricción fluida y por lo tanto a elevadas temperaturas de operación.
- Verificar si el nivel de aceite es el correcto, en caso contrario corregirlo. Un alto nivel de aceite da lugar a exceso de fricción fluida, elevando la temperatura de operación.
- Si los rodamientos tienen enfriamiento por circulación de agua, verificar que esté fluyendo agua ó que la tubería no esté obstruida.
- En caso tal de que los rodamientos no tengan enfriamiento por agua, se les debe instalar, para lo cual se puede utilizar un tubo aleteado en forma de U montado en la caja de rodamientos. Si la bomba cuenta con chaqueta de enfriamiento, se le puede instalar la tubería de entrada y salida de agua.
- En casos críticos, se puede utilizar un sistema portátil de enfriamiento de aceite.

11- Alta temperatura en los rodamientos de motores eléctricos.

Alta temperatura en los rodamientos de los motores eléctricos (mayor a 70°C).

Recomendaciones

- Verificar el estado de la lubricación de los rodamientos mediante la utilización del SPM, y lubricar según el caso.
- Verificar el estado de los rodamientos por vibraciones.

12- Falta de rótulo metálico para identificación del tipo lubricante.

El equipo rotativo no cuenta con el rótulo metálico que identifica el tipo de lubricante con el cual se debe lubricar. Ver Figura 18.

Figura 18. El equipo rotativo no tiene el rótulo del tipo de aceite lubricante.



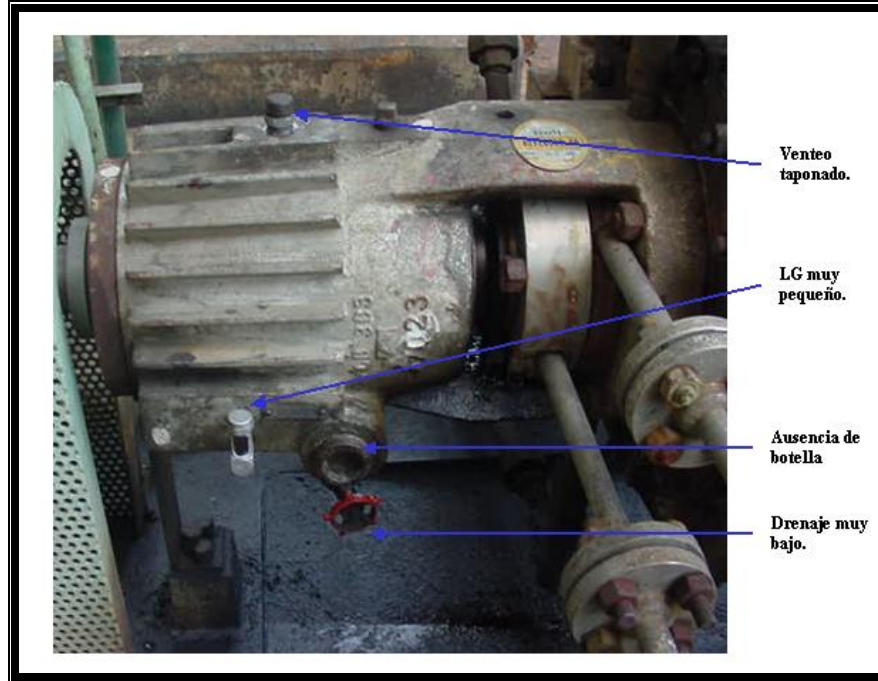
Recomendación

- Verificar en el CARLUB el nombre del lubricante que debe utilizar.
- Colocarle al equipo rotativo en un lugar visible, el rótulo metálico con el nombre del lubricante que se debe utilizar.

EJEMPLO DE UN EQUIPO CON VARIAS ANOMALIAS

En la Figura 19. se muestra un equipo rotativo que presenta varias anomalías y que fueron detectadas durante el desarrollo de la Visita de Tribología (VITRIB).

Figura 19. Equipo rotativo con varias anomalías en el sistema de lubricación



Anomalías detectadas

- Venteo taponado.
- Indicador del nivel de aceite muy pequeño.
- Ausencia de Aceitera de nivel constante ó botella.
- Drenaje de aceite muy bajo. (cercano a la plataforma de la máquina)
- Válvula de drenaje en posición vertical.
- Falta tapón de drenaje.

ESTANDARIZACION DE ACEITES PARA LOS REDUCTORES DE LOS VENTILADORES DE LA GCB

CODIGO EQUIPO	PLANTA	MARCA	ACEITE FABRICANTE		OBSERVACIONES
		REDUCTOR	NOMBRE	MARCA	
XU-831	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-832	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-833	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-834	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-835	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-836	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-837	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-838	TORRE 831	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-801	TORRE 801	WESTECH	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-802	TORRE 801	WESTECH	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-803	TORRE 801	DE LAVAL	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema lubricación independiente. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-804	TORRE 801	DE LAVAL	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-805	TORRE 801	DE LAVAL	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-806	TORRE 801	DE LAVAL	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-807	TORRE 801	DE LAVAL	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-808	TORRE 801	DE LAVAL	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-809	TORRE 801	DE LAVAL	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-810	TORRE 801	DE LAVAL	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema lubricación independiente. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-811	TORRE 801	LUFKIN	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-812	TORRE 801	LUFKIN	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-813	TORRE 801	LUFKIN	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-814	TORRE 801	LUFKIN	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-815	TORRE 801	LUFKIN	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-816	TORRE 801	DE LAVAL	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema lubricación independiente. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-820	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 13 Feb.-04. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-821	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 13 Feb.-04. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-822	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-823	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 20 Oct.- 04, <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-824	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 01 de abril-03. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-825	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 19 de Julio-04. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-826	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-827	TORRE 820	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-828	TORRE 820	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 07 de Sep.- 03. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-829	TORRE 820	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Aceite sin cambiar desde el 02 de Feb.-04. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-830	TORRE 820	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-881	TORRE 880	SCAM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>

