

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE
TRIBOLOGÍA OPERATIVA PARA EL CUIDADO
BÁSICO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN
ECOPETROL S.A. - GERENCIA COMPLEJO
BARRANCABERMEJA.**

IOVAN DAVID MENDOZA GUERRA

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

2.005

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE
TRIBOLOGÍA OPERATIVA PARA EL CUIDADO
BÁSICO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN
ECOPETROL S.A. - GERENCIA COMPLEJO
BARRANCABERMEJA.**

IOVAN DAVID MENDOZA GUERRA

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ISNARDO GONZALEZ JAIMES

Ingeniero Mecánico

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

2.005

DEDICATORIA

*Doy gracias a **Dios**, fuerza que sustenta día a día mi existencia, quien me inspiró para la realización y culminación de mi proyecto de grado.*

*A mi padre, **Julio José**, a mi madre, **Magola** y a mi hermano **Carlos Daniel**, creaciones grandiosas que constituyen mi mayor fuente de motivación y enseñanzas.*

*A mi querida tía, **Carmen Guerra**, por su ilimitado apoyo y ejemplo; no hay palabras que describan el sentimiento de agradecimiento y aprecio para con ella.*

A mis familiares y amigos, por su respaldo incondicional, motivación y afecto.

Gracias.

Iovan David Mendoza Guerra

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

A la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Al Director de escuela y al cuerpo docente.

A Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Pedro R. Albarracín, Ingeniero Mecánico, codirector del proyecto y tutor en Ecopetrol S.A., por su amistad, enseñanzas y sabios consejos.

A Andrés López Rosero, Wilson Acevedo, Eder A. Carreño, Elber F. Ruiz y Cesar Cote, compañeros que estuvieron prestos a ayudar en los momentos más necesarios.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron con la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. GENERALIDADES SOBRE ECOPETROL S.A. Y LAS PLANTAS DE CRACKING	27
1.1 AREAS DE NEGOCIO	28
1.1.1 Exploración.	28
1.1.2 Producción.	28
1.1.3 Refinación y petroquímica.	29
1.1.4 Transporte.	30
1.1.5 Comercialización.	30
1.1.6 Investigación y desarrollo.	31
1.2 GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA	32
1.3 REFINACIÓN DE CRUDO	37
1.3.1 Unidad de ruptura catalítica (cracking).	38
2. GENERALIDADES SOBRE MANTENIMIENTO	39
2.1 ¿QUÉ ES MANTENIMIENTO?	39
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	40
2.3 COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO	42
2.4 CONSECUENCIAS DE NO MANTENER	43
2.5 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO	44

3. ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN Y CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO EN ECOPETROL S.A. - GCB	46
3.1 EQUIPO, COMPONENTE Y REPUESTO	46
3.1.1 Equipo.	46
3.1.2 Componente.	47
3.1.3 Repuesto.	49
3.2 VENTANAS Y GUIAS OPERATIVAS	49
3.2.1 Guías operativas.	49
3.2.2 Ventana operativa.	50
3.3 ESTADO DEL EQUIPO.	51
4. GENERALIDADES SOBRE MÁQUINAS ROTATIVAS QUE OPERAN EN LAS PLANTAS DE CRACKING - ECOPETROL S.A.	54
4.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS	54
4.1.1 Según Tipo de Carcasa.	55
4.1.2 Según el Impulsor.	55
4.1.3 Según boquilla de succión.	57
4.1.4 Según configuración mecánica.	57
4.2 MOTORES ELÉCTRICOS	58
4.2.1 De Corriente alterna.	58
4.2.2 De corriente continua.	59
4.3 REDUCTORES DE VELOCIDAD	60
4.3.1 Guía para la selección de un reductor	62
4.4 TURBINAS DE VAPOR	63
4.4.1 Clasificación de las turbinas.	65
4.4.2 Componentes de una turbina.	65
4.4.3 Sistemas auxiliares.	65

4.5 VENTILADORES	66
4.5.1 Ventilador de hélice.	66
4.5.2 Ventilador axial.	67
4.5.3 Ventilador centrífugo.	68
4.6 COMPRESORES	69
4.6.1 De desplazamiento positivo.	69
4.6.2 Compresores cinéticos o dinámicos.	73
5. TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN	75
5.1 LUBRICACIÓN	75
5.2 FUNCIONES DE LOS ACEITES LUBRICANTES	76
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES	76
5.4 TIPOS DE LUBRICACIÓN	79
5.4.1 Lubricación Límite.	79
5.4.2 Lubricación Hidrodinámica.	80
5.4.3 Lubricación Mixta.	80
5.4.4 Lubricación Elastohidrodinámica (EHL).	81
5.5 FALLAS COMUNES EN ELEMENTOS DE MÁQUINAS POR ANOMALÍAS EN EL ACEITE O MALA LUBRICACIÓN	85
5.5.1 Desgaste abrasivo.	85
5.5.2 Desgaste adhesivo.	85
5.5.3 Desgaste erosivo.	86
5.5.4 Desgaste corrosivo.	87
5.5.5 Adherencia o gripado.	87

6.VIBRACIONES MECÁNICAS	88
6.1 DIAGNÓSTICO DE FALLAS	89
6.1.1 Desgaste o juego.	89
6.1.2 Remolino de aceite.	90
6.1.3 Desalineamiento angular.	90
6.1.4 Falla en rodamientos (falla en pista interna).	91
6.2 EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD VIBRATORIA.	91
6.3 TENDENCIAS VIBRATORIAS.	92
7. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA EN LAS PLANTAS DEL DEPARTAMENTO DE CRACKING DE ECOPETROL S.A. - GCB	94
7.1 DISEÑO DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA	95
7.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA	96
7.2.1 Estudio de la organización interna, necesidades, capacidades y sistema de administración.	96
7.2.2 Selección de las máquinas y acondicionamiento preliminar.	97
7.2.3 Requerimientos humanos y responsabilidades del personal de la organización.	103
7.2.4 Procedimiento de la Ruta de Tribología Operativa.	108
7.2.5 Definición de cronogramas de inspección y rutas de monitoreo.	124
7.2.6 Diseño de un sistema sencillo para el manejo de datos y registro de la información.	126
7.2.7 Capacitación del personal de operadores acorde a sus funciones en el programa de mantenimiento RTO.	136

8. INDICADORES DE GESTIÓN	138
8.1 TASA DE FALLAS	140
8.2 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF)	143
8.3 FACTOR STAND BY (FS)	147
9. CONCLUSIONES	151
10. RECOMENDACIONES	153
11. BIBLIOGRAFÍA	154
ANEXOS	156

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gerencia Complejo Barrancabermeja.	27
Figura 2. Exploración por Sismología.	28
Figura 3. Machines.	28
Figura 4. Planta de refinación.	29
Figura 5. Tanques de almacenamiento y tuberías de transporte.	30
Figura 6. Productos para el mundo.	31
Figura 7. Instituto Colombiano del Petróleo.	32
Figura 8. Organigrama general de la Gerencia Complejo Barrancabermeja.	33
Figura 9. El petróleo y sus derivados.	37
Figura 10. Unidad de ruptura catalítica.	38
Figura 11. Mantenimiento efectivo en costos.	43
Figura 12. Estructura de la información de equipo.	46
Figura 13. Sistema de bombeo.	47
Figura 14. Violación de las guías y ventanas operativas.	51
Figura 15. Ciclo operativo de los equipos rotativos.	53
Figura 16. Bomba de impulsor abierto.	55
Figura 17. Bomba de doble succión.	56
Figura 18. Bomba multietapas.	56
Figura 19. Bomba vertical.	577
Figura 20. Motor eléctrico.	58
Figura 21. Campo magnético inducido en el rotor.	59
Figura 22. Partes básicas de un motor eléctrico.	59

Figura 23. Reductor de velocidad.	61
Figura 24. Rotor de turbina de vapor.	63
Figura 25. Conversión de energía en el alabe.	64
Figura 26. Configuraciones de los álabes: a) Alabes de impulso b) alabes de reacción.	64
Figura 27. Ventilador torre de enfriamiento.	67
Figura 28. Ventilador de tiro forzado (Caldera).	68
Figura 29. Compresor recíprocante de dos etapas.	70
Figura 30. Rotor de un compresor de paletas deslizantes.	71
Figura 31. Proceso de Compresión en Compresor de Paletas Deslizantes.	71
Figura 32. Compresor de tornillos.	72
Figura 33. Compresor de Lóbulos Rectos y Proceso de Compresión.	73
Figura 34. Compresor Centrifugo Radial.	74
Figura 35. Formación de la película lubricante hidrodinámica.	81
Figura 36. Ralladuras en piñón.	85
Figura 37. Desprendimiento de material en un eje.	86
Figura 38. Desprendimiento de material en chumacera.	86
Figura 39. Corrosión en chumacera.	87
Figura 40. Falla por fricción en la canastilla.	87
Figura 41. Características de la vibración.	88
Figura 42. Espectro de una vibración.	89
Figura 43. Juego mecánico.	89
Figura 44. Remolino de aceite.	90
Figura 45. Desalineamiento angular.	90
Figura 46. Falla en rodamientos.	91

Figura 47. Oscilograma y tendencia.	92
Figura 48. Kit de tribología.	110
Figura 49. Analizador de aceite.	110
Figura 50. Pirómetro.	111
Figura 51. Lápiz de vibración.	112
Figura 52. Analizador de vibraciones CSI 2120.	113
Figura 53. Muestra de aceite en el sensor.	116
Figura 54. Calibración del analizador con una muestra de aceite nuevo.	116
Figura 55. Limpieza del sensor.	117
Figura 56. Toma de muestra de aceite usado.	118
Figura 57. Medición de temperatura en un motor eléctrico.	120
Figura 58. Nomenclatura para el lugar de monitoreo de vibraciones.	123
Figura 59. Puntos de monitoreo de vibración en un sistema de bombeo.	123
Figura 60. Diagrama de bloque de vínculos para el registro de los estados operativos de equipos.	127
Figura 61. Diagrama de bloque de vínculos para el registro de los datos recolectados en la RTO.	128
Figura 62. Hoja de entrada.	129
Figura 63. Estado de equipo rotativo.	129
Figura 64. Registro del estado operativo de los equipos.	130
Figura 65. Evolución en el mes del estado operativo.	131
Figura 66. Matrix de escenarios para priorización del mantenimiento.	131
Figura 67. Hoja de vínculos de la RTO.	132
Figura 68. Secuencia en los vínculos.	132
Figura 69. Turnos de monitoreo.	133
Figura 70. Ingreso de datos de temperatura y vibración.	133

Figura 71. Ingreso de la condición del aceite.	134
Figura 72. Hoja de indicadores del número de equipos con anomalías en el aceite, temperatura y vibración.	135
Figura 73. Hoja que especifica los equipos con anomalías en los aceites.	136
Figura 74. Hoja que especifica los equipos con datos de temperatura y vibración por fuera de límites.	136
Figura 75. Sistema de indicadores de la refinería - RIS.	138
Figura 76. Reporte de indicadores de gestión.	139
Figura 77. Tasa de falla equipo rotativo - GCB - 2004.	140
Figura 78. Tasa de falla por departamentos - GCB - 2004.	141
Figura 79. Falla equipo de bombeo Cracking 2004.	141
Figura 80. Tasa de falla semanal cracking 2004.	142
Figura 81. Tiempo medio entre fallas - TMEF.	143
Figura 82. TMEF 2004 UOPI.	144
Figura 83. TMEF 2004 UOPII.	145
Figura 84. TMEF 2004 Orthoflow.	145
Figura 85. TMEF 2004 Modelo IV.	146
Figura 86. Factor Stand by 2004 UOPI.	148
Figura 87. Factor Stand by 2004 UOPII.	148
Figura 88. Factor Stand by 2004 Orthoflow.	149
Figura 89. Factor Stand by 2004 Modelo IV.	149

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Departamentos, coordinaciones y plantas de la GCB.	34
Tabla 2. Equipos y componentes posibles que aplica para equipo rotativo en la GCB.	48
Tabla 3. Estado operativo de los equipos rotativos.	51
Tabla 4. Grado ISO del aceite y NLGI de la grasa para diferentes equipos rotativos.	83
Tabla 5. Tabla de información del estado de accesorios de los equipos rotativos de UOPI.	99
Tabla 6. Ficha técnica del analizador de aceite.	111
Tabla 7. Ficha técnica de la pistola de temperatura.	111
Tabla 8. Ficha técnica del lápiz de vibración.	112
Tabla 9. Cronograma de la ruta de monitoreo de Modelo IV.	125

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tablas de recolección de información de los equipos rotativos	161
Anexo B. Formato para la toma de datos en la Ruta de Tribología operativa	354
Anexo C. Cronogramas de inspección de equipos rotativos en la RTO para las plantas de Cracking	
Anexo D. Reporte de asistencia de las personas capacitadas en la RTO	359

GLOSARIO

ABRASIÓN: El desgaste general de una superficie por roce constante debido a la presencia de material extraño, tal como partículas metálicas, o suciedad en el lubricante. Puede también causar también una rotura del elemento (tal como la superficie de los dientes de los engranajes). La ausencia de lubricación puede dar lugar a la abrasión.

ABSORCIÓN: La asimilación de un material en otro; en la refinación del petróleo, el uso de un líquido absorbente para quitar selectivamente componentes de una corriente de proceso.

ACEITE: Toda sustancia del origen animal, mineral, vegetal o sintético formada por ésteres de ácidos grasos o por hidrocarburos derivados del petróleo, generalmente menos densa que el agua.

ACEITE MINERAL: El aceite derivado de una fuente mineral, tal como petróleo, en comparación con los aceites derivados de las plantas y de los animales.

ACEITE MULTIGRADO: Es un aceite que alcanza los requisitos de más de una clasificación del grado de viscosidad del SAE, y puede por lo tanto ser usado en un mayor rango de temperaturas.

ACEITES SINTÉTICOS: El aceite producido por síntesis más que por la extracción o el refinamiento.

ADHERENCIA: La característica de un lubricante que le hace aferrarse o adherir a una superficie sólida.

ADITIVO: Un compuesto que realza una cierta característica, o imparte una cierta nueva característica al fluido base. En algunas formulaciones el volumen de aditivo puede constituir tanto como 20 por ciento de la composición final. Los tipos más importantes de añadidos incluyen antioxidante, los aditivos antidesgaste, los inhibidores de la corrosión, mejoradores del índice de la viscosidad, e inhibidores de la espuma.

ANTIOXIDANTES: Prolongan la vida útil de un aceite base en la presencia de condiciones oxidativas y metales catalizadores, a elevadas temperaturas. El aditivo se consume y los productos de la degradación se incrementan no sólo con temperaturas altas y sostenidas sino también con incrementos de la agitación o turbulencia y contaminación—agua, aire, partículas metálicas y polvo.

BOMBA: Un dispositivo que convierte la fuerza y el movimiento mecánico en energía fluida hidráulica.

CLASE DE EQUIPO: Código que permite identificar equipos con un mismo principio de diseño operacional y con un patrón de referencias alternas igual.

CÓDIGO DE COMPONENTE: Código que permite identificar componentes con un mismo principio de diseño físico e igual patrón de ficha técnica.

COMPONENTE: Elemento que cumple una función técnica específica y es indispensable para el funcionamiento del equipo.

CONDICIÓN DE MONITOREO: Conjunto de variables, niveles y acciones que garanticen el cumplimiento de un comportamiento esperado.

CRITICIDAD EQUIPO: Código que caracteriza la importancia en producción de un equipo CR (Crítico). ES (Esencial). PG (Propósito general).

EMULSIBILIDAD: La capacidad de un fluido no soluble en agua para formar una emulsión con agua.

EQUIPO: Estructura productiva con características técnicas propias que requiere la asignación independiente de acciones de mantenimiento.

EQUIPO STAND BY: Son aquellos que están fuera de servicio y cuyo objetivo es reemplazar a un equipo en funcionamiento en el momento que la operación lo requiera. El Stand - By es por lo tanto un Estado del Equipo y es variable en el tiempo.

EROSIÓN: El retiro progresivo de una superficie de la máquina por la cavitación o por el choque de la partícula a altas velocidades.

FALLA: La inhabilidad o incapacidad de un componente a desarrollar la función para la cual fue diseñado de manera confiable, económica y segura.

FALLA CATASTRÓFICA: Falla inesperada y o repentina de una máquina causando un costo considerable y tiempo muerto.

FILTRO: Cualquier dispositivo o sustancia porosa usada como tamiz para limpieza de fluidos removiendo material en suspensión.

FRENTE EJECUTOR: División administrativa a nivel de recursos (personas y herramientas) para la ejecución de las tareas de mantenimiento.

FRICCIÓN: La fuerza que resiste el movimiento encontrada entre dos cuerpos, bajo la acción de una fuerza externa en la cuál un cuerpo tiende a moverse sobre la superficie del otro.

GRASA: Lubricante sólido ó semifluido compuesto por un aceite o aceites espesados con un agente espesante llamado jabón, dependiendo de las características de los espesantes ó jabones se obtendrá una masa de consistencia sólida o semisólida.

LÍNEA BASE: Valor de referencia inicial de una variable específica para monitoreo.

LUBRICANTE: Cualquier sustancia interpuesta entre dos superficies en el movimiento relativo con el fin de reducir la fricción y/o el desgaste entre ellos.

ORDEN DE TRABAJO: Elemento principal de la gestión de mantenimiento. Es el documento fundamental y básico para que la función de mantenimiento se realice. Este documento identifica, autoriza y ordena un trabajo a realizar por la organización de mantenimiento.

OTS. MENORES: Acciones de Mantenimiento que no hacen parte del programa semanal del frente ejecutor, tienen una duración menor o igual a 24 y recursos menor o igual 4 horas - hombre.

PERMISO DE TRABAJO: Documento cuyo principal objetivo es garantizar el cumplimiento de los aspectos básicos de seguridad para la ejecución de una acción sobre un equipo por personal diferente a Operaciones y establece el cambio de custodia a Mantenimiento.

RECURSO: Requerimientos de personal y/o herramientas necesarias para la ejecución de una tarea.

REDUCTOR: Una conexión que tiene un diámetro menor en un extremo con respecto al otro.

TRIBOLOGÍA: La ciencia y la tecnología de superficies que obran recíprocamente en el movimiento relativo, incluyendo el estudio de la lubricación, de la fricción y del desgaste. El desgaste de Tribología es el desgaste que ocurre como resultado del movimiento relativo en la superficie.

VISCOSIDAD: Medida de la resistencia de un líquido al flujo.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA PARA EL CUIDADO BÁSICO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN ECOPETROL S.A. – GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA*

AUTOR:

MENDOZA GUERRA, Iovan David**

PALABRAS CLAVES:

Tribología, ruta, mantenimiento predictivo, monitoreo, aceite, vibraciones.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo principal de este proyecto es el mejoramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos en la empresa petrolera ECOPETROL S.A., con la implementación y puesta en marcha de un programa de mantenimiento predictivo que permite conocer los datos del estado del aceite, el valor de la temperatura de operación y la intensidad de las vibraciones, con el fin de reducir las tasas de falla de los equipos rotativos, enfocar mejor los recursos de mantenimiento hacia los casos más críticos, evitar la destrucción total o parcial del equipo por falla intempestiva que genera altos costos de reparación y lo más importante, generar entre los operadores una cultura de pertenencia y protección sobre los equipos rotativos de la refinería.

Al interior de la implementación de la ruta de tribología operativa se logró recopilar información acerca del inventario y accesorios de los equipos rotativos, generación de un procedimiento para la toma de datos de aceite, temperatura y vibración, establecimiento de límites de alarmas, diseño de una aplicación en Excel para el aseguramiento de los datos recopilados en campo y capacitación al personal de operadores, técnicos e ingenieros en todo lo concerniente a sus funciones dentro del programa de mantenimiento predictivo.

Los primeros capítulos describen brevemente la empresa, brindando claridad en los fundamentos y terminología utilizada al interior de la organización, en cuanto a las prácticas de mantenimiento y equipos rotativos, además de ilustrar los conceptos básicos de la tribología, lubricación y vibraciones mecánicas. Los capítulos siguientes se concentran en el desarrollo de las fases que debe seguir todo programa de mantenimiento predictivo para su diseño e implementación, tomando como marco de referencia el caso específico de los equipos y estrategias utilizadas en la industria petrolera.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Isnardo González Jaimes.

SUMMARY

TÍTULO: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE OPERATIVE TRIBOLOGY ROUTE FOR BASIC CARE OF ROTATORY EQUIPMENTS IN ECOPETROL S.A. BARRANCABERMEJA COMPLEX MANAGER'S OFFICE

AUTHOR:

MENDOZA GUERRA, Iovan David**

KEY WORDS:

Tribology, route, predictive maintenance, monitoring, oil, vibrations.

DESCRIPTION:

The main objective of this project is the improvement of the reliability and availability of rotatory equipments in the oil company ECOPETROL S.A., with the implementation and execution of a predictive maintenance program that allows to know oil state data, operation temperature value and vibrations intensity, with the purpose of reducing rotatory equipments failure rates, to focus maintenance resources better toward the most critical cases, to avoid the total or partial destruction of equipment for inopportune failure that could generate high repair costs, and the most important thing, to generate among operators an ownership and protection culture about rotatory equipments of the refinery.

Inside implementation of the operative tribology route it was possible to gather information about inventory and accessories of the rotatory equipments, generation of a procedure for taking oil data, temperature and vibration, establishment of alarms limits, design of an application in Excel for assuring all of the data gathered in field and training to the personnel of operators, technicians and engineers in all the concerning to their functions inside of the predictive maintenance program.

The first chapters briefly describe the company, offering clarity in basis and terminology used inside of the organization, as for maintenance practices and rotatory equipments, besides illustrating basic concepts of the tribology, lubrication and mechanical vibrations. The following chapters concentrate on the development of the phases that should follow every program of predictive maintenance for its design and implementation, taking as reference the specific case of the equipments and strategies used in the petroleum industry.

* Degree Thesis

** Faculty of Physical- Mechanics Engineering, School of Mechanical Engineering. Ing. Isnardo González Jaimes.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las labores de mantenimiento predictivo de las máquinas rotativas en la refinería de Ecopetrol S.A., están encaminadas al monitoreo en línea de los equipos más críticos que representan tan solo un 20% de las máquinas rotativas y el monitoreo con equipo portátil al resto de máquinas de propósito general en periodos distantes.

Debido a que más del 80% del equipo rotativo de la Refinería no posee monitoreo en línea de variables de condición, como temperatura y/o vibraciones, existe la posibilidad del inicio de alguna falla 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.

El objetivo principal de este proyecto es el mejoramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos en la empresa petrolera ECOPETROL S.A., con la implementación y puesta en marcha de un programa de mantenimiento predictivo que permite conocer semanalmente los datos del estado del aceite, el valor de la temperatura de operación y la intensidad de las vibraciones de cada uno de los mecanismos lubricados, con el fin de reducir las tasas de falla de los equipos rotativos, enfocar mejor los recursos de mantenimiento hacia los casos más críticos, incrementar el trabajo preventivo planeado, evitar la destrucción total o parcial del equipo por falla intempestiva que genera altos costos de reparación, lograr que las máquinas alcancen su vida a la fatiga, evitar la interrupción del proceso y las pérdidas

por lucro cesante, disminuir los días de parada no programada, y lo más importante, generar entre los operadores una cultura de pertenencia y protección sobre los equipos de la refinería.

Una de los alcances mas importantes de este proyecto es precisamente lograr involucrar al operador de planta en las tareas básicas de mantenimiento de los equipos rotativos como por ejemplo, conservar el aceite en condiciones de calidad, mantener limpio el equipo, revisar los sistemas auxiliares como agua de enfriamiento y fluidos de sellado, velar para que las condiciones de trabajo de los equipos estén dentro de los límites establecidos por las ventanas operativas durante su operación.

Al interior de la implementación de la ruta de tribología operativa se logró recopilar información acerca del inventario y accesorios de los equipos rotativos, generación de un procedimiento para la toma de datos de aceite, temperatura y vibración, establecimiento de límites de alarmas, diseño de una aplicación en Excel para el aseguramiento de los datos recopilados en campo y capacitación al personal de operadores, técnicos e ingenieros en todo lo concerniente a sus funciones dentro del programa de mantenimiento predictivo.

El contenido del libro fue desarrollado de tal manera que los primeros capítulos describen brevemente la empresa, brindando claridad en los fundamentos y terminología utilizados al interior de la organización, en cuanto a las prácticas de mantenimiento y equipos rotativos, además de ilustrar los conceptos básicos de la tribología, lubricación y vibraciones mecánicas. Los

capítulos siguientes se concentran en el desarrollo de las fases que debe seguir todo programa de mantenimiento predictivo para su diseño e implementación, tomando como marco de referencia el caso particular de los equipos y estrategias utilizados en la industria petrolera.

1. GENERALIDADES SOBRE ECOPETROL S.A. Y LAS PLANTAS DE CRACKING

Figura 1. Gerencia Complejo Barrancabermeja.



Ecopetrol S.A. es una Sociedad Pública por Acciones, del estado colombiano, dedicada exclusivamente a buscar, producir, transportar, almacenar, refinar y comercializar hidrocarburos. Es la empresa financieramente más sólida e importante de Colombia con utilidades promedio en los últimos 5 años superiores a los 1.2 billones de pesos y sus exportaciones en el mismo periodo ascendieron a 1.981 millones de dólares. Por lo mismo, también es la cuarta estatal petrolera más grande de América Latina.

1.1 AREAS DE NEGOCIO

1.1.1 Exploración. Ecopetrol S.A., a través de su gestión exploratoria (upstream), persigue el hallazgo de nuevos yacimientos de hidrocarburos comercialmente explotables, que garanticen la autosuficiencia energética en Colombia. Ver figura 2.

Figura 2. Exploración por Sismología.



1.1.2 Producción. Ecopetrol S.A. responde por el recobro de las reservas de hidrocarburos y la maximización de su valor. Esto incluye: extracción, recolección, tratamiento, almacenamiento y el bombeo (Ver figura 3.) o compresión de los hidrocarburos.

Figura 3. Machines.



La Compañía tiene una organización geográfica que integra los campos de producción que opera Ecopetrol S.A. directa e independientemente y los que opera en asocio con otras empresas petroleras.

1.1.3 Refinación y petroquímica. Actualmente, Ecopetrol S.A. cuenta con una capacidad instalada de refinación de 315 mil barriles de carga de crudo diarios, con dos refinерías: una en Barrancabermeja (Gerencia Complejo Barrancabermeja) con capacidad para refinar 225.000 barriles diarios, ubicada en el valle medio del río Magdalena; y otra en Cartagena (Refinería de Cartagena) con capacidad de 75.000 bls/día, localizada en la Costa Atlántica.

Figura 4. Planta de refinación.



En estas dos refinерías se obtiene la producción nacional de combustibles que permite atender la demanda del país. En Colombia operan, adicionalmente, dos pequeñas refinерías de Ecopetrol S.A., con capacidad de 6.000 barriles por día, son las de: Orito y Apiay las cuales producen combustibles para uso local. Con el proyecto de ampliación y optimización de la Refinería de

Cartagena, la Compañía tendrá una capacidad de refinamiento de más de 380.000 barriles diarios, a partir del año 2007.

1.1.4 Transporte. Ecopetrol S.A. garantiza al país y a los inversionistas el transporte y disponibilidad oportuna de los diferentes hidrocarburos para refinación, exportación o consumo a través de su red de poliductos, gasoductos y oleoductos, que van desde los centros de producción hasta las refinерías y puertos en los océanos Atlántico y Pacífico.

Figura 5. Tanques de almacenamiento y tuberías de transporte.



Para el transporte de los diferentes productos la Empresa cuenta con total capacidad e infraestructura constituida por una red de transporte por tubería que llega a los 11.859 kilómetros.

1.1.5 Comercialización. Ecopetrol S.A., establece y ejecuta las directrices, políticas internas y estrategias para el suministro, mercadeo y comercialización de crudos, gas, productos y transporte, tanto para el mercado nacional como para el internacional. Así mismo, coordina la

planeación de la producción, refinación, transporte y comercialización, con el objetivo de maximizar el valor en toda la cadena de suministro, satisfaciendo las necesidades de los clientes.

Figura 6. Productos para el mundo.



