

**ESTRUCTURACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BÁSICO DE
EQUIPOS ROTATIVOS PARA SER EJECUTADO POR PERSONAL DE
OPERACIONES DE LAS PLANTAS DE PARAFINAS Y SERVICIOS
INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA DE
ECOPETROL**

**FREDY EDGARDO MALDONADO FLÓREZ
JUAN GABRIEL MOYA BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2013**

**ESTRUCTURACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BÁSICO DE
EQUIPOS ROTATIVOS PARA SER EJECUTADO POR PERSONAL DE
OPERACIONES DE LAS PLANTAS DE PARAFINAS Y SERVICIOS
INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA DE
ECOPETROL**

**FREDY EDGARDO MALDONADO FLÓREZ
JUAN GABRIEL MOYA BAUTISTA**

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

**Director
Heriberto Duran Merchán
Ingeniero de Producción**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al Todo Poderoso, gracias a su ayuda divina y bendiciones han permitido que crezca como persona y profesional.

A mi esposa Zaida y mis hijas Zury y Sara, las cuales son la fuerza que me inspira y motiva a vivir la vida.

A mis padres y hermana por el apoyo esfuerzo y dedicación incondicional que me han brindado en cada una de las etapas de mi vida.

A toda mi familia, colegas de trabajo y estudio, que de una u otra forma me han animado para concluir con esta gran visión y logro.

JUAN GABRIEL MOYA BAUTISTA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme estar vivo, lleno de bendiciones y permitirme ser una persona feliz.

A mi esposa Sandra y mis hijos Jhon y Juan, por ser la luz de mi vida y fuente de inspiración para poder crecer todos los días junto a ellos.

A mis padres por darme la vida y el empujón para caminar en la vida, ganando experiencias y conocimientos.

A mis hermanos por ser gran apoyo en mi vida y fuente de ejemplo.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo, que de una u otra forma permitieron hacer realidad mi sueño de profesionalizarme y especializarme en mi carrera.

FREDY EDGARDO MALDONADO FLÓREZ

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios primeramente por permitirnos la oportunidad de vivir y de poder disfrutar todas sus bendiciones.

A nuestras familias por su incondicional apoyo y paciencia en todos estos años de dedicación a mejorar nuestros conocimientos.

A Ecopetrol, por permitirnos trabajar en esta gran empresa, en donde día a día crecemos más como personas y profesionales.

A nuestros amigos por su valioso e incondicional apoyo.

A nuestros compañeros de trabajo, que de una u otra forma han aportado a nuestro crecimiento.

A la Universidad Industrial de Santander, por permitirnos profesionalizarnos más con nuevas oportunidades.

Gracias

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	23
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	24
1.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	24
1.2 COMPOSICIÓN ACCIONARIA.....	27
1.3 GRUPO EMPRESARIAL ECOPETROL	28
1.4 ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS OPERACIONES DE ECOPETROL S.A.	28
1.5 PORTAFOLIO DE SERVICIOS Y PRODUCTOS DE ECOPETROL S.A.	29
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE ECOPETROL	30
1.7 REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA	32
1.7.1 Localización refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.....	32
1.7.2 Reseña histórica refinería de Barrancabermeja S.A.	34
1.8 UNIDADES DE PROCESO DE REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA EN LA 38	
1.8.1 Descripción básica proceso de parafinas y fenol	41
1.8.1.1 Unidades de proceso planta de parafinas y fenol.	42
1.8.1.2 Equipos rotativos Instalados en las unidades de proceso de parafinas y fenol.....	46
1.8.2 Descripción básica proceso de servicios industriales refinería.	47
1.8.2.1 Unidades que conforman del Departamento de Servicios Industriales Refinería.	49
1.8.2.2 Equipos rotativos instalados en las unidades de proceso de servicios industriales refinería.....	56
2. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	59
2.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO	59
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	62
2.2.1 Mantenimiento correctivo	62
2.2.2 Mantenimiento preventivo.....	63
2.2.3 Mantenimiento predictivo.	64

2.2.4 Mantenimiento proactivo.	65
2.3 NUEVOS MODELOS DE MANTENIMIENTO	65
2.3.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	66
2.3.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	75
2.3.2.1 Filosofía del TPM. TPM es una filosofía de mantenimiento	75
2.3.2.2 Principios del TPM	75
2.3.2.3 Las seis grandes pérdidas	76
2.3.2.4 La implicación del operador en las tareas de mantenimiento.	77
2.3.2.5 Los ocho pilares del TPM.....	78
2.3.2.6 La implantación de TPM en una empresa.....	82
2.3.2.7 Debilidades, beneficios y fortalezas del TPM.....	85
2.3.3 Estrategia de las 5 S.....	87
2.3.4 Mantenimiento autónomo, pilar del TPM enfocado al personal de operaciones	89
3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	92
3.1 COMPRESORES.....	92
3.1.1 Compresores de desplazamiento positivo	93
3.1.1.1 Compresores recíprocos	93
3.1.1.2 Compresores de tornillo.	93
3.1.1.3 Compresores de lóbulos	93
3.1.2 Compresores dinámicos	94
3.1.2.1 Compresor centrífugo.....	94
3.1.2.2 Compresor axial.....	94
3.1.2.3 Compresor mixto.....	94
3.2 BOMBAS.....	94
3.2.1 Bombas de desplazamiento o volumen fijo.....	95
3.2.1.1 Bombas de engranajes.	96
3.2.1.2 Bombas de pistón	96
3.2.1.3 Bombas de paletas	96
3.2.2 Bombas dinámicas.....	97

3.2.2.1 Bombas especiales	97
3.2.2.2 Bombas periféricas	97
3.2.2.3 Bombas centrífugas	97
3.3 VENTILADORES	98
3.3.1 Ventiladores de hélice.....	99
3.3.2 Ventiladores centrífugos	99
3.3.3 Ventiladores axiales	99
3.4 TURBINAS A VAPOR.....	100
3.4.1 Turbinas de vapor de acción.....	100
3.4.2 Turbinas de vapor de reacción.....	101
3.5 MOTORES ELÉCTRICOS	101
3.5.1 Motores de corriente alterna	101
3.5.2 Motores de corriente continúa.....	102
3.5.3 Motores especiales	102
3.6 CRISTALIZADORES	103
3.7 FILTROS ROTATIVOS AL VACÍO.....	106
3.8 SISTEMAS AUXILIARES DE LUBRICACIÓN	108
3.8.1 Lubricación.....	108
3.8.1.1 Objetivos de la lubricación.	108
3.8.1.2 Tipos de lubricación.	108
3.8.1.3 Lubricantes más usados.	109
3.8.1.4 Métodos de lubricación más comunes	109
4. MODOS DE FALLA PRESENTADOS EN EQUIPOS ROTATIVOS INSTALADOS	113
4.1 VIBRACIÓN	114
4.1.1 Vibración simple.....	115
4.1.2 Vibración compuesta	116
4.1.3 Vibración aleatoria y golpeteos intermitentes.....	117
4.1.4 Frecuencia natural y resonancias.	118
4.1.5 Transformada de Fourier	118

4.1.6 Análisis espectral	120
4.1.7 Desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración	121
4.1.8 Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas.	121
4.1.9 Nivel de alarmas y tendencias de vibraciones.	128
4.2 RODAMIENTOS	131
4.2.1 Fallas en rodamientos vistas en espectros de vibración	133
4.2.2 Frecuencias de falla de los rodamientos.....	134
4.2.3 Fallas de componentes del rodamiento.	136
4.2.3.1 Fallas en pistas externas o internas.....	136
4.2.3.2 Fallas en elementos rodantes.	137
4.2.3.3 Fallas en canastilla	137
4.3 SELLOS MECÁNICOS	138
4.3.1 Principales causas de falla en sellos mecánicos	139
4.3.2 Soluciones para evitar fallas en sellos mecánicos.	140
4.4 RUIDO	141
4.4.1 Cavitación	141
4.4.2 Aireación.....	141
4.4.3 Desgaste o daños en rodamientos.	142
4.5 SOBRECALENTAMIENTO	142
4.5.1 Equipos y/o sistemas mecánicos.	144
4.5.2 Motores y generadores.	144
4.5.3 Bandas y poleas	144
4.5.4 Rodamientos.....	144
4.6 FUGAS.....	145
4.6.1 Principales causas de fugas de productos en equipos rotativos	145
4.7 FRACTURAS, DEFORMACION, DESGASTE, CORROSIÓN.....	146
4.7.1 Ejes.....	146
4.7.2 Carcasas, impulsores y ruedas en bombas y turbinas.....	147
4.7.3 Engranajes.....	147
4.8 BAJA EFICIENCIA.....	148

4.8.1 Principales causas de baja eficiencia en equipos rotativos.....	148
4.8.1.1 Bombas centrífugas con bajo flujo o presión de descarga.....	148
4.8.1.2 Bombas de desplazamiento positivo con bajo flujo o presión de descarga.	148
4.8.1.3 Turbinas de vapor con baja eficiencia.....	149
4.8.1.4 Reductores de velocidad.....	149
4.8.1.5 Ventiladores.	149
4.8.1.6 Compresores de desplazamiento positivo.	149
4.8.1.7 Compresores centrífugos.....	149
4.8.1.8 Motores eléctricos.....	150
5. PREVENCIÓN DE FALLAS	151
5.1 CRITICIDAD DE EQUIPOS Y PROCESOS.....	151
5.2 RCM DE EQUIPOS INSTALADOS	153
5.3 CASOS PRESENTADOS	154
5.4 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA)	155
6. PROPUESTA.....	156
6.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	156
6.2 OBJETIVOS.....	157
6.2.1 Objetivo general.....	157
6.2.2 Objetivos específicos.	157
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	158
6.4 DETECCIÓN DE FALLAS.....	159
6.4.1 Ronda diaria del operador.....	159
6.4.2 Rondas programadas de monitoreo.....	159
6.5 PROCESO DE SOLUCIÓN DE FALLAS	159
6.5.1 Eliminación de fallas con mantenimiento mayor.	160
6.5.2 Eliminación de fallas con mantenimiento básico realizado por personal de operaciones	161
6.5.2.1 Tareas programadas.....	162
6.5.2.2 Tareas emergentes.....	168

6.6 PLANEACIÓN DE TAREAS.....	172
6.7 EJECUCIÓN DE TAREAS	172
6.8 CAPACITACIÓN DEL PERSONAL.....	173
6.9 MEDICIÓN DE EFECTIVIDAD	174
CONCLUSIONES	175
BIBLIOGRAFIA	177
CIBERGRAFÍA.....	178
ANEXOS	180

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logos en la historia de Ecopetrol S.A.....	24
Figura 2. Evolución Ecopetrol 1951	25
Figura 3. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja años 1960	25
Figura 4. Evolución Ecopetrol años 1980	26
Figura 5. Composición accionaria Ecopetrol S.A.....	27
Figura 6: Empresas Grupo Empresarial ECOPETROL.....	28
Figura 7. Infraestructura Ecopetrol S.A.....	29
Figura 8: Área de Influencia operaciones Ecopetrol S.A.....	29
Figura 9. Catálogo de productos Ecopetrol S.A.....	30
Figura 10. Organigrama Ecopetrol S.A.	31
Figura 11. Organigrama Vicepresidencia Ejecutiva Downstream Ecopetrol S.A. ..	31
Figura 12. Organigrama Refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.	32
Figura 13. Localización refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.....	33
Figura 14. Localización específica refinería en Barrancabermeja	33
Figura 15. Área general refinería en Barrancabermeja.....	34
Figura 16. Vista refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A. años 1930.....	34
Figura 17. Vista refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A. años 1930.....	35
Figura 18. Vista refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A. año 1980.....	37
Figura 19. Vista actual refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.....	38
Figura 20. Esquema operacional de las unidades de proceso de la refinería de Barrancabermeja	41
Figura 21. Diagrama esquema operativo planta de parafinas y fenol	42
Figura 22. Esquema operativo unidad de DAP	42
Figura 23. Esquema operativo unidad de extracción con Fenol	43
Figura 24. Esquema operativo unidad de desparafinado con MEK	43
Figura 25. Esquema operativo unidad de tratamientos de bases y Parafinas con hidrógeno.....	44