XU-882	TORRE 880	HANSEM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-883	TORRE 880	SCAM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-884	TORRE 880	SCAM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-851	TORRE 850	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	12700 horas de servicio del aceite 12700. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-852	TORRE 850	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sin reductor. Esta en proceso de cambio. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-853	TORRE 850	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	16080 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar el aceite.</i>
XU-854	TORRE 850	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	12024 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-855	TORRE 850	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sin reductor.
XU-856	TORRE 850	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar el aceite.</i>
XU-857	TORRE 850	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar el aceite.</i>
XU-858	TORRE 850	LUFKIN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sin reductor
XU-859	TORRE 850	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Se encuentra en mantenimiento. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-860	TORRE 850	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	13671 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar el aceite.</i>
XU-891	TORRE 890	SCAM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-892	TORRE 890	HANSEM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	18967 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-893	TORRE 890	SCAM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sin reductor.
XU-894	TORRE 890	SCAM	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	<i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-895	TORRE 890	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	18874 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-896	TORRE 890	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	18874 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-897	TORRE 890	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	16664 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-898	TORRE 890	HAMSEN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	16664 horas de servicio del aceite. <i>Lavar y cambiar aceite.</i>
XU-2945A	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945B	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945C	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945D	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945E	TORRE 2945	HANSEM	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945F	TORRE 2945	HANSEM	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945G	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945H	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945I	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2945J	TORRE 2945	PHILADELPHIA	GLYCOLBE 150	MOBIL	Sistema centralizado de lubricación.
XU-2940A	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940B	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940C	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940D	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940E	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940F	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940G	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-2940H	TORRE 2940	HANSEM	GLYCOLUBE 150	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-4401A	TORRE 4401	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-4401B	TORRE 4401	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-4401C	TORRE 4401	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-4401D	TORRE 4401	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.

XU-4401E	TORRE 4401	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.
XU-4401F	TORRE 4401	WESTERN	MOBIL GEAR SHC 629	MOBIL	Sistema de lubricación independiente.

SKID HIDRÁULICOS

Este es el listado de los skid hidráulicos, con el aceite que están utilizando en la actualidad, el aceite recomendado por el fabricante y el desempeño del aceite. El objetivo es que finalmente todos los skid hidráulicos queden con el aceite que recomienda el fabricante del skid, o sea con el Móbil DTE 16, el cual se ira implementando en la medida en que estos equipos salgan a mantenimiento preventivo. El aceite Mobil DTE 16 se codifico en materiales con el fin de que en todo momento haya un stock mínimo de 10 tambores de 55 galones de este aceite. El código Mins del aceite es el 3920550.

CODIGO EQUIPO	PLANTA	ACEITE ACTUAL		ACEITE DEL FABRICANTE			OBSERVACIONES
		NOMBRE	MARCA	FABRICANTE	NOMBRE	MARCA	
PDV0301 A/B	MODELO IV	Mobil DTE 16	MOBIL		Mobil DTE 16	MOBIL	En el rótulo de la consola aparece Mobilarma 22, posiblemente es el mismo aceite pero con mejores propiedades. La válvula de corredera presenta escape por el O'Ring, lo cual conllevó a que se bloqueara la válvula, pasándola a modo manual. El Código Mins del aceite DTE 16 es 3920550.
C-301/304	MODELO IV	GLYCOLUB 46	MOBIL		Mobil DTE 16	MOBIL	Este aceite lleva trabajando 4 años continuos sin que se haya presentado algún problema en los componentes del Skid ó generado alguna parada de planta. El rótulo de identificación del aceite en la consola es el correcto.
SSKIDC2701	UOP I	Mobil DTE 16	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	El 14 de febrero de 2005, durante la reparación de la planta, se cambio el aceite de GLYCOLUB 46 A MOBIL DTE 16, debido a que se estaban presentando problemas de formación de gomas. La consola tiene una temperatura aproximada de 100 F.
SSKIDC2751	UOP I	GLYCOLUB 46	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	Durante la reparación se observo que este aceite también presentaba problemas de formación de gomas, pero debido a que en ese momento no había MOBIL DTE 16, no se hizo el cambio respectivo. La consola tiene una temperatura aproximada de 110 F.

SSKIDC2753	UOP I	GLYCOLUB 46	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	En estos momentos el aceite no se ha cambiado por el DTE 16 debido a que no había este aceite, sin embargo el aceite GLYCOLUBE 46 está trabajando sin problema alguno. La temperatura de trabajo del aceite en la consola es de 100 °F.
SKIDTV27157 (MINS VIEW) TIC 27157 (EQUIPO)	UOP I	GLYCOLUB 46	MOBIL	TAPCO	Aceite Hidráulico de calidad premium con viscosidad en el rango 30-50 est a 38 °C.(150-250 SSU a 100 F)		Desde 1998 hasta abril de 2003 se utilizaba UCONAL 32 (equivalente al GLYCOLUBE 46), y no presentó ningún problema. En abril de 2003 se paso a GLYCOLUBE 46 y hasta el momento no ha presentado ningún problema. En la consola la temperatura es de 57 °C.
SKIDPV27149 (MINS VIEW) PV-27149 (EQUIPO)	UOP I	GLYCOLUB 46	MOBIL	TAPCO	Aceite Hidráulico de calidad premium con viscosidad en el rango 30-50 est a 38 °C.(150-250 SSU a 100 F)		Desde 1998 hasta abril de 2003 se utilizaba UCONAL 32 (equivalente al GLYCOLUBE 46), y no presentó ningún problema. En abril de 2003 se paso a GLYCOLUBE 46 y hasta el momento no ha presentado ningún problema. En la consola la temperatura es de 60 °C.
PV42007 A/B	UOP II	Mobil DTE 16	MOBIL	MEA	Mobil DTE 16	MOBIL	Ninguna anomalía.
TV42011	UOP II	Mobil DTE 16	MOBIL	MEA	Mobil DTE 16	MOBIL	Ninguna anomalía.
TV42043	UOP II	Mobil DTE 16	MOBIL	MEA	Mobil DTE 16	MOBIL	Ninguna anomalía.
LV42005	UOP II	Mobil DTE 16	MOBIL	MEA	Mobil DTE 16	MOBIL	Ninguna anomalía.
HIC50001	ORTHOFLOW	Mobil DTE 16	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	Aceite con presencia de Agua.
TIC50002	ORTHOFLOW	GLYCOLUB 46	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	No cuenta con placa
LIC50002	ORTHOFLOW	GLYCOLUB 46	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	Ninguna anomalía.
C-501	ORTHOFLOW	Mobil DTE 16	MOBIL	TAPCO	Mobil DTE 16	MOBIL	Se cambio en enero del 2005, tenia GLYCOLUB 46 y se paso a DTE 16 debido a que se presento formación de gomas. La servoválvula también se cambio debido a taponamiento por presencia de partículas. Temperatura de la consola aprox. 140 F con presión lado Potencia de 1420 psi y 120 lado control.