1.1.6 Investigación y desarrollo. Dada la importancia de la tecnología para lograr un desempeño competitivo, a mediados de la década de los ochenta, Ecopetrol incorporó a su organización el Instituto Colombiano del Petróleo que se encarga de la investigación, de dar apoyo a los proyectos tecnológicos de los negocios operativos de la Compañía, además de la prestación de servicios técnicos especializados. Igualmente tiene la responsabilidad de manejar la gestión tecnológica y del conocimiento.

El ICP ha ganado autonomía en la gestión presupuestal de investigación y sus actividades están definidas de acuerdo con las necesidades estratégicas de la empresa.

Figura 7. Instituto Colombiano del Petróleo.

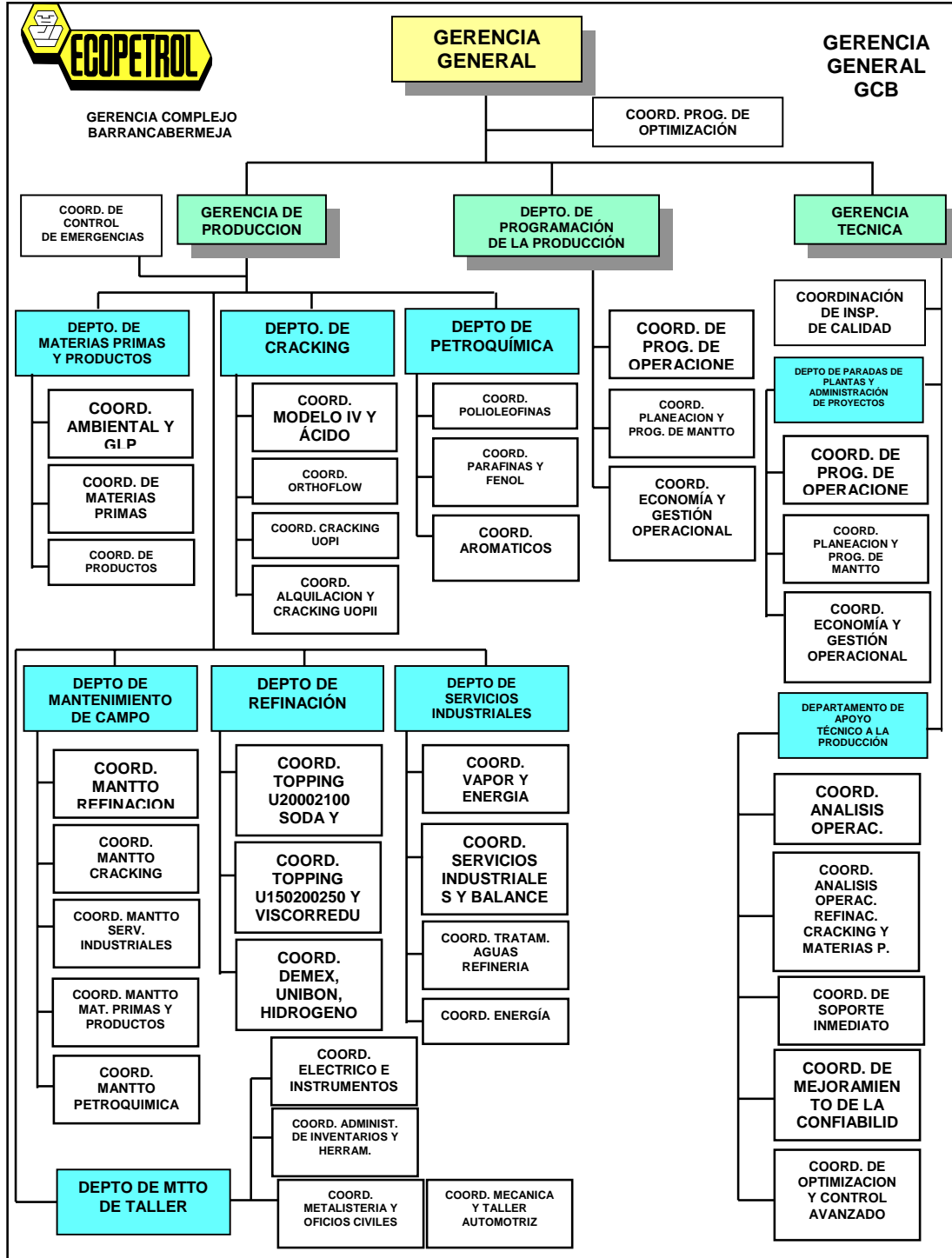


1.2 GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA

La Gerencia Complejo Barrancabermeja está ubicada en el valle medio del río Magdalena y es un complejo debido a que además de toda el área de refinación de crudos, donde se obtienen los diferentes combustibles, se encuentra el área de Petroquímica, que produce Benceno, Estireno, Polietileno, Polipropileno, ceras, bases lubricantes, metanol, etc., y a su vez estos productos sirven de materia prima para la industria farmacéutica, automotriz, cosméticos, pintura, textil, entre otros.

La GCB tiene una capacidad para refinar 225.000 barriles diarios; sus plantas de procesos de refinación y petroquímica pertenecen a la Gerencia de Producción la cual está dividida en siete departamentos como son Refinación, Cracking, Petroquímica, Materias Primas, Servicios Industriales, Mantenimiento de Campo y Mantenimiento de Taller.

Figura 8. Organigrama general de la Gerencia Complejo Barrancabermeja.



Las plantas de proceso están enmarcadas en cinco departamentos como son Refinación, Cracking, Petroquímica, Materias Primas, y Servicios Industriales. Estos departamentos se dividen en coordinaciones y a su vez en unidades o plantas. Ver tabla 1.

Tabla 1. Departamentos, coordinaciones y plantas de la GCB.

	PLANTAS		AREAS GCB	
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS INDUSTRIALES	TRATAMIENTOS DE AGUAS REFINERIA	1	CAPTACION AGUAS REFINERIA.	
		2	PLANTA DE AGUAS U-800 REFINERIA.	
		3	PLANTA DE AGUAS U-830 REFINERIA.	
		4	PLANTA DE AGUAS U-850 REFINERIA.	
		5	TORRE ENFRIADORA 801 REF.	
		6	TORRE ENFRIADORA 820 REF.	
		7	TORRE ENFRIADORA 850 REF.	
		8	TORRE ENFRIADORA 880 REF.	
		9	TORRE ENFRIADORA 890 REF.	
	GENERACION VAPOR Y ENERGIA REFINERIA	10	GENERACION VAPOR FOSTER REF.	
		11	COMPRESORES FOSTER REF.	
		12	GENERACION VAPOR DISTRAL REF.	
		13	GENERACION VAPOR C. NUEVAS REF.	
		14	GENERACION VAPOR CENTRAL N. REF.	
		15	COMPRESORES CENTRAL N. REF.	
		16	UNIDAD 14 COMBUSTOLEO REF.	
		17	GENERACION ELECTRICA GENERAL REF.	
		18	GENERACION ELECTRICA SIEMENS REF.	
		19	GENERACION ELECTRICA CENTRAL N. REF.	
		20	TORRE ENFRIADORA 831.	
	SERVICIOS INDUSTRIALES BALANCE	21	CAPTACION AGUAS UBAL.	
		22	PLANTA DE AGUAS UBAL.	
		23	GENERACION ELECTRICA UBAL.	
		24	AGUA CALDERAS UBAL.	
		25	TORRES ENFRIADORAS UBAL	
		26	CONDENSADORES UBAL	
		27	TURBOGAS	

DEPARTAMENTO DE REFINACION	REFINACION TOPPING	28	PLANTA TOPPING 150.
		29	PLANTA TOPPING 200.
		30	PLANTA VISCORREDUCTORA I.
		31	PLANTA TOPPING 250.
		32	PLANTA DE ESPECIALIDADES.
		33	PLANTA TOPPING 2000.
		34	PLANTA TOPPING 2100.
	REFINACION FONDOS	35	PLANTA DE SODA.
		36	PLANTA DEMEX.
		37	PLANTA UNIBON.
		38	PLANTA DE HIDROGENO.
		39	PLANTA VISCORREDUCTORA II.

DEPARTAMENTO DE CRACKING	CRACKING MODELO IV	40	PLANTA CRACKING M-IV.
		41	PLANTA DE ACIDO.
		42	PLANTA DE ALQUILACION.
		43	PLANTA DE MEROX-HIDRO.
	CRACKING OTHOFLOW	44	PLANTA CRACKING ORTHOFLOW.
		45	PLANTA VRU CALIENTE ORTHOFLOW.
		46	PLANTA VRU FRIO ORTHOFLOW.
		47	PLANTA SERVICIOS ORTHOFLOW.
	CRACKING UOP I	48	PLANTA CRACKING UOP I.
		49	PLANTA VRU UOP I.
		50	PLANTA AGUAS ACIDAS UOP I.
		51	PLANTA AMINA-AZUFRE UOP I.
	CRACKING UOP II	52	PLANTA CRACKING UOP II.
		53	PLANTA VRU UOP II.
		54	PLANTA AMINA UOP II.
		55	PLANTA ETILENO IV UOP II.
		56	PLANTA MERICHEM UOP II.
57		PLANTA AZUFRE III. SERVICIOS UOP II.	

DEPARTAMENTO DE PETROQUIMICA	PLANTA DE AROMATICOS	58	PLANTA DE AROMATICOS 1300.
		59	PLANTA DE AROMATICOS 1400.
		60	PLANTA DE AROMATICOS 1500.
		61	PLANTA DE AROMATICOS 1600.
		62	PLANTA DE AROMATICOS 1700.
	PLANTA DE PARAFINAS	63	PLANTA DE PARAFINAS NORTE.
		64	PLANTA DE PARAFINAS SUR.
	TURBOEXPANDER	65	PLANTA DE TURBOEXPANDER.
	PLANTAS DE POLIOLEFINAS	66	PLANTA DE ETILENO II.
		67	PLANTA DE POLIETILENO I.
		68	PLANTA DE POLIETILENO II.

DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS	CRUDOS Y PRODUCTOS TERMINADOS	69	CASABOMBAS N° 1.
		70	CASABOMBAS N° 2.
		71	CASABOMBAS N° 4.
		72	CASABOMBAS N° 5.
		73	CASABOMBAS N° 6.
		74	CASABOMBAS N° 7.
		75	CASABOMBAS N° 8.
		76	CASABOMBAS N° 9.
		77	CASABOMBAS A.
		78	CASABOMBAS B.
		79	CASABOMBAS C.
		80	VIEJA PLANTA DE GLP.
		81	NUEVA PLANTA DE GLP.
	AREA AMBIENTAL	82	SEPARADOR LADO NORTE.
		83	SEPARADOR LADO SUR.
		84	SEPARADOR 3060.
		85	PLANTA DE AGUAS RESIDUALES.

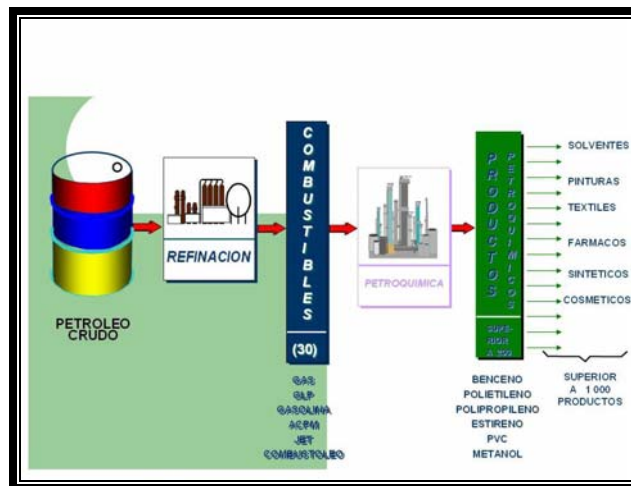
El alcance y los objetivos de este proyecto se delimitan al departamento de Cracking y sus respectivas coordinaciones como son: UOPI, UOPII, MODELO IV Y ORTHOFLOW.

1.3 REFINACIÓN DE CRUDO

Los procesos de Refinería hacen uno o la combinación de:

- *Fracccionar crudo*: en fracciones de diferente rango de ebullición (También procesos de recuperación de solventes especiales en refinerías seleccionadas)
- *Convertir o "craquear"*: fracciones no comercializables en cortes útiles.
- *Cambiar de forma de hidrocarburos*: para cumplir especificaciones de comportamiento de los productos.
- *Tratar y mezclar componentes*: para cumplir especificaciones de producto terminado (Ambientales) y/o tratar corrientes intermedias para mejorar procesos aguas abajo.

Figura 9. El petróleo y sus derivados.¹



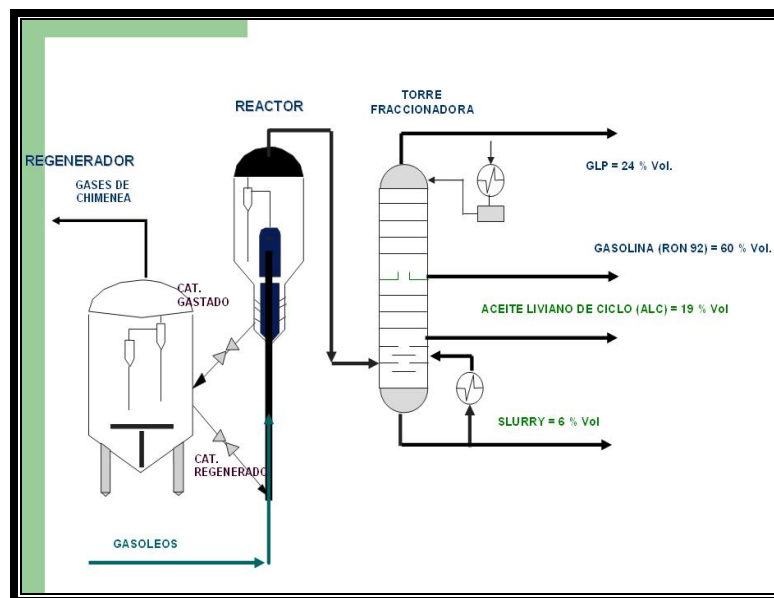
¹ Tomado de presentación en PowerPoint: "Principios de procesos de refinación." Ecopetrol S.A., departamento de planeación. 2001.

1.3.1 Unidad de ruptura catalítica (cracking). *Craqueo o rompimiento*, es el proceso utilizado en refinerías para el rompimiento de moléculas de hidrocarburos con el fin de aumentar la producción de hidrocarburos livianos de mayor valor comercial, tales como gasolina o GLP.

Se puede efectuar por calentamiento (Cracking térmico o Viscorreducción) o utilizando un catalizador (Cracking catalítico).

En la refinería de Barrancabermeja se conocen cuatro (4) unidades que efectúan un proceso de Cracking Catalítico Fluidizado o FCC, por su nombre en inglés (Fluid Catalytic Cracking), es decir Modelo IV, Orthoflow, UOP I y UOP II.

Figura 10. Unidad de ruptura catalítica.²



² Tomado de presentación en PowerPoint: "Principios de procesos de refinación." Ecopetrol S.A., departamento de planeación. 2001.

2. GENERALIDADES SOBRE MANTENIMIENTO

2.1 ¿QUÉ ES MANTENIMIENTO?

Mantenimiento es el conjunto de acciones, operaciones y actitudes tendientes a poner o restablecer un bien a un estado específico que le permitan asegurar un servicio determinado.

Mantener es 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.

Mantener bien o mantener con calidad es: utilizar inteligentemente la planeación, la programación y el control, de manera que mejoren la efectividad y la productividad, disminuyan las paradas y los costos de mantenimiento sean mínimos logrando una rentabilidad óptima de la función del mantenimiento.

Por su naturaleza, el trabajo de mantenimiento es difícil de controlar. En realidad, la programación de los trabajos de mantenimiento puede ser una de las tareas de administración más difícil en la industria.

Los siguientes elementos causan dificultad para controlar el trabajo de mantenimiento:

- Hay gran diversidad de tipos de trabajos de mantenimiento.
- No es fácil especificar que trabajo debe hacerse y que no debe hacerse.

- No es fácil especificar el orden (prioridad) en el cual se deben ejecutar los trabajos de mantenimiento.
- Hay una amplia diversidad en la habilidad de los reparadores para ejecutar los trabajos de mantenimiento rápido y correctamente.
- Frecuentemente, no podemos conocer el alcance del trabajo a realizarse hasta que iniciemos el trabajo y tengamos desmantelado el equipo.
- El trabajo de mantenimiento depende de la disponibilidad de los materiales, la cual es a menudo irregular e independiente.
- Mucho trabajo de mantenimiento depende del tiempo meteorológico.
- La dinámica de la demanda de mantenimiento es severa, esto es, hay picos y valles extremos en la carga de trabajo de mantenimiento.

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Según las actividades realizadas:

- *Mantenimiento Reactivo:* estrategia con la cuál se permite a la máquina funcionar hasta la falla y sólo hasta ese momento se decide realizar la reparación o reemplazo de ella.
- *Mantenimiento Preventivo:* consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde su ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos. En la medida en que se optimizan las frecuencias de realización de las actividades de mantenimiento se logra aumentar las mejoras operacionales de los procesos.

- *Mantenimiento Predictivo*: estrategia de mantenimiento que busca por medio de la medición y el análisis de los diversos síntomas que la máquina emite al exterior establecer la condición mecánica de la máquina y su evolución en el tiempo. Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina esta en funcionamiento y sólo se programa su detención cuando se detecta un problema y se desea corregir.
- *Mantenimiento Proactivo*: con esta estrategia de mantenimiento se pretende maximizar la vida útil operativa de las máquinas y sus componentes, identificando y corrigiendo las causas que corrientemente originan las fallas. Por ejemplo asegurando que las máquinas funcionan bajo las condiciones de carga y velocidad establecida por su condición de diseño y que además sus componentes (rodamientos, sellos, acoples, etc.) son instalados correctamente y que su condición de lubricación es adecuada ya se puede asegurar una vida útil operativa más extendida y con menos paradas intermedias que el promedio de las máquinas del mismo tipo.

Según el estado del activo:

- *Mantenimiento Operacional*: se define como la acción de mantenimiento aplicada a un equipo o sistema a fin de mantener su continuidad operacional, el mismo es ejecutado en la mayoría de los casos con el activo en servicio sin afectar su operación natural.
- *Mantenimiento Mayor*: Es el mantenimiento aplicado a un equipo o instalación donde su alcance en cuanto a la cantidad de trabajos incluidos, el tiempo de ejecución, nivel de inversión o costo del mantenimiento y requerimientos de planificación y programación son de elevada magnitud,

dado que la razón de este tipo de mantenimiento reside en la restitución general de las condiciones de servicio del activo, bien desde el punto de vista de diseño o para satisfacer un periodo de tiempo considerable con la mínima probabilidad de falla o interrupción del servicio y dentro de los niveles de desempeño o eficiencia requeridos.

Según su ejecución en el tiempo:

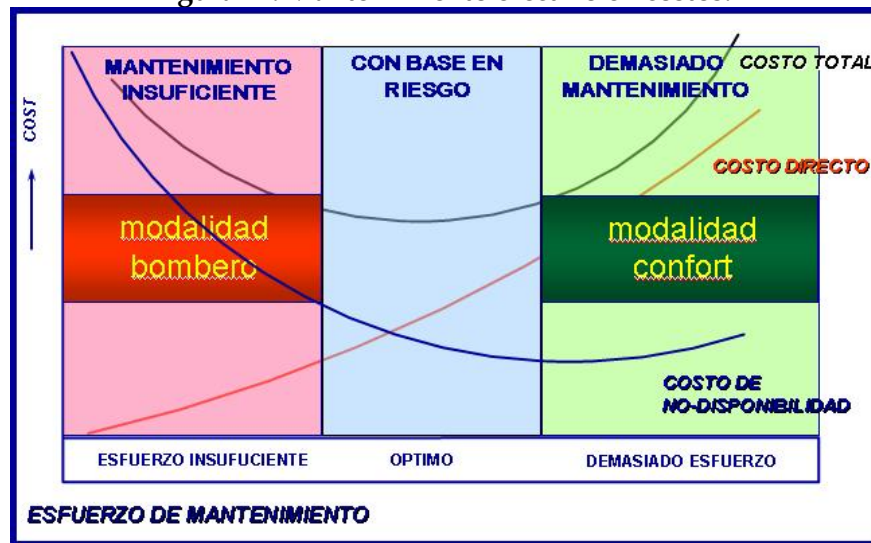
- *Mantenimiento Rutinario*: está relacionado a las tareas de mantenimiento regulares o de carácter diario.
- *Mantenimiento Programado*: está relacionado a los trabajos recurrentes y periódicos de valor sustancial.
- *No programado*: está relacionado al trabajo causado por eventos impredecibles.
- *Parada de Planta*: Está relacionado al trabajo realizado durante paradas planificadas.

2.3 COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO

- *Mano de Obra*: incluye fuerza propia y contratada.
- *Materiales*: consumibles y componentes de reposición.
- *Equipos*: equipos empleados en forma directa en la ejecución de la actividad de mantenimiento.
- *Costos Indirectos*: artículos del personal soporte (supervisor, gerencial y administrativo) y equipos suplementarios para garantizar la logística de ejecución (transporte, comunicación, facilidades).

- *Tiempo de Indisponibilidad Operacional*: cualquier ingreso perdido por ausencia de producción o penalizaciones por riesgo mientras se realiza el trabajo de mantenimiento.

Figura 11. Mantenimiento efectivo en costos.³



2.4 CONSECUENCIAS DE NO MANTENER

La falta de mantenimiento adecuado trae consecuencias graves en el desarrollo económico; algunas de las cuales se analizan a continuación:

- *Pérdidas de Producción*: es la pérdida más inmediata que ocasiona el mantenimiento ineficaz.

³ Tomado de presentación en PowerPoint: "Programa de Optimización de Refinerías", Departamento de Apoyo técnico a la producción - ATP, Ecopetrol.

- *Dstrucción del equipo*: es la pérdida más evidente que provoca el mantenimiento ineficaz, a la reparación inadecuada que lleva al deterioro prematuro.

Se presenta básicamente como:

- Desmejoramiento de la calidad del producto.
- Disminución de la cantidad de producción por las continuas interrupciones.

Estas pérdidas son causadas por:

- Desgastes, desajustes o daños inadvertidos y no corregidos oportunamente.
- Negligencia o desidia en la calibración u observación de los instrumentos de control.
- Reparaciones realizadas de manera incompetente causando daños mayores y paradas más prolongadas.

2.5 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento aún cuando tiene un costo asociado y por lo general ha sido manejado como un factor negativo en las organizaciones, presenta una serie de beneficios que permiten evaluar el grado de acertividad y de necesidad de esta inversión, por lo cual en cualquier momento un análisis costo-beneficio de la acción de mantenimiento puede orientar hacia el

momento oportuno de la aplicación de la misma y la comprensión clara de las razones potenciales que obligan a su realización.

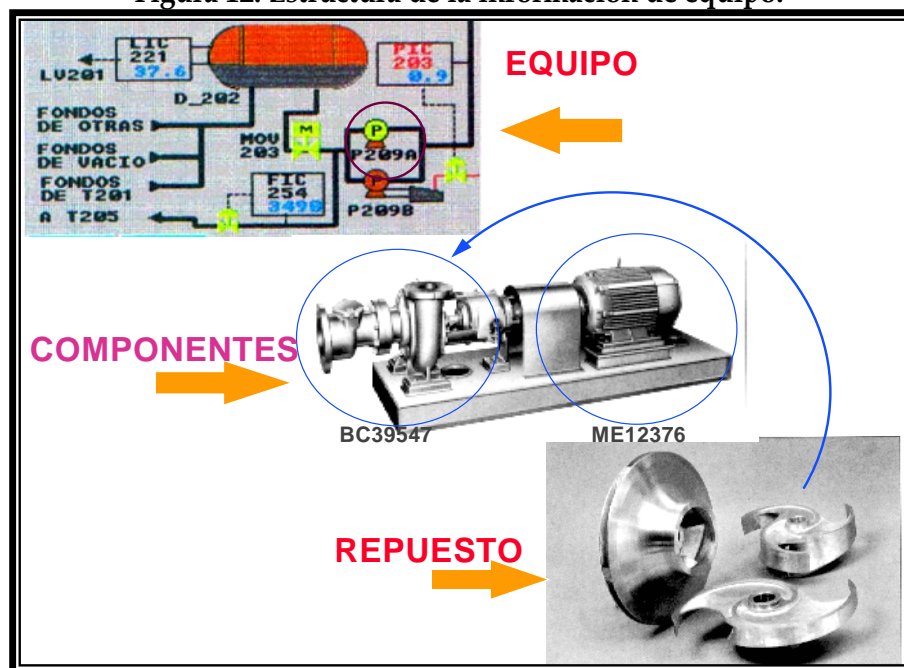
Los beneficios más relevantes alcanzados en una organización con la aplicación de un mantenimiento oportuno son:

- *Disminución del riesgo:* previniendo la probabilidad de ocurrencia de fallas indeseables o no visualizadas.
- *Mejora o recupera los niveles de eficiencia de la instalación o equipo:* esto se logra con la reducción de costos operativos e incremento de la producción.
- *Prolonga la vida operativa:* difiere las decisiones de reemplazo, cumplimiento de requerimientos de seguridad y legales.
- *Brillo:* mejoramiento de la imagen de la organización con un realce de la impresión de clientes y entorno, así como el incremento de la moral de los trabajadores que operan los equipos e instalaciones.

3. ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN Y CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO EN ECOPETROL S.A. - GCB

3.1 EQUIPO, COMPONENTE Y REPUESTO

Figura 12. Estructura de la información de equipo.⁴

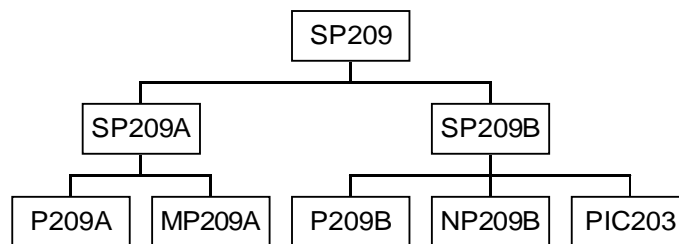


3.1.1 Equipo. Elemento de la estructura productiva con características operativas propias, que amerita la asignación de planes de trabajo independientes.

⁴ Tomado del documento: "curso básico SCAM", Ecopetrol S.A. - Complejo Industrial Barrancabermeja, 1995.

Ejemplo: el equipo SP209 esta conformado por los equipos SP209A (Principal) y SP209B (Stand by); así mismo el equipo SP209A esta conformado por los equipos P209A (Bomba) y MP209A (Motor).

Figura 13. Sistema de bombeo.⁵



A partir del concepto de equipo y el nivel que estos ocupen dentro de la jerarquía operacional se obtiene la definición de *unidad productiva* que es el conjunto de equipos con un propósito funcional común.

3.1.2 Componente. Elemento que cumple una función técnica específica y es indispensable para el funcionamiento del equipo. Para el ejemplo descrito en el caso anterior se tiene el motor (MP209A) y la bomba (P209A).

⁵ Tomado del documento: "curso básico SCAM", Ecopetrol S.A. - Complejo Industrial Barrancabermeja, 1995.

Tabla 2. Equipos y componentes posibles que aplica para equipo rotativo en la GCB.