Figura 26. Esquema operativo unidad de generación de hidrógeno.....	45
Figura 27. Esquema Operativo Departamento de Servicios Industriales Refinería.....	48
Figura 28. Esquema operativo unidades tratamiento de agua.....	49
Figura 29. Esquema operativo unidades generación de vapor	52
Figura 30. Esquema operativo unidades generación eléctrica	54
Figura 31. Esquema Operativo Unidades Generación de Aire	56
Figura 32. Evolución del mantenimiento	60
Figura 33. Logros alcanzados con la evolución del mantenimiento	62
Figura 34. Patrones de falla	73
Figura 35. Patrones de fallo con la evolución del mantenimiento	74
Figura 36. Pilares del TPM	78
Figura 37. Metodología de las 5 S	88
Figura 38. Clasificación de los compresores	92
Figura 39. Clasificación de las bombas	95
Figura 40. Clasificación de los ventiladores.....	98
Figura 41. Clasificación de las turbina a vapor	100
Figura 42. Clasificación de motores eléctricos.....	101
Figura 43. Vista exterior cristalizador	103
Figura 44. Diseño interno tubos del cristalizador	103
Figura 45. Vista motor reductor instalado en cristalizadores	104
Figura 46. Vista sistema de transmisión cristalizadores	104
Figura 47. Vista de cajas de rodamientos y acoples cristalizadores	105
Figura 48. Vista general filtros rotatorios al vacío	106
Figura 49. Esquema de construcción filtros rotatorios al vacío	106
Figura 50. Vista sistema de transmisión de filtros rotatorios al vacío.....	107
Figura 51. Sistema de lubricación por salpique	109
Figura 52. Sistemas de sistema de lubricación por nivel constant.....	110
Figura 53. Sistemas de lubricación por circulación forzada	110
Figura 54. Sistemas de lubricación por goteo	111
Figura 55. Sistemas de lubricación por niebla	111

Figura 56. Curva PF.....	113
Figura 57. Modos de falla presentados en equipos rotativos.....	114
Figura 58. Onda sinoidal de vibración.....	115
Figura 59. Valores onda sinoidal de vibración	116
Figura 60. Vibración compuesta	116
Figura 61. Vibración aleatoria y golpeteos intermitentes	117
Figura 62. Resonancia.....	118
Figura 63. Señal de vibración en el dominio del tiempo y su equivalente en el dominio de la frecuencia	119
Figura 64. Espectro con señales en el dominio del tiempo y frecuencia.....	120
Figura 65. Esquema análisis espectral	120
Figura 66. Patologías de vibración básicas, clasificadas para maquinas rotativas	122
Figura 67. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas	123
Figura 68. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas	124
Figura 69. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas	125
Figura 70. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas	126
Figura 71. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas	127
Figura 72. Nivel de alarmas y tendencias de vibraciones	129
Figura 73. Rangos de severidad de vibración para máquinas	130
Figura 74. Rangos de severidad de vibración para máquinas	131
Figura 75. Rodamientos en falla	131
Figura 76. Principales causa de falla de rodamientos en máquinas rotativas.....	132
Figura 77. Ciclo de falla del rodamiento.....	132
Figura 78. Espectro real de vibración de equipo con falla de rodamientos.....	133

Figura 79. Calculo de frecuencia de falla de rodamientos	134
Figura 80. Espectros de fallas en pistas externas o internas.....	136
Figura 81. Espectros de fallas en elementos rodantes	137
Figura 82. Espectros de fallas en canastilla.....	137
Figura 83. Sellos en bombas centrifugas.....	138
Figura 84. Diagrama de construcción común sello mecánico	138
Figura 85. Clasificación de sistemas de sello convencionales.....	139
Figura 86. Principales causas de falla en sellos mecánicos	140
Figura 87. Equipo afectado por cavitación	141
Figura 88. Causas de ruido en equipos rotativos.....	142
Figura 89. Causas de sobrecalentamiento en equipos rotativos	143
Figura 90. Termografía en máquinas rotativas	143
Figura 91. Fugas de productos en equipos rotativos	145
Figura 92. Ejes desgastados, fracturados y deformados.	146
Figura 93. Ejes de maquinas rotativas con desgaste y corrosión	146
Figura 94. Impulsor de bomba fracturado	147
Figura 95. Rueda de engranajes con dientes fracturados	147
Figura 96. Diagrama de flujo solución de fallas con mantenimiento mayor	160
Figura 97. Pasos específicos para solución de fallas con mantenimiento mayor	161
Figura 98. Pasos específicos para solución de fallas con mantenimiento básico realizado por personal de operaciones	162
Figura 99. Monitoreo de vibración en equipos rotativos.....	163
Figura 100. Puntos de Monitoreo de vibración en equipos rotativos.....	163
Figura 101. Puntos de monitoreo de temperatura en equipos rotativos.....	164
Figura 102. Referencia de estado de aceite de lubricación	165
Figura 103. Cambio de aceite de lubricación en equipos rotativos	166
Figura 104. Rotación manual de equipos en SB.....	167
Figura 105. Mantenimiento planes de sellado	168
Figura 106. Cambio de filtros en consolas de lubricación	169
Figura 107. Estándar de limpieza y pintura de equipos rotativos.....	169

Figura 108. Cambio indicadores de presión y temperatura local THI	170
Figura 109. Lubricación de válvulas bloque, globo y de control.....	171
Figura 110. Limpieza de elementos filtrantes en succión de equipos	171
Figura 111. Pasos para ejecución de tareas de mantenimiento	173

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales plantas de la refinería de Barrancabermeja.....	40
Tabla 2. Equipos rotativos instalados parafinas y fenol	46
Tabla 3. Equipos rotativos Instalados Servicios Industriales refinería	57
Tabla 4. Recopilación casos reales de fallas con sus causas	154

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Cuadro RCM de bombas.....	180
Anexo B Cuadro RCM de turbinas motores y agitadores	181
Anexo C Cuadro RCM de cajas de engranajes y filtros rotatorios	181
Anexo D Cuadro RCM de ventiladores y compresores.....	182
Anexo E Plan de tareas de mantenimiento a realizar por operadores	183
Anexo F Plan de tareas de mantenimiento para sistemas de sellado.....	188
Anexo G Procedimiento cambio de aceite en bombas, reductores y turbinas	188
Anexo H Procedimiento cambio indicadores de temperatura	190
Anexo I Procedimiento cambio de indicadores de presión	191
Anexo J Procedimiento de engrase de mecanismos y acoples	191
Anexo K Procedimiento para medir, analizar y realizar toma de temperaturas....	193
Anexo L Procedimiento para medir, analizar y tomar datos de vibración de equipo rotativo	194
Anexo M Procedimiento para toma de muestras de aceite de lubricación.....	195
Anexo N Procedimiento para Limpieza de filtros de succión en equipos.....	196
Anexo O Análisis causa raíz a Equipo de bombeo en falla.....	196

RESUMEN

TÍTULO: ESTRUCTURACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BÁSICO DE EQUIPOS ROTATIVOS PARA SER EJECUTADO POR PERSONAL DE OPERACIONES DE LAS PLANTAS DE PARAFINAS Y SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE ECOPETROL DE BARRANCABERMEJA*

AUTORES: FREDY E. MALDONADO FLÓREZ, JUAN G. MOYA BAUTISTA

PALABRAS CLAVES: Equipos rotativos, Mantenimiento productivito total, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, 5 S, Mantenimiento autónomo.

DESCRIPCIÓN: La finalidad de la presente monografía es proponer un plan de mantenimiento que contenga una serie de tareas direccionadas hacia la preservación y el cuidado básico de los activos que el personal de operaciones tiene bajo su control y responsabilidad.

Las tareas de mantenimiento primario propuestas en este estudio están enfocadas hacia los equipos rotativos que se encuentran instalados en las diferentes unidades de proceso, de las plantas industriales de Parafinas y Servicios Industriales de la Refinería de Barrancabermeja.

En el marco teórico se describen los procesos que realizan las diferentes áreas inscritas a las unidades de Parafinas-Fenol y Servicios Industriales, e igualmente se detallan y describen los diferentes equipos rotativos que allí se encuentran instalados, haciendo énfasis en la importancia y relevancia que estos tienen en la operación, referenciando las principales fallas y tipos de anomalías que estos activos tienen, por lo general estas suelen ser la interacción de muchos factores, los cuales también serán materia de estudio en esta monografía, además se proporciona información referente a los diferentes modelos de gestión de mantenimiento, haciendo hincapié en modelos como TPM, RCM, 5S, que plantean un nuevo enfoque en el rol que debe desempeñar el operador de plantas industriales

Este trabajo enfatiza la necesidad e importancia que desempeña el operador de plantas industriales en la ejecución de tareas de mantenimiento proactivo, claro está previa formación y capacitación en dichas actividades de mantenimiento, tomando como referencia y aprovechando el conocimiento y experiencia que este tiene sobre sus activos lo cual impacta de manera positiva en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los activos.

* Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Especialización en Gerencia de Mantenimiento Director: Heriberto Duran Ingeniero de Producción.

ABSTRACT

TITLE: STRUCTURING MAINTENANCE A PROGRAM OF BASIC ROTARY EQUIPMENT TO BE EXECUTED BY OPERATIONS PLANT OF PARAFFIN PHENOL AND INDUSTRIAL SERVICES OF REFINERY ECOPETROL OF BARRANCABERMEJA*

AUTHORS: FREDDY E. MALDONADO, JUAN FLÓREZ G. MOYA BAUTISTA

KEY WORDS: Rotating Equipment, Total productive maintenance, Reliability Centered Maintenance, 5s, autonomous maintenance.

DESCRIPTION: Purpose of this paper is to propose a maintenance plan that contains a number of tasks routed to the preservation and basic asset care operations personnel under its control and responsibility.

Primary maintenance tasks proposed in this study are focused on rotating equipment that are installed in different process units, industrial plants Paraffin's and Industrial Services Barrancabermeja Refinery.

Processes that perform different areas registered units Paraffin - Phenol Industrial, and equally detailed and described the various rotating equipment are installed there , emphasizing the importance and relevance describes the theoretical framework that these are in operation, referencing the main types of failures and anomalies that these assets are generally these are usually the interaction of many factors, which will also be the subject of study in this paper also provides information about the different models maintenance management , with emphasis on models such as TPM , RCM , 5S, posed a new focus on the role that the operator must perform industrial plants

This work emphasizes the need and importance played by the operator of industrial plants in the implementation of proactive maintenance tasks, previous training course and training in these maintenance activities, with reference to and building on the knowledge and experience it has on its assets which impacts positively on reliability, maintainability and availability of assets.

* Monograph

** Physicomechanical Engineering Faculty, Maintenance Management Specialization. Director: Heriberto Duran Production Engineer.

INTRODUCCIÓN

Con la evolución que ha tenido el mantenimiento en las últimas décadas, se ha creado la necesidad de que el personal a cargo de la operación de los equipos de las diferentes instalaciones y procesos industriales, sea participe aun más de las labores de mantenimiento de sus equipos.

No basta solamente con la entrega y recibo de forma segura de estos equipos al personal encargado de realizar tareas de mantenimiento mayor, sino que como operador y teniendo en cuenta que es la persona que más interactúa con ellos, sea ejecutor de tareas básicas de seguimiento y mantenimiento de los equipos, con el fin de mejorar su confiabilidad y así evitar fallas durante su operación.

Con esto simplemente se busca que labores básicas de mantenimiento como acciones mejorativas y de seguimiento o control, repercutan en alargar la vida del activo.

El propósito de la presenta monografía es el de determinar de manera general para las áreas estudiadas, los diferentes tipos de equipos instalados con los que se cuenta, y estructurar un plan de mantenimiento básico para ser ejecutado por las personas encargadas de su operación, el cual se busca sea aplicado, logrando mejorar la confiabilidad del activo, reduciendo sus fallas y aprovechando el recurso de mantenimiento mayor, para ser usado en otras labores de mayor especialidad.