ANÁLISIS DE LOS ACEITES DE LOS COJINETES DE LOS VENTILADORES DE LAS CALDERAS

Muestreo y análisis del aceite en los ventiladores de las calderas de la GCB.

**ESTADO DE LOS COJINETES DE LOS VENTILADORES DE
LAS CALDERAS DE LA GCB**

Marzo 28 de 2005

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO

Los siguientes son los resultados de los análisis de laboratorio efectuados a las muestras de aceite de los cojinetes lisos lado exterior (LEX) y lado acople (LAC), de los ventiladores de las calderas de la GCB. Ver Tabla No1.

Tabla N0.1

EQUIPO	RESULTADOS										
	Tipo de aceite	Viscosidad cSt. ASTM D445	TAN ASTM D664	Agua % Vol. ASTM D95	Al ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe ppm	Pb ppm	Si ppm	Demulsibilidad min. ASTM D92
UI-901D LEX	Turbina 100	110.36	0.27	0	0	0	3	2	0	0	10
UI-901D LAC	Turbina 100	99.9	0.27	1	0	0	2	16	0	0	0
UI-901C LEX	Turbina 100	100.74	0.30	1	0	0	2	0	55	0	0
UI-901C LAC	Turbina 100	103.1	0.28	0	0	0	2	7	122	3	10
UI-901B LEX	Turbina 100	103.45	0.29	1	0	0	3	7	15	0	0
UI-901B LAC	Turbina 100	105.04	0.29	0	0	0	0	16	183	0	20
UI-901A LEX	Turbina 100	104.22	0.28	0	0	0	2	8	272	0	20
UI-901A LAC	Turbina 100	103.48	0.38	0	0	2	3	0	0	0	15
UF-956 LAC	Turbina 68	71.16	0.27	1	0	0	0	253	273	0	0
UF-956 LAC	Turbina 68	69.14	0.30	1	0	0	0	168	133	2	30
NUF-954	Turbina 68	68.44	0.41	0	0	0	0	0	0	0	20
NUF-955	Turbina 68	69.53	0.26	0	0	0	0	3	0	0	30
NUF-2951	Turbina 68	64.62	0.34	0.4	0	2	3	0	0	0	30
UF-2951 LEX	Turbina 68	66.39	0.28	0	0	3	8	3	25	2	20

UF-2591 LAC	Turbina 68	62.49	0.47	0	0	2	9	2	9	3	25
NUF-2952	Turbina 68	66.3	0.3	0.05	0	3	0	5	0	2	15
UF-2952 LAC	Turbina 68	65.21	0.32	0	2	3	11	0	16	2	15
UF-2952 LEX	Turbina 68	64.17	0.39	0	2	3	8	0	14	2	25
UF-2953 LAC	Turbina 68	63.23	0.33	0	0	3	24	2	22	2	0
UF-2953 LEX	Turbina 68	64.79	0.35	0	0	0	22	2	19	2	0
UF-2955 LAC	Turbina 68	65.47	0.41	0	0	2	8	3	36	2	25
UF-2955 LEX	Turbina 68	66.05	0.47	0	0	2	6	0	9	0	15
UF-956 LAC	Turbina 68	70.41	0.56	0	0	2	2	219	162	3	0
NUF-2401	Turbina 68	67.97	0.44	0	0	0	2	0	0	0	30
UF-2401 LAC	Turbina 68	77.43	0.48	0	0	2	3	2	22	3	15
UF-2401 LEX	Turbina 68	71.26	0.47	0	2	2	2	0	14	3	15
NUF-2402	Turbina 68	77.63	0.45	0.05	2	2	2	2	0	2	30
UF-2402 LEX	Turbina 68	71.68	0.36	0	2	2	0	2	11	0	15
UF-2402 LAC	Turbina 68	70.16	0.41	0	2	2	2	0	9	2	20
NUF-2403	Turbina 68	67.58	0.32	0.05	0	0	0	0	0	0	15
UF-2403 LAC	Turbina 68	71.96	0.38	0	0	2	9	2	9	0	20
UF-2403 LEX	Turbina 68	73.05	0.42	0	0	2	5	3	19	5	15
NUF-2405	Turbina 68	67.06	0.39	0.05	0	2	0	0	9	0	20

Notas:

- (1) Los siguientes son los límites máximos permisibles del contenido de partículas metálicas en el aceite: Al: 5 ppm; Cr: 5 ppm; Cu: 15 ppm; Fe: 30 ppm; Pb: 15 ppm; Si: 15 ppm.
- (2) Un contenido de partículas metálicas por encima del máximo permisible indica un desgaste anormal del cojinete liso y es necesario llevar a cabo algún tipo de correctivo.
- (3) Los cojinetes lisos de los ventiladores que están subrayados (UI-901C LEX ; UI-901C LAC ; UI-901B LAC ; UI-901A LEX ; UF-956 LAC ; UF-2955 LAC; UF-956 LAC), con color rojo presentan desgaste anormal.
- (4) La nomenclatura LAC y LEX significa. LAC LADO ACOPLÉ y LEX LADO EXTERIOR.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las propiedades físico-químicas de todos los aceites analizados de acuerdo con las normas ASTM D están dentro de los estándares

establecidos para este tipo de aceites y ninguno de ellos presenta algún tipo de problema.