TIPO DE EQUIPO Tabla ET	CLASE EQUIPO		PREFIJO EQUIPO	CÓDIGO COMPONENTE	DESCRIPCION COMPONENTE
MROE Equipo Rotativo	BO Equipo de Bombeo	Conjunto o sistema de bombeo, incluyendo el componente motriz y transmisor de potencia si aplica.	SPxx	EME	Motor eléctrico
				ECBT	Casilla de baja tensión
				ECMT	Casilla de media tensión
				MTUV	Turbina de vapor
				AMDI	Motor de combustión interna: Diesel
				MTRA	Transmisor de potencia
				MBCE	Bomba centrífuga
				MBDP	Bomba de desplazamiento positivo
				mcen	Centrifugadora
				TFIL	Filtro de succión
				TTUP	Tubería de proceso asociada a bomba
	CA Compresión de aire CG Compresión de gas	Conjunto o sistema de compresión, incluyendo el componente motriz y caja de engranajes si aplica.	SCxx	EME	Motor eléctrico
				ECBT	Casilla de baja tensión
				ECMT	Casilla de media tensión
				MTUV	Turbina de vapor
				AMDI	Motor de combustión interna: Diesel
				MTRA	Transmisor de potencia
				MCOC	Compresor centrífugo
				MCOD	Compresor de desplazamiento positivo
				MLUB	Lubricador
				TTUP	Tubería de proceso asociada al compresor
	GE Generación Eléctrica	Conjunto o sistema de generación, incluyendo el componente motriz y caja de engranajes si aplica.	SGxx	EGEN	Generador Eléctrico
				EEXC	Excitatriz
				EREL	Relé
				ECTL	Controles
				MTUV	Turbina de vapor
				AMDI	Motor de combustión interna: Diesel
				MGOB	Gobernador
	VE Equipo de Ventilación	Conjunto o sistema de ventilación, incluyendo el componente motriz y caja de engranajes si aplica.	SUxx SUIxx SUFxx SUExx	EME	Motor eléctrico
				ECBT	Casilla de baja tensión
				ECMT	Casilla de media tensión
				MTUV	Turbina de vapor
				MTRA	Transmisor de potencia
				MVEN	Ventilador
				TTUP	Tubería de proceso asociada al ventilador
	AG	Conjunto o	SAGxx	EME	Motor eléctrico

	Agitación	sistema de agitación, incluyendo el componente motriz y caja de engranajes si aplica.		ECBT	Casilla de baja tensión
				ECMT	Casilla de media tensión
				MTUV	Turbina de vapor
				MTRA	Transmisor de potencia
				MAGI	Agitadores
				TTUP	Tubería de proceso asociada si aplica
	EX Extrusión	Conjunto o sistema de extrusión o corte, incluyendo el componente motriz y caja de engranajes si aplica.	SEXnn SCUnn	EME	Motor eléctrico
				ECBT	Casilla de baja tensión
				ECMT	Casilla de media tensión
				MTUV	Turbina de vapor
				MTRA	Transmisor de potencia
				MX	Componente especial
	FR Misceláneos rotativo	Raspadores, extrusores, cortadores, tornillos sinfín, y los no incluidos en anteriores clasificaciones		MX	COMPONENTE ESPECIAL

3.1.3 Repuesto. Parte mínima de un componente para efectos de mantenimiento. Se puede decir que los repuestos son los materiales que se tienen en bodega para la reparación y mantenimiento de los equipos y componentes.

3.2 VENTANAS Y GUIAS OPERATIVAS

3.2.1 Guías operativas. Se refiere a los límites superior e inferior del punto de control de una variable 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*. Lo anterior no quiere decir que

siempre que se salga de una guía de control se va a generar el efecto planteado, pero si se tendrá un riesgo potencial muy alto de que suceda.

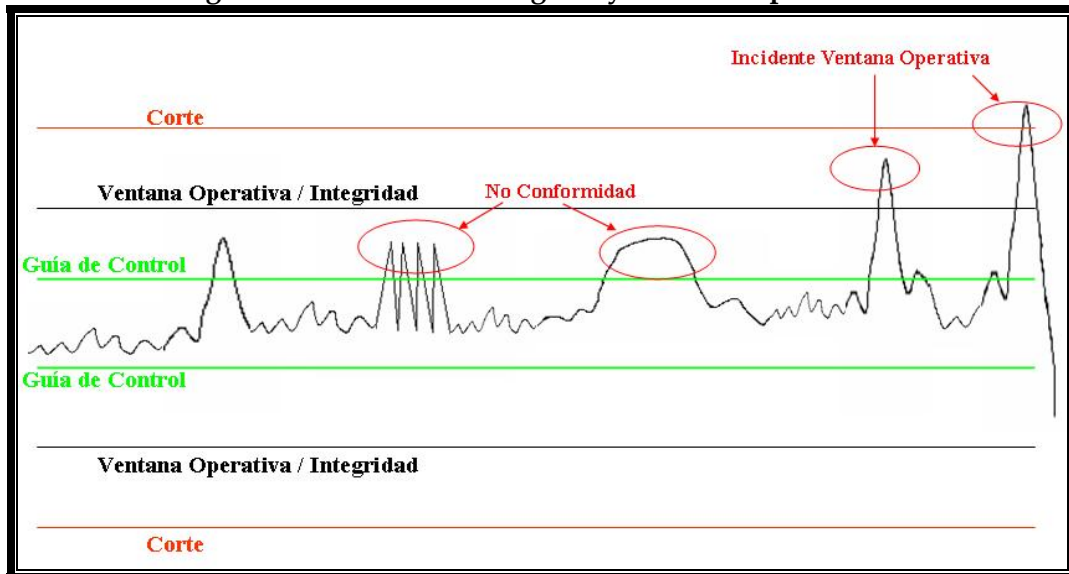
Una *no conformidad* debe reportarse en el libro de turno, en lo posible colocándole el valor del límite de control y el punto que alcanzó la variable y además la posible razón por la cual se genera la *no conformidad*.

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.

3.2.2 Ventana operativa. Se refiere a los límites superior e inferior del punto de control de una variable que asegura la integridad de las personas, equipos y evita pérdidas económicas representativas y a su vez paradas de planta o sección. Cuando una variable controlada se sale de estos límites se genera *un incidente*. Este 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.

De lo anterior se puede concluir que es posible que con alguna frecuencia se genere una no conformidad (Guía operativa), pero la generación de un incidente (Ventana operativa) debe ser de muy baja frecuencia.

Figura 14. Violación de las guías y ventanas operativas.⁶



3.3 ESTADO DEL EQUIPO.

Se refiere a la condición mecánica del equipo de acuerdo a la siguiente tabla establecida para la GCB:

Tabla 3. Estado operativo de los equipos rotativos.

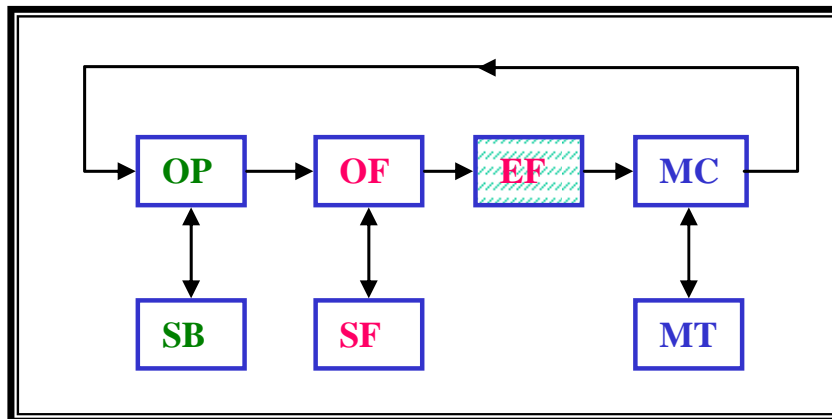
Código	Descripción
EF	EN FALLA OUT
MC	EN MTTTO EN CAMPO
MT	EN MTTTO EN TALLER
OF	OPERA EN FALLA
OP	ENTRA EN OPERACION O.K.
SB	EN STAND-BY
SF	STANDBY EN FALLA

⁶ Tomado de presentación en PowerPoint: "Instalación ventanas operativas – operador, Ecopetrol S.A. – GCB

- *Operando OK (OP)*. Equipo operando y cumpliendo con su función sin ninguna limitante de confiabilidad. El equipo se encuentra bajo la custodia de Operaciones.
- *Stand by OK (SB)*. Equipo dispuesto a asumir su función en cualquier momento y que actualmente se encuentra como respaldo del equipo principal, en condición O.K. El equipo se encuentra bajo la custodia de Operaciones.
- *Operando en falla (OF)*. El equipo se encuentra operando y cumpliendo la función a pesar de estar con inhabilidad o en incapacidad para desarrollar la función de manera confiable, económica y segura, para la cual fue diseñado. Se dice que tiene una falla potencial. El equipo se encuentra bajo la custodia de Operaciones.
- *Stand by en falla (SF)*. Equipo dispuesto a asumir su función en cualquier momento y que actualmente se encuentra como respaldo del equipo principal en condición de falla potencial. El equipo se encuentra bajo la custodia de Operaciones.
- *En falla (EF)*. El equipo se encuentra en estado de falla funcional, y no está disponible para operar o de stand by. El equipo se encuentra bajo la custodia de Operaciones.
- *Por mantenimiento de campo (MC)*. El equipo se encuentra bajo custodia de mantenimiento de campo.

- *Por mantenimiento taller (MT).* El equipo se encuentra bajo custodia de mantenimiento de taller.

Figura 15. Ciclo operativo de los equipos rotativos.⁷



⁷ Tomado de documento: "Cuidado Básico de los Equipos Rotativos", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

4. GENERALIDADES SOBRE MÁQUINAS ROTATIVAS QUE OPERAN EN LAS PLANTAS DE CRACKING - ECOPETROL S.A.

En la Gerencia Complejo Barrancabermeja hay aproximadamente 2600 equipos rotativos, de los cuales 486 corresponden a las plantas del departamento de cracking y es sobre este número de equipos donde se ha desarrollado el alcance de proyecto. Para tener un concepto mas claro sobre la variedad de equipos rotativos que se encuentran en estas plantas se va a hacer una pequeña descripción a continuación.

4.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Equipo para convertir la energía mecánica externa 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 álabes, 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.

Se clasifican de acuerdo con:

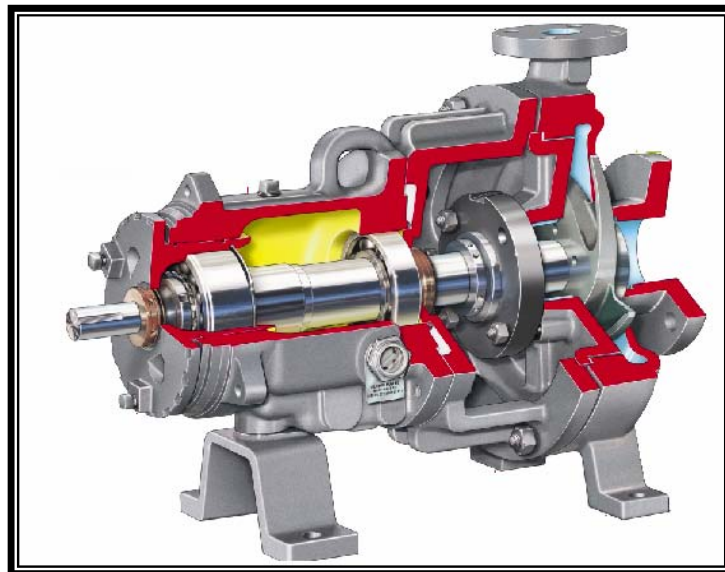
4.1.1 Según Tipo de Carcasa.

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

4.1.2 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).

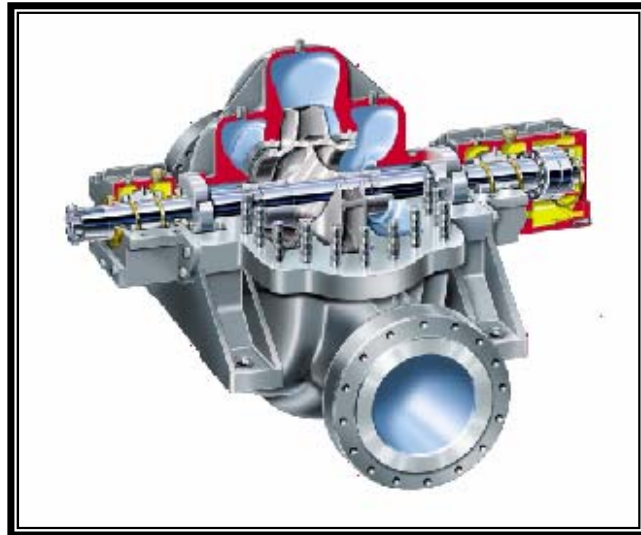
Figura 16. Bomba de impulsor abierto.⁸



⁸ Tomado de presentación en PowerPoint: "Especificación de sistemas de bombeo", Coordinación de Poliolefinas, Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

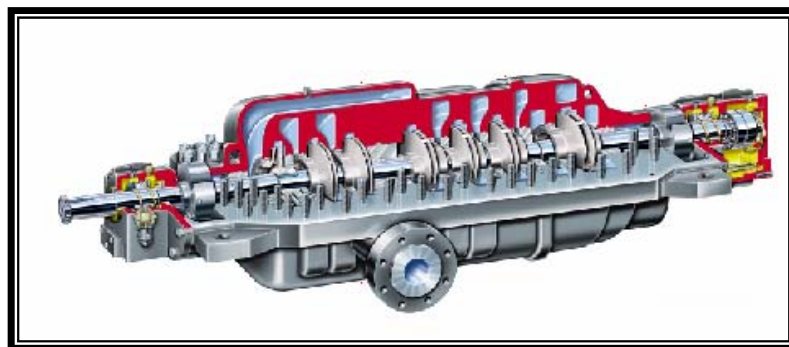
- Por tipo de succión sencilla o doble.

Figura 17. Bomba de doble succión.⁹



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

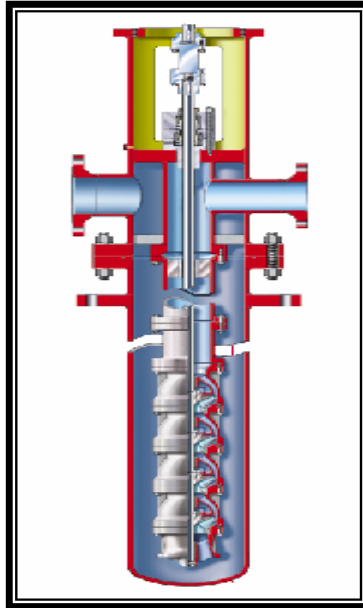
Figura 18. Bomba multietapas.¹⁰



⁹⁻¹⁰ Tomado de presentación en PowerPoint: “Especificación de sistemas de bombeo”, Coordinación de Poliolefinas, Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

- Por posición del impulsor (Vertical, horizontal).

Figura 19. Bomba vertical.¹¹



4.1.3 Según boquilla de succión.

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

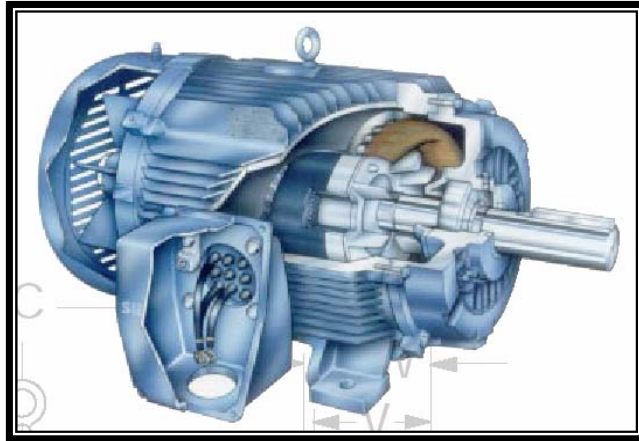
4.1.4 Según configuración mecánica.

- De impulsor Voladizo.
- De impulsor entre cojinetes.
- Verticales (en línea, sumideros).
- Turbina Regenerativa.

¹¹ Tomado de presentación en PowerPoint: "Especificación de sistemas de bombeo", Coordinación de Poliolefinas, Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

4.2 MOTORES ELÉCTRICOS

Figura 20. Motor eléctrico.¹²



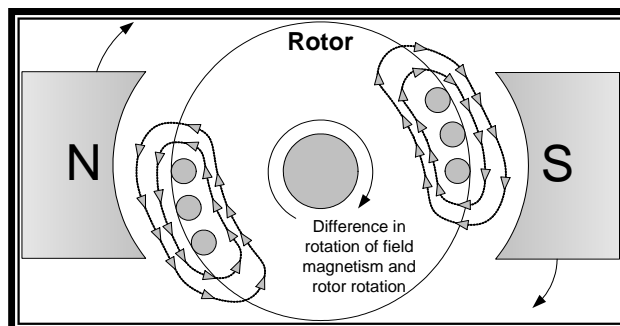
4.2.1 De Corriente alterna. Se diseñan dos tipos básicos de motores para funcionar con corriente alterna polifásica: los motores síncronos y los motores de inducción.

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.

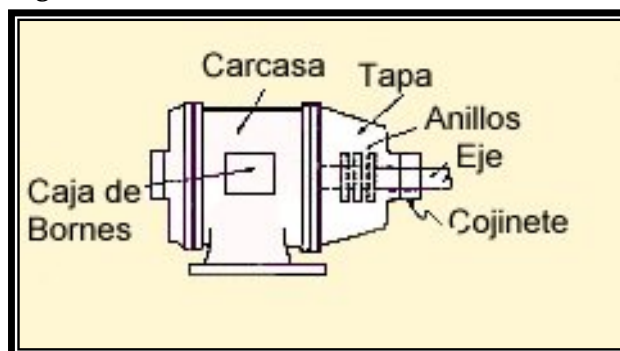
¹² Tomado de presentación PowerPoint: "Curso de motores eléctricos", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

Figura 21. Campo magnético inducido en el rotor.¹³



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 22. Partes básicas de un motor eléctrico.¹⁴



4.2.2 De corriente continua. En general, los motores de corriente continua son similares en su construcción a los generadores. De hecho podrían

^{13, 14} Tomado de presentación PowerPoint: "Curso de motores eléctricos", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

describirse como generadores que funcionan al revés. Debido a que la velocidad de rotación 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.

4.3 REDUCTORES DE VELOCIDAD

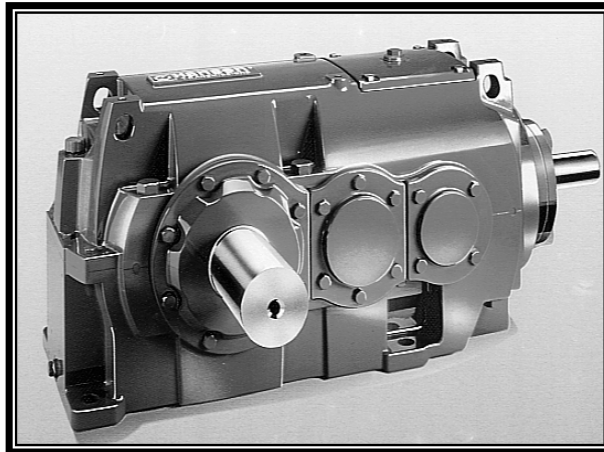
Los reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

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 23. Reductor de velocidad.¹⁵



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.

¹⁵ Tomado del Manual HANSEN P4 – TRANSMISSIONS.

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

4.3.1 Guía para la selección de un reductor

Características de operación

- Potencia (HP tanto de entrada como de salida)
- Velocidad (RPM de entrada como de salida)
- Torque (par) máximo a la salida en kg-m.
- Relación de reducción (I).

Características del trabajo a realizar

- Tipo de máquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.)
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.
- Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.
- Duración de servicio horas/día.
- Arranques por hora, inversión de marcha.

Condiciones del ambiente

- Humedad
- Temperatura

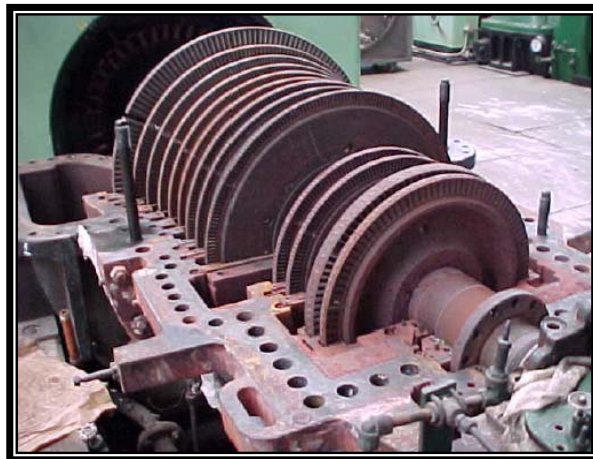
Ejecución del equipo

- Ejes a 180°, ó, 90°.
- Eje de salida horizontal, vertical, etc.

4.4 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 direcciona el vapor hacia los alabes de empuje.

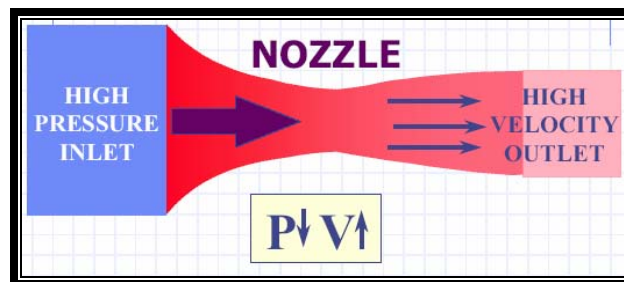
Figura 24. Rotor de turbina de vapor.¹⁶



¹⁶ Tomado del documento: "Turbinas de vapor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

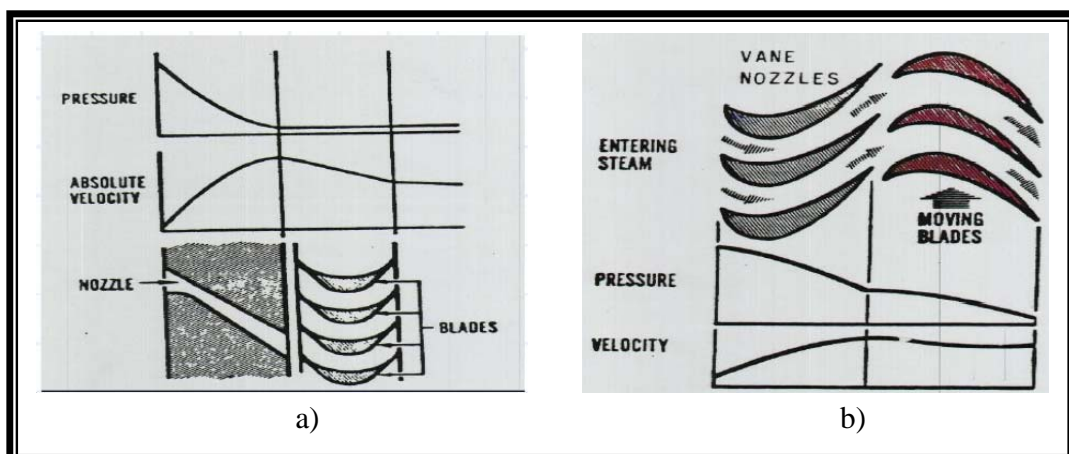
El vapor que sale de las toberas adquiere una gran velocidad y golpea los alabes obligándolos a desplazarse cierta distancia. Existen dos tipos de alabes, de impulso y de reacción.

Figura 25. Conversión de energía en el alabe.¹⁷



- Alabes de impulso: El vapor golpea los alabes a alta velocidad, empujándolos en forma directa y sale a menor velocidad.

Figura 26. Configuraciones de los álabes:¹⁸ a) Alabes de impulso b) alabes de reacción.



¹⁷⁻¹⁸ Tomado del documento: "Turbinas de vapor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

- Alabes de reacción: Toberas o filas de alabes fijos incrementan la velocidad y luego las filas de albes móviles lo direccionan para moverse por fuerza de reacción ante la salida del chorro de vapor.

4.4.1 Clasificación de las turbinas. Las turbinas se clasifican de la siguiente manera:

- Tipos de alabes o etapas (Staging).
- Tipo de arreglo grupal (Compounding).
- Dirección / División de flujo de vapor.
- Condición de presión de salida (Exhaust).

4.4.2 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.

4.4.3 Sistemas auxiliares. Tenemos los siguientes:

- Sistema de lubricación.
- Sistema de vapor de sello.
- Sistema de vacío.
- Sistema de protección.
- Sistema de gobernación.

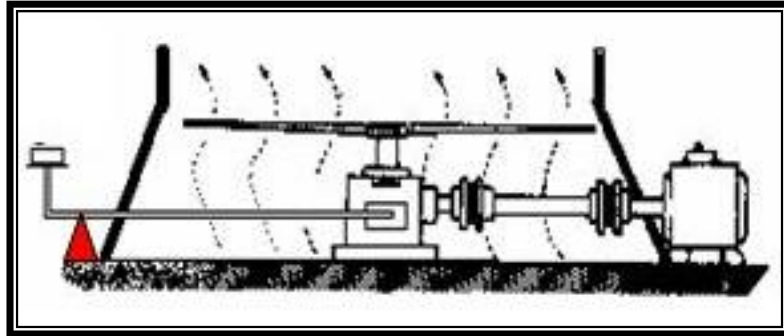
4.5 VENTILADORES

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.

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.

4.5.1 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 27. Ventilador torre de enfriamiento.¹⁹



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

4.5.2 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, convierte 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

¹⁹ Tomado del documento "Sistema de protección y diagnóstico de los ventiladores de las torres enfriadoras BENTLY 1900/55." Ecopetrol s.a. – GCB.

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.

4.5.3 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 28. Ventilador de tiro forzado (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.

4.6 COMPRESORES

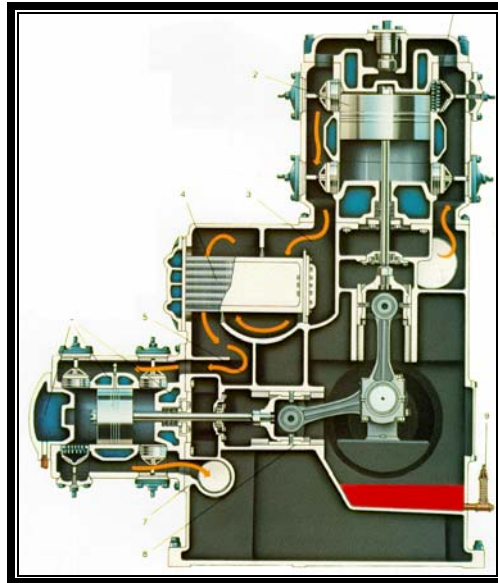
Un compresor es un mecanismo accionado por una fuerza motriz para elevar la presión de un gas sobre el cual actúa realizando un trabajo. Los compresores se fabrican en diversos tamaños y diseños para satisfacer las variadas exigencias de aplicaciones industriales, comerciales y domesticas. Las máquinas compresoras se pueden clasificar en varios grupos según sus características:

4.6.1 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 29. Compresor recíprocante de dos etapas.²⁰

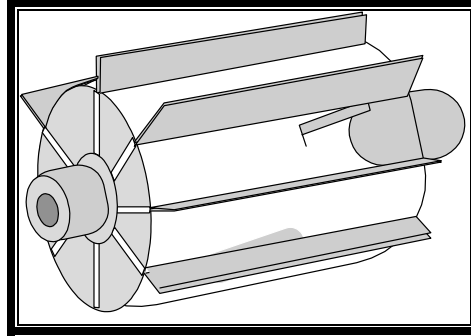


Cada cilindro del compresor tiene por lo menos una válvula de admisión y una de descarga para controlar la entrada y la salida del gas. Estas válvulas son del tipo automático que se abren y se cierran a modo de cheque al producirse inversiones de presión a través de ellas.

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

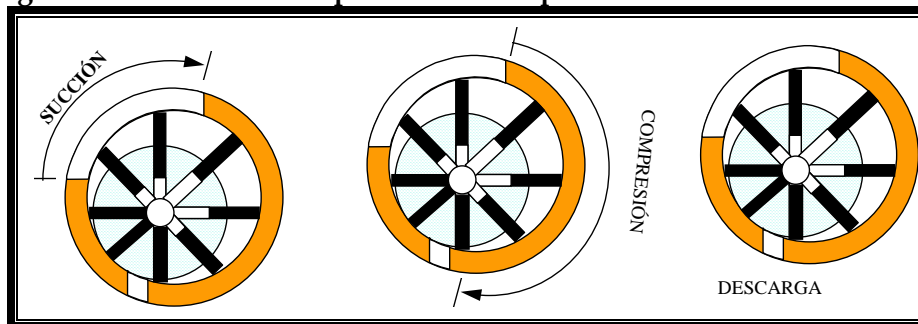
²⁰ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

Figura 30. Rotor de un compresor de paletas deslizantes.²¹



La parte principal es un rotor ranurado montado en una posición excéntrica dentro de una carcasa cilíndrica. La fuerza centrífuga resultante de la rotación mantiene las paletas contra la superficie de la carcasa y la posición excéntrica del rotor hace que las paletas se extiendan y se contraigan alternadamente en las ranuras. A causa de los cambios consecuentes de volumen entre cada par de paletas, el aire es aspirado por una lumbrera de aspiración en uno de los costados de la carcasa y luego comprimido y expulsado por otra lumbrera en el otro costado.