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Ecopetrol S.A. es una sociedad de economía mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía. Ecopetrol S.A. es la principal empresa petrolera de Colombia, está dedicada a explorar, producir, transportar, refinar y comercializar hidrocarburos derivados como combustibles, materias primas y petroquímicas.

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

La reversión al estado colombiano de la Concesión de Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos.

Figura 1. Logos en la historia de Ecopetrol S.A



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con el Campo La Cira-Infantas en el Magdalena medio. Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una empresa industrial y comercial del estado, encargada de administrar el

recurso hidrocarburífero de la nación y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

Figura 2. Evolución Ecopetrol 1951



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

Figura 3. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja años 1960



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo.

Figura 4. Evolución Ecopetrol años 1980



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua en el Piedemonte llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos.

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas.

Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva Ecopetrol S.A., la compañía se liber  de las funciones de estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos).

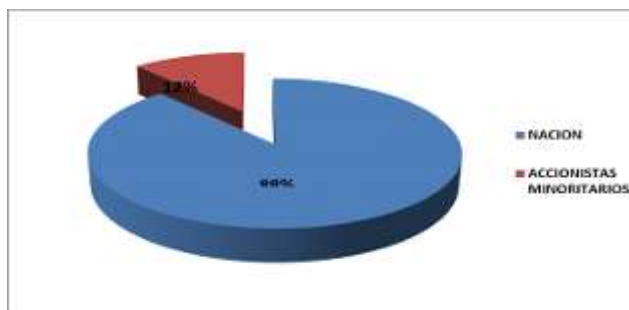
A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que con mayor autonomía ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial.

Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$15,4 billones registrada en 2012 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

1.2 COMPOSICIÓN ACCIONARIA

Hoy en día, Ecopetrol S.A. cuenta con cerca de 460 mil accionistas minoritarios, los cuales hacen parte de la composición accionaria de la empresa, junto con la nación y otros entes privados como fondos de pensiones y cesantías en menor proporción.

Figura 5. Composición accionaria Ecopetrol S.A



Fuente: Autores del proyecto

1.3 GRUPO EMPRESARIAL ECOPETROL

Como parte de una estrategia de crecimiento propuesta por el estado y su junta directiva, Ecopetrol es hoy en día un grupo empresarial, en el cual se tiene la participación total y parcial de un gran número de empresas del sector del petróleo y gas, con el fin de diversificar sus portafolios y de esta manera aprovechar los diferentes recursos con los que se cuenta.

El G.E Ecopetrol participa en forma de filial, subsidiaria y con participación accionaria en las siguientes empresas:

- **Filial.** Son todas aquellas inversiones en que Ecopetrol S.A. posee más del 50% de participación accionaria de manera directa.
- **Subsidiaria.** Son todas aquellas inversiones en que Ecopetrol S.A. posee más del 50% de participación accionaria de manera indirecta, es decir, a través de otra compañía de su propiedad.
- **Participación accionaria.** Son todas aquellas inversiones en que Ecopetrol S.A. posee igual o menos del 50% de participación accionaria, sea de manera directa o indirecta.

Figura 6: Empresas Grupo Empresarial ECOPETROL



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

1.4 ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS OPERACIONES DE ECOPETROL S.A.

Ecopetrol mantiene operaciones de exploración, producción, transporte y refinación de hidrocarburos en diferentes lugares a lo largo y ancho del territorio nacional e internacionalmente en países como México, Brasil, Perú entre otros.

Figura 9. Catálogo de productos Ecopetrol S.A.



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE ECOPETROL

La estructura organizacional de Ecopetrol S.A. está encabezada por una Junta Directiva, en la cual la nación tiene amplia participación con funcionarios del gobierno y en donde también la tienen los accionistas minoritarios y los departamentos productores de hidrocarburos. Esta Junta encabeza el organigrama que describimos a continuación.

Figura 10. Organigrama Ecopetrol S.A.

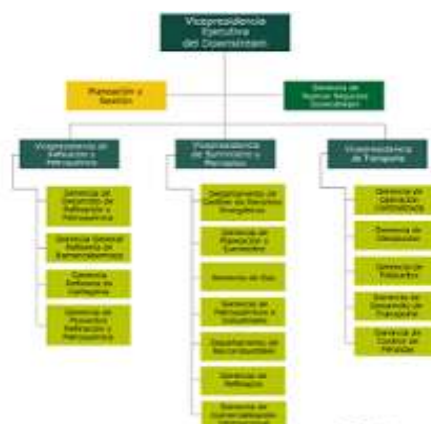


Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

A la junta le precede la Presidencia del Grupo empresarial y de allí se desprenden las Vicepresidencias de las diferentes áreas de operación de la empresa.

La Gerencia Refinería Barrancabermeja, pertenece a la Vicepresidencia de refinación y petroquímica, que a su vez, depende de la Vicepresidencia ejecutiva del Downstream.

Figura 11. Organigrama Vicepresidencia Ejecutiva Downstream Ecopetrol S.A.



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

La Gerencia Refinería Barrancabermeja, se encuentra dividida en las áreas de Gestión Integral del Riesgo, Gerencia Técnica, el Departamento de Programación de Producción y la Gerencia de Producción a la cual pertenecen las áreas operativas y de producción, entre ellas las áreas que vamos a tener en cuenta para el desarrollo de la presente monografía.

Figura 12. Organigrama Refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

1.7 REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

1.7.1 Localización refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A. En la Ciudad de Barrancabermeja (Departamento de Santander) está localizada la refinería de petróleo más grande de Colombia, la cual refina aproximadamente 252.000 barriles diarios de crudo; además abastece el 85% de productos refinados y el 90% de los productos petroquímicos que demanda el país.

Figura 13. Localización refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

Estas instalaciones ocupan 206 hectáreas, cuenta con más de 50 plantas de procesamiento y se autoabastece de servicios industriales como vapor, electricidad, agua industrial, por lo cual este complejo es reconocido entre los más grandes y antiguos de Latinoamérica.

Figura 14. Localización específica refinería en Barrancabermeja



Fuente: Autores del proyecto

Figura 15. Área general refinera en Barrancabermeja



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

1.7.2 Reseña histórica refinera de Barrancabermeja S.A. Los inicios de la refinera de Barrancabermeja se dan con el primer equipo, un célebre alambique para destilar el crudo traído de Talara (Perú), propiedad de la Internacional Petroleum Company INTERCOL.

Figura 16. Vista refinera Barrancabermeja Ecopetrol S.A. años 1930



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

Entre los años 1920 a 1930 ya se transporta gasolina y aceites por el río Grande de la Magdalena para abastecer las estaciones del país, al mismo tiempo se construye la primera planta eléctrica y primera planta de agua ubicadas junto a la planta eléctrica actual. Nace la Planta de Asfaltos, también empieza a rodar el

ferrocarril dentro de la refinería. En este año se cambia el viejo alambique por otro para procesar 10.000 barriles.

Entre los años 1930 y 1940 se instaló la Planta de Arcilla para mejorar el color de los destilados y la acidez, se montó la Planta de Fenol.

Entre los años 1940 a 1950 se crea la Planta de Lubricantes, inicia el ensanche con la Foster Wheeler. En 1951 nace la Reversión de Mares, la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL. En esta época la refinería producía 22.000 barriles. Con esta reversión, salió la Tropical Oil Company y apareció la Internacional Petroleum Company, LTD, INTERCOL.

Figura 17. Vista refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A. años 1930



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

Entre los años 1950 y 1960 se estableció ensanchar la refinería y nacen la Planta U-200, Planta Viscosreductora, Unidad de Ruptura Catalítica Modelo IV y Recuperadora de Vapores, Planta de Alquilación, Ácido, Planta de Soda, Torres Enfriadoras y una nueva Planta Termoeléctrica y Productora de Vapor, Planta de Agua 800 y barcaza de captación de agua. Con este ensanche se aumenta la capacidad de refinación a 37.000 barriles.

En los años 1960 a 1970, se aumenta la capacidad a 45.000 barriles, se aprobó el ensanche de las calderas Kellogs el cual dura tres años para aumentar la capacidad a 76.000 barriles, se construyen la Torre de Vacío de la U-250, la Tea N° 2, la Unidad de Ruptura Catalítica Orthoflow y su Planta de Azufre.

Entre los años 1967 y 1975 se ensancha la petroquímica y se aumenta la capacidad a 106.000 barriles, se construye la Planta de Parafinas, la Planta Alquilos, Polietileno I y entra en operación la Planta de Aromáticos.

En 1972 se construye la Unidad U-2000, la Planta de Agua 850 y nace la idea de optimizar. Se empieza la construcción de la Unidad de Balance en cuatro bloques Demex, Viscosreductora, Hidrógeno y Unibón, unidades de tratamiento como Amina, Merox, Azufre y la Unidad de Ruptura Catalítica UOP 1, con su área de almacenamiento y servicios. Esta área entra en operación el 17 de diciembre de 1979, aumentando la capacidad a 140.000 barriles.

En 1973 entra en operación la y U-2100. En 1979 entra en operación la Unidad de Criogénica y la Planta de Nitrógeno, ubicadas en la actual Planta de Etileno II.

En 1981 la Refinería se convirtió en el Complejo Industrial, entra en operación Planta de Ácido y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTAR), Turboexpander, Etileno II y Polietileno II.

Figura 18. Vista refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A. año 1980



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

En los años 1990 a 2000, nace la nueva Planta de Cracking UOP II, se moderniza la Planta CDU.

Entre los años 2001 y 2010 se coloca en operación la nueva Planta de Alquilación, se coloca en operación el Blending de Medios, entra en operación el Blending de Crudos y se sistematiza la entrega de gasóleos a planta.

En 2007 la refinería tiene una capacidad instalada de 250.000 barriles e inicia la construcción de la Planta de Generación de Hidrógeno, Planta de Hidrotratamiento de Combustibles Nafta y ACPM, Planta de Tratamientos de Amina, Azufre y Aguas Agrias.

Figura 19. Vista actual refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.



Fuente: www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx

1.8 UNIDADES DE PROCESO DE REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

El complejo de refinación y petroquímica de la refinería Barrancabermeja actualmente procesa crudos de varias calidades para producir diferentes tipos de productos requeridos por el mercado nacional. Estos crudos principalmente provienen de campos ubicados en los departamentos de Santander, Casanare y el Meta.

El área de refinación produce principalmente gasolinas y destilados los cuales se venden como combustibles y se usan también como carga a otras unidades para la obtención de otros productos finales.

El área de petroquímica obtiene productos petroquímicos tales como bases lubricantes usadas como materia prima de aceites de lubricación, grasas; las, parafinas que son usadas como materia para obtener productos como velas, betún, los disolventes aromáticos y polietileno usados para la fabricación de pinturas, pegantes y productos de plástico respectivamente.

En el área de cracking se cargan gasóleos principalmente para producir GLP y nafta por medio del rompimiento de moléculas de hidrocarburos grandes los cuales se utilizan como combustibles domésticos e industriales.

Los productos terminados y el recibo de crudos se realizan en el área de materias primas en una extensa área de tanques de almacenamiento, donde se despachan vía terrestre por carrotanques, vía fluvial por remolcadores y por medio de poliductos a las diferentes estaciones de bombeo y despacho de Ecopetrol y otros usuarios como Terpel, Esso, Petromil entre otras; para finalmente ser enviados a las estaciones de servicio e industrias que los requieran.

Los servicios industriales son generados en la refinería con recurso propio por medio de unidades de calderas, compresores, plantas de agua y turbogeneradores para ser usados en las mismas plantas de proceso y si se presentan excedentes se venden a usuarios particulares, tal es el caso de cuando se presenta venta de energía eléctrica al sistema de transmisión nacional.

Actualmente se encuentra en proceso de maduración y planeación el proyecto de modernización de la refinería de Barrancabermeja, con el cual se pretende optimizar aun más el proceso de refinación del crudo y así aumentar el factor de conversión de la Refinería. En la tabla 1 se muestra el sitio de las principales unidades de proceso de la refinería de Barrancabermeja.