El análisis del desgaste de los cojinetes lisos de apoyo del eje del ventilador, en los ventiladores UI-901C LEX ; UI-901C LAC ; UI-901B LAC ; UI-901A LEX ; UF-956 LAC ; UF-2955 LAC y UF-956 LAC es crítico en cuanto al contenido de Fe y de Pb, por lo que es necesario llevar a cabo correctivos que permitan el funcionamiento confiable de estos mecanismos.

RECOMENDACIONES

Con el fin de garantizar un funcionamiento confiable de los cojinetes lisos de los ventiladores de tiro inducido de las calderas de la GCB, se recomienda efectuar lo que se especifica en la Tabla No2.

Tabla No2

No	Recomendación	Responsable
01	Elaborar un informe con el diagnóstico basado en las vibraciones del estado de todos los ventiladores de tiro inducido de la GCB.	<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero de Confiabilidad. - Técnico de Confiabilidad.
02	Cambiarle el aceite a todos los cojinetes lisos de los ventiladores y agregarle un 5% por volumen del aditivo "Modificador de fricción CRC". CM 3935715.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenedor de 1ra línea. - Líder de Tribología de Operaciones. - ATP - Tribología.
03	Tomar muestras de aceite quincenales durante dos meses.	<ul style="list-style-type: none"> - ATP-Tribología. - Ingeniero de lubricación de Terpel.
04	Después de un mes de seguimiento, elaborar un informe técnico sobre la evolución de los cojinetes lisos de los ventiladores UI-901C LEX ; UI-901C LAC ; UI-901B LAC ; UI-901A LEX ; UF-956 LAC ; UF-2955 LAC y UF-956 LAC	<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero de Confiabilidad. - Técnico de Confiabilidad. - ATP-Tribología.

05	Luego de dos meses de seguimiento, elaborar un informe técnico, involucrando vibraciones, temperatura y análisis del aceite, sobre el funcionamiento de los ventiladores.	<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero de Confiabilidad. - Técnico de Confiabilidad. - ATP-Tribología.
----	---	---

REPORTE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON ALTA TEMPERATURA

Reporte de motores eléctricos con alta temperatura (grupo SPM). (1)

MOTORES CON POSIBLES PROBLEMAS DE LUBRICACION

PLANTA	EQUIPO	TEMPERATURA	RECOMENDACIONES
U2000 REFINACION	MP-2038B	70°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2001E		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2011E		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2017C		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2009C		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2002E		Monitorear y reengrasar si L es <=2
UOP II	MP-4259A	64°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4253A	65°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4282A	80°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4405	65°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4208A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4206A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4204B		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MUF-4202		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MUF-4201		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4258A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
ETILENO II - CRIOGENICA	MP-4100A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4120A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4104B		Monitorear y reengrasar si L es <=2
BALANCE	MP-2955A	64°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2959A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-2957A		Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MUF-2953		Monitorear y reengrasar si L es <=2
PTAR	MP-4002B LAC	73°C	Monitorear y reengrasar si L es <=2
	MP-4003C		Monitorear y reengrasar si L es <=2

CIRCUITOS DE LUBRICACION DE LOS TURBOGENERADORES DE LA REFINERIA NORMA API 614

El circuito de lubricación de la Figura No 1 es un compendio de la Norma API 614 para aplicaciones especiales.

En la figura se muestra las partes que debe tener un circuito de lubricación para este tipo de aplicación. En su orden tenemos.

1. Deposito de aceite.
2. Válvula de descarga del tanque principal.
3. Visor de nivel de aceite.
4. Indicador de Temperatura (TI).
5. Venteo.
6. Conjunto Motor-Bomba.
7. Conjunto Turbina-Bomba.
8. Válvulas de cierre en la succión.
9. Indicador de Presión (PI).
10. Válvula antirretorno.
11. Válvula de cierre en la descarga.
12. Indicador de Temperatura en la entrada de los intercambiadores de calor.
13. Válvula de Control de Presión (PCV).
14. Válvulas de dirección de flujo (pueden ser manuales o automáticas).
15. Indicador de Temperatura en la salida de los intercambiadores de calor.
16. Intercambiadores de calor.
17. Filtros.

18. Medidor de diferencial de presión a la entrada y salida de los filtros.
19. Deposito de seguridad.
20. Válvula de descarga del deposito de seguridad.
21. Válvula de cierre a la entrada del deposito de seguridad.
22. Válvula Reguladora de Caudal.
23. Válvula de aguja.
24. PI a la entrada del sistema a lubricar
25. Platina de orificios.
26. Rodamientos del sistema a lubricar.
27. TI a la salida del sistema lubricado.