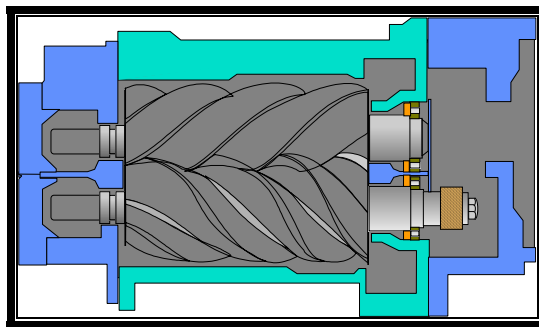
Figura 31. Proceso de Compresión en Compresor de Paletas Deslizantes.²²



^{21_22} Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

- *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 está 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.

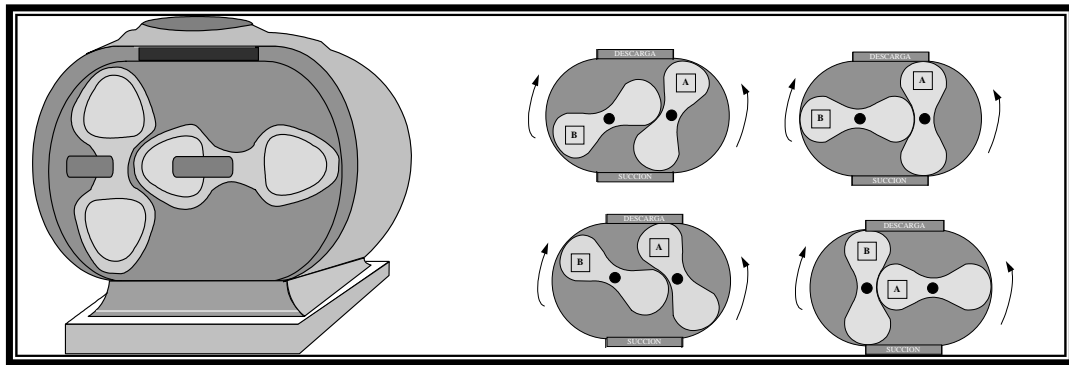
Figura 32. Compresor de tornillos.²³



- *De tipo lóbulo.* Se limitan a bajas relaciones de presión y por lo tanto son más conocidos como sopladores. Están conformados por un par de rotores de lóbulos rectos alojados en una cubierta envolvente y que se engranan en contra rotación. Los cambios de volumen que se producen entre los lóbulos mueven el aire a través de los ejes.

²³ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

Figura 33. Compresor de Lóbulos Rectos y Proceso de Compresión.²⁴



4.6.2 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.

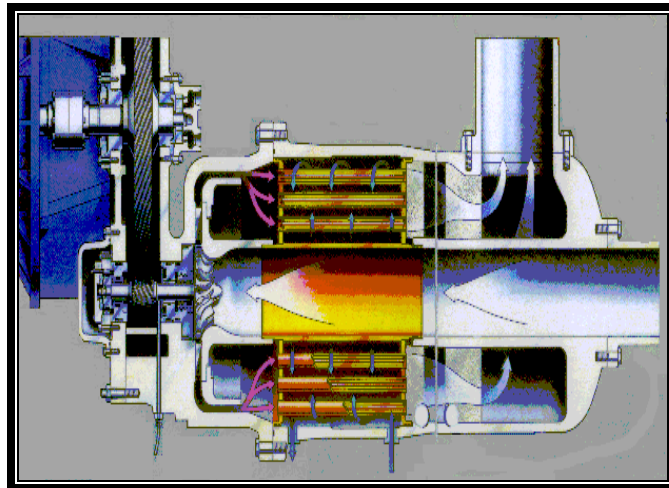
Un compresor cinético se compone esencialmente de una sola pieza móvil, un rotor de aspas, que gira en una cubierta envolvente bien ajustada. El aire entrante choca contra las aspas que giran con gran rapidez siendo acelerado a una alta velocidad. Al disminuir la velocidad del flujo por su encuentro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

- *Tipo centrífugo.* Llamado también de flujo radial porque el gas es acelerado hacia afuera a partir del centro de rotación hacia la periferia. Cuando varias etapas están incorporadas en una sola carcasa el gas es desacelerado y devuelto hacia el eje entre cada etapa por medio de aspas directrices

²⁴ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

fijas. Es característica de estos compresores que mantengan una presión constante con gastos variables de caudal.

Figura 34. Compresor Centrifugo Radial.²⁵



- *Tipo flujo axial.* En ellos el aire es acelerado a lo largo del eje por una serie de aspas en forma de abanico. Entre cada conjunto de aspas del rotor hay un conjunto de aspas estáticas que corrigen el remolino, reencausando la corriente hacia la etapa subsiguiente. Al mismo tiempo se efectúa una conversión parcial de velocidad a presión. Los compresores de flujo axial tienden a entregar un caudal constante a relaciones de presión variables.

²⁵ Tomado del documento: "Manual de operaciones de un compresor", Ecopetrol S.A. – GCB, 2003.

5. TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN

La palabra Tribología proviene de dos raíces Griegas Tribos (Fricción) y Logos (Estudio). La tribología es la ciencia y técnica que estudia la interacción entre superficies en movimiento y los problemas relacionados con ellos: desgaste, fricción, adhesión y lubricación. En la interacción entre dos superficies aparecen diversos fenómenos cuyo conocimiento es de vital importancia. Estos tres fenómenos fundamentales que aparecen son:

- *Fricción*: Efecto que proviene de la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto cuando permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas.
- *Desgaste*: Consiste en la desaparición de material de la superficie de un cuerpo como consecuencia de la interacción con otro cuerpo.
- *Adhesión*: Capacidad para generar fuerzas normales entre dos superficies después de que han sido mantenidas juntas. Es decir, la capacidad de mantener dos cuerpos unidos por la generación anterior de fuerzas de unión entre ambos.

5.1 LUBRICACIÓN

Dentro de las condiciones de trabajo juega un papel muy vital la lubricación, con el fin de evitar el contacto metal - metal de las superficies, lo que hace que disminuya la fricción, el desgaste, las pérdidas de energía y se incremente la vida útil de dichos elementos.

Cualquier sustancia que se coloque entre dos superficies con el fin de disminuir la fricción se denomina lubricante. La función del lubricante es mantener completamente separadas dos superficies en movimiento, de tal forma que el único rozamiento que se presente sea entre las diferentes capas que conforman la película lubricante y que se conoce como fricción fluida.

5.2 FUNCIONES DE LOS ACEITES LUBRICANTES

- Lubricar los cojinetes radiales y de empuje donde se apoya el eje evitando el contacto metal - metal.
- Reducir las pérdidas de potencia por fricción.
- Refrigerar los elementos lubricados.
- Evitar la formación de herrumbre, corrosión y sedimentos en los sistemas de lubricación y regulación.
- Evacuar partículas metálicas, agua y demás contaminantes desde los diferentes mecanismos hasta los sistemas de filtración.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Para cada lubricante, dentro de su gran variedad de aplicaciones, hay unas características que, en mayor o menor grado, deben cumplir. Las principales son: viscosidad, untuosidad, punto de combustión, punto de inflamación, porcentaje de coquización, punto de congelación y punto de descongelación.

Las secundarias son: poder anticorrosivo, poder antioxidante, poder antiespumante, poder detergente y resistencia a elevadas presiones.

- *Viscosidad*: es la característica más importante para la elección de los aceites y se define como la resistencia de un líquido a fluir. Es la inversa de la fluidez y se debe a la fricción de las partículas del líquido.
- *Índice de viscosidad*: la viscosidad de los lubricantes disminuye al elevarse la temperatura. Y es necesario conocer los grados de variación, principalmente cuando los lubricantes se van a emplear en maquinas o motores que trabajan a altas temperaturas. La escala de los índices de viscosidad fue establecida tomando aceites de diferentes procedencias y clasificándolos desde 0 (mucha variación) hasta 100 (muy poca variación). En la práctica se consideran:

Bajo: menos de 40

Medio: de 40 a 80

Alto: mas de 80

- *Untuosidad*: es la capacidad que tienen los aceites de adherirse a la superficie de los órganos lubricados. No se valora porque no existe una unidad de medida ni aparatos normalizados que permitan su medición.
- *Punto de inflamación*: es la temperatura a la cual, bajo ciertas condiciones, hay que calentar un lubricante para que los vapores emitidos se inflamen al aproximar una llama.
- *Punto de combustión*: es la temperatura que debe alcanzar un lubricante para que empiece a arder ininterrumpidamente. Se considerara llegado al

punto de combustión cuando el lubricante arda durante cinco segundos por lo menos.

- *Porcentaje de coquización:* los aceites que son sometidos a temperaturas demasiado elevadas y que no disponen del aire suficiente para arder debidamente se carbonizan, produciendo una especie de coque que perjudica la superficie lubricada. Para determinar la tendencia a la coquización, se calcula el porcentaje de coque producido en una atmósfera limitada.
- *Punto de congelación:* es la temperatura a la cual los aceites dejan de fluir, solidificándose. Se determina enfriando progresivamente el lubricante en un tubo de ensayo hasta que este se pueda poner horizontal sin que el aceite se derrame.
- *Punto de descongelación:* es la temperatura a la cual, en el calentamiento, deja de estar bloqueada una pieza que había quedado sujeta por el lubricante al congelarse este.
- *Poder anticorrosivo:* es la propiedad de un lubricante de proteger a los órganos mecánicos contra la corrosión. Puede mejorarse añadiendo agentes anticorrosivos.
- *Poder antioxidante:* es la propiedad de mantenerse estable a altas temperaturas, con la cual, al no oxidarse el lubricante, tampoco aumenta su acidez, y no se forman en su seno partes insolubles que con el tiempo originarían lodos.
- *Poder antiespumante:* es la propiedad de impedir la retención de burbujas de aire en el aceite. Se mejora añadiendo agentes que reducen la tendencia a formar es-puma.

- *Poder detergente:* en los motores de explosión se producen residuos en el proceso de la combustión y de la descomposición del lubricante que contribuyen al rápido desgaste de sus distintos órganos. Por esta razón se añaden al lubricante productos detergentes que arrastran los posibles sedimentos y los mantienen en suspensión en el aceite.
- *Poder lubricante a elevadas presiones:* es la capacidad de mantener la película lubricante entre las superficies de las piezas aun en el caso de someterlas a elevadas presiones untadas.

5.4 TIPOS DE LUBRICACIÓN

5.4.1 Lubricación Límite. Ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante la lubricación limítrofe, hay contacto físico entre las superficies y hay desgaste. La cantidad de desgaste y fricción entre las superficies depende de un número de variables: la calidad de las superficies en contacto, la distancia entre las superficies, la viscosidad del lubricante, la cantidad de lubricante presente, la presión, el esfuerzo impartido a las superficies, y la velocidad de movimiento.

La mayor cantidad del desgaste ocurre al prender el equipo rotativo. Esto sucede por la baja lubricación limítrofe, ya que el aceite se ha "caído" de las piezas al fondo del cárter produciendo contacto metal-metal. Una vez que arrancó la máquina, una nueva capa de lubricante "hidrodinámica" es establecida con la ayuda de la bomba de aceite a medida que los componentes adquieren velocidad de operación.

5.4.2 Lubricación Hidrodinámica. En algún momento de velocidad crítica la lubricación límite desaparece y da lugar a la *Lubricación Hidrodinámica*. Esto sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante. Esta condición existe una vez que una película de lubricante se mantiene entre los componentes y la presión del lubricante crea una "ola" de lubricante delante de la película que impide el contacto entre superficies.

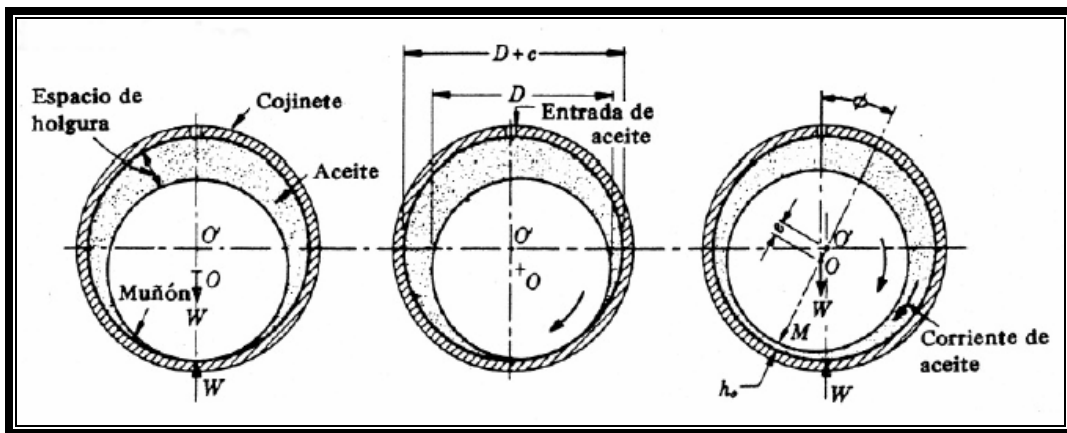
Bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar ingredientes antidesgaste y de alta presión en las fórmulas de lubricantes y el desgaste sería mínimo.

La propiedad que más afecta lubricación hidrodinámica es la viscosidad. La viscosidad debe ser lo suficientemente alta para brindar lubricación (límite) durante el arranque del motor con el mínimo de desgaste, pero la viscosidad también debe ser lo suficientemente baja para reducir al mínimo la "fricción viscosa" del aceite a medida que es bombeada entre los metales (cojinetes) y las bancadas, una vez que llega a convertirse en lubricación hidrodinámica.

5.4.3 Lubricación Mixta. Es una condición intermedia entre las películas límite e hidrodinámica, en la cual un buen porcentaje de las crestas de las dos superficies interactúan en fracciones de segundo presentándose la película

límite y otras ya están separadas en las cuales la película límite no desempeña ninguna labor. En lubricación mixta el desgaste y el consumo de energía dependen tanto de las características de la película límite como de la resistencia a la cizalladura de la película fluida y de su estabilidad.

Figura 35. Formación de la película lubricante hidrodinámica.



5.4.4 Lubricación Elastohidrodinámica (EHL). La lubricación EHL se presenta en mecanismos en los cuales las rugosidades de las superficies de fricción trabajan siempre entrelazadas y nunca llegan a separarse. En este caso las crestas permanentemente se están deformando elásticamente y el control del desgaste y el consumo de energía depende de la película adherida a las rugosidades. Se podría denominar esta película como límite pero de unas características de soporte de carga y de resistencia al desgaste mucho más elevadas que las que forma la película límite propiamente dicha. En la lubricación EHL la lubricación límite es permanente, o sea que no hay mucha diferencia entre las condiciones de lubricación en el momento de la puesta en

marcha del mecanismo y una vez que este alcanza la velocidad nominal de operación.

La definición de la lubricación Elastohidrodinámica se puede explicar así:

Elasto, elasticidad, o sea que la cresta de la irregularidad en el momento de la interacción con la cresta de la otra superficie se deforma elásticamente sin llegar al punto de fluencia del material; *Hidrodinámica*, ya que una vez que ocurre la deformación elástica la película de aceite que queda atrapada entre las rugosidades forma una película hidrodinámica de un tamaño microscópico mucho menor que el que forma una película hidrodinámica propiamente dicha. En la lubricación hidrodinámica el espesor de la película lubricante puede ser del orden de 5 mm en adelante, mientras que en la EHL de 1 mm o menos.

La lubricación de los equipos rotativos de las plantas industriales debe estar basada en las recomendaciones de lubricación de los fabricantes de los equipos rotativos, la cual se encuentra consignada en el catálogo de mantenimiento y de operación.

En la Tabla 4. se especifica en forma aproximada, la viscosidad del aceite, tanto mineral como sintético, y la consistencia de la grasa, que es necesario utilizar de acuerdo con el equipo rotativo que se vaya a lubricar. Estas recomendaciones solo se deben utilizar, cuando no se conozcan las especificaciones de lubricación del fabricante del equipo rotativo y no sea factible calcular el tipo de lubricante que se debe utilizar en un momento dado.

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

No	APLICACIÓN	TIPO DE LUBRICANTE			
		MINERAL ACEITE	GRASA	SINTETICO ACEITE	GRASA
01	Turbinas de vapor				
	· 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	
02	Turbinas de gas				
	· Lubricación por circulación.			ISO 22	
03	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
04	Bombas				
	· Centrífugas	ISO 68		ISO 46	NLGI 2
	· Alternativas	ISO 150		ISO 100	NLGI 2
05	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	
06	Compresores alternativos para H2				
	· Carter			ISO 150	
	· Cilindro			ISO 100	
07	Compresores centrífugo				
	· Cojinetes lisos	ISO 32 o 46		ISO 32	
08	Compresores de tornillo de cámara de compresión seca				
	· Engranajes y rodamientos	ISO 220		ISO 150	
09	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		ISOEP22 0	
	· 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	ISO320E P
23	Reductor de sinfín-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

Notas:

- Los grados ISO recomendados solamente se deben tomar como una guía, para seleccionar la viscosidad del aceite requerido para los diferentes equipos rotativos.
- La selección de la viscosidad del aceite sintético requerido se debe hacer teniendo en cuenta el grado ISO del aceite mineral, la temperatura de operación y el índice de viscosidad de la familia del aceite sintético que se va a utilizar.

5.5 FALLAS COMUNES EN ELEMENTOS DE MÁQUINAS POR ANOMALÍAS EN EL ACEITE O MALA LUBRICACIÓN

5.5.1 Desgaste abrasivo. Es el resultado de la presencia de partículas duras, de origen metálico y orgánico en el aceite, que dan lugar a ralladuras en la superficie del elemento en contacto.

Figura 36. Ralladuras en piñón.



5.5.2 Desgaste adhesivo. Es el hecho por una lubricación deficiente o nula entre el casquete y el muñón. La lubricación insuficiente interrumpe la película lubricante, permitiendo que las irregularidades de las dos superficies se toquen, soldándose instantáneamente y dando lugar al desprendimiento de material.

Figura 37. Desprendimiento de material en un eje.



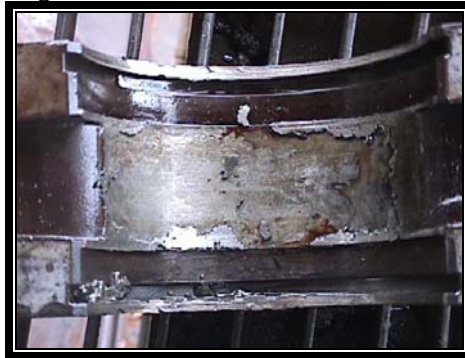
5.5.3 Desgaste erosivo. Se presenta como resultado de la acción de un fluido, ya sea por alta presión o por cambios en su dirección. Esta acción da lugar a la formación de pequeños huecos, con el respectivo desprendimiento de material, el cual a su vez agrava la situación. Este tipo de desgaste se presenta con aceites que tienen baja resistencia a la formación de espumas o por cavitación en la película lubricante.

Figura 38. Desprendimiento de material en chumacera.



5.5.4 Desgaste corrosivo. Se debe a la acción química de los aceites oxidados o por la contaminación de este por gases ricos en H_2S y se identifica habitualmente por superficies picadas y rugosas.

Figura 39. Corrosión en chumacera.



5.5.5 Adherencia o gripado. Es un principio de agarre entre dos superficies que friccionan bajo carga. En los rodamientos se puede presentar entre los elementos rodantes y la pestaña, entre los elementos rodantes y la jaula o entre la pestaña y la jaula. Una de las causas es la lubricación defectuosa dando lugar a que se interrumpa el giro de los elementos rodantes, quedando frenados a su paso por la zona no cargada del rodamiento.

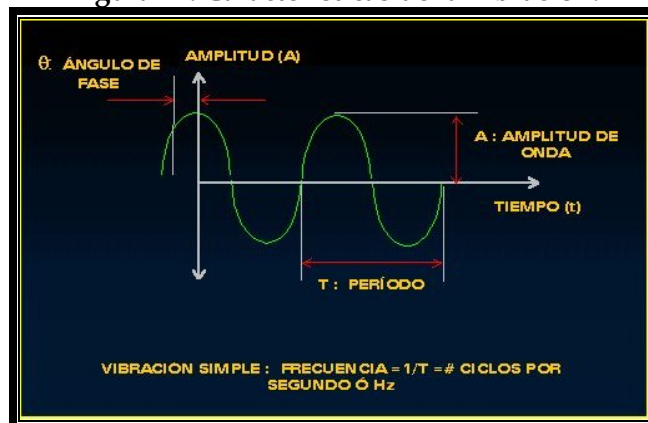
Figura 40. Falla por fricción en la canastilla.



6. 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.

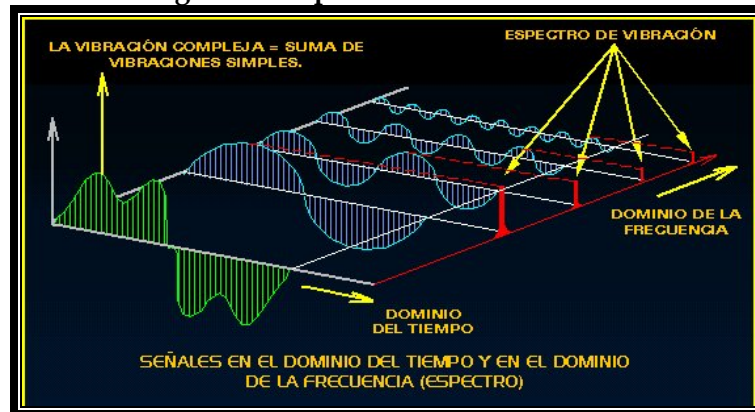
Figura 41. Características de la vibración.



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 42.

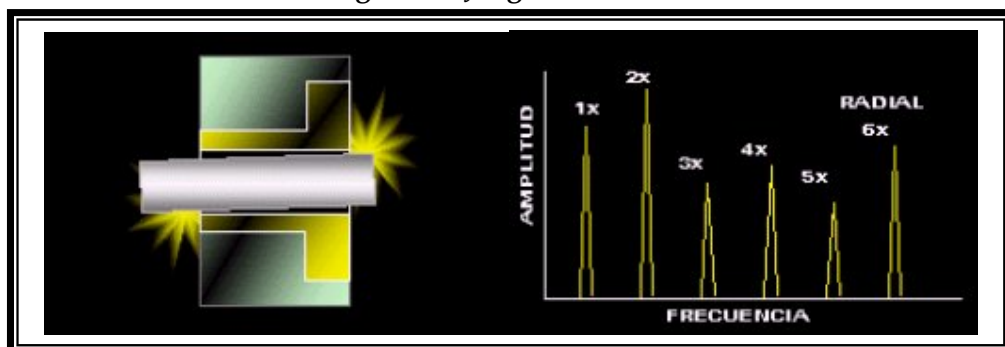
Figura 42. Espectro de una vibración.



6.1 DIAGNÓSTICO DE FALLAS

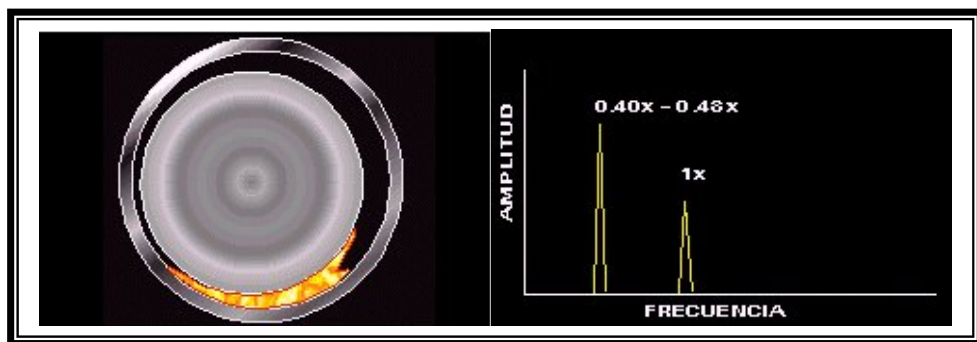
6.1.1 Desgaste o juego. Producido frecuentemente por desgaste de bujes o aflojamiento de manguitos. El espectro muestra presencia de armónicos a velocidad nominal.

Figura 43. Juego mecánico.



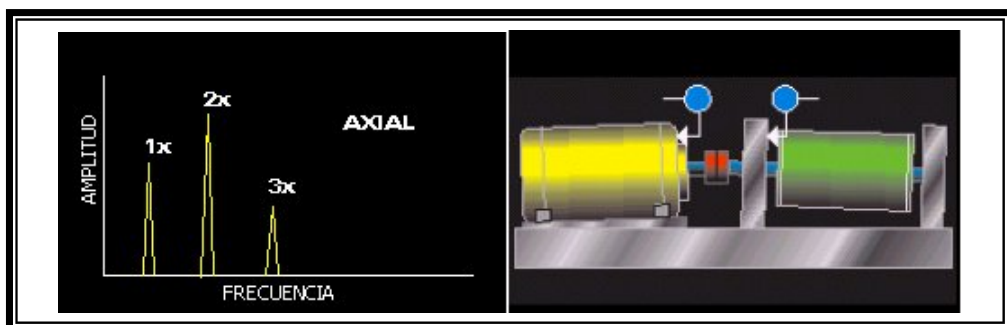
6.1.2 Remolino de aceite. Normal en chumaceras y crítico si el desplazamiento supera 0.5 veces la holgura eje-agujero. Ocurre entre 0.40X y 0.48X RPS y es muy grave si supera 0.5 veces la holgura eje-agujero. El fenómeno es excesivo si sobrepasa el 50% del juego.

Figura 44. Remolino de aceite.



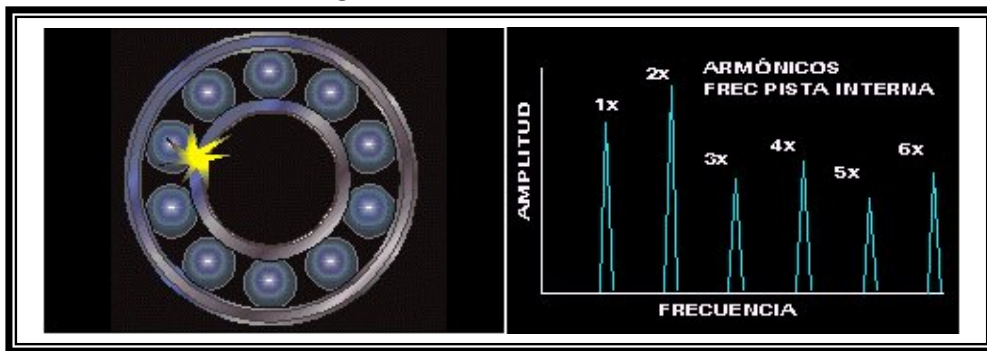
6.1.3 Desalineamiento angular. Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos. Caracterizado por altas vibraciones axiales. 1 X RPS y 2 X RPS son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3 X RPS. Estos síntomas también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

Figura 45. Desalineamiento angular.



6.1.4 Falla en rodamientos (falla en pista interna). Agrietamiento o desastillamiento 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 46. Falla en rodamientos.



6.2 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 resultar en fallas de la maquinaria o elementos asociados.

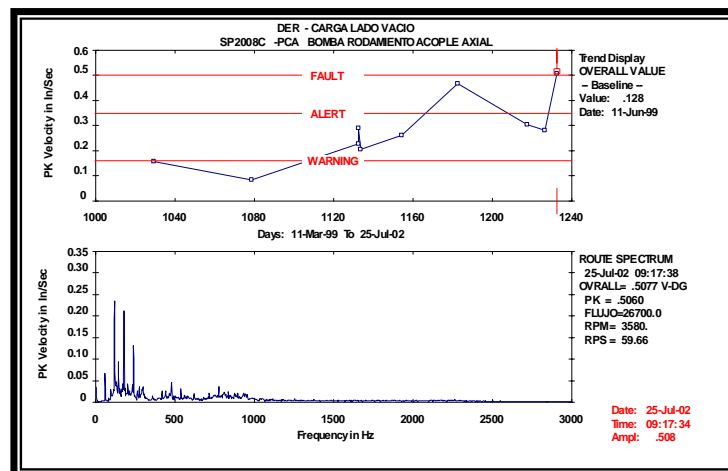
- Límites para el cambio en los valores, son establecidos para proveer un aviso temprano de variaciones anormales.

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.

6.3 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 47 se muestra el típico gráfico de tendencias vibratorias.

Figura 47. 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.

7. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA EN LAS PLANTAS DEL DEPARTAMENTO DE CRACKING DE ECOPETROL S.A. - GCB

La *Ruta de Tribología Operativa* garantiza la correcta operación de los equipos rotativos lubricados con aceite que trabajan en las plantas de cracking de la refinería, ya que provee información técnica reciente, real, y de fácil comprensión, del estado del aceite, del valor de la temperatura de operación y de la intensidad de las vibraciones de cada uno de los mecanismos lubricados.

Estos datos si se correlacionan adecuadamente permiten sacar conclusiones que garantizan la confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos de tal manera que la mayoría de las anomalías que se presenten en lubricación y de tipo operacional se puedan resolver de manera inmediata y las de tipo mecánico que tengan algún grado de dificultad se puedan programar con el fin de corregirlas lo más pronto posible.

A los equipos rotativos no es recomendable cambiarles el aceite bajo frecuencias constantes, ya que su nivel de calidad puede cambiar dentro del mismo intervalo de tiempo debido a imprevistos, como una tubería del sistema de enfriamiento rota, recipientes para aplicar los aceites sucios, mal almacenamiento y manejo de los lubricantes, altas temperaturas de operación como resultado de aislamientos deficientes, estos factores, además de afectar la vida del aceite, rompen la película lubricante, dando lugar a

altos valores de vibración que finalmente causan la falla del mecanismo lubricado.

7.1 DISEÑO DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA

La experiencia ha demostrado, que el sistema de mantenimiento para su óptimo funcionamiento requiere ser implementado cumpliendo ciertos requisitos básicos; entendiéndose como básicos, que ellos son fundamentales para alcanzar un mínimo nivel de confiabilidad del sistema y que asegure un adecuado nivel de mantenimiento de la maquinaria.

Estos requisitos o requerimientos pueden ser definidos como sigue:

- Estudio de la organización definiendo necesidades, capacidades y sistema de administración interna. En suma conocer la estructura interna en la cual se implementará el sistema, reconocimiento de las plantas, etc.
- Selección de las maquinas teniendo en cuenta los requisitos del personal, los cronogramas de producción, equipos críticos y de propósito general.
- Creación de la orgánica técnico-administrativa con la cual trabajará el sistema, definiendo las responsabilidades del personal de la organización. Lo anterior se considera prioritario, pues gracias a esta etapa se establecerán los requerimientos humanos y materiales.
- Selección de técnicas optimas para la verificación de la condición. Esta etapa se ocupa del *Qué, Cómo, Cuando Donde* y *Con Qué* efectuar la verificación de la condición.
- Definición de cronogramas de inspección y rutas de monitoreo.

- Diseño de un sistema sencillo para el manejo de datos e información (Registro de datos, administración de la información, indicadores).
- Capacitación del personal acorde a sus funciones en el proceso de mantenimiento. Será necesario definir los perfiles profesionales de cada integrante de la organización, a fin de determinar la capacitación requerida por cada uno de ellos.

A continuación se desglosará cada punto mencionado anteriormente especificando las tareas desarrolladas para la implementación de la RTO.

7.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA

7.2.1 Estudio de la organización interna, necesidades, capacidades y sistema de administración. Actualmente las labores de mantenimiento predictivo de las máquinas rotativas están encaminadas al monitoreo en línea de los equipos más críticos que representan tan solo un 20% de las máquinas rotativas de la refinería y el monitoreo con equipo portátil al resto de máquinas esenciales de manera casual por solicitud del supervisor de operaciones de las plantas cuando detectan un ruido anormal, alta temperatura o no cumple con las condiciones normales de operación.

Las funciones del operador de planta en cuanto al monitoreo de las variables de condición y operación de los equipos, están limitadas al uso de sus sentidos y a reportar sus apreciaciones cualitativas al personal de mantenimiento para un diagnóstico más acertado, lo cual es una práctica deficiente por no contar con información técnica real y actualizada del estado

del equipo trayendo consigo problemas de subjetividad en el reporte de las anomalías, mala interpretación de la información y por lo general acciones correctivas muy tardías.

Debido a que más del 80% del equipo rotativo de la refinería no posee monitoreo en línea de variables de condición, como temperatura y/o vibraciones y el monitoreo por parte del personal de mantenimiento al resto de equipos se hace en periodos muy distantes, existe la posibilidad del inicio de alguna falla 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 próxima inspección.

Dada 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, se justifica la implementación del programa de mantenimiento predictivo “RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA” para el cuidado básico de los equipos que permite conocer los datos del estado del aceite, el valor de la temperatura de operación y la intensidad de las vibraciones de cada uno de los mecanismos lubricados a una mayor frecuencia de monitoreo y que estos a su vez dependen del estado de la lubricación, la limpieza, la revisión de los sistemas auxiliares como agua de enfriamiento y fluidos de sellado, el mantenimiento de las condiciones de trabajo dentro de los límites establecidos por las ventanas operativas de cada equipo durante su operación.

7.2.2 Selección de las máquinas y acondicionamiento preliminar. Los equipos a monitorear son todas las máquinas rotativas de las plantas de

cracking, los cuales suman un total de 486, que representan aproximadamente el 19,44% del total de equipos rotativos de Ecopetrol S.A. – GCB.

Cuando se habla de equipos se refiere al conjunto de componentes unidos entre sí que cumplen una función determinada. La mínima combinación que se puede tener en los componentes de un equipo es la fuente motriz (motor eléctrico o turbina de vapor) junto a la máquina conducida (Bomba, compresor, ventilador, agitador, etc.); se tiene el caso en que en medio de los dos anteriores se encuentre un reductor o multiplicador de velocidad.

Las familias de componentes que se encuentran en estas plantas son las siguientes:

- Bombas centrífugas
- Turbinas de vapor
- Motores eléctricos
- Compresores
- Agitadores
- Ventiladores
- Reductores
- Multiplicadores

Para poder realizar de manera efectiva el diagnóstico de las máquinas, fué necesario inspeccionar el inventario real de equipos en las plantas y además verificar la siguiente información y elementos:

- Válvulas de drenaje de aceite.
- Tubo de venteo de gases para evaporación del aceite.
- Tipo de aceite utilizado en cada componente.
- Rótulo del tipo de aceite(s) que utiliza cada componente.
- Clase de componentes que integran el equipo.

Después de visitar cada equipo en las plantas, se hizo un informe para cada coordinación del departamento de cracking en donde se relacionó la información adquirida.

La siguiente tabla es un ejemplo de cómo se consignó la información obtenida para cada equipo en las plantas de cracking. Este caso en particular corresponde a la planta de Cracking UOPI; las tablas correspondientes a las demás plantas se encuentran en el anexo A.

Tabla 5. Tabla de información del estado de accesorios de los equipos rotativos de UOPI.

Equipo	Drenaje de aceite	Rótulo aceite	Puntos Medición	Tubo Venteo	Fuente Motriz	Reduc/Multip	Tipo Aceite
SP2590A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2590B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2591A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2591B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2593A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2593B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2701A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2701B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2702A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	COLOCAR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2702B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2703A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)

SP2703B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2704A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2704B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2705A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2705B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2706A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2706B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2707A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2707B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T220(TURBINA)
SP2708A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2708B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2710A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2710B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2711A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2711B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T220(TURBINA)
SP2712A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2712B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T220(TURBINA)
SP2713A	0	GRASA	DEMARCAR	0	N	0	SAPPHIRE 442(TURBINA), GLYCOLUBE 46(GOBERNADOR)
SP2713B	0	GRASA	DEMARCAR	0	M	0	SAPPHIRE 442(BOMBA)
SP2718A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2718B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2722A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN)
SP2722B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO
SP2724A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2724B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2726A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO
SP2726B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO
SP2751A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2751B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2752A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2752B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2753A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2753B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2754	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2755A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)

SP2755B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA), T100(TURBINA), GENLUBE GL EP (CONTRAPESAS GOBERNADOR)
SP2756A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2756B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2757A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2757B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	1	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2758A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2758B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2759A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2759B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2761A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2761B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2762A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2762B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2763	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	X - 2E	ENGRANAJES EP 220 (REDUCTOR VEL)
SP2764A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	Y - 2E	GLYCOLUBE46 (INCREMENTADOR VEL)
SP2764B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	Y - 2E	GLYCOLUBE46(INCREM VEL), T68(GOB)
SP2765A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2765B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2766A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2766B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2767A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2767B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2768	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	X - 2E	ENGRANAJES EP 220
SP2770	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2771	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2773A	0	GRASA	DEMARCAR	OK	N	0	SAPPHIRE 442(BOMBA)
SP2773B	0	GRASA	DEMARCAR	OK	M	0	SAPPHIRE 442(BOMBA, TURBINA), GLYCOLUBE 46(GOB)
SP2774A	0	GRASA	DEMARCAR	OK	M	0	SAPPHIRE 442(BOMBA)
SP2774B	0	GRASA	DEMARCAR	OK	N	0	SAPPHIRE 442(BOMBA, TURBINA), T68(GOBERNADOR)
SP2775A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	AUTOLUBRICADO(BOMBA), T100(TURBINA), T68 (GOBERNADOR)
SP2775B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMBA)
SP2777A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	AUTOLUBRICADO(BOMBA), T100(TURBINA), T68 (GOBERNADOR)

SP2777B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMBA)
SP2780A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMBA)
SP2780B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMBA, MOTOR)
SP2850A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2850B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2853A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2853B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2853E	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2853F	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2871	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(MOTOR), T68(BOMBA)
SP2872A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2872B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2873A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	AUTOLUBRICADO(MOTOR), T68(BOMBA)
SP2873B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA)
SP2875	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)

Después de recopilada la anterior información se hicieron las siguientes recomendaciones a los ingenieros de confiabilidad de cada coordinación:

- Los componentes de equipos que no cuentan con válvula de drenaje, se les debe colocar una válvula de compuerta, de bronce, de ½" ó de ¾", para tomarles la muestra de aceite. La válvula de drenaje debe quedar en un punto de fácil acceso, de tal manera que la muestra de aceite se tome de la manera más cómoda posible.
- Solicitar al proveedor de lubricantes de la refinería la colocación en un lugar visible del equipo los rótulos de aceite que identifica el tipo de lubricante utilizado por los componentes de cada equipo.
- Colocar un tubo de acero de ½" con su respectiva tapa perforada o de lengüeta en las cajas de los rodamientos para que sirva de venteo de los

gases que resultan de la evaporación del lubricante cuando el equipo está en operación.

- Actualizar en el software CARLLUB, las cartas de lubricación de los equipos con el nombre de los tipos de lubricantes que utilizan.

7.2.3 Requerimientos humanos y responsabilidades del personal de la organización. Las personas que intervienen y están a cargo de la ejecución y logística del programa de mantenimiento son las siguientes:

- Operadores.
- Líder de Tribología.
- Técnico de confiabilidad.
- Ingeniero de confiabilidad.
- Ingeniero de lubricación.

➤ *Funciones del operador.* El operador es el encargado de manejar las máquinas y los equipos de la planta, realizar los controles y ajustes en las válvulas y demás instrumentos que controlan las variables de proceso. En el día hay tres turnos de operadores; el primer turno o turno A de 6:00 AM a 2:00 PM, turno B de 2:00pm a 10:00 PM y turno C de 10:00 PM a 6:00 AM. Cada planta cuenta con un operador de patio, es decir que en una coordinación hay en promedio de 3 a 6 operadores por cada turno. Sus funciones dentro de la RTO son:

- Realizar el monitoreo de la condición del aceite, medición de la temperatura y vibración utilizando los equipos portátiles (Kit de

tribología) de acuerdo al procedimiento y a la distribución por turnos diseñados para la *Ruta de Tribología Operativa*.

- Analizar y corregir las causas operativas que están originando un funcionamiento o estado incorrecto del equipo rotativo, reflejado en los datos adquiridos en la *Ruta de Tribología Operativa*.
 - Consignar diariamente los datos adquiridos en la *Ruta de Tribología Operativa* en el formato de datos y en el software de Excel una vez hayan sido analizadas las causas operativas de mal funcionamiento en los equipos rotativos que muestren algún parámetro por fuera del límite especificado.
 - Archivar y mantener en forma organizada en una carpeta, las hojas de los formatos de datos de la *Ruta de Tribología Operativa*.
 - Recoger y almacenar en los recipientes adecuados el aceite drenado de los equipos.
- *Funciones del líder de tribología.* El líder de tribología es un supervisor de operaciones o un operador quien tendrá la responsabilidad de coordinar y verificar el cumplimiento del desarrollo de la Ruta de Tribología Operativa en la planta. Hay un líder de tribología por cada coordinación, es decir, cuatro líderes de tribología en el departamento de Cracking. Sus funciones dentro de la RTO son:
- Revisar los datos históricos de la condición y anomalías en los aceites de los equipos, para reportar en cuales es necesario ejecutar acciones proactivas que corrijan el problema.

- Estar atento al monitoreo y diagnóstico hecho por el técnico de confiabilidad de ATP asignado al departamento, sobre los equipos rotativos cuyos valores de vibración y temperatura adquiridos en la RTO dieron por fuera de los valores máximos establecidos y que no se deben a anomalías de tipo operativo.
 - Programar y anexar a la *Ruta de Tribología Operativa* el listado de equipos en observación para hacerles un monitoreo a las variables de condición diariamente, hasta que se ejecute la orden de trabajo con el fin de observar la evolución de la falla y acelerar su intervención.
 - Auditar que la información de la ruta sea consignada diariamente y que el operador si está haciendo los correctivos que sean necesarios para que los equipos rotativos trabajen dentro de la ventana operativa y en buen estado.
 - Realizar las solicitudes de compras de todos los elementos necesarios por el operador en la planta para la ejecución sin contratiempos de la *Ruta de Tribología Operativa* como por ejemplo, aceites lubricantes, aceiteras, vasos de lubricación, elementos de aseo, baterías para los equipos de medición, etc.
- *Funciones del técnico de confiabilidad.* Esta persona es un técnico mecánico y es el encargado de hacer el monitoreo de todos los equipos rotativos a los cuales se les detectó alguna anomalía al monitorearlos en la RTO por parte del operador. Hay un técnico de confiabilidad asignado al departamento de cracking y utiliza un equipo portátil de medición de vibración CSI 2120 más avanzado que el lápiz de vibración SKF CMVP50 utilizado por el operador, ya que brinda espectros de vibración y hace posible un análisis

más profundo para determinar la condición del equipo. Sus funciones dentro de la RTO son:

- Ingresar a la Intranet de la empresa y revisar diariamente la aplicación en Excel donde se guarda la información de los valores de temperatura, vibración y condición del aceite adquirida en la RTO y digitada por el operador en planta el día anterior.
 - Monitorear los equipos con valores de temperatura y vibración por encima de los límites permisibles establecidos.
 - Hacer un diagnóstico de los posibles problemas de tipo operativo o mecánico que presenta un equipo, a través del análisis de espectros de vibración y su relación con los demás parámetros medidos.
 - Hacer las ordenes de trabajo predictivas de los equipos cuyo diagnostico resultó siendo un problema mecánico que hay que corregir como por ejemplo, cambio de los rodamientos, desbalanceo del eje, desalineamiento, soldadura mecánica, etc.
 - Administrar la información adquirida al monitorear los equipos, descargándola en el software RBMWare de soporte del analizador de vibraciones CSI 2120, llevando niveles de tendencias, actualizando las rutas de monitoreo y la base de datos de cada equipo de las plantas a su cargo.
- *Funciones del Ingeniero de confiabilidad.* Esta persona es un ingeniero mecánico quien tiene a su cargo el mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos de las plantas a su cargo. En el departamento de Cracking hay dos ingenieros asignados, los cuales son

orgánicos del departamento de Apoyo Técnico a la Producción – ATP. Sus funciones dentro de la RTO son:

- Brindar asesoría al técnico de confiabilidad en el análisis o diagnóstico más complejo de los equipos rotativos con altos valores de vibración y temperatura.
 - Determinar los límites específicos de vibración y temperatura permisibles para cada componente de los equipos rotativos.
 - Determinar los modos de fallas típicos en los equipos rotativos.
 - Hacer un análisis de causa – raíz a los modos de fallas típicos encontrados en cada equipo rotativo.
 - Realizar tareas de mantenimiento proactivas o mejorativas en los equipos rotativos, según los resultados arrojados por el análisis de causa – raíz hecho en cada equipo rotativo.
- *Funciones del Ingeniero de lubricación.* La refinería cuenta con un ingeniero de lubricación en el departamento de Apoyo Técnico a la Producción, quien tiene a su cargo las siguientes responsabilidades dentro del programa de la *Ruta de Tribología Operativa*:
- Elaborar y mantener actualizadas las *Cartas de Lubricación* en el software *Carlub*, de todos los equipos rotativos de las plantas de la GCB.
 - Análisis de la información recopilada con el fin de diseñar los correctivos que sean necesarios, entre los cuales podrían estar los de utilizar lubricantes con un menor coeficiente de fricción, el montaje de sistemas de lubricación por circulación y por niebla de aceite.

- Evaluar la información de los programas de Lubricación Predictiva y determinar los equipos rotativos en los cuales es factible reducir el consumo de energía mediante la implementación de lubricantes sintéticos, vegetales ó con productos de 3ra generación.
- Analizar la lubricación de los sistemas de bombeo en las diferentes plantas de la GCB, con el fin de analizar la posibilidad de utilizar un solo aceite en la lubricación del gobernador de velocidad, turbina de vapor, motor eléctrico y bomba centrífuga.

7.2.4 Procedimiento de la Ruta de Tribología Operativa. Esta etapa se ocupa del *Qué, Cómo, Cuando, Donde y Con Qué* efectuar la verificación de la condición y descripción de las técnicas optimas seleccionadas para la verificación de la condición de los equipos rotativos.

Con el objeto de tener una mayor claridad respecto a la forma de trabajo que posee el sistema de mantenimiento predictivo, se detallará su ciclo de operación general:

- La máquina deberá ser periódicamente monitoreada a través de las diferentes técnicas de diagnóstico que se hayan definido e implementado para su análisis.
- Los parámetros medidos serán comparados con las alarmas de operación previamente definidas.
- Si el límite no es excedido se continuará el monitoreo de las variables con la periodicidad establecida. En caso contrario, si la máquina presenta valores de parámetros por sobre los límites establecidos se deberá efectuar

un remonitoreo con un equipo mas especializado para un análisis del problema.

- El análisis, que deberá ser efectuado por personal idóneo, tanto por sus conocimientos en la máquina como en las técnicas de diagnóstico, definirá la necesidad de incrementar los intervalos de medición o de programar una reparación.
- Si el análisis ha definido la necesidad de efectuar la reparación de la máquina, ésta se llevará a cabo de acuerdo a lo programado. Una vez ejecutado el trabajo será necesario tomar una nueva medición de parámetros, a fin de evaluar el óptimo funcionamiento de la máquina y que éstos se constituyan como "línea base" (referencia) del futuro estudio de tendencias.
- Por último, la máquina volverá a su monitoreo periódico, hasta que se produzca una nueva alarma operacional.

La *Ruta de Tribología Operativa*, se debe realizar semanalmente, es decir todos los equipos de las plantas van a ser inspeccionados una vez por semana teniendo en cuenta estos tres parámetros a medir:

- Verificar el estado de la lubricación de los mecanismos de los equipos rotativos, de manera cualitativa, ya sea que se lubriquen con aceite ó con grasa.
- Tomar los valores de la temperatura de operación de dichos mecanismos.
- Verificar el nivel de vibraciones cuantitativamente, pero sin entrar a analizar en detalle cuáles son las causas probables de los altos niveles de vibración que se puedan estar presentando en los mecanismos lubricados.

- *Equipo portátil para el monitoreo de la condición del aceite, temperatura y vibración.* Las herramientas de monitoreo que se utilizan en la RTO o Kit de tribología, está conformado por un analizador de aceite, pirómetro y medidor de vibraciones. Son equipos portátiles que brindan información de primera mano y por esa condición no realizan un análisis profundo o avanzado de los parámetros a medir o a evaluar.

Figura 48. Kit de tribología.



- *Analizador de aceite SKF TMEH 1:* evalúa cualitativamente el estado del aceite, determinando si es ó no necesario cambiarlo. El resultado del análisis del aceite se reporta como *bueno ó malo*.

Figura 49. Analizador de aceite.



Tabla 6. Ficha técnica del analizador de aceite.

Suitable oil types	mineral and synthetic oils
Repeatability	better than 5%
Read-out	green/red grading + numerical value (0 - 100)
Battery	9V Alkaline IEC 6LR61
Battery lifetime	> 150 hours or 3.000 tests
Dimensions	250 x 95 x 32 mm (9.8 x 3.7 x 1.3 in) (instrument)

- *Probador de temperatura SKF CMSS2000-SL*: permite tomar la temperatura de operación del mecanismo lubricado.

Figura 50. Pirómetro.



Tabla 7. Ficha técnica de la pistola de temperatura.

Designation	TMTL 260
Temperature range	-18 to 260 °C (0 to 500 °F)
Accuracy	± 2% of reading or ± 2 °C (± 3.5 °F), whichever is greater
Display resolution	0.5 °C or 1.0 °F
Distance to Spot size	6:1
Spectral response	7- 18 µm
Emissivity	Pre-set 0.95
Dimensions	152 x 101 x 38 mm (6 x 4 x 1.5 in)
Weight	227 g (0.5 lb)
Battery	9V Alkaline
Battery lifetime	12 hours (average using Alkaline batteries)
Switch off	Automatic after 7 seconds after trigger is released
Display indications	Temperature, °C or °F, hold, out of range, low battery

- *Analizador de vibraciones SKF CMVP50*: evalúa cuantitativamente el nivel de vibraciones overall, mostrando su valor en pulg/s ó mm/s. No analiza espectros y por lo tanto no da información sobre las causas que pueden estar ocasionando altos valores de vibración, en un momento dado, en el mecanismo lubricado.

Figura 51. Lápiz de vibración.



Tabla 8. Ficha técnica del lápiz de vibración.

Vibration pick-up	piezo electric acceleration integrated sensor (compression type)
Measurement range	0.7 to 55.0 mm/s (RMS) by 0.1 increment
	0.01 to 3.00 in/s (eq. Peak) by 0.01 increment tolerance: 10% (2 digits)
	0.1 to 19.99 g ^r by 0.1 increment
Frequency range	overall vibration - 10 Hz to 10,000 Hz
	acceleration enveloping - 10 kHz to 30 kHz
Display	measurement value: 3.5 digit LCD
Display cycle	approximately 1 second
Overload indication	OVER
Battery replacement indication	BATT
Hold indication	HOLD
Power	2 x CR2032 lithium batteries
Battery lifetime	170 mA hours current consumption measurement mode: 7.5 mA
HOLD mode	3.0 mA

Auto power off function	power is turned off approximately 2 minutes after last ON or HOLD operation
Dimensions	17.8 x 30.5 x 157.5 mm (0.7 x 1.2 x 6.2 in)
Weight	approximately 77 g (2.7 oz) with batteries
Ambient operating conditions	-10°C to 50°C (+14°F to +122°F) 20 to 90% relative humidity

Se tiene también un analizador de vibraciones que es utilizado por el técnico de confiabilidad para hacer un remonitoreo de los equipos que presentaron valores de temperatura y vibración por encima de los límites de alarma establecidos u otra anomalía no solucionada por el operador en la RTO.

- *Analizador de vibraciones CSI 2120*: evalúa cuantitativamente el nivel de vibraciones de los mecanismos lubricados, y mediante espectros permite determinar el tipo de problema que se está presentando. Cuenta con software para hacer las programaciones de rutas de monitoreo, manejo de la información recopilada y tendencias.

Figura 52. Analizador de vibraciones CSI 2120.



- *Análisis de la condición del aceite.* A cada uno de los mecanismos lubricados con aceite, se les analiza la condición en la cual se encuentra el aceite. Es el primer paso que se debe llevar a cabo y con el cual se asegura que el mecanismo tenga su aceite en óptimas condiciones. No tiene ningún sentido, tomar valores de temperatura y de vibración, si no se ha asegurado primero la calidad de la lubricación, ya que si ésta no es la correcta, los valores de temperatura y de vibración que se tomen, pueden dar por encima de los máximos permisibles (Vibración es igual a la relación entre la Carga y la viscosidad del aceite. $vib = \frac{C}{\nu}$).

Por lo anterior cuando hay alguna anomalía en el aceite como por ejemplo, emulsionado, o dilución por paso del líquido de trabajo de la bomba a través de los sellos, tenemos una disminución de la viscosidad del aceite, la cual es inversamente proporcional a la vibración.

- *Toma de la muestra de aceite:* antes de tomar la muestra de aceite, se debe drenar el agua que pueda tener el aceite, luego se deja salir una cantidad suficiente de aceite de tal manera que el análisis que se le haga si sea representativo de la condición real bajo la cual está trabajando en el mecanismo del equipo rotativo. Una vez evacuada el agua, se deja salir aproximadamente un 25% del volumen total del aceite del depósito del equipo rotativo, se recoge en una botella de vidrio limpia y vuelve y se le aplica al equipo rotativo por el tubo de llenado.

A continuación, se procede a tomar la muestra de aceite, en la botella de vidrio. Este tipo de botellas de vidrio permitirán hacer un análisis preliminar

de manera visual del estado del aceite y evaluar si contiene agua en suspensión, está emulsionado, contaminado con partículas sólidas, etc. Es muy importante, para drenar el aceite del carter del equipo rotativo, y volvérselo a aplicar, contar con un embudo pequeño de plástico, con el fin de evitar regueros de aceite y demoras al realizar esta operación.

- *Análisis del aceite:* el aceite usado se analiza mediante la utilización del *Analizador de aceite SKF TMEH1*, y dependiendo de los resultados obtenidos, y del volumen de aceite que contenga el equipo rotativo, se le hace un nuevo análisis en los laboratorios del fabricante del aceite.
- *Uso e interpretación de resultados con el Analizador de aceite SKF TMEH1:* es muy importante tener en cuenta que el *Analizador de aceite SKF TMEH 1*, solo permite analizar el aceite de una manera cualitativa, ó sea, predice si el aceite está *bueno ó malo*, pero no dice que tiene. El Analizador de Aceite se opera de la siguiente manera:

Se prende, accionando el botón ubicado en la parte inferior. Este botón tiene dos posiciones: LO (bajo) y HI (alto); se coloca en HI; al hacerlo una barra ó cursor se desplaza por la periferia del sensor circular pasando por tres escalas identificadas con los colores *verde, amarillo y rojo*, respectivamente. En caso de que no aparezca el cursor es porque la pila del *Analizador de Aceite* está mala y es necesario reemplazarla.

Se calibra, para lo cual se coloca en el sensor (se debe limpiar previamente con un papel suave) una muestra sin usar del aceite que se va a monitorear, y se oprime el botón identificado con la palabra CAL (Calibración).

Figura 53. Muestra de aceite en el sensor.



Figura 54. Calibración del analizador con una muestra de aceite nuevo.



A continuación el cursor se desplaza desde la escala *verde* hasta la *roja* y vuelve a su punto original, quedando de esta manera disponible para la evaluación de la condición del aceite que se encuentra trabajando en el

equipo rotativo. Si el cursor no se mueve, se deja oprimido el botón CAL durante un tiempo de 10 segundos, al cabo de los cuales el sensor queda calibrado.

El sensor se debe calibrar para cada referencia de aceite. Si en el día se va a monitorear el mismo tipo de aceite, no es necesario volver a calibrar el sensor. De un día para otro, si, aun cuando se trate del mismo tipo de aceite.

Se evacua la muestra de aceite nuevo del sensor y se limpia, se coloca en el sensor una pequeña muestra del aceite usado y se acciona el botón identificado con la palabra TEST (análisis), al hacerlo el cursor empieza a desplazarse por las escalas de colores, hasta quedar finalmente detenido en una de ellas, de acuerdo con la condición del aceite.

Figura 55. Limpieza del sensor.



Figura 56. Toma de muestra de aceite usado.



Si se posiciona en la escala *verde*, el aceite está *bueno* y no es necesario hacer alguna acción. Si queda en la escala *amarilla* (casi nunca ocurre), es necesario cambiarle al equipo el 50% del aceite, y si queda en la escala **ROJA**, el aceite está *malo* (malo puede significar que está oxidado, emulsionado, contaminado con agua, con partículas sólidas, etc.) y es necesario llevar a cabo algún tipo de acción que garantice que el mecanismo lubricado queda con su aceite en óptimas condiciones.