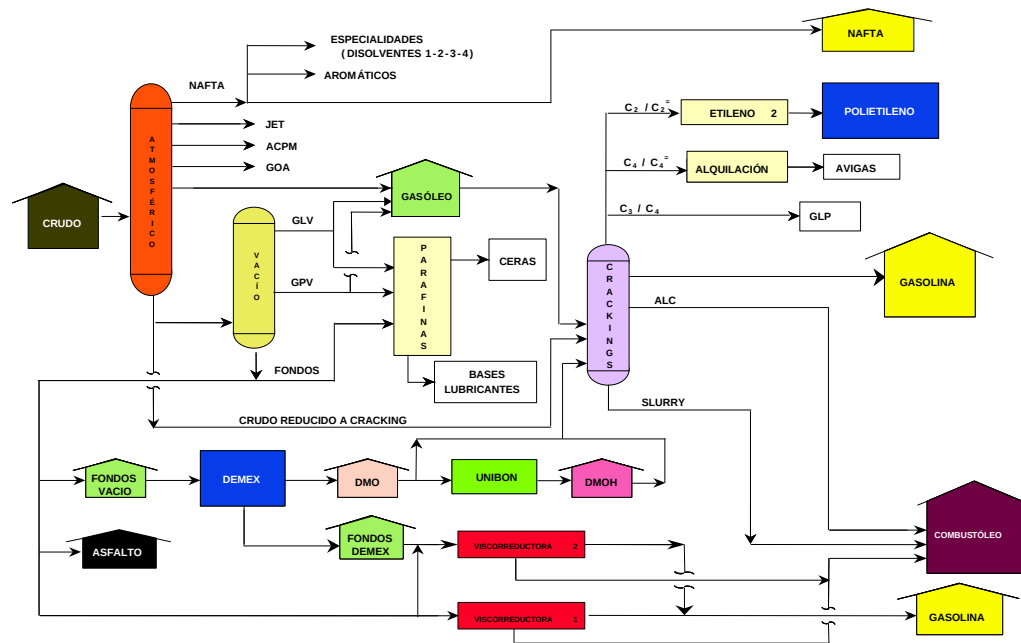
Tabla 1. Principales plantas de la refinería de Barrancabermeja

Cantidad de Plantas	Plantas
5	Destilación Atmosférica de Crudo
4	Destilación al Vacío de Crudo
4	Ruptura Catalítica
2	Viscorreductora
1	Demex (Desasfaltado con Solvente)
1	Unibón (Hidrodesulfurización)
2	Generación de Hidrógeno
1	Alquilación (Avigas)
1	Acido Sulfúrico
1	Aromáticos
1	Parafinas
1	Turboexpander
2	Etileno I y II
2	Polietileno
1	Nitrógeno
1	Plantas de Especialidades
3	Recuperación de Azufre
1	Tratamiento de Aguas Acidas
1	Tratamiento de Aguas Residuales

Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

La figura 20 muestra el esquema operacional de las unidades de proceso de la refinería de Barrancabermeja, en donde se muestran las cargas, subproductos y productos finales de la misma. En ella se muestra brevemente el Proceso de refinación y petroquímica.

Figura 20. Esquema operacional de las unidades de proceso de la refinería de Barrancabermeja



Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

Para el desarrollo de esta monografía, explicaremos brevemente los procesos en los cuales intervienen los diferentes equipos rotativos, a los cuales estructuraremos un plan de mantenimiento básico para realizar por personal de operaciones.

1.8.1 Descripción básica proceso de parafinas y fenol. La planta de Parafinas se originó como proyecto en la refinería de Barrancabermeja en el año de 1963, como parte de la creación de siete (7) nuevas unidades de proceso y un área de almacenamiento de productos. A este esquema se anexa la planta de Fenol construida en 1966.

La figura 21 muestra el diagrama esquema operativo planta de Parafinas y Fenol.

Figura 21. Diagrama esquema operativo planta de parafinas y fenol

Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

1.8.1.1 Unidades de proceso planta de parafinas y fenol. A continuación se describen brevemente las unidades que componen la planta de Parafinas y Fenol.

- **Unidad de desasfaltado con propano DAP.** Este es un proceso de extracción líquido-líquido utilizando propano como solvente para separar el material parafínico del aromático y asfáltico presente en los fondos de vacío provenientes de la unidad de destilación combinada CDU.

Figura 22. Esquema operativo unidad de DAP

Fondos de vacío parafínicos



Fondos de vacío nafténicos



Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

En este proceso se obtiene un aceite desasfaltado denominado DAO (con bajo contenido de contaminantes y rico en cera) y un residuo fondos DAP en el cual se concentran los asfáltenos contenidos en la carga.

- **Unidad de extracción con Fenol.** Este proceso de extracción líquido-líquido donde se utiliza fenol como solvente, sirve para separar el material parafínico del aromático y/o nafténico y mejorar así el índice de viscosidad del producto (rafinato).

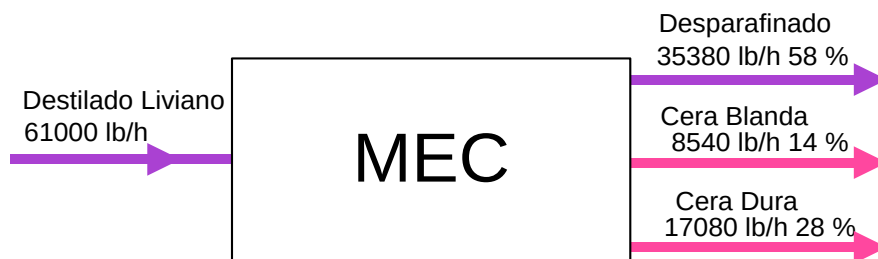
Figura 23. Esquema operativo unidad de extracción con Fenol



Fuente: Manual de descripción de unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja.

- **Unidad de desparafinado con MEK.** Proceso realizado a baja temperatura el cual permite separar las ceras que se encuentran en las fracciones lubricantes de crudo mediante el uso de un solvente. La baja temperatura permite la precipitación de la cera y el solvente facilita la separación de la cera y el aceite lubricante.

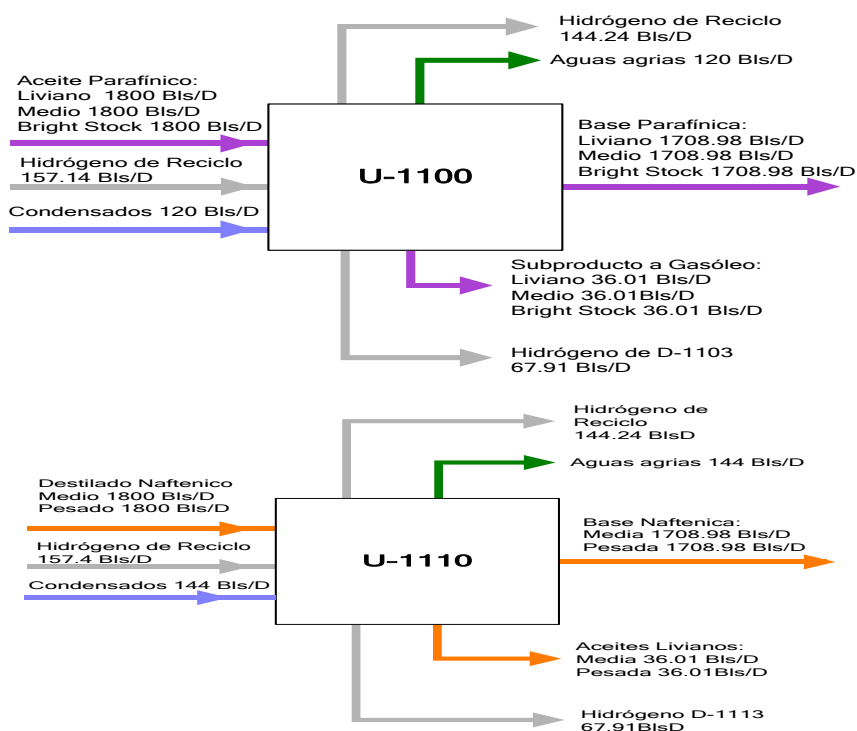
Figura 24. Esquema operativo unidad de desparafinado con MEK

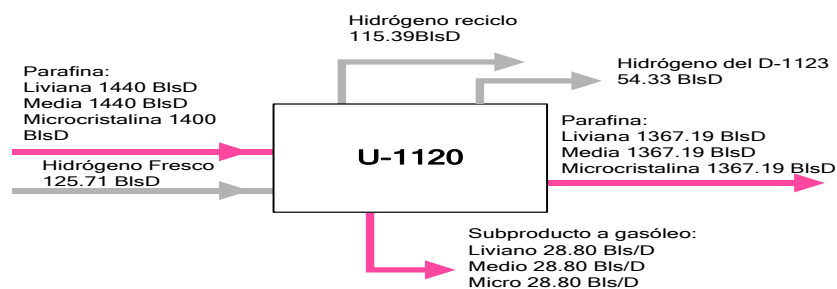


Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

- **Unidades de Tratamientos con Hidrogeno.** Esta sección esta compuesta por tres Unidades de proceso que independientemente buscan mejorar la calidad de los aceites parafínicos, nafténicos y las ceras mediante el proceso de hidrogenación no severa.

Figura 25. Esquema operativo unidad de tratamientos de bases y Parafinas con hidrógeno





Fuente: Manual de descripción de unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

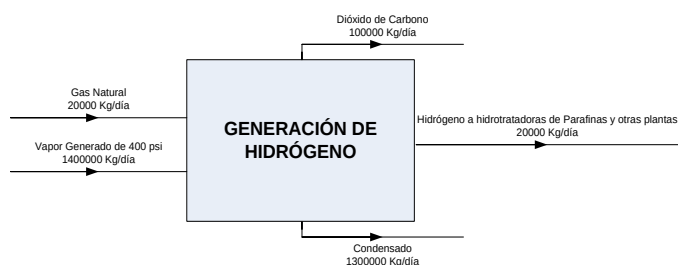
El modo operativo normal de la unidad se usa para hidrotratar el aceite parafínico, destilados nafténicos y parafinas.

Los aceites mejoran su color, índice de viscosidad y estabilidad a la oxidación debido a la remoción de azufre, oxígeno, nitrógeno y la saturación de olefinas.

- **Unidad de generación de Hidrógeno.** El hidrógeno gaseoso se obtiene mediante la reacción de reformado entre el agua en forma de vapor y el metano que contiene el gas natural. Dentro de la refinería su destino es como hidrógeno fresco hacia las hidrotratadoras de la planta de Parafinas.

Como sub producto de este proceso se obtiene CO₂ (Dióxido de Carbono), el cual es usado dentro del proceso de la unidad de MEK, como gas de blanqueo o manto en los filtros y tanques. También se obtiene como subproducto condensado de alta presión, el cual se recupera y se envía nuevamente hacia las unidades de generación de vapor del área de servicios Industriales de refinería.

Figura 26. Esquema operativo unidad de generación de hidrógeno



Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

1.8.1.2 Equipos rotativos Instalados en las unidades de proceso de parafinas y fenol. En las unidades de proceso de la planta de Parafinas y Fenol se tienen instalados los siguientes equipos rotativos, los cuales cumplen cada uno con una acción específica dentro del proceso. La mayoría de estos equipos trabajan con equipo auxiliar, lo cual proporciona una opción de realizar mantenimiento a uno de los dos equipos sin necesidad de parar las unidades en caso de fallas que se presenten. Además en pocos casos, los equipos instalados, operan sin equipo auxiliar, lo cual ocasiona en casos parada de las unidades de proceso.