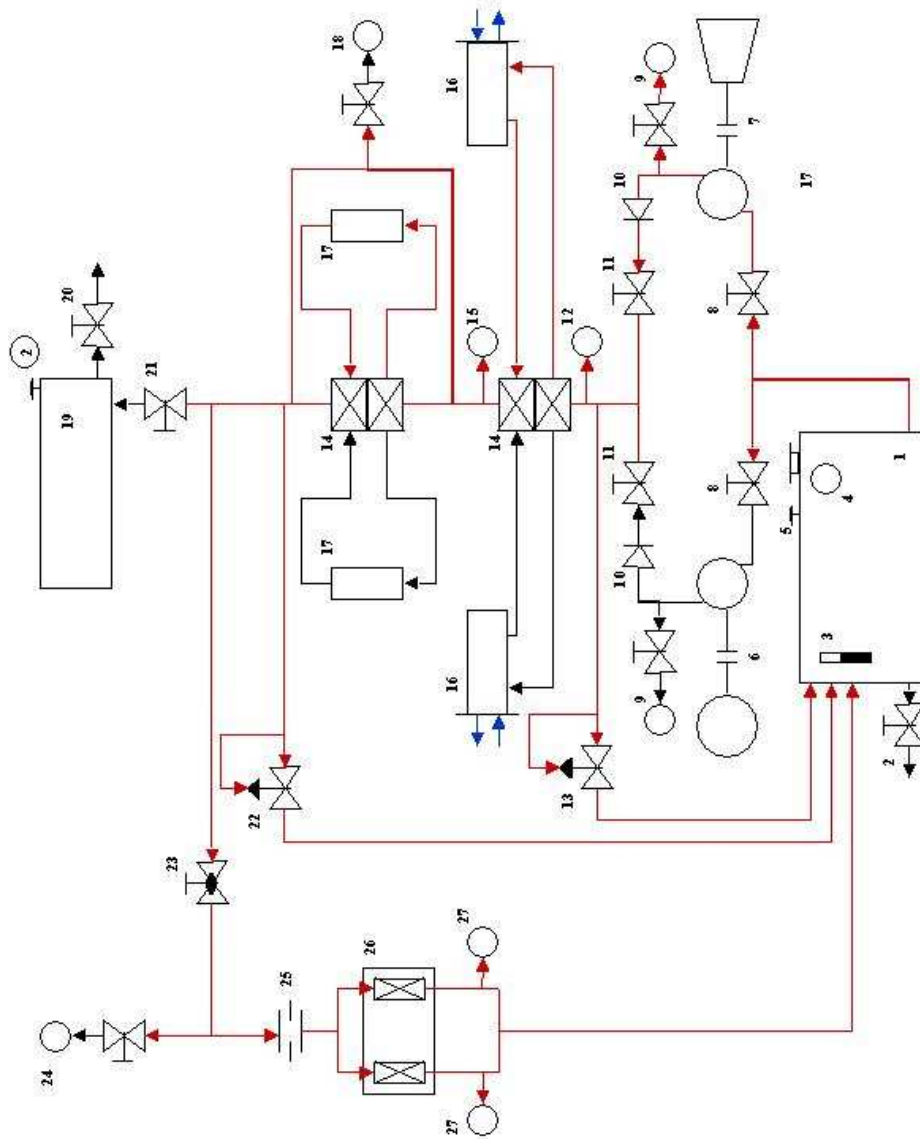


Figura No 1 Circuito de lubricación de aplicación especial

ESTUDIO REALIZADO

A continuación se presenta el estudio realizado de uno de los cinco turbogeneradores estudiados en la refinería con el objetivo de verificar si el diseño cumple con las especificaciones de la norma API 614.

TURBOGENERADOR TG-951 SIEMENS	SISTEMA CENTRALIZADO DE LUBRICACION	
ACEITE	Turbina 46	
UBICACIÓN	UNIDAD 900	
Componentes del sistema de lubricación	EXISTE	Observaciones
Deposito de aceite	NO	No tiene marca de aceite que usa
Drenaje del deposito de aceite principal	NO	
Indicador de nivel del deposito	SI	
TI del deposito	NO	
Ventoeo del deposito	SI	Permite la entrada de aire
Bomba-Motor	SI	
Bomba-Turbina	SI	
Válvulas de cierre en la succión.	SI	
PI	SI	
Válvula antirretorno	NO	
Válvula de cierre en la descarga	SI	
Indicadores de Temp. Entrada enfriador	NO	
Válvula de control de presión.	SI	Regulación de velocidad de la turbina y el motor
Válvulas dirección de flujo	SI	Son de cierre y apertura manual
Enfriadores	SI	
Indicadores de Temp. salida enfriador	NO	
Filtros	SI	tiene TI a la salida.
Indicador de delta de presión	SI	
Deposito de seguridad	NO	
Válvula de descarga del deposito de seguridad.	NO	
Válvula de cierre a la entrada del deposito de seguridad.	NO	

Válvula Reguladora de Caudal.	SI	Regulación de velocidad de la turbina y el motor
Válvula de aguja.	SI	
PI a la entrada del sistema a lubricar	SI	
Platina de orificios.	SI	

REPORTE ANÁLISIS DE ACEITES USADOS AÑO 2005
INFORME ELABORADO 30 MARZO

REPORTE DEL SISTEMA DE ANÁLISIS DE ACEITES USADOS SAU PRIMER TRIMESTRE DE 2005		
UBICACIÓN	EQUIPO	COMENTARIOS
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	AG-965	no paso emulsion
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	AG-966	
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3065A	No paso emulsion, Contenido de hierro alto
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3065B	
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3090A	
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3090B	
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3091A	
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3091B	
MATERIAS PRIMAS- ELEMENTOS EXTERNOS	SP-3031B	
CRACKING-ACIDO	C-485	
CRACKING-UOP I	C-2701	
CRACKING-UOP I	C-2751	
CRACKING-UOP I	C-2850B	
CRACKING-UOP I	C-2753	contaminacion con agua
CRACKING-UOP II	C-4421	viscosidad en el limite, revisar nivel de Cobre
CRACKING-UOP II	C-4201	
CRACKING-UOP II	C-4251	
CRACKING-UOP II	C-4301	
CRACKING-UOP II	C-4303	
CRACKING-UOP II	C-4421	
CRACKING-ORTHOFLOW	TC-501 SLUB	viscosidad fuera de especificaciones, reenviar muestras

CRACKING-ORTHOFLOW	TC-553 SLUB	viscosidad fuera de especificaciones, reenviar muestras.
CRACKING-ORTHOFLOW	TC-555 SLUB	viscosidad fuera de especificaciones, reenviar muestras.
CRACKING-ORTHOFLOW	TC-553 SSEL	viscosidad fuera de especificaciones, reenviar muestras.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901D LEX	La viscosidad esta en el limite superior del grado ISO 100.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901D LAC	El aceite esta contaminado con agua. No pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901C LEX	El aceite esta contaminado con agua. No pasa la prueba de caracteristica de emulsion. Contenido de plomo alto. Tomar nueva muestra para verificar tendencia.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901C LAC	Acete dentro de especificaciones. Contenido de plomo alto. Tomar nueva muestra para verificar tendencia.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901B LEX	El aceite esta contaminado con agua. No pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901B LAC	Acete dentro de especificaciones. Contenido de plomo alto. Tomar nueva muestra para verificar tendencia.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901A LEX	Acete dentro de especificaciones.
SERVICIOS INDUSTRIALES- FOSTER WHEELER	UI-901A LAC	Acete dentro de especificaciones.
SERVICIOS INDUSTRIALES-DISTRAL	NUF-954	Acete dentro de especificaciones.
SERVICIOS INDUSTRIALES-DISTRAL	NUF-955	Acete contaminado con agua.
SERVICIOS INDUSTRIALES-DISTRAL	NUF-956	
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	NUF-2951	El aceite esta contaminado con agua
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2951 LEX	tomar nueva muestra para verificar tendencia del plomo que esta mas alto de lo normal.
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2951 LAC	
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	NUF-2952	Acete con trazas de humedad.
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2952 LAC	Acete dentro de especificaciones. Hay presencia de plomo
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2952 LEX	Acete dentro de especificaciones. Hay presencia de plomo
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2953 LAC	no pasa la prueba de caracteristica de emulsion, Hay presencia de plomo y cobre.
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2953 LEX	no pasa la prueba de caracteristica de emulsion, Hay presencia de plomo y cobre.
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2955 LAC	tomar nueva muestra para verificar tendencia del plomo que esta mas alto de lo normal.

SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	UF-2955 LEX	
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	NUF-2401	
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	UF-2401 LAC	La viscosidad del aceite se ha incrementado y esta por encima del rango ISO 68, probable mezcla o contaminación con un aceite de mayor viscosidad. El contenido de plomo esta un poco alto
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	UF-2401 LEX	
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	NUF-2402	Acete con trazas de humedad. Los demas valores estan normales.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	UF-2402 LEX	Acete dentro de especificaciones.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	UF-2402 LAC	Acete dentro de especificaciones, el plomo esta alto para solo 15 dias de servicio.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	NUF-2403	Acete dentro de especificaciones.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	UF-2403 LAC	Acete dentro de especificaciones, el plomo esta alto para solo 20 dias de servicio.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	UF-2403 LEX	Acete dentro de especificaciones, el plomo esta alto para solo 20 dias de servicio.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	NUF-2405	Acete con trazas de humedad. Los demas valores estan normales.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CENTRAL NORTE	TG-2401	Acete con trazas de humedad. Los demas valores estan normales.
SERVICIOS INDUSTRIALES-CALDERAS	NUF-951	
SERVICIOS INDUSTRIALES- TORRE 820	SP-820C	no paso emulsion
SERVICIOS INDUSTRIALES-DISTRAL	UF-956 LAC	Hierro y plomo altos
SERVICIOS INDUSTRIALES-BALANCE	NP-2911B LEX	No pasa la prueba de caracteristica de emulsion, evitar la contaminacion con agua.
PETROQUIMICA-ETILENO II	TC-4100 SLLUB	Contaminado con agua
PETROQUIMICA-ETILENO II	TC-4101/2	
PETROQUIMICA-ETILENO II	TC-4100 SSEL	Presenta trazas de agua, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
PETROQUIMICA-ETILENO II	NP-4119B	Viscosidad y TAN dentro de especificaciones, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
PETROQUIMICA-CRIOGENICA	C-4103A	Presenta trazas de humedad, muestra insuficiente para caracteristica de emulsion.
PETROQUIMICA-CRIOGENICA	XC-4103A	Caracteristica de emulsion en el limite.
PETROQUIMICA-CRIOGENICA	C-4104B	Presenta trazas de humedad, muestra insuficiente para caracteristica de emulsion.

PETROQUIMICA-CRIOGENICA	XC-4104B	Muestra insuficiente para característica de emulsion.
PETROQUIMICA-TURBOEXPANDER	C-2453B	La viscosidad esta muy baja para el grado ISO 100. No pasa la prueba de característica de emulsion.
PETROQUIMICA-AROMATICOS	P-1308D LAC	
PETROQUIMICA-AROMATICOS	P-1308D LEX	Los niveles de hierro y cobre estan muy altos.
PETROQUIMICA-AROMATICOS	P-1311C LAC	
PETROQUIMICA-AROMATICOS	P-1311C LEX	
PETROQUIMICA-AROMATICOS	C-1301	
PETROQUIMICA-AROMATICOS	XP-1601A	
PETROQUIMICA-AROMATICOS	XP-1601B	
PETROQUIMICA-AROMATICOS	C-1601A	
PETROQUIMICA-POLII	C-2201J02	
PETROQUIMICA-POLII	C-2203	
PETROQUIMICA-POLII	C-2204	
PETROQUIMICA-POLII	XEX-X2201	Acetite con trazas de agua.
PETROQUIMICA-POLII	P-2201A,B	
PETROQUIMICA-POLII	P-2201C,D	
PETROQUIMICA-POLII	P-2201E,F	
PETROQUIMICA-POLII	C-2206A LEX	Acetite contaminado con agua. Contenido de hierro alto.
PETROQUIMICA-POLII	C-2206A LCO	Acetite contaminado con agua. Tomar otra muestra para verificar tendencia de hierro.
PETROQUIMICA-POLII	C-2206B LEX	Acetite contaminado con agua. Tomar otra muestra para verificar tendencia de hierro.
PETROQUIMICA-POLII	C-2206B LCO	El contenido de hierro un poco alto
PETROQUIMICA-POLII	C-2207 LEX	La viscosidad del acetite esta por debajo del grado iso 220
PETROQUIMICA-POLII	C-2207 LCO	No pasa la prueba de característica de emulsion