Si al analizar el aceite sale *malo*, se debe repetir el análisis de nuevo, y se toma este segundo resultado como definitivo. En el caso anterior, si el aceite sale *malo*, se procede de la siguiente manera:

Si la cantidad de aceite que lleva el mecanismo lubricado, es menor ó igual a 5 galones, el operador cambia la totalidad del aceite; Si es mayor de 5 galones, se toma una muestra de 100 CC del aceite, se marca con el nombre del equipo rotativo y del aceite, y se le entrega al proveedor de lubricantes para que este la analice en sus laboratorios, de acuerdo con las normas ASTM. Una vez que

se conozcan los resultados se procede a cambiar el aceite ó a dejarlo en servicio, según el caso.

Si el cambio del aceite se va a hacer con el equipo rotativo en operación, que es lo más probable, es necesario reemplazar como mínimo, una vez y media, el volumen total del aceite que se encuentra trabajando en el equipo rotativo. Si se hace con el equipo rotativo parado, es recomendable hacerle un “flushing” ó lavado al carter del equipo rotativo, con el mismo tipo de aceite pero nuevo y con una cantidad equivalente al 20% del volumen total.

El aceite usado ó contaminado que se saca del equipo rotativo, y el utilizado para el “flushing” se deben almacenar por tipos y luego cuando se tengan como mínimo, dos tambores de 55 galones de aceite, se dializa. El aceite dializado, se puede utilizar para futuros cambios de aceite, en los mismos equipos rotativos de donde se drenó, ó para reponer niveles de aceite.

Los equipos rotativos a los cuales se les cambió el aceite deben quedar consignados en el respectivo formato de reportes, y posteriormente en la aplicación de Excel. El diseño del formato de reportes se encuentra en el anexo B.

➤ *Temperatura de operación.* La temperatura de operación del mecanismo se toma mediante la utilización de un probador de temperatura SKF CMSS2000-SL, ó su equivalente. El procedimiento para tomar la temperatura de operación es el siguiente:

Figura 57. Medición de temperatura en un motor eléctrico.



Se toma en aquel punto del mecanismo lubricado (rodamientos, engranajes, etc.) donde se presente la máxima fricción. Este punto debe estar marcado en el mecanismo del equipo rotativo, de tal manera que siempre se tome en el mismo punto. Se registra el dato de la temperatura de operación y se compara con respecto al valor máximo permisible.

Si este es anormal, el *operador* debe analizar y corregir de manera inmediata, las causas que pueden estar incidiendo en el incremento de la temperatura de operación, tales como un aislamiento deficiente en el caso de turbinas de vapor, sistema de enfriamiento con agua deficiente ó taponado, mecanismos dañados, condiciones operacionales por fuera de especificaciones, etc.

Los valores máximos permisibles de la temperatura de operación, de los mecanismos lubricados, son (Según normas API y recomendaciones de los fabricantes):

Para reductores de velocidad: 50°C (122°F).

Para bombas centrífugas: 60°C (140°F).

Para motores eléctricos: 70°C (158°F).

Para gobernadores de velocidad: 70°C (158°F).

Para turbinas de vapor: 80°C (176°F).

- *Intensidad de las vibraciones.* Este monitoreo es cuantitativo, y se pretende con él, que el *operador* tenga una idea muy aproximada de cuáles mecanismos de los equipos rotativos de su planta están trabajando con valores de vibraciones por encima de los límites máximos permisibles.

La evaluación de las vibraciones por este método no permite determinar cuál es la causa de un valor anormal de vibraciones, sino detectar cuando se está presentando, con el fin de que sea remonitoreado por el técnico de confiabilidad, determinando de esta manera exactamente, cuál es el problema en el mecanismo del equipo rotativo (Desalineamiento, desbalanceo mecánico, desbalanceo hidráulico, etc.).

Para tomar las vibraciones por parte del operador, se utiliza el *Analizador de Vibraciones SKF CMVP50*, que permite medir la intensidad de las vibraciones en mm/s ó en pulg/s. Los valores de la vibración, los toma el operador una vez a la semana en los mismos puntos donde los toma el técnico de confiabilidad.

Así por ejemplo, si se trata de la MP135A (conjunto motor y bomba), los puntos de medida serán: MAH, MAV, MBH, MBV, MBC, PCH, PCV, PCA, PDH, PDV. La letra M, identifica el motor eléctrico y la P la bomba centrífuga;

las letras A y B, los rodamientos lado ventilador y lado acople del motor eléctrico respectivamente; las letras C y D, los rodamientos lado acople y lado impulsor de la bomba centrífuga, respectivamente; las letras H, V y A, la intensidad de las vibraciones en las direcciones horizontal, vertical y axial, respectivamente. El mismo procedimiento aplica para los demás componentes de equipos como lo resume la figura 58.

Figura 58. Nomenclatura para el lugar de monitoreo de vibraciones.

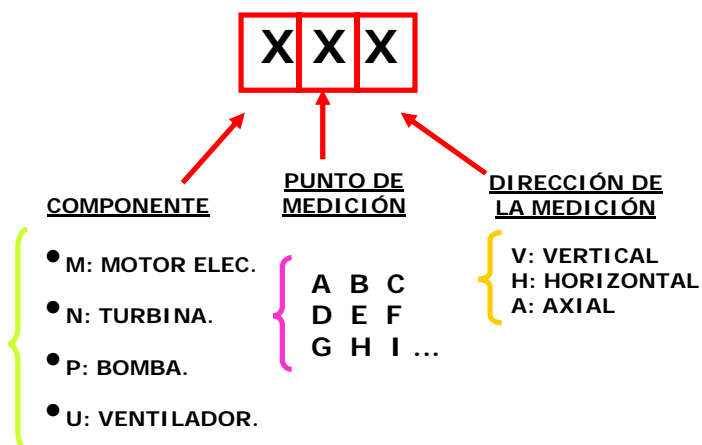
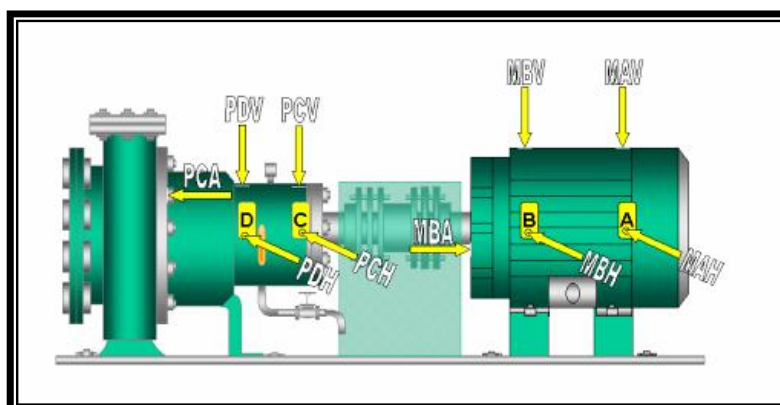


Figura 59. Puntos de monitoreo de vibración en un sistema de bombeo.



Los valores máximos permisibles de las vibraciones tomadas con el *Analizador de vibraciones SKF CMVP50* dependen del tipo de mecanismo monitoreado; por lo que es necesario tener el valor NORMAL, ALERTA y CORTE. El valor de la vibración, considerado como NORMAL, para los siguientes elementos de máquinas, es (Según normas API y recomendaciones de los fabricantes):

Para reductores de velocidad: 10 mm/s ó 0,40 pulg/s.

Para bombas centrífugas: 8 mm/s ó 0,30 pulg/s.

Para motores eléctricos: 6 mm/s ó 0,25 pulg/s.

Para turbinas de vapor: 4 mm/s ó 0,16 pulg/s.

Si alguno de los valores de vibración tomados, en cualquiera de los puntos y en cualquier dirección, está por encima del valor NORMAL, al ser digitados estos valores en la aplicación diseñada en Excel los muestra en color rojo para que el técnico de confiabilidad al día siguiente pueda distinguir los equipos que presentan anomalías y así sacar un listado de los equipos a remonitorear, con el fin de tener el diagnóstico de qué es lo que puede estar sucediendo en estos equipos rotativos y proceder a corregir, si es el caso, la causa del problema.

7.2.5 Definición de cronogramas de inspección y rutas de monitoreo. En el día hay tres turnos de operadores; el primer turno o turno A de 6:00 AM a 2:00 PM, turno B de 2:00pm a 10:00 PM y turno C de 10:00 PM a 6:00 AM. Cada planta cuenta con un operador de patio, es decir que en una coordinación hay en promedio de 3 a 6 operadores por cada turno.

La ruta de tribología tiene una frecuencia de ejecución semanal en la cual para definir el número de quipos rotativos que debe monitorear cada operador en su turno de trabajo, se tomó la totalidad de los equipos rotativos a monitorear, se dividió entre los 7 días de la semana (de lunes a Domingo) y luego entre los tres turnos de trabajo de operaciones, de tal manera, que el operador en cada turno, sólo monitoree dos ó tres equipos rotativos.

Lo anterior no aplica en todas las plantas ya que el operador tiene que realizar en su turno de trabajo unas tareas de manera prioritaria lo cual obliga a que en uno o varios días de la semana no pueda ejecutar la RTO y se le acumule una mayor cantidad de equipos para monitorear en otros días de la misma semana. Lo que si no cambia es que la totalidad de los equipos deben ser monitoreados cada semana.

Para especificar la ruta y el cronograma de inspección se estableció una tabla para cada planta con el listado de los equipos y las fechas y orden en que deben ser monitoreados según lo indica la X. Esta tabla se hizo con la asesoría del líder de tribología y la aprobación del ingeniero de confiabilidad.

A continuación se muestra el cronograma de inspección de la coordinación de Modelo IV, el resto de cronogramas para las demás coordinaciones se encuentran en el anexo C:

Tabla 9. Cronograma de la ruta de monitoreo de Modelo IV.

EQUIPO	LUNES			MARTES			MIERCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO			DOMINGO		
	Turno			Turno			Turno			Turno			Turno			Turno					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
SP301A	X																				
SP301B	X																				
SP302A	X																				
SP302B	X																				
SP302C	X																				
SP303A	X																				
SP303B	X																				
SP304A	X																				
SP304B	X																				
SP305A	X																				

SP305B	X																		
SP306A	X																		
SP306B	X																		
SP308A								X											
SP308B								X											
SP309A								X											
SP309B								X											
SP311A				X															
SP311B				X															
SP312				X															
SP313A				X															
SP313B				X															
SP314A				X															
SP314B				X															
SP318A				X															
SP318C				X															
SP323								X											
SP324								X											
SP325								X											
SP328A				X															
SP328B				X															
SP329A				X															
SP329B				X															
SP330A				X															
SP330B				X															
SC301								X											
SC302								X											
SC304								X											

7.2.6 Diseño de un sistema sencillo para el manejo de datos y registro de la información. El primer registro que se hace durante la Ruta de Tribología Operativa es en el formato de datos que maneja cada planta (Anexo B), donde se hace referencia al estado operativo del equipo, la condición del aceite, vibración y temperatura, observaciones, etc.

El siguiente paso es registrar esta información en la aplicación en Excel como se describe a continuación:

Inicialmente el usuario de la aplicación accede a ella dependiendo de la coordinación en que este trabajando, en la siguiente dirección:

W:\OPTIMIZACION\06. Integridad Operativa\PFIs\2. Enfoque Confiabilidad\Cracking

Una vez entra, se encuentra con dos opciones de acceso, ESTADO OPERATIVO EQUIPOS y RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA las cuales comunican con otros vínculos que describiremos primero en un diagrama de bloques y luego mostrando con figuras cómo se avanza paso a paso a través de la aplicación en Excel.

Figura 60. Diagrama de bloque de vínculos para el registro de los estados operativos de equipos.

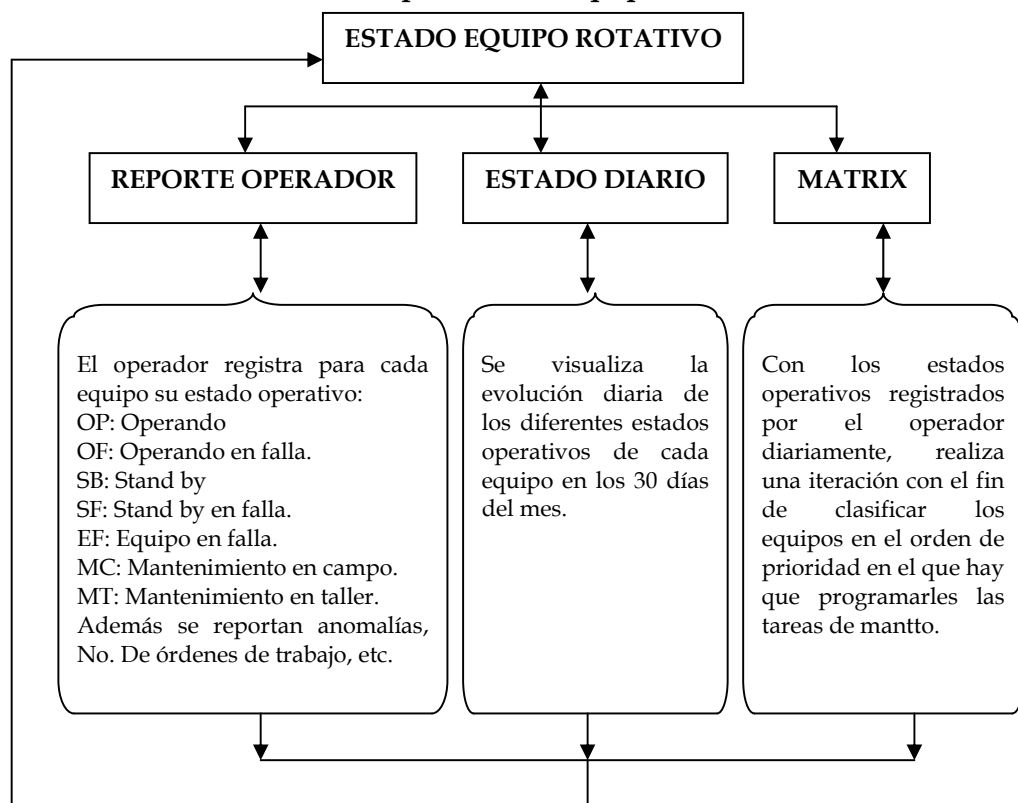
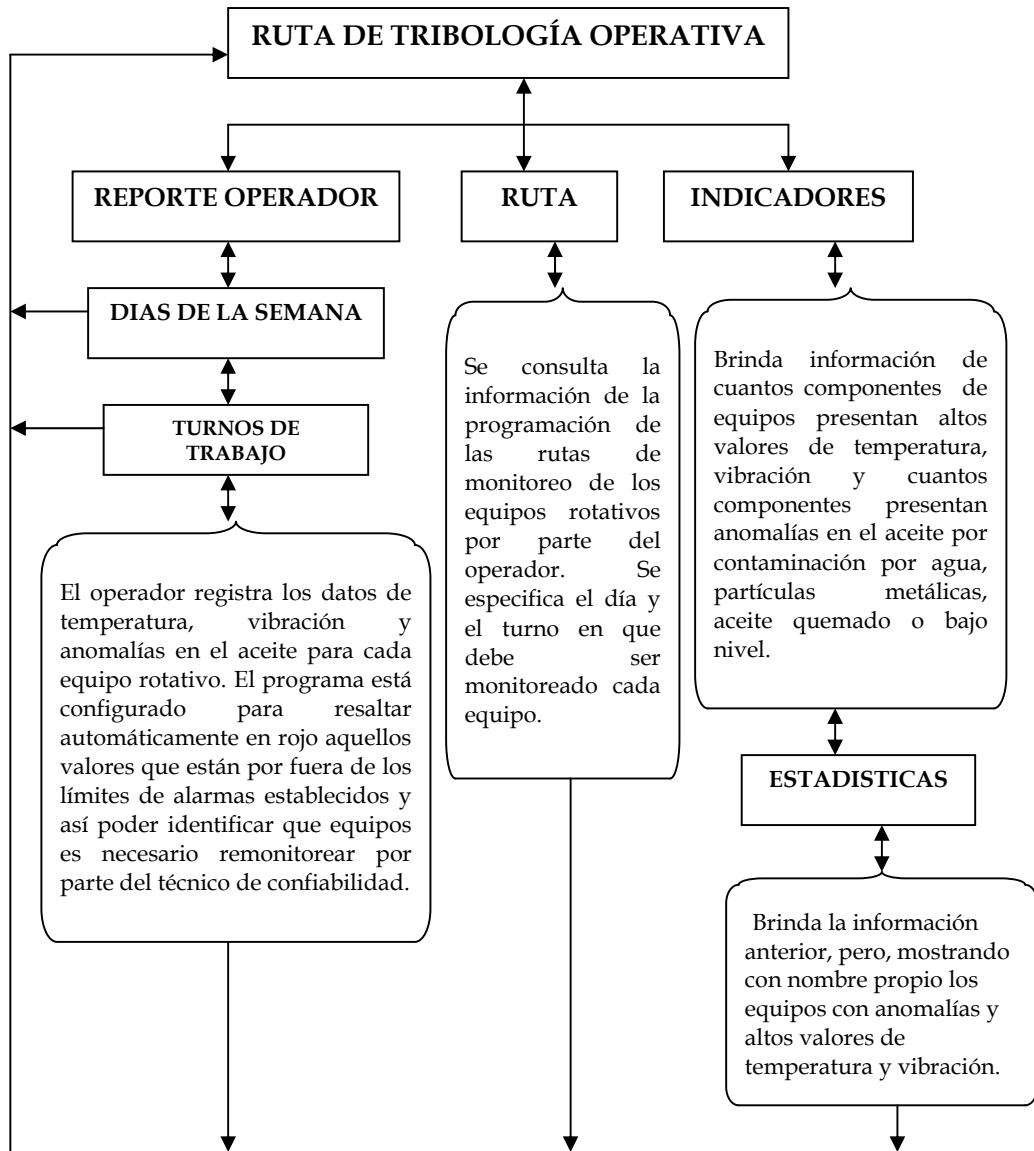
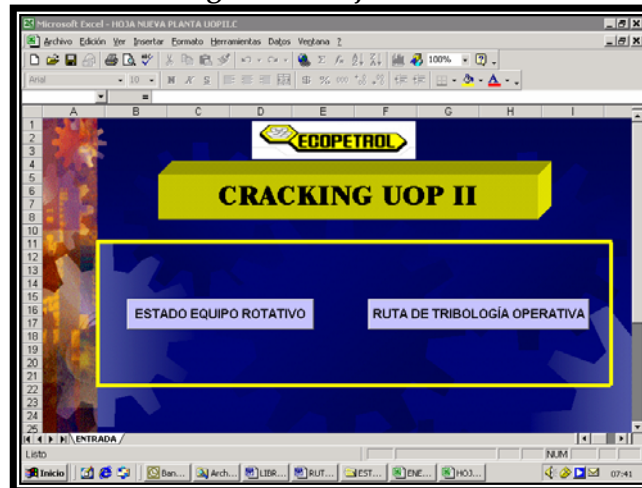


Figura 61. Diagrama de bloque de vínculos para el registro de los datos recolectados en la RTO.



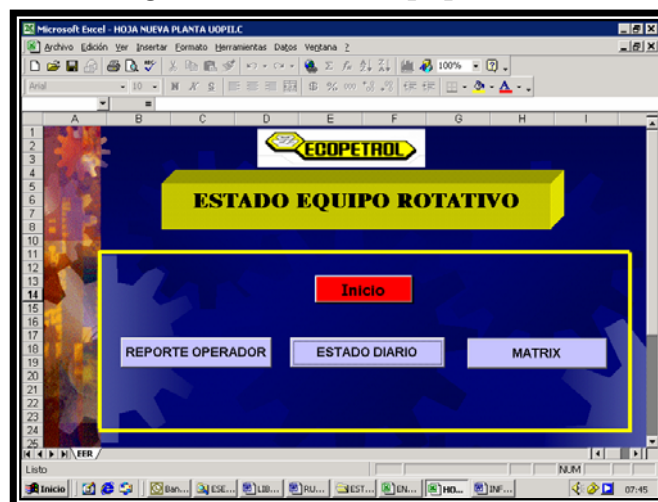
A continuación se toma como ejemplo el archivo de la coordinación de UOPII para hacer la presentación paso a paso:

Figura 62. Hoja de entrada.



Dando click en el cuadro “ESTADO EQUIPO ROTATIVO”, entra en la siguiente hoja, donde hay tres opciones para navegar: “REPORTE OPERADOR”, “ESTADO DIARIO” y “MATRIX”.

Figura 63. Estado de equipo rotativo.



Picando en la opción “REPORTE OPERADOR” entra en la hoja de registro del estado del equipo rotativo, donde diariamente el operador consigna la condición de estado del equipo que monitoreo a través de una lista desplegable que muestra las opciones (OP, OF, SB, SF, EF, MC, MT). Esta terminología se detalló en el capítulo 3.

Dependiendo del estado que se registre, el técnico o ingeniero de confiabilidad ingresará una breve descripción de la anomalía que presenta el equipo, el número de la orden de trabajo que se haya generado para solucionar dicha anomalía, una descripción de la OT, señalando si esta es predictiva o no.

Figura 64. Registro del estado operativo de los equipos.

ESTADO EQUIPO ROTATIVO UOP II							
Regresar		Matrix					
CRITICIDAD	EQUIPO	ESTADO	ANOMALIA	OT	PREDICTIVA	DESCRIPCION OT	
1	SP4201A						
1	SP4201B	OP					
0	SP4202A	OF					
0	SP4202B	SB					
1	SP4203A	SF					
1	SP4203B	EF					
0	SP4204A	MC					
0	SP4204B	MT					
1	SP4205A						
1	SP4205B						
1	SP4206A						
1	SP4206B						
1	SP4207B						
1	SP4207A						

Una vez registrados los datos pertinentes en el formato se puede regresar y consultar las otras dos opciones, “ESTADO DIARIO” que muestra la evolución de los estados de un equipo en los días del mes y “MATRIX” que es una categorización de los equipos que tienen prioridad a la hora de planificar el mantenimiento y es generada de manera automática a la hora de hacer el registro diario del estado operativo de los equipos.

Figura 65. Evolución en el mes del estado operativo.

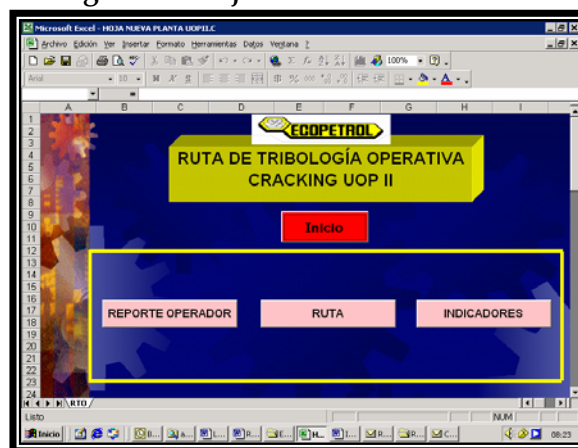
EQUIPO	DIAS																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
SP4212A	SF	SF	OF	OF	OF	OF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF																		
SP4212B	OF	OF	MC	MC	MC	MC	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP																		
SP4213A	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB																		
SP4213B	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC																		
SP4217A	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB																		
SP4217B	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB																		
SP4251A	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC																		
SP4251B	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF																		
SP4252A	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF	OF																		
SP4252B	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB																		
SP4253A	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB																		
SP4253B	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP	OP																		

Figura 66. Matrix de escenarios para priorización del mantenimiento.

ESCENARIOS	Total	Criticos	Unicos
1 Equipos Operando Ok con Stand-By disponible Ok	69	24	0
2 Equipos Operando Ok con Stand-By con anomalías	25	8	0
3 Equipos Operando Ok Sin Stand-By	19	1	6
4 Equipos Operando con anomalías con Stand-By con anomalías	2	2	0
5 Equipos Operando con anomalías sin Stand-By	6	1	1
6 Equipos Operando en falla predictiva con Stand-By disponible Ok	0	0	0
7 Equipos Operando en falla predictiva con Stand-By con anomalías	0	0	0
8 Equipos Operando en falla predictiva sin Stand-By	0	0	0
9 Equipos en falla esperando ser intervenidos	6	2	1
10 Equipos por mantenimiento en campo	7	2	0
11 Equipos por mantenimiento en taller	5	1	0
TOTAL	139	41	8

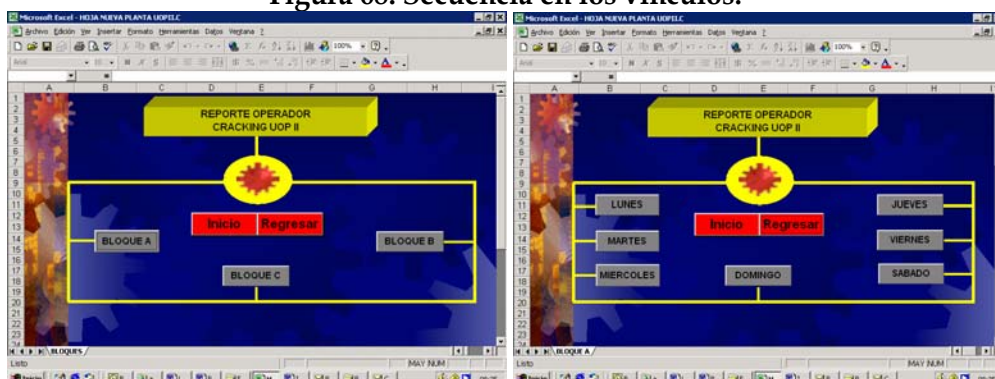
A continuación el operador regresa a la hoja de entrada (Inicio) y pica en la opción “RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA” donde se encuentran tres vínculos “REPORTE OPERADOR”, “RUTA” e “INDICADORES”

Figura 67. Hoja de vínculos de la RTO.



“REPORTE OPERADOR” muestra los bloques en que está dividida la planta, en el caso particular del ejemplo son tres bloques: Bloque A, Bloque B, Bloque C; el operador pica en el recuadro del bloque en el cual está desarrollando su turno de trabajo. Picando por ejemplo en el bloque A, se encuentran los vínculos de los días de la semana:

Figura 68. Secuencia en los vínculos.



Si el día por ejemplo es Lunes, entonces los turnos en los cuales hay que realizar el monitoreo de los equipos son el turno B y el turno C.

Figura 69. Turnos de monitoreo.



Al seleccionar el turno se encuentra el listado de los equipos y las casillas en blanco donde el operador registra los datos de la condición del aceite, temperatura y vibración recopilados en el formato de datos en campo.

Figura 70. Ingreso de datos de temperatura y vibración.

The screenshot shows a Microsoft Excel window titled 'Microsoft Excel - HOJA NUEVA PLANTA UOPILC'. The main content is a data entry form for 'RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA EQUIPO ROTATIVO UOP II'. The form includes a yellow header with the text 'RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA EQUIPO ROTATIVO UOP II'. Below this, there are two red buttons labeled 'Inicio' and 'Regresar'. The form is divided into sections for 'LUNES' and 'ESTADO DEL EQUIPO'. The 'LUNES' section includes a table with columns for 'Rango', 'Valor semana actual', 'Valor semana anterior', and 'Unidad'. The 'ESTADO DEL EQUIPO' section includes a table with columns for 'PUNTOS DE INSPECCION TEMPERATURA', 'PUNTOS DE INSPECCION VIBRACION', and 'ESTADO DEL EQUIPO'. The 'ESTADO DEL EQUIPO' table has a dropdown menu for 'OP'.

LUNES		Rango	Valor semana actual	Valor semana anterior	Unidad
SP-4203A					
ESTADO DEL EQUIPO					
PUNTOS DE INSPECCION TEMPERATURA					
Gobernador		70	70		°C
Turbina rodamiento exterior	NAT	70	70		°C
Turbina rodamiento acople	NBT	70	70		°C
Bomba rodamiento acople	PCT	60	60		°C
Bomba rodamiento exterior	PDT	60	60		°C
PUNTOS DE INSPECCION VIBRACION					
Horizontal turbina rodamiento exterior	MAH	4	4		mm/s
Vertical turbina rodamiento exterior	MAV	4	4		mm/s
Horizontal turbina rodamiento acople	MBH	4	4		mm/s
Vertical turbina rodamiento acople	MBV	4	4		mm/s
Axial turbina rodamiento acople	MBA	4	4		mm/s
Horizontal bomba rodamiento acople	PCH	8	8		mm/s
Vertical bomba rodamiento acople	PCV	8	8		mm/s

Figura 71. Ingreso de la condición del aceite.