Tabla 2. Equipos rotativos instalados parafinas y fenol

Cantidad de Equipos	Tipo de Equipo
150	Motores eléctricos
73	Bombas Centrífugas Horizontales
40	Reductores de velocidad.
18	Bombas Desplazamiento Positivo
15	Bombas Centrífugas Verticales
14	Chiller (Intercambiador doble turbo con raspadores)
13	Turbinas de vapor
12	Sistemas de lubricación forzada
10	Agitadores de tanques
6	Filtros Rotativos
3	Ventiladores

Cantidad de Equipos	Tipo de Equipo
2	Compresor Centrifugo
2	Compresor Desplazamiento Positivo

Fuente: Autores del proyecto

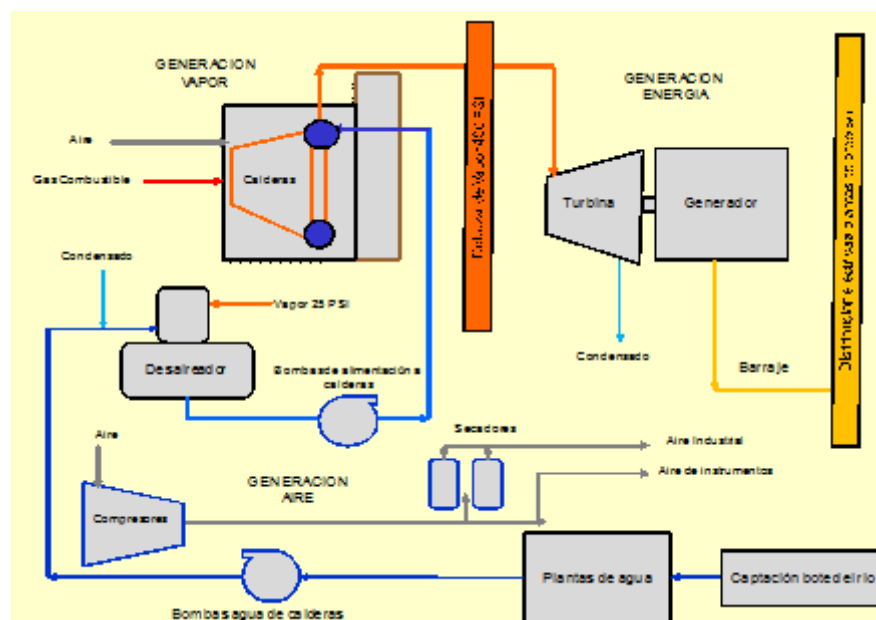
1.8.2 Descripción básica proceso de servicios industriales refinería. La construcción de las diferentes unidades que conforman el departamento se inicia en el año 1951 con el montaje puesta en servicio de cuatro calderas acuotubulares (B 901 A/B/C/D) con una presión de operación a 400PSI y tres turbogeneradores (TG 901/2/3) garantizando una capacidad instalada de 528 KLBH de vapor y 10.5 MW de energía eléctrica respectivamente. Entre los años de 1964 a 1975, se lleva a cabo el montaje de cinco calderas (B 951/52/54/55/56) y dos turbogeneradores (TG 951/52) aumentando la disponibilidad de vapor a 1'053 KLB H y energía eléctrica a 30.5 MW. Entre el período de 1976 a 1978 y ante el creciente ensanche de las diferentes plantas de proceso se decide construir la mayor del área de proceso del departamento de servicios industriales. Con sus cinco calderas (B 2401/2/3/4/5) y tres turbogeneradores (TG2401/2/3) la Central del Norte consolida la disponibilidad de vapor y energía para las plantas de proceso de la refinería. Para esta fecha se contaba con 14 calderas en servicio con una producción de vapor de 2'253 KLBH y ocho turbogeneradores con una producción de 60.5 MW. A la par de las unidades de generación eléctrica y vapor, entre el período de 1971 a 1976 se inicia el montaje de la unidad de aire comprimido con los C-904/906 operados con motor eléctrico, años más tarde se montan tres compresores más los C-907/08/09. Para reforzar el sistema se instalan en la Central del Norte los C-2401/02/04 operados con motor eléctrico y el C-2403 operado con motor diesel como compresor en caso de emergencia.

Por requerimientos del proceso y estabilidad del sistema de aire entre el año de 1998 se inicia el cambio gradual de compresores recíprocos a centrífugos iniciando con el reemplazo del C 904 por el C 910 finalizando en el año 2010 con los equipos del área de la Central del Norte.

A la fecha se cuenta con seis compresores centrífugos ocho instalados C2405, 2406, 2407, 2408, C910, 911 con una capacidad instalada de 24888 SCFM.

La firma Degremont construyó en el año 1978 las unidades para el tratamiento de agua (U 800-850) con el fin de cubrir la demanda de agua industrial, potable, desmineralizada y suavizada para las diferentes unidades de proceso. Su producción total era 8700 gpm pero ante la expansión de la refinería y con el fin de garantizar una mayor confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las plantas de agua se decide construir la U 830, aumentando la capacidad instalada de captación de agua proveniente del río Magdalena en 9750 GPM, esta fue construida para trabajar con lechos mixtos operando con dos intercambiadores en producción, uno disponible y el otro en regeneración, en forma automática, semiautomática o manual.

Figura 27. Esquema Operativo Departamento de Servicios Industriales Refinería

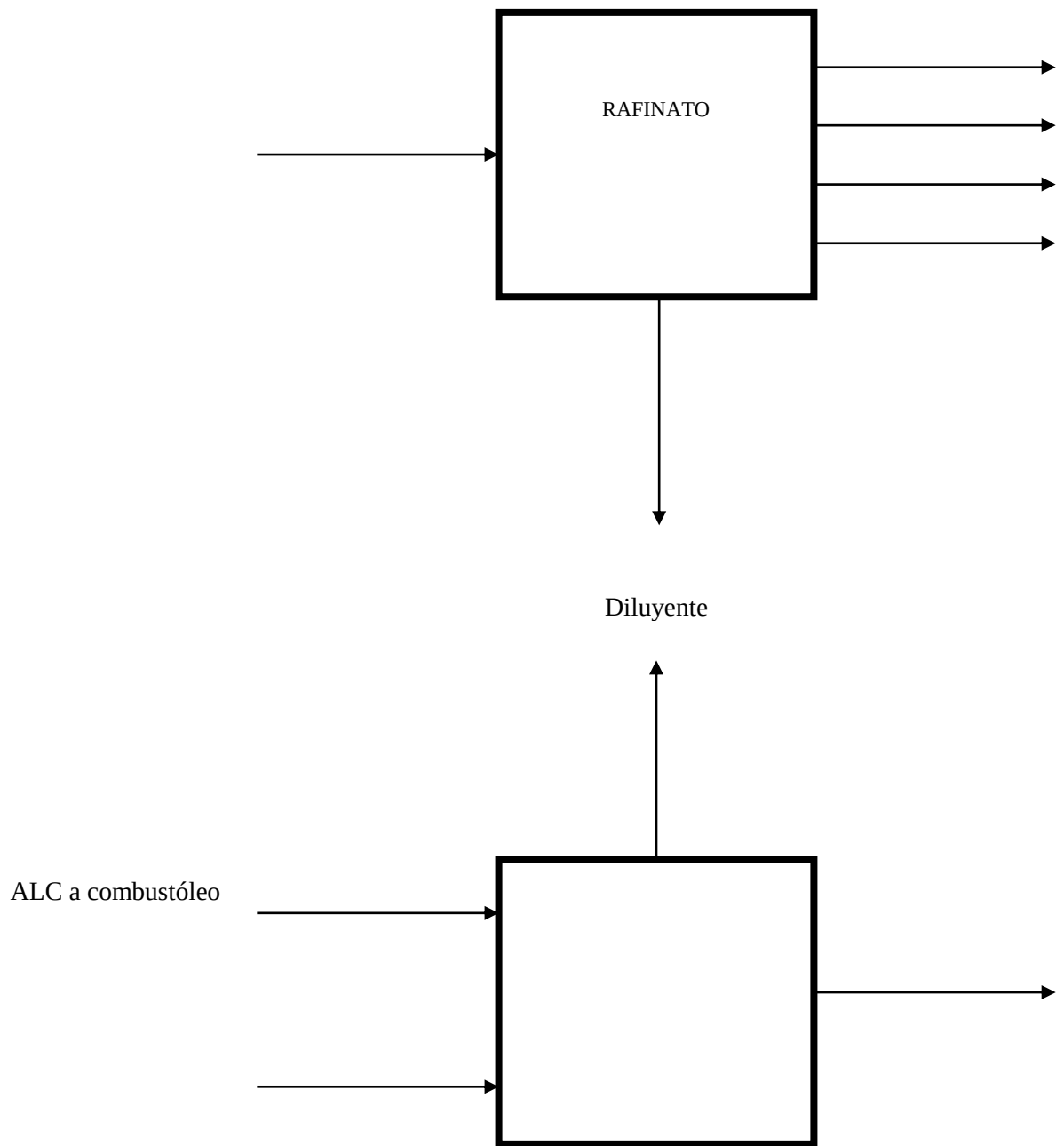


Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja.

1.8.2.1 Unidades que conforman del Departamento de Servicios Industriales Refinería. A continuación se describen brevemente las unidades que componen el área de servicios industriales.

- **Unidades de tratamiento de agua.** El agua se capta del río Magdalena por medio de dos bombas verticales las cuales están instaladas dentro de un bote (bote del río), posteriormente el agua cruda es enviada hacia dos clarificadores los cuales son los encargados de remover la turbiedad del agua a través de los procesos fisicoquímicos de coagulación, floculación y sedimentación.

Figura 28. Esquema operativo unidades tratamiento de agua



Fuente: Manual de descripción de unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

El agua producida en los clarificadores se divide en dos flujos: el primer flujo se envía hacia el sistema de agua industrial y el otro flujo hacia el sistema de agua desmineralizada. La corriente que proviene de los clarificadores es succionada por dos bombas centrífugas y direccionada hacia los filtros de arena cuyo objetivo es atrapar los sólidos remanentes que no se precipitaron en el proceso de clarificación.

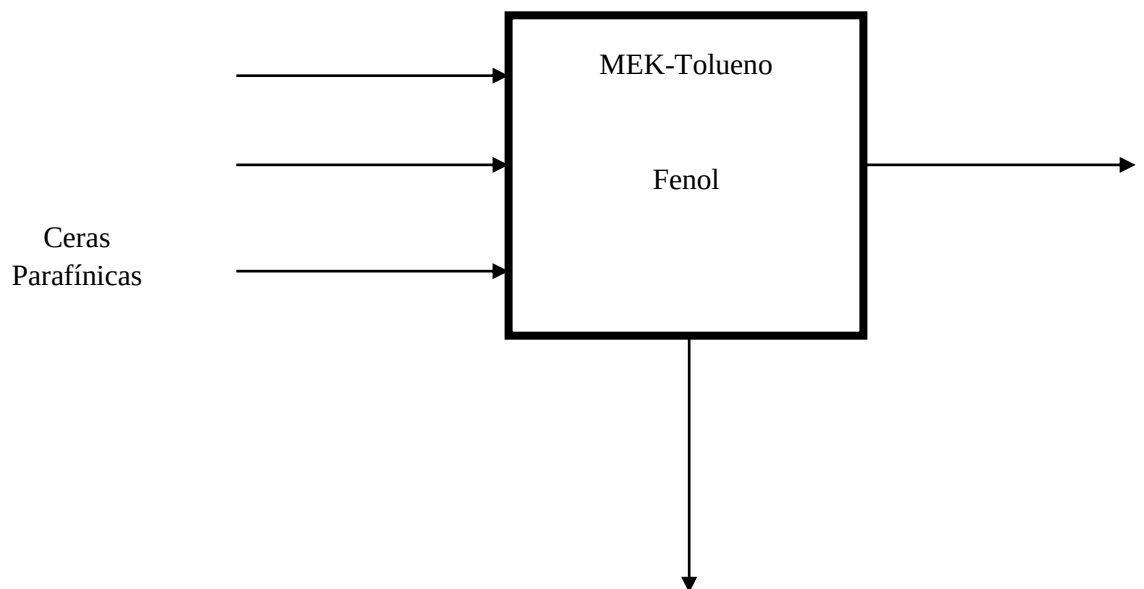
Después el agua proveniente de los filtros de arena pasa a través unos intercambiadores catiónicos a fin de retirar los cationes presentes en el agua. A continuación se envía a las torres descarbonatadoras donde se elimina el CO_2 contenido en el agua. Posteriormente, el agua pasa por las zeolitas para eliminar los aniones presentes. Una parte del agua desmineralizada es enviada como alimentación a las unidades de generación de vapor y de procesos y otra es almacenada en dos tanques para ser suministrada a los usuarios de la unidad o de la refinería.