PETROQUIMICA-POLI I	C-2208A LEX	Acetate contaminado con agua, la viscosidad se ha incrementado y esta en el limite superior. Nivel de hierro alto.
PETROQUIMICA-POLI I	C-2208A LCO	Viscosidad muy alta, contaminado con agua. Nivel de hierro muy alto, presencia de plomo.
PETROQUIMICA-POLI I	C-2208B LEX	
PETROQUIMICA-POLI I	C-2208B LCO	Acetate contaminado con agua, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
PETROQUIMICA-POLI I	C-2203	La viscosidad del acetate esta en el limite inferior del grado ISO 150, la acidez esta alta, se recomienda cambiar el acetate.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2254A LEX	Acetate contaminado con agua.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2254B LEX	No pasa la prueba de caracteristica de emulsion. Contenido de hierro alto.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2255A LEX	Acetate dentro de especificaciones
PETROQUIMICA-POLI II	C-2255B LEX	Acetate dentro de especificaciones. No pasa la prueba de caracteristica de emulsion. Contenido de hierro alto.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2256	Acetate contaminado con agua.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2257	Acetate dentro de especificaciones. No pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2258	Acetate contaminado con agua, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion. Contenido de hierro alto.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2259A	Acetate contaminado con agua.
PETROQUIMICA-POLI II	XEX-X2251	Acetate dentro de especificaciones.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2251/52	Acetate dentro de especificaciones.
PETROQUIMICA-POLI II	C-2253 OLAN	La viscosidad del acetate esta alta para el grado ISO 100
PETROQUIMICA-POLI II	D-2268	La viscosidad del acetate esta en el limite superior del grado ISO 100
PETROQUIMICA-POLI II	P-2251A/B	El acetate esta contaminado con agua.
PETROQUIMICA-POLI II	P-2251C/D	
PETROQUIMICA-POLI II	P-2251E/F	El acetate esta contaminado con agua.
REFINACION-TOPPING 2000	P-2018F L.A.C	La viscosidad del acetate esta muy alta, probable mezcla contaminacion o relleno con un acetate de mayor viscosidad.
REFINACION-TOPPING 2001	P-2018F LEM	La viscosidad del acetate esta en el limite inferior. Los niveles de hierro y cobre estan altos.

INFORME ELABORADO ABRIL 6

Equipo/Serial	Acete	Viscosidad	TBN	TAN	Fe	Recomendaciones
NP-901G LGOB	TURBINA 220	208.01		0.6	3	Acete dentro de especificaciones. Metales normales
NP-901G LAC	TURBINA 220	224.94		0.3	3	Acete dentro de especificaciones. Metales normales
P-901G LAC	TURBINA 68	69.79		0.3	2	Acete con trazas de humedad. Metales normales
P-901G LEX	TURBINA 68	69.92		0.3	2	Acete dentro de especificaciones. Metales normales
NP-901H LGOB	TURBINA 220	222.95		0.5	3	Acete dentro de especificaciones. Metales normales
NP-901H LAC	TURBINA 220	230.72		0.4	15	Acete dentro de especificaciones. No pasa la prueba de caracteristica de emulsion.Metales normales
P-901H LAC	TURBINA 68	69.48		0.2	3	Acete dentro de especificaciones. Metales normales
P-901H LEX	TURBINA 68	68.5		0.3	9	Acete con trazas de humedad. Metales normales
P-901H LEX	TURBINA 68	67.69		0.1	9	Acete con trazas de humedad. Metales normales
NP-1111	TURBINA 68	76.69		0.3	0	Viscosidad del acete por encima del rango ISO 68
P-1111	ENGRANAJES EP 320	281.49		0.7	0	Viscosidad del acete por debajo del grado ISO 320, revisar si hay mezcla o rellenos con un acete de menor viscosidad.
P-1121B	ENGRANAJES EP 320	264.5		0.6	9	Viscosidad del acete muy baja, se recomienda cambiar el acete, revisar si hay mezcla o rellenos con un acete de menor viscosidad.
F-1201B	ENGRANAJES EP 320	292.5		0.8	215	Acete dentro de especificaciones. Contenido de hierro alto, tomar nueva muestra para verificar tendencia
F-1202C	ENGRANAJES EP 320	310.53		0.5	108	Acete dentro de especificaciones. Presencia de hierro, tomar nueva muestra para verificar tendencia.
F-1203A	ENGRANAJES EP 320	312.34		0.7	185	Acete dentro de especificaciones. Contenido de hierro alto, tomar nueva muestra para verificar tendencia
F-1203B	ENGRANAJES EP 320	294.75		0.5	108	Acete dentro de especificaciones. Presencia de hierro, tomar nueva muestra para verificar tendencia.
C-1201	TURBINA 32	31.78		0.2	0	Acete con trazas de humedad. Metales normales
C-1202	TURBINA 32	31.67		0.1	0	Acete con trazas de humedad. Metales normales
C-2403	ENGRANAJES EP 150	37.43		1.7	168	La viscosidad esta baja para ISO 46, la acidez esta alta.
MDP-3903A	MAXTER MULTIGRADO CH-4 SAE 15W40	13.91	9.1		15	Ligera presencia de combustible que no afecta la viscosidad, Puede ser por periodos de ralenty prolongados. El nivel de metales por desgaste es normal.
MDP-3903A	MAXTER MULTIGRADO CH-4 SAE 15W40	13.88	9.2			Acete dentro de especificaciones. El nivel de metales por desgaste es normal.