ELEMEN TO		CAMBIOS REALIZADOS AL ACEITE				ANOMALIAS EN EL ACEITE			
		CAMBIO 50%	CAMBIO 100%	COMPLETO EL NIVEL	NINGUN CAMBIO	Quemado	Particulado	Cos. Agua	Bajo Nivel
BOMBA		<input checked="" type="checkbox"/> seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click
TURBINA		<input checked="" type="checkbox"/> seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click
GOBERNADO R		<input checked="" type="checkbox"/> seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccione	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click	<input checked="" type="checkbox"/> Click

Si al regresar se oprime el vinculo “RUTA” Figura 67. se tiene la información acerca de las rutas y el cronograma de inspección de todos los equipos de la coordinación.

Después de tener acumulada la información y los datos de toda la semana y la totalidad de los equipos monitoreados, se puede consultar el vinculo “INDICADORES” de la RTO donde se especifican el número de equipos que presentaron altos valores de vibración, temperatura y cuales equipos presentaron anomalías en el aceite.

Figura 72. Hoja de indicadores del número de equipos con anomalías en el aceite, temperatura y vibración.

Inicio		Regresar		ESTADISTICAS	
TEMPERATURAS					
TURBINAS				21 EQUIPOS	
GOBERNADORES				21 EQUIPOS	
MOTORES ELÉCTRICOS				121 EQUIPOS	
BOMBAS CENTRIFUGAS				99 EQUIPOS	
VIBRACION					
COMPONENTES DE EQUIPOS CON VALORES DE VIBRACIÓN POR FUERA DE LÍMITE					
TURBINAS				21 EQUIPOS	
MOTORES ELÉCTRICOS				121 EQUIPOS	
BOMBAS CENTRIFUGAS				99 EQUIPOS	
CONDICION DE LOS ACEITES					
ESTADISTICA DE LOS ACEITES					
Número total de anomalías en los aceites inspeccionados.					
Número de equipos a los que se les cambió el 50% del aceite.					
Número de equipos a los que se les cambió el 100% del aceite.					
Número de equipos a los que se completó el nivel de aceite.					
Número de anomalías por aceites quemados.					
Número de anomalías en los aceites por contaminación con partículas.					

En la parte superior derecha se puede hacer click en “ESTADISTICAS” y de esta manera ingresar a una hoja donde además de saber el número de equipos con anomalías o por fuera de límites, se puede determinar que equipos específicamente deben ser monitoreados por el técnico de confiabilidad para dar un diagnóstico final de la condición y si es necesario intervenirlo generando una orden de trabajo.

Figura 73. Hoja que especifica los equipos con anomalías en los aceites.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - HOJA NUEVA PLANTA UOP IIC'. The active cell is E13, containing the text '=Indicadores075'. The spreadsheet contains the following data:

EQUIPOS NO INSPECCIONADOS		EQUIPOS OP	EQUIPOS OF	INDICADORES DE FALLAS Y CORRECTIVOS EN LOS ACEITES					
Inicio	Regresar			INDICADORES PARA BOMBAS					
				CAMBIO 50%	CAMBIO 100%	COMPLETO NIVEL	QUEMADO	PARTEICULADO	CON AC
11	SP. 4203A			SP. 4203A	SP. 4203A	SP. 4203A	SP. 4203A	SP. 4203A	SP. 4203A
12	SP. 4203B			SP. 4203B	SP. 4203B	SP. 4203B	SP. 4203B	SP. 4203B	SP. 4203B
13	SP. 4212A			SP. 4212A	SP. 4212A	SP. 4212A	SP. 4212A	SP. 4212A	SP. 4212A
14	SP. 4212B			SP. 4212B	SP. 4212B	SP. 4212B	SP. 4212B	SP. 4212B	SP. 4212B
15	SP. 4202A			SP. 4202A	SP. 4202A	SP. 4202A	SP. 4202A	SP. 4202A	SP. 4202A
16	SP. 4202B			SP. 4202B	SP. 4202B	SP. 4202B	SP. 4202B	SP. 4202B	SP. 4202B
17	SP. 4204A			SP. 4204A	SP. 4204A	SP. 4204A	SP. 4204A	SP. 4204A	SP. 4204A
18	SP. 4204B			SP. 4204B	SP. 4204B	SP. 4204B	SP. 4204B	SP. 4204B	SP. 4204B
19	SP. 4213A			SP. 4213A	SP. 4213A	SP. 4213A	SP. 4213A	SP. 4213A	SP. 4213A
20	SP. 4213B			SP. 4213B	SP. 4213B	SP. 4213B	SP. 4213B	SP. 4213B	SP. 4213B
21	SP. 4261A			SP. 4261A	SP. 4261A	SP. 4261A	SP. 4261A	SP. 4261A	SP. 4261A
22	SP. 4261B			SP. 4261B	SP. 4261B	SP. 4261B	SP. 4261B	SP. 4261B	SP. 4261B
23	SP. 4264A			SP. 4264A	SP. 4264A	SP. 4264A	SP. 4264A	SP. 4264A	SP. 4264A
24	SP. 4264B			SP. 4264B	SP. 4264B	SP. 4264B	SP. 4264B	SP. 4264B	SP. 4264B

Figura 74. Hoja que especifica los equipos con datos de temperatura y vibración por fuera de límites.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - HOJA NUEVA PLANTA UOP IIC'. The active cell is G3. The spreadsheet contains the following data:

MEDIADORES DE EQUIPOS CON TEMPERATURA FUERA DEL LIMITE				EQUIPOS QUE SUPERAN LOS LIMITES DE VIBRACION			
MOTORES	BOMBAS	GOBERNADORES	TURBINAS	MOTORES	BOMBAS	TURBINAS	
11	SP. 4212A	SP. 4203A	SP. 4203A	SP. 4203A	SP. 4212A	SP. 4203A	SP. 4203A
12	SP. 4204A	SP. 4203B	SP. 4203B	SP. 4203B	SP. 4204A	SP. 4203B	SP. 4203B
13	SP. 4204B	SP. 4212A	SP. 4212B	SP. 4212B	SP. 4204B	SP. 4212A	SP. 4212B
14	SP. 4213A	SP. 4212B	SP. 4202A	SP. 4202A	SP. 4213A	SP. 4212B	SP. 4202A
15	SP. 4213B	SP. 4202A	SP. 4202B	SP. 4202B	SP. 4213B	SP. 4202A	SP. 4202B
16	SP. 4217B	SP. 4202B	SP. 4217A	SP. 4217A	SP. 4217B	SP. 4202B	SP. 4217A
17	SP. 4261B	SP. 4204A	SP. 4261A	SP. 4261A	SP. 4261B	SP. 4204A	SP. 4261A
18	SP. 4264B	SP. 4204B	SP. 4264A	SP. 4264A	SP. 4264B	SP. 4204B	SP. 4264A
19	SP. 4201B	SP. 4213A	SP. 4201A	SP. 4201A	SP. 4201B	SP. 4213A	SP. 4201A
20	SP. 4206A	SP. 4213B	SP. 4210A	SP. 4210A	SP. 4206A	SP. 4213B	SP. 4210A
21	SP. 4206B	SP. 4217A	SP. 4211A	SP. 4211A	SP. 4206B	SP. 4217A	SP. 4211A
22	SP. 4208A	SP. 4217B	SP. 4208A	SP. 4208A	SP. 4208A	SP. 4217B	SP. 4208A
23	SP. 4208B	SP. 4261A	SP. 4209A	SP. 4209A	SP. 4208B	SP. 4261A	SP. 4209A
24	SP. 4210A	SP. 4261B	SP. 4431A	SP. 4431A	SP. 4210A	SP. 4261B	SP. 4431A
25	SP. 4210B	SP. 4264A	SP. 4431B	SP. 4431B	SP. 4210B	SP. 4264A	SP. 4431B
26	SP. 4211A	SP. 4264B	SP. 4431C	SP. 4431C	SP. 4211A	SP. 4264B	SP. 4431C
27	SP. 4211B	SP. 4201A	SP. 4262B	SP. 4211B	SP. 4201A	SP. 4262B	SP. 4211B
28	SP. 4254A	SP. 4201B	SP. 4261B	SP. 4254A	SP. 4201B	SP. 4261B	SP. 4254A
29	SP. 4254B	SP. 4206A	SP. 4432B	SP. 4432B	SP. 4254B	SP. 4206A	SP. 4432B
30	SP. 4255A	SP. 4206B	SP. 4405C	SP. 4405C	SP. 4255A	SP. 4206B	SP. 4405C
31	SP. 4255B	SP. 4206A	SP. 4301A	SP. 4255B	SP. 4206A	SP. 4301A	SP. 4255B

7.2.7 Capacitación del personal de operadores acorde a sus funciones en el programa de mantenimiento RTO. La capacitación al personal de operadores, supervisores y líderes de tribología fue teórico - practica, se llevó a cabo en cada uno de los cuartos de control en varias sesiones, logrando

capacitar aproximadamente 80 personas de acuerdo a los turnos de trabajo para abarcar la mayor cantidad de personal posible. En el anexo D. se encuentran los reportes de asistencias a las capacitaciones.

Contenido teórico:

- Conceptos básicos de tribología.
- Relación entre condición del aceite, vibración y temperatura.
- Filosofía de la RTO y cuidado básico de los equipos rotativos.
- Rol del operador, supervisor, líder de tribología, técnico de confiabilidad e ingeniero de confiabilidad.
- Procedimiento para la toma de datos en campo y registro de la información en la aplicación en Excel.
- Logística y gestión del mantenimiento a los equipos con anomalías detectadas en la RTO.

Contenido práctico:

- Manipulación y manejo de los equipos portátiles (Kit de tribología) para la correcta toma de datos.
- Ubicación correcta de los puntos de monitoreo de los diferentes equipos rotativos en la planta.
- Evaluación e inspección visual de la condición del aceite en cada equipo.
- Reconocimiento de los sistemas auxiliares y elementos de los equipos rotativos y sus modos de falla más comunes (Sistema de agua de enfriamiento, filtros de aceite, aislamiento de turbinas de vapor, empaques y sellos, anclaje, tuberías, etc.).

8. INDICADORES DE GESTIÓN

“Lo que no se mide no se puede controlar” por ello es necesario contar con información acerca del grado de confiabilidad de las máquinas, para cualquier intervalo de tiempo, basado en el estado operativo de los equipos.

La refinería cuenta con un portal (Sistema de Indicadores de la Refinería - RIS) en el cual se pueden observar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad mecánica de manera puntual y su evolución en el tiempo. En este caso se van a señalar los más importantes que atañen a los equipos rotativos como son el factor Stand By (FS), el Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF) y Tasa de Fallas.

Figura 75. Sistema de indicadores de la refinería - RIS.

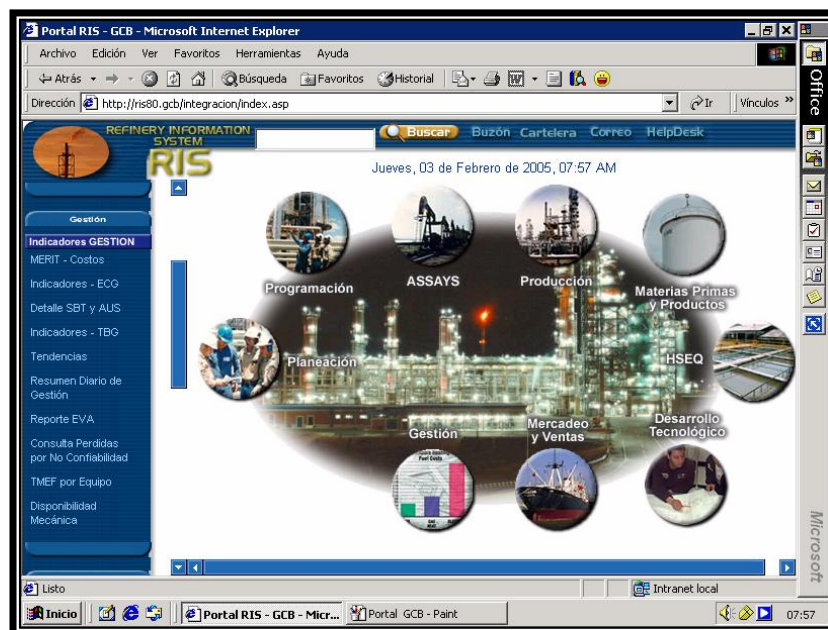
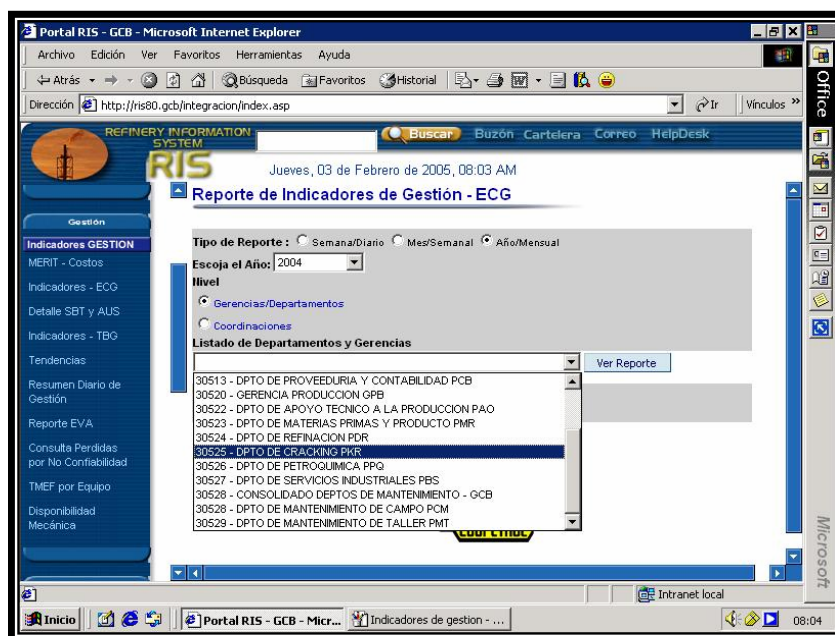


Figura 76. Reporte de indicadores de gestión.



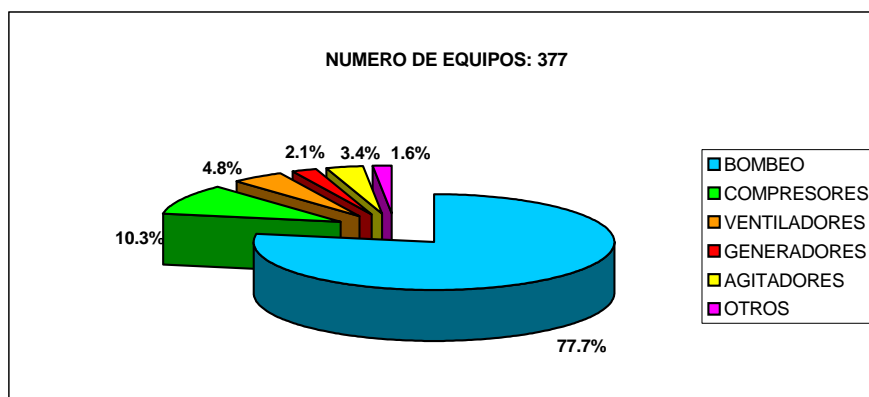
Hay que hacer claridad en que son muchos los factores que afectan la confiabilidad de un equipo rotativo, empezando desde la calidad del diseño, tipos de materiales utilizados, las condiciones optimas en que esté siendo operada la máquina, las diferentes estrategias de mantenimiento que se le practiquen, etc. Por ello se puede decir que el programa de mantenimiento preventivo “Ruta de Tribología Operativa” va aportar de manera relativa en la mejora de la confiabilidad y disponibilidad de los mismos, haciendo parte del conjunto de estrategias y practicas de mantenimiento de los equipos rotativos de la refinería.

8.1 TASA DE FALLAS

Este indicador refleja cuantos equipos se encuentran en estado de falla funcional, y no están disponibles para operar. La falla funcional ocurre de manera inesperada y repentina, con graves daños a los diferentes elementos de la máquina (Eje, rodamientos, impulsores, álabes, aspas, carcasa, etc.).

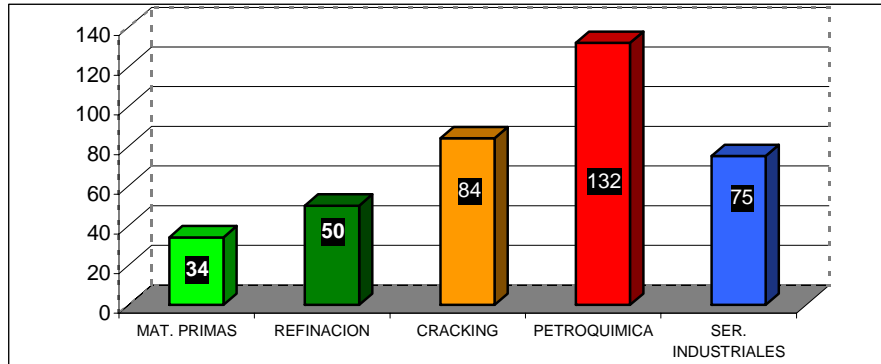
Los sistemas de bombeo son los que presentan la mayor tasa de fallas (77.7%), continuando en su orden los compresores (10.3%), ventiladores (4.8%), agitadores (3.4%), Turbogeneradores (2.1%), otros (1.6%).

Figura 77. Tasa de falla equipo rotativo - GCB - 2004.



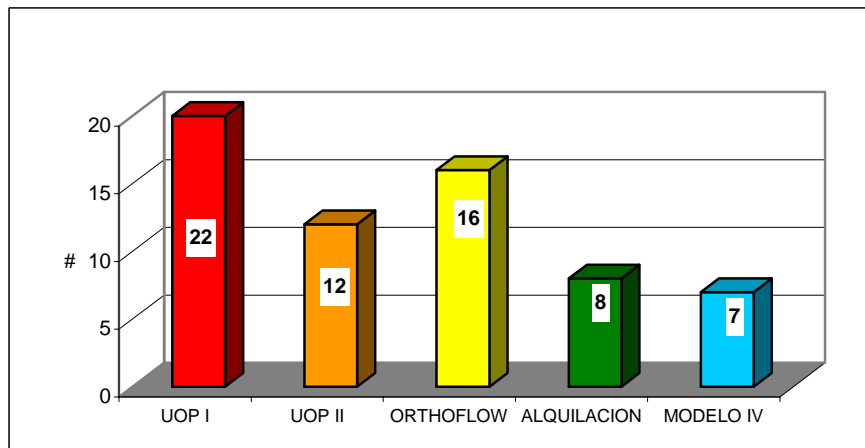
Al observar la tasa de fallas en el 2004 de los equipos por cada departamento de la refinería se encuentra que en Petroquímica fallaron 132 equipos, Cracking (84), Servicios Industriales (75), Refinación (50), Materias Primas (34). El departamento de Cracking ocupa el segundo lugar en los índices de tasa de falla, lo cual obliga a implementar mejores prácticas de mantenimiento y cuidado básico de los equipos rotativos.

Figura 78. Tasa de falla por departamentos - GCB - 2004.



Específicamente en el departamento de Cracking se observa cuales de sus coordinaciones tienen los más altos índices de fallas en equipo rotativo, teniendo en primer lugar la coordinación de UOPI, segundo lugar ORTHOFLOW, tercer lugar UOPII y por último MODELO IV.

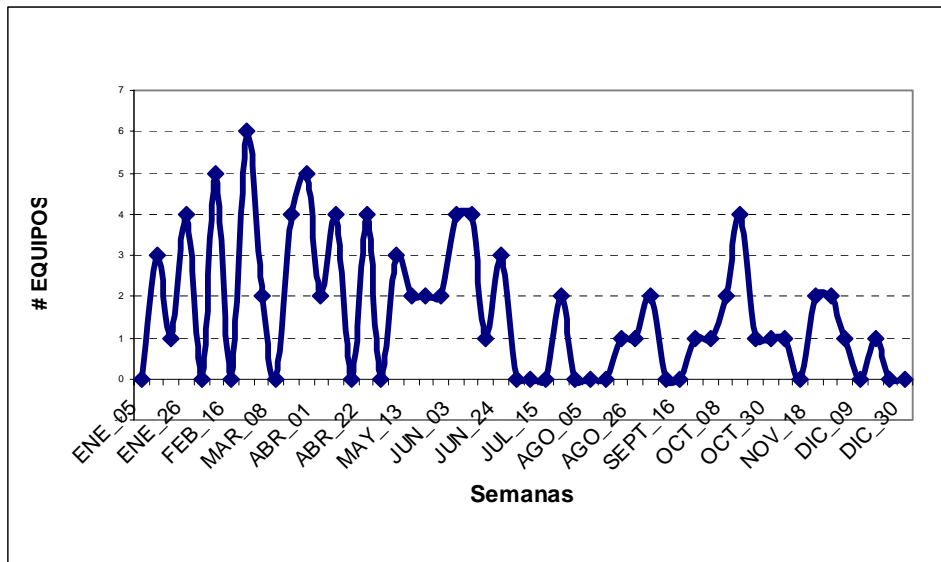
Figura 79. Falla equipo de bombeo Cracking 2004.



Analizando la siguiente gráfica, que muestra la evolución de la tasa de falla semanal de los equipos rotativos en el departamento de cracking se puede

observar que hasta el mes de agosto, fecha en la cual se comenzó a implementar y ejecutar la *Ruta de Tribología Operativa* se tenía un promedio de 2.18 equipos en falla por semana, arrojando un máximo de 6 equipos que fallaron en una semana. A partir de agosto, es evidente la disminución de la tasa de falla con un promedio de 1.05 equipos en falla por semana y un máximo de 4 equipos en falla.

Figura 80. Tasa de falla semanal cracking 2004.



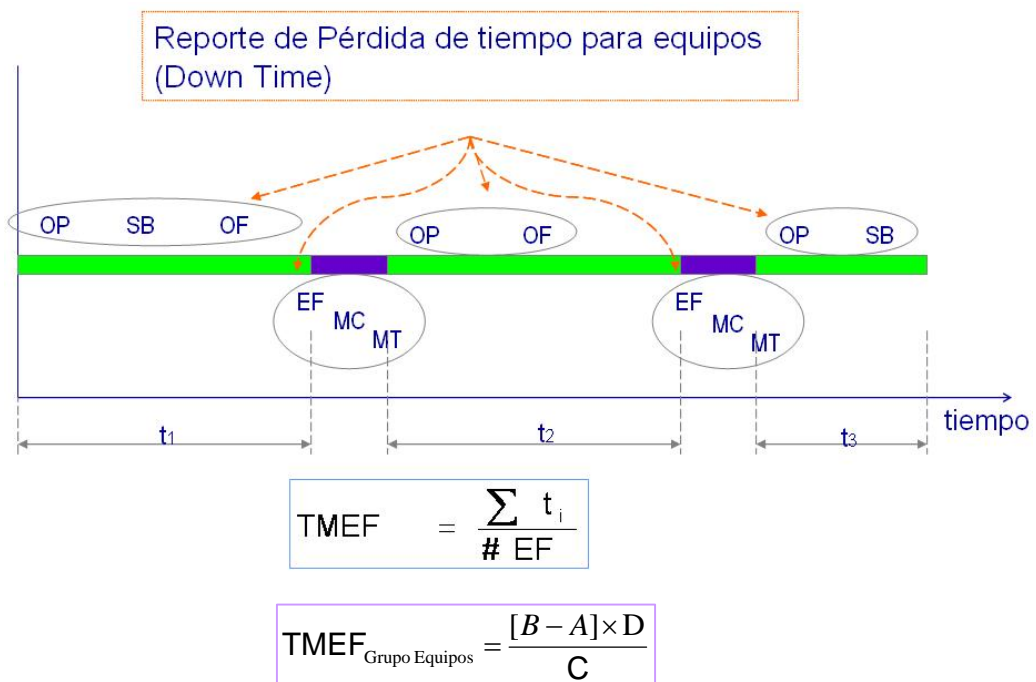
Uno de los objetivos de la RTO es evitar ante todo que los equipos fallen de manera catastrófica, debido a que los altos costos de reparación y mantenimiento de un equipo en falla, son de cinco a diez veces más altos que una reparación y mantenimiento programado.

8.2 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF)

Este indicador permite conocer cual es el intervalo de tiempo promedio en el cual se está presentando la falla.

El indicador se calcula por clase de equipo (Ej.: Equipo de Bombeo, Equipo de compresión, etc.), con detalle por componentes del equipo (Ej. Bombas centrífugas, motores, turbinas, compresor centrífugo, etc.)

Figura 81. Tiempo medio entre fallas - TMEF.



- **TMEF: Tiempo Medio Entre Falla por grupo de equipos**
- **B: Fecha Final de periodo de análisis**
- **A: Fecha inicial de periodo de análisis**
- **D: Números de equipos**
- **C: Número de fallas**

A continuación se muestra la tendencia mensual del año 2004 del indicador TMEF para cada una de las coordinaciones del departamento de Cracking. Si se observan la fig. 80, fig. 81, fig. 82 y fig. 83. es notable y común entre ellas una cierta estabilidad o tendencia constante del indicador en el periodo comprendido entre el mes de Enero y el mes de Agosto, con pequeñas oscilaciones y una pendiente tendiente a cero.

Para el mes de Agosto, hasta el final del año, la tendencia es positiva y creciente queriendo decir esto, que el tiempo o periodo que transcurre entre una falla y otra es mayor para todos los equipos rotativos que integran cada coordinación.

Figura 82. TMEF 2004 UOPI.

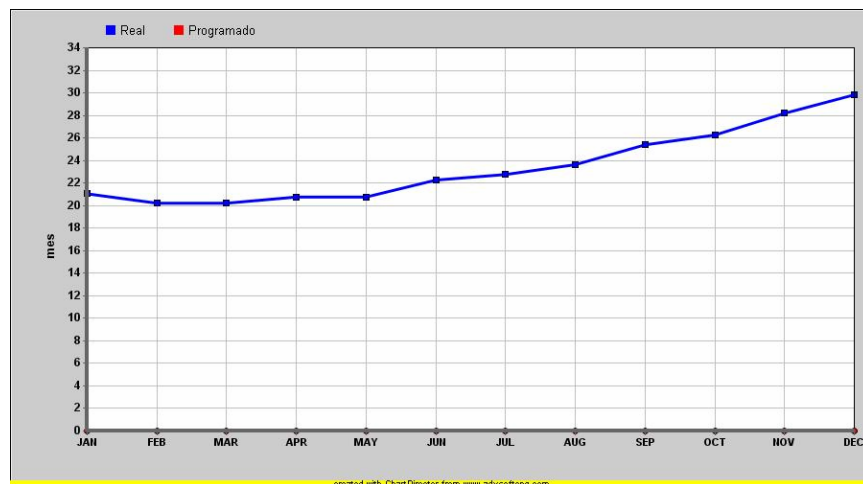


Figura 83. TMEF 2004 UOPII.