Otra parte del agua filtrada que proviene de los filtros de arena pasa a través de un filtro de carbón activado para eliminar materia orgánica, olor y sabor presente en el agua. El flujo continúa y se le dosifica cloro gaseoso para el control microbiológico. Posteriormente, se ajusta el pH mediante la inyección de carbonato liviano y finalmente una parte se almacena en un tanque y la otra se envía a los diferentes usuarios del sistema. El agua cruda tratada en los clarificadores, que conforma el cabezal de agua industrial, es enviada como agua de restitución a las torres de enfriamiento (TE-831/ 850/ 890) para suplir las pérdidas generadas por evaporación y purgas del sistema.

El agua se acondiciona en la sección de enfriamiento mediante la dosificación de dispersantes, inhibidores de corrosión, cloro y estabilizador de cloro para evitar problemas de corrosión, incrustación y crecimiento microbiano

- **Unidades de generación de vapor.** La mezcla de agua desmineralizada y suavizada proveniente de las plantas de agua y los condensados que se recuperan de las unidades de proceso de la refinería se envía como alimentación al desaireador. El proceso de desaireación se lleva a cabo al colocar en contacto una corriente de mezcla de agua desmineralizada o suavizada y condensado en contracorriente con vapor de 25 psi en el reactor del desaireador.

Figura 29. Esquema operativo unidades generación de vapor



Fuente: Manual de descripción de unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja.

El tratamiento químico en el desaireador se lleva a cabo mediante la adición de un secuestrante de oxígeno que remueve las trazas de oxígeno. Además, al agua tratada en el desaireador se le adicionan otros químicos, luego es succionada e impulsada por medio de las bombas de agua de alimentación hacia las calderas.

El agua de alimentación de calderas es precalentada en los intercambiadores de calor este aumento de temperatura ayuda a mejorar la eficiencia del equipo. El agua desaireada entra en la caldera al tambor de vapor e inicia una circulación natural por diferencias de densidades en donde el agua en el tambor de vapor pasa a los tambores de lodos a través de una tubería (tubos bajantes o tubos de agua) que los conecta. De los tambores de lodos salen las tuberías laterales a partir de las cuales se conforman las paredes laterales del hogar de la caldera.

Otras tuberías salen directamente del tambor de lodos formando la pared de pantalla, pared de quemadores, piso del hogar y ático (tubos elevadores o generadores de vapor) que en conjunto forman el hogar de la caldera. Los tubos generadores son calentados principalmente por la radiación que produce la quema del combustible en el hogar haciendo que en su interior se genere vapor húmedo.

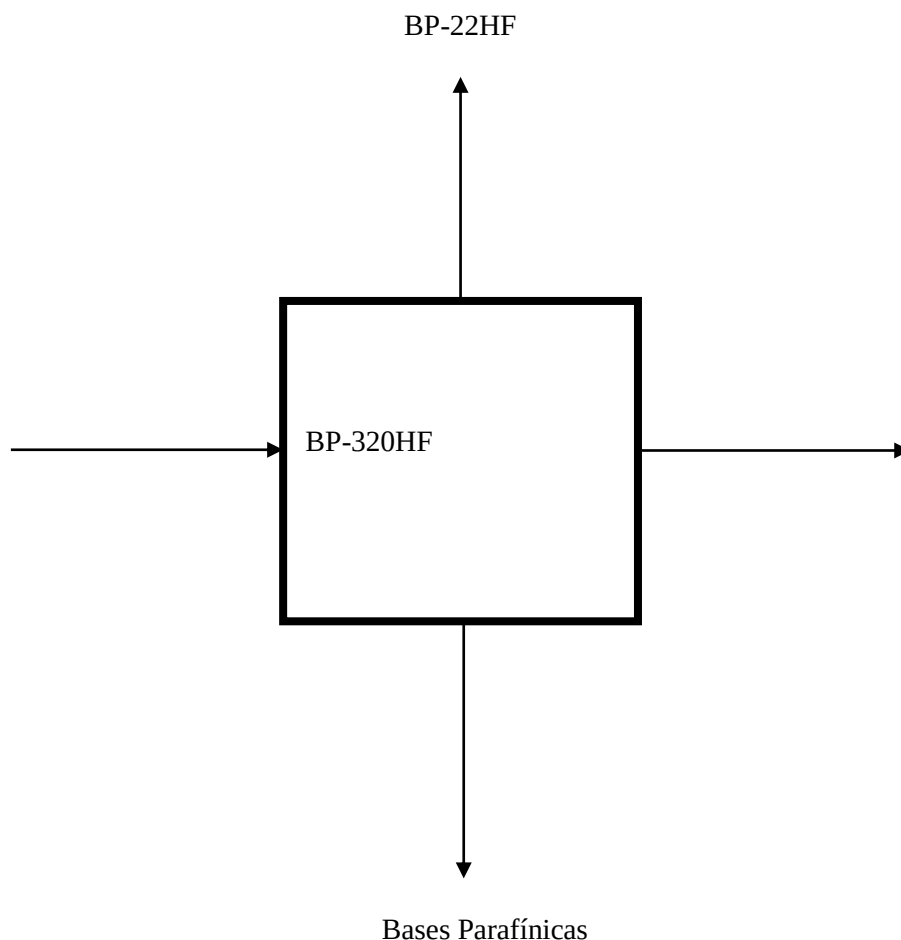
El vapor producido pasa a través de paneles secadores ubicados en la parte superior del interior del tambor de vapor para obtener un vapor saturado. Finalmente, el vapor pasa por los tubos del supercalentador a fin de aumentar su temperatura al aprovechar la energía de los gases de combustión en la zona de convección de la caldera.

El vapor seco sobrecalentado sale de la caldera hacia el cabezal de vapor de 400 psi.

- **Unidades de generación de eléctrica.** La energía eléctrica se genera mediante la operación de los Turbogeneradores. Se conoce como turbogenerador al conjunto de turbina-generator conectados mediante un acople rígido. El vapor de 400 psi que proviene del cabezal de alta presión alimenta los turbogeneradores. Estas turbinas son de condensación total y están asociadas a un condensador de superficie que recoge el vapor exhausto que ya realizó el trabajo al interior de la turbina y es condensado en un intercambiador de calor con agua de enfriamiento.

El movimiento rotacional transferido por la turbina al generador es aprovechado por el rotor para generar la corriente eléctrica. La energía eléctrica generada tiene como objetivo el autoabastecimiento y suministro a los usuarios de las unidades de la refinería. Se cuenta con la interconexión eléctrica con el anillo nacional ya la carga instalada no tiene la suficiente capacidad para suplir las necesidades de energía eléctrica que requieren las diferentes unidades de proceso de la refinería

Figura 30. Esquema operativo unidades generación eléctrica



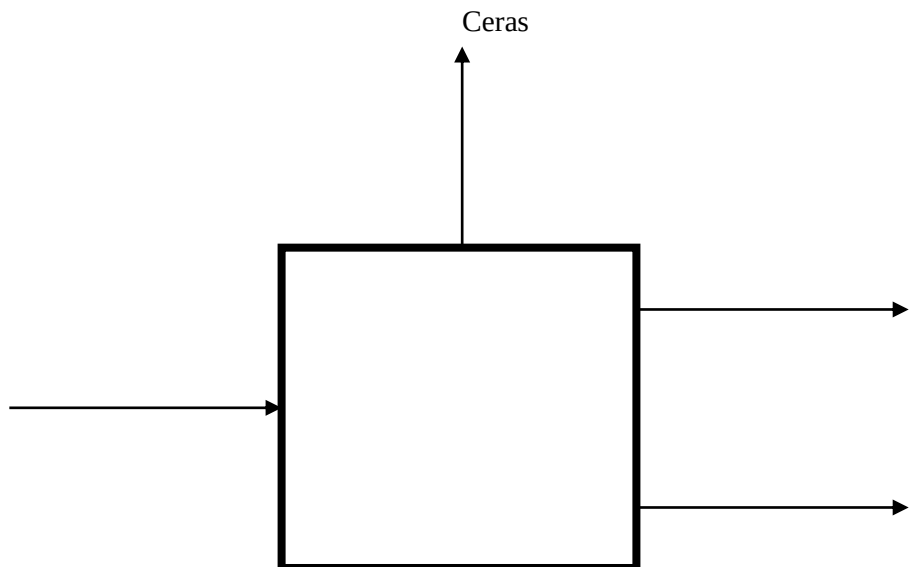
Fuente: Manual de descripción de Unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

- **Unidades de comprimido.** El aire se toma de la atmosfera y se comprime en tres etapas en los compresores centrífugos. Cada una de las etapas esta provista de un enfriador para retirar el calor que se genera durante la compresión del aire.

Una vez enfriado, el aire pasa por un proceso de absorción de humedad el cual es llevado a cabo en los secadores de aire. En este paso se retira la humedad al aire colocándolo en contacto con esferas de alúmina como lechos desecantes que, a través de procesos físicos o ciclos de regeneración, continúan manteniendo su efectividad, dando como resultado un aire totalmente seco.

Para garantizar un confiable y óptimo servicios a los usuarios del sistema, el aire se direcciona hacia un tambor amortiguador de donde se distribuye a todos los usuarios por medio de un cabezal de aire que llega a cada una de las plantas de proceso

Figura 31. Esquema Operativo Unidades Generación de Aire



Fuente: Manual de descripción de unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja

1.8.2.2 Equipos rotativos instalados en las unidades de proceso de servicios industriales refinería. En las unidades de proceso Servicios Industriales tienen instalados los siguientes equipos rotativos, los cuales cumplen cada uno con una acción específica dentro del proceso. La mayoría de estos equipos trabajan con equipo auxiliar, lo cual proporciona una opción de realizar mantenimiento a uno de los dos equipos sin necesidad de parar las unidades en caso de fallas que se

presenten. Además en pocos casos, los equipos instalados, operan sin equipo auxiliar, lo cual ocasiona en casos parada de las unidades de proceso.

Tabla 3. Equipos rotativos Instalados Servicios Industriales refinería

Cantidad de Equipos	Tipo de Equipo
37	Bombas centrífugas horizontales acopladas con motores eléctricos
25	Bombas centrífugas horizontales acopladas con turbinas a vapor
12	Bombas de Desplazamiento Positivo acopladas a motor eléctrico
4	Bombas Centrifugas Verticales acopladas con motor eléctrico
3	Ventiladores de tiro inducido acoplado con motor eléctrico
4	Ventiladores de tiro forzado acoplados con motores eléctricos
8	Ventiladores de tiro forzado acoplados con turbinas de vapor
26	Ventiladores acoplados a motores
13	Sistemas de lubricación forzada
3	Turbogeneradores
8	Agitadores de tanques
7	Compresores centrífugos acoplado a motores eléctricos

Fuente: Autores del proyecto

2. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

2.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

Desde el principio de los tiempos, el hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener sus equipos, aún si fueren las más rudimentarias y simples herramientas o maquinas. A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial eran los propios operarios quienes se encargaban de las reparaciones de los equipos. Conforme las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferente la de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos debido a que estas fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso de los equipos, lo cual sigue sucediendo en la actualidad. Al principio solo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "Mantenimiento Reactivo o a Ruptura".

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipos acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos.

Esta nueva tendencia se llamó "Mantenimiento Preventivo". Como resultado, los gerentes de planta se interesaron en hacer que sus supervisores, mecánicos, electricistas y otros técnicos, desarrollaran programas para lubricar y hacer observaciones clave para prevenir daños al equipo.