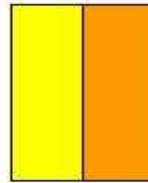
INFORME ELABORADO 12 DE ABRIL

Equipo/Serial	Laboratorio	Aceite	Horas Acei	Viscosid TAN	Recomendaciones	
C-245	TERPEL	TURBINA 150	4500	153.67	0.33	Aceite contaminado con agua. (2,4%)
TG-2402	TERPEL	TURBINA 32	13080	32.22	0.99	Presencia de cobre
TO-2403	TERPEL	TURBINA 32	12360	32.63	0.96	Aceite dentro de especificaciones. Metales normales
C-2401	TERPEL	TURBINA 150	2160	132.64	1.72	La viscosidad del aceite esta alta para el grado ISO 100, la acidez esta alta, se recomienda cambiar el aceite. Hay presencia de plomo, El aceite esta contaminado con agua.
C-2402	TERPEL	TURBINA 150	4320	154.86	0.72	Viscosidad y acidez normal, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion, se recomienda evitar la contaminacion con agua.
C-2403	TERPEL	ENGRANAJES EP 150	4320	151.16	0.36	La viscosidad del aceite esta alta para el grado ISO 150, VERIFICAR EL GRADO DEL ACEITE la acidez esta alta, se recomienda cambiar el aceite. Hay presencia de plomo,
C-2404	TERPEL	TURBINA 150	4320	253.59	1.96	Viscosidad y acidez normal, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion, se recomienda evitar la contaminacion con agua. Hay presencia de plomo.
XC-2403	TERPEL	ENGRANAJES EP 150	4320	148.96	0.72	Metales normales
NUF-2401	TERPEL	TURBINA 68	1800	71.17	0.43	Aceite con trazas de humedad, presencia de plomo.
UF-2401 LAC	TERPEL	TURBINA 68	720	70.42	0.47	Metales normales
UF-2401 LEX	TERPEL	TURBINA 68	720	69.62	0.45	La viscosidad del aceite esta por encima del grado ISO 68,
NUF-2402	TERPEL	TURBINA 68	2160	77.7	0.46	Metales normales
UF-2402 LAC	TERPEL	TURBINA 68	720	67.87	0.45	Metales normales
UF-2402 LEX	TERPEL	TURBINA 68	720	70.39	0.45	Metales normales
NUF-2403	TERPEL	TURBINA 68	1800	67.4	0.48	Aceite con trazas de humedad
UF-2403 LAC	TERPEL	TURBINA 68	720	72.86	0.33	Aceite con trazas de humedad. Presencia de cobre
UF-2403 LEX	TERPEL	TURBINA 68	720	66.87	0.43	Presencia de plomo.
NUF-2405	TERPEL	TURBINA 68	960	66.93	0.46	Metales normales
NUF-951	TERPEL	TURBINA 68	3600	71.75	0.37	Metales normales
XP-810C	TERPEL	ENGRANAJES EP 320	4320	116.65	0.43	Aceite con trazas de humedad, no pasa prueba de caracteristica de emulsion, contenido hierro alto.
XP-801P	TERPEL	GLYCOLUB 150		144.64	0.41	Aceite con trazas de humedad, no pas la prueba de caracteristica de emulsion, contenido de hierro alto. VERIFICAR EL TIPO Y NOMBRE DEL ACEITE

INFORME ELABORADO 13 ABRIL

Equipo/Serial	Aceite	Fecha tomas	Viscosi	TAN	Agua	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Si	Demusi	Recomendaciones
NP-901G LGOB	TURBINA 220	17/03/2005	208.01	0.58	0	0	0	2	3	0	0	20	Aceite dentro de especificaciones. Metales
NP-901G LAC	TURBINA 220	17/03/2005	224.94	0.34	0	0	0	0	3	0	0	15	Aceite dentro de especificaciones. Metales
P-901G LAC	TURBINA 68	17/03/2005	69.79	0.28	0,2	0	0	7	2	0	0	20	Aceite con trazas de humedad. Metales normales
P-901G LEX	TURBINA 68	17/03/2005	69.92	0.3	0	0	0	0	2	0	0	25	Aceite dentro de especificaciones. Metales
NP-901H LGOB	TURBINA 220	17/03/2005	222.95	0.46	0	0	0	0	3	0	2	15	Aceite dentro de especificaciones. Metales
NP-901H LAC	TURBINA 220	17/03/2005	230.72	0.42	0	0	0	2	15	0	0	0	Aceite dentro de especificaciones. No pasa la prueba de característica de
P-901H LAC	TURBINA 68	17/03/2005	69.48	0.22	0	0	0	0	3	0	0	20	Aceite dentro de especificaciones. Metales
P-901H LEX	TURBINA 68	17/03/2005	68.5	0.26	0,2	0	0	2	9	0	0	20	Aceite con trazas de humedad. Metales normales
P-901H LEX	TURBINA 68	30/03/2005	67.69	0.14	0,2	0	0	0	9	0	0	25	Aceite con trazas de humedad. Metales normales

LGOB Lado Gobernador
 LAC Lado Acople
 LEX Lado Exterior.



recomendación: deben corregir el problema de fuga vapor en la vidra de sello del plan 62 que genera la contaminación con agua y cambiar el aceite.
recomendación: se debe evitar el contacto con el agua, ya que este aceite no la esta separando, lo cual puede generar emulsión.

INFORME ELABORADO 15 DE ABRIL

Equipo/Serial	Aceite	Fecha	Horas	AVisco	TAN	Agua	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Si	Isib	Recomendaciones
NUF-2951	TURBINA 68	11/04/2005	1080	66.5	0.31	2	0	0	3	5	0	0	15	El aceite esta contaminado con agua (2,0%), pasa la prueba de caracteristica de emulsion.
UF-2951 LAC	TURBINA 68	11/04/2005	720	68.3	0.29	0	0	0	9	6	0	0	15	Aceite dentro de especificaciones. Metales normales
UF-2951 LEX	TURBINA 68	11/04/2005	720	67.3	0.3	1.2	0	2	6	11	51	3	15	El aceite esta contaminado con agua (1,2%), pasa la prueba de caracteristica de emulsion. El contenido de plomo continua incrementandose.
NUF-2952	TURBINA 68	11/04/2005	1800	66.1	0.28	0	0	0	0	13	0	0	15	Aceite dentro de especificaciones. Metales normales
UF-2952 LAC	TURBINA 68	11/04/2005	720	65.9	0.26	0	0	2	6	5	0	0	20	Aceite dentro de especificaciones. Metales normales
UF-2952 LEX	TURBINA 68	11/04/2005	720	65.8	0.29	0	0	2	6	3	0	0	15	Aceite dentro de especificaciones. Metales normales
UF-2953 LAC	TURBINA 68	11/04/2005	1080	65.5	0.29	0	0	2	17	5	0	3	0	La viscosidad y la acidez estan bien, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion. Hay presencia de cobre. Tomar nueva muestra para verificar tendencia.
UF-2953 LEX	TURBINA 68	11/04/2005	1080	66.3	0.25	0	0	2	22	8	8	5	0	La viscosidad y la acidez estan bien, no pasa la prueba de caracteristica de emulsion. Hay presencia de cobre y plomo. Puede indicar desgaste en cojinetes- Tomar nueva muestra para verificar tendencia.
UF-2955 LAC	TURBINA 68	11/04/2005	8	66.2	0.31	0.1	0	2	8	74	635	5	0	Presencia de trazas de agua. Los contenidos de hierro y de plomo estan muy altos
UF-2955 LAC	TURBINA 68	07/04/2005	8	65.9	0.29	0.1	0	2	6	17	114	3	0	Presencia de trazas de agua. Contenido de plomo alto.