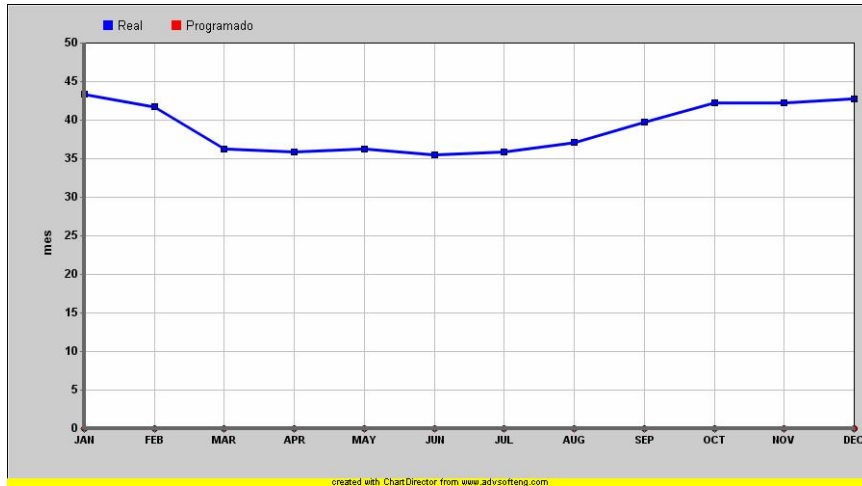


Figura 84. TMEF 2004 Orthoflow

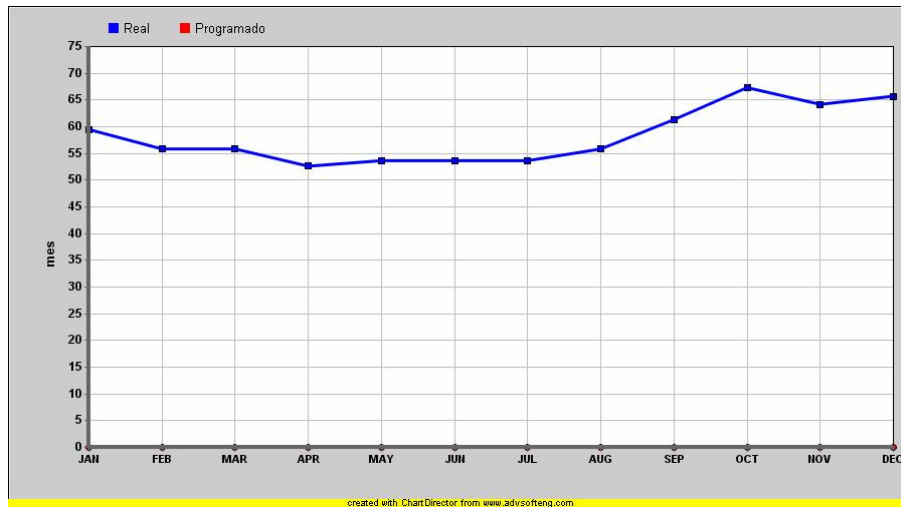
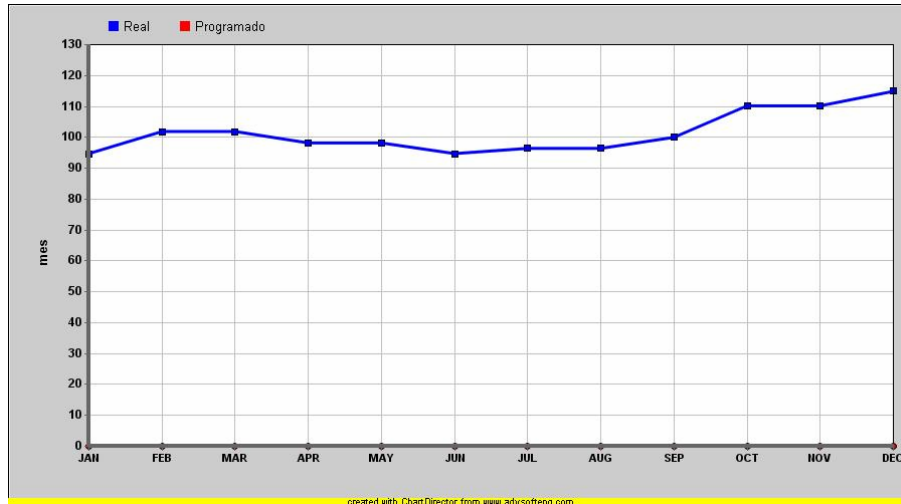


Figura 85. TMEF 2004 Modelo IV.



La RTO contribuye aumentando los periodos entre fallas de los equipos ya que el monitoreo semanal de la condición de aceite, temperatura y vibración permite detectar anomalías a tiempo y generar las ordenes de trabajo correctivas o de intervención para corregir los problemas encontrados y evitar que el sistema falle de manera repentina y catastrófica.

8.3 FACTOR STAND BY (FS)

Los sistemas de bombeo de la refinería generalmente están conformados por dos o mas equipos y se dividen en principales y en Stand by o en espera. El equipo principal es el que está funcionando permanentemente, hasta llegado el momento en que presente un problema o anomalía y sea necesario sacarlo de operación, en donde el equipo en Stand by entra a suplirlo. El factor Stand by tiene por objeto medir la disponibilidad del equipo auxiliar o Stand By en las plantas.

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

Donde:

- *Equipos disponibles*: Son el numero total de equipos rotativos cuyo estado operativo es OP (Operando), OF (Operando en falla), SB (Stand by) y SF (Stand by en falla).
- *Equipos Instalados*: Numero total de equipos rotativos instalados en la planta y que forman parte del proceso.
- *Equipos principales*: Son el numero de equipos rotativos que requiere el proceso y cuyo estado operativo puede ser OP (Operando) u OF (Operando en falla).

En términos del estado de los equipos:

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

Las siguientes figuras muestran dos líneas; la línea roja indica el factor Stand by programado y la línea azul el factor Stand by real.

Figura 86. Factor Stand by 2004 UOPI.

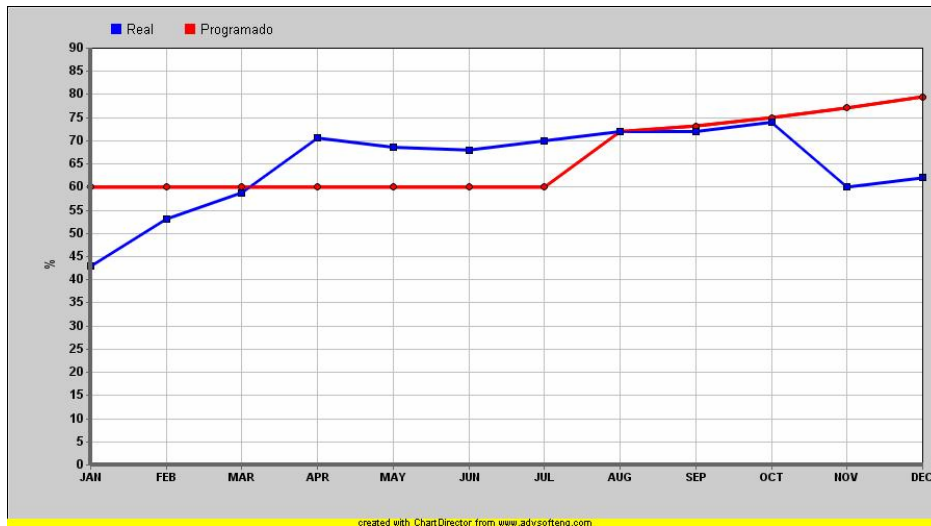


Figura 87. Factor Stand by 2004 UOPII.

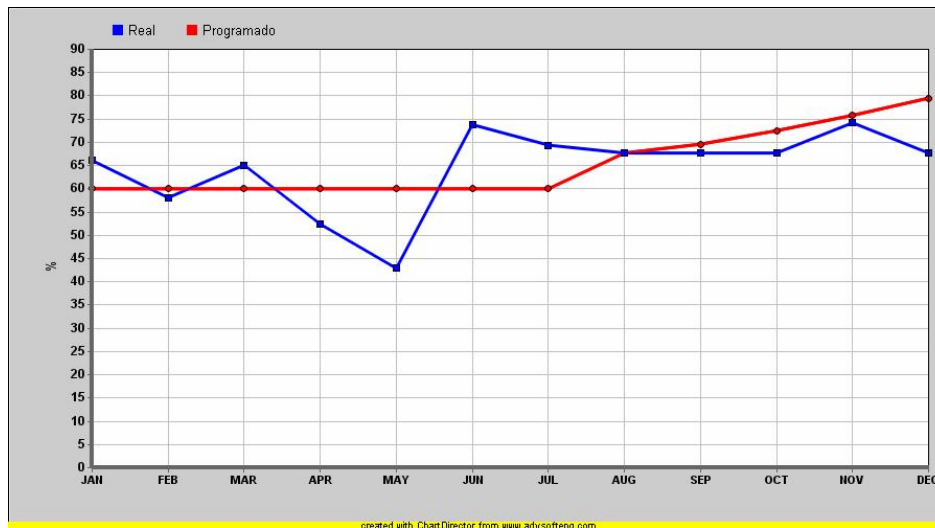


Figura 88. Factor Stand by 2004 Orthoflow.

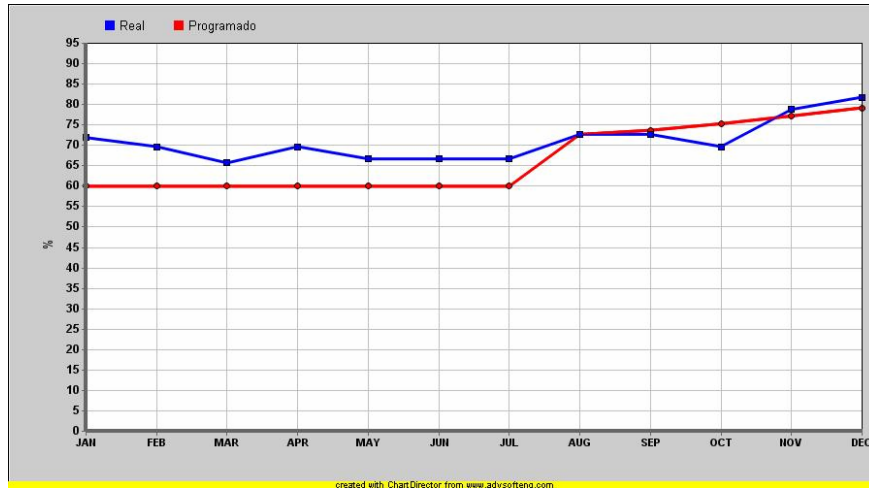
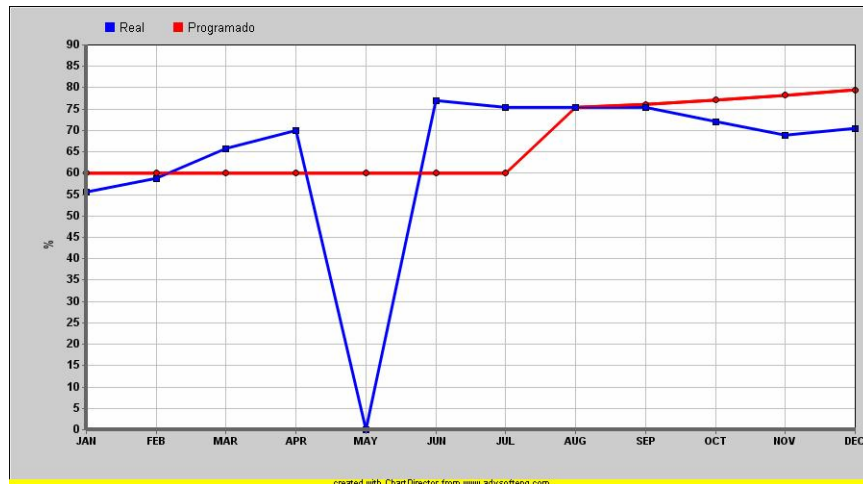


Figura 89. Factor Stand by 2004 Modelo IV.



La RTO contribuye a que haya una mayor disponibilidad de los equipos rotativos en Stand by, esperando que los equipos rotativos en operación no alcancen el estado operativo EF (Equipo en falla) y que el tiempo entre reparaciones aumente cuando la causa es una anomalía en la lubricación.

Al momento de implementar y poner a correr la Ruta de Tribología Operativa en las plantas, se detectaron muchos problemas que traían consigo los equipos desde el punto de vista operativo y mecánico, cuya acción inmediata por parte del técnico e ingeniero de confiabilidad fue generar ordenes de trabajo para la reparación de los mismos, lo que aumentó el envío de equipos al taller de mantenimiento y reparaciones en campo.

Esto afectó al factor Stand by como se puede observar en las figuras anteriores, con una leve tendencia a disminuir a partir del mes de Agosto a excepción de la coordinación de Orthoflow donde el numero de equipos que se encontraron con anomalías fue reducido.

9. CONCLUSIONES

Con la implementación de este programa de mantenimiento predictivo se logró mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos de las plantas de Cracking, reduciendo la posibilidad de que fallen de manera catastrófica, gracias a la detección de anomalías de forma oportuna, usando la tecnología de herramientas portátiles de medición y toda una organización logística cuyo fin es el cuidado básico de los equipos rotativos.

Se optimizó la planificación del mantenimiento, ya que con las facilidades de procesamiento de información que brinda el diseño hecho Excel y la información que recopila el operador diariamente en planta, se puede determinar cuales equipos requieren mantenimiento de manera prioritaria, según su clasificación como equipo crítico (Detiene la producción en caso de falla) o equipo esencial (No detiene la producción en caso de falla).

Al poner en marcha la ruta de tribología operativa, se redujeron los costos de reparación y mantenimiento de los equipos, debido a que se pasó de hacer un mantenimiento correctivo, donde los costos de reparación por falla catastrófica son muy altos, a un mantenimiento predictivo o planeado, donde se corrigen los problemas apenas es detectada una anomalía o indicio de falla.

Con la utilización de herramientas portátiles de alta tecnología, aumentó la posibilidad de hacer un diagnostico más acertado, lo que facilita la determinación de los recursos a la hora de planear y programar el mantenimiento de los equipos.

El tener almacenados los datos históricos de temperatura y vibración en el software de soporte del analizador de vibraciones, permite visualizar la tendencia en el tiempo de estos valores, para determinar la fecha máxima en la cual se debe sacar de funcionamiento el equipo de forma controlada cuando es detectada una anomalía, evitando las interrupciones al proceso y las pérdidas de lucro cesante por paradas de planta no programadas.

Se logró romper la barrera entre operaciones y mantenimiento al introducir y capacitar al operador de planta en las tareas de mantenimiento básico de los equipos rotativos, con la autonomía de realizar pequeños ajustes a nivel operativo y mejorar o corregir algunos problemas en los sistemas auxiliares de los equipos, además de mantener el aceite en condiciones estándar de funcionamiento.

10. RECOMENDACIONES

Es necesario asegurar en el tiempo la información de la condición del aceite, y los datos de temperatura y vibración recopilados en campo diariamente por el operador en un sistema de información más estable, que brinde gran capacidad de almacenamiento, facilidad de consulta y seguridad en la información.

En la medida en que avanza la ejecución de la ruta de tribología y se tenga almacenada mayor información en cuanto a la tendencia de los datos, se debe hacer un estudio en cada equipo para determinar los límites de alarma específicos de temperatura y vibración acorde al comportamiento particular de cada uno, ya que los estipulados inicialmente están dados para familias de equipos, según las recomendaciones encontradas en las diferentes normas y estándares.

Para que los datos adquiridos en las rutas de monitoreo sean confiables es necesario calibrar los equipos de medición portátiles a una frecuencia determinada por el fabricante SKF, por la alta probabilidad de estos a sufrir deterioro en el ambiente húmedo, caluroso, sucio y hostil de la refinería.

Se debe asegurar un programa de capacitación al personal de operadores en donde se refuercen los diferentes procedimientos de la toma de datos, manipulación de los equipos de medición, funciones del personal y se abran los espacios propicios para discutir alternativas de solución a las diferentes dificultades que se vayan presentando.

11. BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACÍN AGULLIÓN, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. Medellín: Litochoa, 1993. 975 p.

_____ Lubricación de Turbinas de Vapor. Barrancabermeja: ECOPETROL - Refinería, 2002. 238 p.

API 610 9ed. Bombas centrífugas para el petróleo, industria petroquímica y gas natural. Enero 2003.

API 611, Turbinas de vapor de propósito general.

API 612, Turbinas de vapor de propósito especial (> 5000RPM y 1000 HP).

API 617, Compresores centrífugos para petróleo, químicos y servicios industriales. Febrero 1995.

BUSCARELLO T, Ralph. Soluciones prácticas a problemas de vibración y mantenimiento en maquinarias. Denver (USA): 1994. 150 p.

FIGUEREDO RODRIGUEZ, Carlos. Vibraciones Mecánicas en Equipo Rotativo. Barrancabermeja: ECOPETROL. 2003. 200 p.

GARCIA, Alfonso. Vibraciones Mecánicas. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 1995.

A-PREDICTOR. Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico.
<<http://www.a-predictor.com/TUTORIAL/TUTORIAL.html>>

PORTAL DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. Artículos y manuales de mantenimiento.

<http://www.solomantenimiento.com/diccionario_mecanico.html>

INGENIEROS DE LUBRICACIÓN LTDA. Notas semanales. Edición 2001 - 2004. <<http://www.ingenierosdelubricacion.com>>

ANEXOS

ANEXO A.

TABLAS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS
ROTATIVOS

Tabla 1. Cracking UOPI.

Equipo	Drenaje de aceite	Rótulo aceite	Puntos Medición	Tubo Venteo	Fuente Motriz	Reduc/Multip	Tipo Aceite
SP2590A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2590B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2591A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2591B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2593A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2593B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2701A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2701B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2702A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	COLOCAR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2702B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2703A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2703B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2704A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2704B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2705A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2705B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2706A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2706B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2707A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2707B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T220(TURBINA)
SP2708A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2708B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2710A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2710B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)

SP2711A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2711B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T220(TURBINA)
SP2712A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2712B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T220(TURBINA)
SP2713A	0	GRASA	DEMARCAR	0	N	0	SAPPHIRE 442(TURBINA), GLYCOLUBE 46(GOBERNADOR)
SP2713B	0	GRASA	DEMARCAR	0	M	0	SAPPHIRE 442(BOMBA)
SP2718A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2718B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2722A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN)
SP2722B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO
SP2724A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2724B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2726A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO
SP2726B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO
SP2751A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2751B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2752A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2752B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2753A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2753B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2754	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2755A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2755B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA), T100(TURBINA), GENLUBE GL EP (CONTRAPESAS GOBERNADOR)
SP2756A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2756B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2757A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2757B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	1	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2758A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2758B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2759A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2759B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2761A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2761B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN),

							T100(TURBINA)
SP2762A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2762B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2763	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	X - 2E	ENGRANAJES EP 220 (REDUCTOR VEL)
SP2764A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	Y - 2E	GLYCOLUBE46 (INCREMENTADOR VEL)
SP2764B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	Y - 2E	GLYCOLUBE46(INCREM VEL), T68(GOB)
SP2765A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2765B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2766A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2766B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2767A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2767B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERNADOR, TURBINA)
SP2768	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	X - 2E	ENGRANAJES EP 220
SP2770	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2771	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2773A	0	GRASA	DEMARCAR	OK	N	0	SAPPHIRE 442(BOMBA)
SP2773B	0	GRASA	DEMARCAR	OK	M	0	SAPPHIRE 442(BOMBA, TURBINA), GLYCOLUBE 46(GOB)
SP2774A	0	GRASA	DEMARCAR	OK	M	0	SAPPHIRE 442(BOMBA)
SP2774B	0	GRASA	DEMARCAR	OK	N	0	SAPPHIRE 442(BOMBA, TURBINA), T68(GOBERNADOR)
SP2775A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	AUTOLUBRICADO(BOMB A), T100(TURBINA), T68 (GOBERNADOR)
SP2775B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMB A)
SP2777A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	N	0	AUTOLUBRICADO(BOMB A), T100(TURBINA), T68 (GOBERNADOR)
SP2777B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMB A)
SP2780A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMB A)
SP2780B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(BOMB A, MOTOR)
SP2850A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2850B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2853A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2853B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)

SP2853E	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2853F	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	T68(BOMBA)
SP2871	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	AUTOLUBRICADO(MOTOR), T68(BOMBA)
SP2872A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA)
SP2872B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)
SP2873A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	AUTOLUBRICADO(MOTOR), T68(BOMBA)
SP2873B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	T68(BOMBA)
SP2875	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	T68(BOMBA, GOBERN), T100(TURBINA)

Tabla 2. Cracking UOPII.

EQUIPO	Drenaje	Rótulo aceite	Puntos Medición	Tubo Venteo	Fuente Motriz	Reduc/ Multip	Tipo Aceite
SP4201A	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4201B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4202A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4202B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4203A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4203B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	N	0	GLYCOLUB46
SP4204A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4204B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4205A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4205B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4206A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4206B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4207A	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
SP4207B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4208A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4208B	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
SP4209A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4209B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4210A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4210B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4211A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4211B	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
SP4212A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4212B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4213A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4213B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46

SP4215	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	CORREGIR
SP4217A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4251A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4251B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4252A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4252B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4253A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4253B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4254A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4254B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4255A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4255B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4256	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4257A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4257B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4258A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4258B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4259A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4259B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4260A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4260B	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
SP4261A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4261B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4262	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4263A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4263B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4310A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4311A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4382A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4382B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SP4405A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4405B	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4405C	CORREGIR	OK	DEMARCAR	CORREGIR	N	2	GLYCOLUB46
SP4431A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4431C	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SP4432A	OK	OK	DEMARCAR	OK	M	0	GLYCOLUB46
SP4432B	OK	OK	DEMARCAR	OK	N	0	GLYCOLUB46
SU4401A	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SU4401B	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SU4401C	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SU4401D	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SU4401E	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46
SU4401F	OK	OK	DEMARCAR	CORREGIR	M	0	GLYCOLUB46

Tabla 3. Cracking ORTHOFLOW.

EQUIPO	Drenaje	Rótulo aceite	Puntos medición	Fuente motriz
SP502C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP504A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP504B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP506A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP506C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP508A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP508B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP509A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP509B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP509C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP514A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP514B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP518B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP518C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP522A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP522B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP523A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP523B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP524A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP524B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP525A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP525B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP526A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP526B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP528	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP550	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP552A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP552B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP553A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP553B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP554A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP554B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP555A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP555B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP556A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP556B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP557A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP557B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP558A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N

SP558B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP559B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP560A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP560B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP562C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP562D	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP563A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP563B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP564A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP564B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP565A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP565B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP566A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP566B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP567A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP567B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP568A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP568B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP569A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP569B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP572	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M
SP573B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP574C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP574D	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP577B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP583B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP583C	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N
SP583D	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP583E	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SP591C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N
SP591D	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M
SPC501A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SPC501B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M
SC501	OK	OK	DEMARCAR	N
SC551	OK	OK	DEMARCAR	N
SC553	OK	OK	DEMARCAR	
SC555	OK	OK	DEMARCAR	

Tabla 4. Cracking MODELO IV.


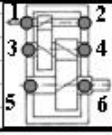
EQUIPO	Drenaje de aceite	Rótulo aceite	Puntos medición	Fuente motriz	Reduc/ Multipl	Tipo Aceite
SP301A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68-BOMBA G46-MOTOR
SP301B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP302A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP302B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	N	0	T68
SP302C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	GRASA
SP303A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP303B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	N	0	T68
SP304A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP304B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68-BOMBA G46-MOTOR
SP305A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	T68
SP305B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	T68
SP306A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP306B	OK	OK	DEMARCAR	N	0	T68
SP308A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N	0	T68-BOMBA G46-Turbina
SP308B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP309A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP309B	OK	OK	DEMARCAR	N	0	T68
SP311A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68-BOMBA G46-MOTOR
SP311B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68-BOMBA G46-MOTOR
SP312	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP313A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP313B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP314A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP314B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP318A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M	4P	GRASA
SP318C	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M	4P	T68-BOMBA G46-MOTOR
SP323	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T32
SP324	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T32
SP325	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T32
SP328A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SP328B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP329A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	G46
SP329B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	T68
SP330A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68

SP330B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	T68
SC301	OK	OK	DEMARCAR	N	0	T32
SC304	OK	OK	DEMARCAR	N	0	T32
SP4503A	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	G46
SP4503B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	G46
SP4505A	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	G46
SP4505B	OK	COLOCAR	DEMARCAR	M	0	G46
SP4531A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4531B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4532A	OK	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4532B	OK	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4561A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4561B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4562A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4562B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4563A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4563B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4564A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4564B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4565A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4565B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4566A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4566B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4567A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4567B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4567C	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4568A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4568B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4569A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4569B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4570A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4570B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4571A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4571B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4572A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4572B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4573A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4573B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4574A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4574B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4575	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4576A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4576B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46

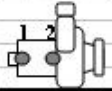
SP4577A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4577B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4578A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4578B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4579	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4580A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4580B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4580C	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4581B	CORREGIR	COLOCAR	DEMARCAR	M	4P	T68-REDUCTOR G46-MOTOR
SP4582A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4582B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4583A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4583B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4584A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4584B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4591A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4591B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4592A	CORREGIR	OK	DEMARCAR	M	0	G46
SP4592B	CORREGIR	OK	DEMARCAR	N	0	G46

ANEXO B.

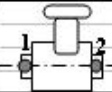
FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS EN LA RUTA DE
TRIBOLOGÍA OPERATIVA

		ECOPETROL - REFINERÍA BARRANCABERMEJA RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA FORMATO DE DATOS										
Departamento:		Planta:				Fecha:						
Nombre del operador:		Registro:				Turno:				Tipo / Referencia	Esquema	
Código Equipo Rotativo												
Condición Equipo Rotativo												
Punto	Referencia										Reducto X-01	
A	Aceite	Encontró										
	Temperatur	Dejó										
	VIBRACIÓ	°C										
	N Pulg/seg	v										
B	Aceite	Encontró										
	Temperatur	Dejó										
	VIBRACIÓ	°C										
	N Pulg/seg	v										
C	Aceite	Encontró										
	Temperatur	Dejó										
	VIBRACIÓ	°C										
	N Pulg/seg	v										
D	Aceite	Encontró										
	Temperatur	Dejó										
	VIBRACIÓ	°C										
	N Pulg/seg	v										
GOBERNADOR	Aceite	Encontró										
	Temperatur	Dejó										
	VIBRACIÓ	°C										
	N Pulg/seg	v										
ANOMALIAS												

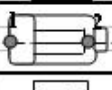
Bomba centrífuga ca P-02



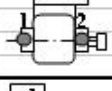
Bomba centrífuga doble P-03



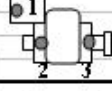
Motor eléctrico M-04



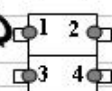
Ventilado U-05




Turbina de vapor N-06



compresor tornillo ó lóbulos C-07



Compresor recíprocante C-08



Página 1

Punto	Referencia														ANOMALIAS:	
E	Aceite	Encontró														1. Aceite quemado
		Dejó														2. Aceite emulsionado
	Temperatur	°C														3. Aceite con partículas metálicas
	VIBRACIÓ	v														4. Indicador nivel aceite roto
	N Pulg/seg	A														5. Fugas aceite
Punto	Referencia															6. Reubicar válvula drenaje aceite
F	Aceite	Encontró														7. Pase de vapor a través de sellos
		Dejó														8. Bajo nivel aceite
	Temperatur	°C														9. Falta rótulo aceite
	VIBRACIÓ	v														10. Falta tubo venteo
	N Pulg/seg	A														11. Falta válvula drenaje aceite
Punto	Referencia															CANTIDAD DE ACEITE CAMBIADO
G	Aceite	Encontró														Cód. Equip.
		Dejó														Cantidad
	Temperatur	°C														Referencia
	VIBRACIÓ	v														(Gln), [L]
	N Pulg/seg	A														
Punto	Referencia															
H	Aceite	Encontró														
		Dejó														
	Temperatur	°C														
	VIBRACIÓ	v														
	N Pulg/seg	A														
Punto	Referencia															
I	Aceite	Encontró														
		Dejó														
	Temperatur	°C														
	VIBRACIÓ	v														
	N Pulg/seg	A														
Punto	Referencia															
J	Aceite	Encontró														
		Dejó														
	Temperatur	°C														
	VIBRACIÓ	v														
	N Pulg/seg	A														
Punto	Referencia															
Página 2																
Observaciones:																

Tabla 2. Cronograma Cracking UOPII.

EQUIPO	LUNES			MARTES			MIERCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO			DOMINGO		
	TURNO			TURNO			TURNO			TURNO			TURNO			TURNO					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
SP4201A						X															
SP4201B						X															
SP4202A			X																		
SP4202B			X																		
SP4203A		X																			
SP4203B		X																			
SP4204A			X																		
SP4204B			X																		
SP4205A																	X				
SP4205B																	X				
SP4206A						X															
SP4206B						X															
SP4207A																	X				
SP4207B																	X				
SP4208A						X															
SP4208B						X															
SP4209B																	X				
SP4209A																	X				
SP4210A								X													
SP4210B								X													
SP4211A								X													
SP4211B								X													
SP4212A		X																			
SP4212B		X																			
SP4213A			X																		
SP4213B			X																		
SP4217A					X																
SP4217B					X																
SP4251A																	X				
SP4251B																	X				
SP4252A																	X				
SP4252B																	X				
SP4253A																	X				
SP4253B																	X				
SP4254A									X												
SP4254B									X												
SP4255A									X												
SP4255B									X												
SP4256									X												

ANEXO D.

**REPORTE DE ASISTENCIA DE LAS PERSONAS CAPACITADAS EN LA
RUTA DE TRIBOLOGÍA OPERATIVA**