Figura 32. Evolución del mantenimiento

EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO.			
1ª GENERACIÓN	2ª GENERACIÓN	3ª GENERACIÓN	4ª GENERACIÓN
*Mantenimiento Correctivo.	*Revisiones periódicas. *Uso de grandes ordenadores. *Sistemas de control y planificación del mantenimiento.	*Monitoreo de Condición. *Basado en fiabilidad y mantenibilidad. *Estudio de riesgos. *Uso de pequeños y rápidos ordenadores. *Modos de fallo y causas de fallos. *Sistemas expertos. *Polivalencia y trabajo en equipo.	*Monitoreo de Condición. *Modos de fallo y causas de fallos (FMEA, NECA). *Polivalencia y trabajo en equipo (Mantenimiento autónomo). *Estudios de fiabilidad y mantenibilidad. *Mantenimiento Preventivo. *Gestión del Riesgo. *Sistemas de Mejora Continua. *Mantenimiento Predictivo y Proactivo. *Grupos de mejora y seguimiento de acciones.
1940	1960	1990	2004

Fuente: www.ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html

Aún cuando ayudó a reducir pérdidas de tiempo, el Mantenimiento Preventivo era una alternativa costosa. La razón: muchas partes se reemplazaban basándose en el tiempo de operación, mientras podían haber durado más tiempo. También se aplicaban demasiadas horas de labor innecesariamente.

Los tiempos y necesidades cambiaron, en 1960 nuevos conceptos se establecieron, aparece "Mantenimiento Productivo" fue la nueva tendencia que determinaba una perspectiva más profesional. Se asignaron más altas responsabilidades a la gente relacionada con el mantenimiento y se hacían consideraciones acerca de la confiabilidad y el diseño del equipo y de la planta.

Fue un cambio profundo y se generó el término de "Ingeniería de la Planta" en vez de "Mantenimiento", las tareas a realizar incluían un más alto nivel de conocimiento de la confiabilidad de cada elemento de las máquinas y las instalaciones en general.

De este modo aparecen casi sucesivamente diversos métodos de mantenimiento, cada uno aplicado a las necesidades concretas de cada proceso industrial: el

Mantenimiento Preventivo (revisiones y limpiezas periódicas y sistemáticas), el Mantenimiento Predictivo (análisis del estado de los equipos mediante el análisis de variables físicas) y el Mantenimiento Proactivo.

Diez años después, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevas y más fuertes necesidades de excelencia en todas las actividades. Los estándares de "Clase Mundial" en términos de mantenimiento del equipo se comprendieron y un sistema más dinámico tomó lugar.

Aparece la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (CMMS) y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM).

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos.

Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas 'transferidas' son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina¹.

¹ SANZOL, Lorenzo. Implantación de Plan de mantenimiento TPM en Planta de Cogeneración. Trabajo de Grado. Pamplona España. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Sep 15 2010

Figura 33. Logros alcanzados con la evolución del mantenimiento



Fuente: www.ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Actualmente existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir los fallos, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de los mismos haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento y otros.

Los tipos de mantenimiento que tenemos hoy en día son:

2.2.1 Mantenimiento correctivo. Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Tiene como inconvenientes que el fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia. Asimismo, fallos no detectados a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso coste, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación. Otro inconveniente de este sistema, es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto.

2.2.2 Mantenimiento preventivo. Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas y reparaciones entre otros, encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema. Las desventajas que presenta este sistema son:

- **Cambios innecesarios.** Al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de "aprovechar" para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo coste es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto. Estamos ante el caso de una anticipación del reemplazo o cambio prematuro.
- **Problemas iniciales de operación.** Cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se monta y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.
- **Coste en inventarios.** El coste en inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.

- **Mano de obra.** Se necesitará contar con mano de obra intensiva y especial para períodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.
- **Mantenimiento no efectuado.** Si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce una degeneración del servicio. Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este sistema consiste en:
 - Definir qué partes o elementos serán objeto de este mantenimiento.
 - Establecer la vida útil de los mismos.
 - Determinar los trabajos a realizar en cada caso.
 - Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las intervenciones.

2.2.3 Mantenimiento predictivo. Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo.

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado.

Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas y el nivel de un fluido entre

otros. En otras palabras, con este método, tratamos de seguir la evolución de los futuros fallos.

Este sistema tiene la ventaja de que el seguimiento nos permite contar con un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento.

2.2.4 Mantenimiento proactivo. Este sistema está basado en la concepción japonesa del "Mantenimiento al primer nivel", en la que el propio usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento como: reglaje, inspección, sustitución de pequeñas cosas y otras, facilitando al jefe de mantenimiento la información necesaria para que luego las otras tareas se puedan hacer mejor y con mayor conocimiento de causa².

- Mantenimiento. Para mantener siempre las instalaciones en buen estado
- Productivo. Esta enfocado a aumentar la productividad
- Total. Implica a la totalidad del personal, (no solo al servicio de mantenimiento)

2.3 NUEVOS MODELOS DE MANTENIMIENTO

Como se puede comprobar, las diferentes técnicas de mantenimiento han ido evolucionando a lo largo del último siglo en función de las carencias que se observaban en cada uno de los modelos de mantenimiento al aplicarlos a la situación industrial real, de manera que unas engloban a otras, algunas

² MUÑOZ, María Belén. Mantenimiento Industrial. Madrid. Universidad Carlos III de Madrid Área de Ingeniería Mecánica. Sep 15 2011

interactúan entre ellas, y todas se han ido adaptando a los nuevos usos de la industria.

En la actualidad son las necesidades concretas de cada equipo y de cada industria las que marcan el modelo de mantenimiento que optimiza sus recursos y sus necesidades.

Por lo general, el método que se impone mayoritariamente es el Mantenimiento Productivo Total o TPM, que incluye las tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo, integrado siempre en un modelo de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (CMMS) y apoyado según necesidades por el modelo de Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM).

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas, RCM impulsa el mantenimiento y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después algunas de las tareas son transferidas a producción en el marco de una política de implantación de TPM.

En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

2.3.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, o Reliability-centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace mas de 30 años. El proceso permite determinar cuales son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de

sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y gas, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las siete (7) preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuales son las funciones deseadas para el equipo que se esta analizando?
2. ¿Cuales son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuales son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuales son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cual es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Que puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Que hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

El RCM muestra que muchas de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocadas. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de las fallas se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales.

- **El contexto operacional.** Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se esta analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos.

- **Funciones.** El análisis de RCM comienza con la redacción de las funciones deseadas.
- **Fallas funcionales o estados de falla.** Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Una vez identificados todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo.
- **Modos de falla.** Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la "causa raíz" de la falla. La razón es que el modo de falla listado no da una idea precisa de porque ocurre la falla.
- **Los efectos de falla.** Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El "efecto de falla" es una breve descripción de "que pasa cuando la falla ocurre". Los efectos de falla deben indicar claramente cual es la importancia que tendría la falla en caso de producirse.
- **Categoría de consecuencias.** La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:
 - Poniendo en riesgo la seguridad de las personas ("consecuencias de seguridad").
 - Afectando al medio ambiente ("consecuencias de medio ambiente").
 - Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa ("consecuencias operacionales").
 - Consecuencias no operacionales.

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellas fallas que no tienen ningún impacto cuando ocurren salvo que posteriormente ocurra alguna otra falla. Estas fallas corresponden a la categoría de fallas ocultas.

Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: seguridad, medio ambiente, operacional y no operacional, previa separación entre fallas evidentes y ocultas.

El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de falla va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado, lo que es bastante razonable: no sería lógico tratar de la misma forma a fallas que pueden afectar la seguridad que aquellas que tienen consecuencias económicas.

El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de falla son distintas³.

- **Diferencia entre efectos y consecuencias de falla.** El efecto de falla es una descripción de que pasa cuando la falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica este efecto en una de cinco categorías, según el impacto que estas fallas tienen.
- **Diferencia entre falla funcional y modos de falla.** La falla funcional identifica un estado de falla: por ejemplo incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura. No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que

³ Que es RCM [En línea].Barrancabermeja. [citado Mayo 15 de 2013] Disponible: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

se busca con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad y otros).

- **Fallas ocultas.** Los equipos suelen tener dispositivos de protección, es decir, dispositivos cuya función principal es la de reducir las consecuencias de otras fallas (fusibles, detectores de humo, dispositivos de detención por sobre velocidad/temperatura/presión y otros). Muchos de estos dispositivos tienen la particularidad de que pueden estar en estado de falla durante mucho tiempo sin que nadie ni nada ponga en evidencia que la falla ha ocurrido. Por ejemplo, un extintor contra incendios puede ser hoy incapaz de apagar un incendio, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre el incendio). Una válvula de alivio de presión en una caldera puede fallar de tal forma que no es capaz de aliviar la presión si esta excede la presión máxima y esto puede pasar totalmente desapercibido. Si no se hace ninguna tarea de mantenimiento para anticiparse a la falla o para ver si estos dispositivos son capaces de brindar la protección requerida, entonces puede ser que la falla solo se vuelva evidente cuando ocurra aquella otra falla cuyas consecuencias el dispositivo de protección esta para aliviar. Este tipo de fallas se denominan fallas ocultas, dado que requieren de otra falla para volverse evidentes.
- **¿Como seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado?** En el RCM, la selección de políticas de mantenimiento esta gobernada por la categoría de consecuencias a la que pertenece la falla.
1. Para fallas con consecuencias ocultas, la tarea óptima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección.
 2. Para fallas con consecuencias de seguridad o medio ambiente, la tarea óptima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la falla hasta un nivel tolerable.
 3. Para fallas con consecuencias económicas (operacionales y no operacionales), la tarea óptima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

4. Hoy en día mucha gente piensa en el mantenimiento preventivo como la principal opción al mantenimiento correctivo. Sin embargo, el RCM muestra que en el promedio de las industrias el mantenimiento preventivo es la estrategia adecuada para menos del 5% de las fallas.
- **¿Que hacer con el otro 95%?** En promedio, al realizar un análisis RCM se ve que las políticas de mantenimiento se distribuyen de la siguiente forma: 30% de las fallas manejadas por mantenimiento predictivo (a condición), otro 30% por mantenimiento detectivo, alrededor de 5% mediante mantenimiento preventivo, 5% de rediseños, y aproximadamente 30% mantenimiento correctivo. Esto muestra efectivamente que una de las máximas del TPM (Total Productive Maintenance) que dice que “todas las fallas son malas y todas deben ser prevenidas”, es de hecho equivocada: solo deben ser prevenidas aquellas que convenga prevenir, en base a un cuidadoso análisis costo-beneficio.
 - **Frecuencia de tareas a condición (mantenimiento predictivo).** Para que una tarea a condición sea posible, debe existir alguna condición física identificable que anticipe la ocurrencia de la falla. La frecuencia de una tarea a condición se determina entonces en función del tiempo que pasa entre el síntoma y la falla. Por ejemplo, si se esta evaluando la conveniencia de chequear ruido en los rodamientos de un motor, entonces la frecuencia va a estar determinada por el tiempo entre que el ruido es detectable, y que se produce la falla del rodamiento. Si este tiempo es de, por ejemplo, dos semanas, entonces la tarea debe hacerse a una frecuencia menor, para asegurarse de esta forma que la falla no ocurra en el tiempo entre chequeos sucesivos. El mismo razonamiento debe seguirse para cualquier tarea predictiva.

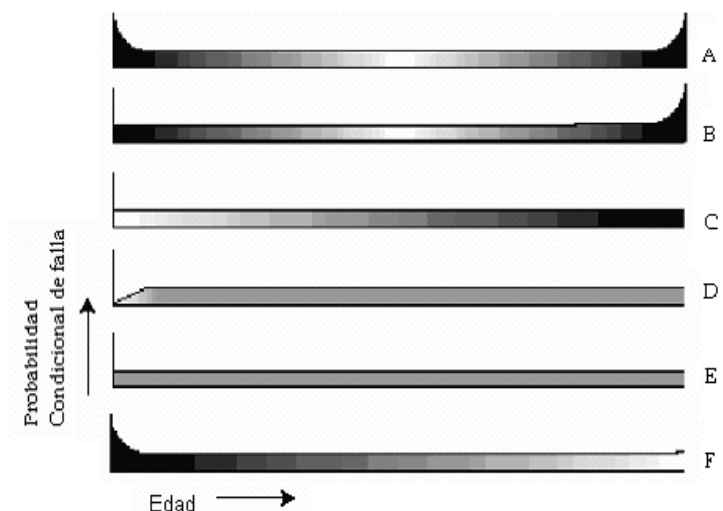
- **Frecuencia de tareas de sustitución cíclica (mantenimiento preventivo).** Una tarea de sustitución cíclica solo es valida si existe un patrón de desgaste. Es decir, si “existe una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de la falla”. La frecuencia de la tarea de sustitución depende de esta edad, llamada vida útil.
- **Frecuencia de tareas detectivas (búsqueda de fallas).** El intervalo con el que se realiza la tarea de búsqueda de fallas (mantenimiento detectivo) se denomina FFI (Failure Finding Interval). Existe una relación entre este intervalo y la disponibilidad del dispositivo de protección. Pueden utilizarse herramientas matemáticas para calcular esta relación, y fijar el FFI que logre la disponibilidad objetivo.
- **El lugar del rediseño en el mantenimiento.** En la mayoría de las empresas las sugerencias de cambios de diseño suelen sobrepasar la capacidad de la empresa de llevar adelante estos cambios. Por lo tanto, debe existir un filtro que permita distinguir aquellos casos donde el rediseño es justificado y recomendable de aquellos casos donde no lo es. Es por esto que para aquellos cambios de diseño cuyo objetivo es evitar fallas, suele ser más conveniente evaluar previamente si existe alguna otra forma de manejar las fallas sin necesidad de recurrir al cambio de diseño. Debe también tenerse en cuenta que los cambios de diseño suelen llevar mas tiempo y ser costosos, y que no siempre se sabe con certeza si los mismos serán eficaces en aliviarlas consecuencias de las fallas. A su vez, en muchos casos los rediseños introducen otras fallas cuyas consecuencias también deben ser evaluadas. Es por todo esto que generalmente el rediseño debe ser seleccionado como “ultima opción”.

- **Patrones de falla en función del tiempo.** Tradicionalmente se pensaba que la relación de falla en función del tiempo era bien simple: a medida que el equipo es más viejo, es mas probable que falle.

Sin embargo, estudios realizados en distintos industrias muestran que la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo u horas de operación es mucho mas compleja. No existen uno o dos patrones de falla, sino que existen 6 patrones de falla distintos, como se muestra en la figura.

La figura muestra los 34 patrones de falla. Cada patrón representa la probabilidad de falla en función del tiempo.

Figura 34. Patrones de falla

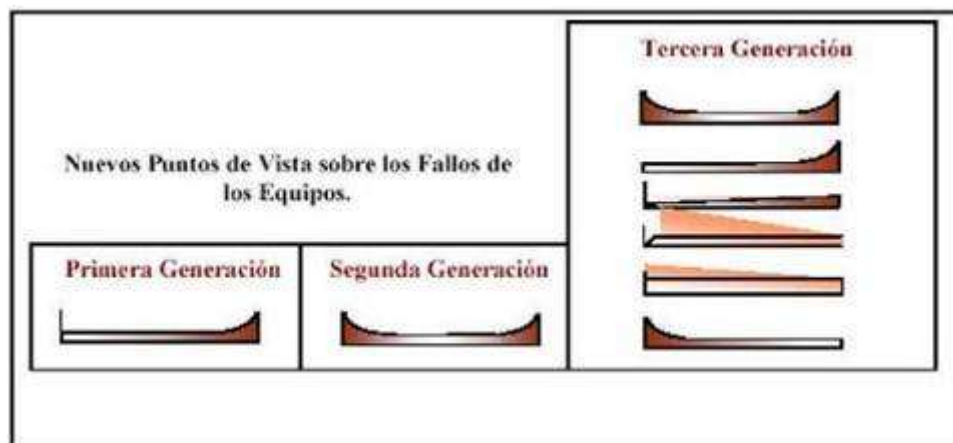


Fuente: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

1. Un patrón A, donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio (mortalidad infantil), y al superar una vida útil identificable.
2. Patrón B o “curva de desgaste”.

4. Patrón C, donde se ve un continuo incremento en la probabilidad condicional de la falla.
5. Patrón D, donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante.
6. Patrón E o patrón de falla aleatorio.
7. Patrón F, con una alta probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo seguido de una probabilidad condicional de falla constante y aleatoria.

Figura 35. Patrones de fallo con la evolución del mantenimiento



Fuente: www.ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html

- **Beneficios del RCM.** La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones⁴.

⁴ Beneficios del RCM [En línea] .Barrancabermeja. [citado Mayo 30 de 2013]
Disponible http: www.rcm-confiabilidad.com.ar

2.3.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM). El TPM surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las llamadas “seis grandes pérdidas” de los equipos, con el objetivo de facilitar la implantación de la forma de trabajo “Just in Time” o “justo a tiempo”.

2.3.2.1 Filosofía del TPM. TPM es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos o en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esto supone:

- Cero averías
- Cero tiempos muertos
- Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos
- Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos al estos de los equipos

Se entiende entonces perfectamente el nombre: mantenimiento productivo total o mantenimiento que aporta una productividad máxima o total. El mantenimiento ha sido visto tradicionalmente con una parte separada y externa al proceso productivo. TPM emergió como una necesidad de integrar el departamento de mantenimiento y el de operación o producción para mejorar la productividad y la disponibilidad. En una empresa en la que TPM se ha implantado toda la organización trabaja en el mantenimiento y en la mejora de los equipos.

2.3.2.2 Principios del TPM. La filosofía de mantenimiento con TPM, se basa en cinco principios fundamentales:

- Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.

- Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. Se busca la eficacia global.
- Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan.
- Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.
- Aplicación de los sistemas de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño y desarrollo, ventas y dirección.

2.3.2.3 Las seis grandes pérdidas. Desde la filosofía del TPM se considera que una máquina parada para efectuar un cambio o reparación, una máquina averiada, una máquina que no trabaja al 100% de su capacidad o que fabrica productos defectuosos está en una situación intolerable que produce pérdidas a la empresa. La máquina debe considerarse improductiva en todos esos casos, y deben tomarse las acciones correspondientes tendentes a evitarlos en el futuro. TPM identifica seis fuentes de pérdidas (denominadas las seis grandes pérdidas) que reducen la efectividad por interferir con la producción:

1. **Fallos del equipo** que producen pérdidas de tiempo inesperadas.
2. **Puesta a punto** y ajustes de las máquinas (o tiempos muertos) que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación u otra etapa de ella. Por ejemplo, al inicio en la mañana, al cambiar de lugar de trabajo, al cambiar una matriz o matriz, o al hacer un ajuste.
3. **Marchas en vacío** esperas y detenciones menores (averías menores) durante la operación normal que producen pérdidas de tiempo, ya sea por problemas en la instrumentación, pequeñas obstrucciones u otras.

4. **Velocidad de operación reducida** (el equipo no funciona a su capacidad máxima), que produce pérdidas productivas al no obtenerse la velocidad de diseño del proceso.
5. **Defectos en el proceso** que producen pérdidas productivas al tener que rehacer partes de él, reprocesar productos defectuosos o completar actividades no terminadas.
6. **Pérdidas de tiempo** propias de la puesta en marcha de un proceso nuevo, marcha en vacío y período de prueba entre otras.

El análisis cuidadoso de cada una de estas causas de baja productividad lleva a encontrar las soluciones para eliminarlas y los medios para implementar estas últimas. Es fundamental que el análisis sea hecho en conjunto por el personal de producción (operaciones) y el de mantenimiento, porque los problemas que causan la baja productividad son de ambos tipos y las soluciones deben ser adoptadas en forma integral para que tengan éxito.

2.3.2.4 La implicación del operador en las tareas de mantenimiento. Desde un punto de vista práctico, implantar TPM en una organización significa que el mantenimiento está perfectamente integrado en la producción. Así, determinados trabajos de mantenimiento se han transferido al personal de producción, que ya no siente el equipo como algo que reparan y atienden otros, sino como algo propio que tienen que cuidar y mimar: el operador siente el equipo como suyo. Con la filosofía del TPM. Entonces se suponen tres niveles de mantenimiento a los equipos de las instalaciones de una Empresa:

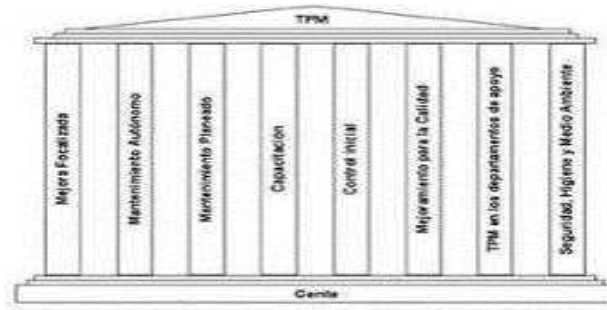
- **El nivel de operador.** Que se ocupará de tareas de mantenimiento operativo muy sencillas, como limpiezas, ajustes, vigilancia de parámetros, lubricación, reemplazo de algunos instrumentos y la reparación de pequeñas averías

- **Nivel de técnico integrado.** Dentro del equipo de producción hay al menos una persona de mantenimiento que trabaja conjuntamente con el personal de producción, es uno más de ellos. Esta persona resuelve problemas de más calado, para el que se necesitan mayores conocimientos. Pero está allí, cercano, no es necesario avisar a nadie o esperar. El repuesto también está descentralizado: cada línea productiva, incluso cada máquina, tiene cerca lo que requiere.
- **Intervenciones de mayor nivel.** Como revisiones programadas que impliquen desmontajes complejos y ajustes delicados entre otros. Se cuenta con un departamento de mantenimiento no integrado en la estructura de producción. Maneja las herramientas comunes. La implicación del Operador en tareas de mantenimiento logra que éste comprenda mejor la máquina e instalaciones que opera, sus características y capacidades, su criticidad; ayuda al trabajo en grupo, y facilita compartir experiencias y aprendizajes mutuos; y con todo esto, se mejora la motivación del personal.

Existe una diferencia fundamental entre la filosofía del TPM y la del RCM: mientras que en la primera son las personas y la organización el centro del proceso, es en estos dos factores en los que está basado, en el RCM el mantenimiento se basa en el análisis de fallas, y en las medidas preventivas que se adoptarán para evitarlos, y no tanto en las personas.

2.3.2.5 Los ocho pilares del TPM. El TPM se sustenta en la gente y sus pilares básicos son los siguientes:

Figura 36. Pilares del TPM



Fuente: es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_productivo_total

- **Mejoras enfocadas.** El pilar del TPM de mejoras enfocadas aporta metodologías para llegar a la raíz de los problemas, permitiendo identificar el factor a mejorar, definirlo como meta y estimar el tiempo para lograrlo, de igual manera, posibilita conservar y transferir el conocimiento adquirido durante la ejecución de acciones de mejora. Estas actividades están dirigidas a mejorar gran variedad de elementos, como un proceso, un procedimiento, un equipo o componentes específicos de algún equipo; detectando acertadamente la pérdida y ejecutando un plan de acción para su eliminación.
- **Mantenimiento autónomo.** El mantenimiento autónomo está enfocado por un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas del equipo y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Estas actividades se deben realizar siguiendo estándares previamente preparados con la colaboración de los propios operarios. Los operarios deben ser entrenados y deben contar con los conocimientos necesarios para dominar el equipo que opera.

El mantenimiento autónomo puede prevenir:

- Contaminación por agentes externos

- Rupturas de ciertas piezas
 - Desplazamientos
 - Errores en la manipulación
- **Mantenimiento planeado.** El mantenimiento planeado constituye en un conjunto sistemático de actividades programadas a los efectos de acercar progresivamente la planta productiva a los objetivos de: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes y cero contaminaciones. Este conjunto de labores serán ejecutadas por personal especializado en mantenimiento.

Los principales objetivos del mantenimiento planeado son:

- Reducir el coste de mantenimiento
 - Reducción espera de trabajos
 - Eliminar radicalmente los fallos
- **Capacitación y entrenamiento.** El objetivo principal en este pilar es aumentar las capacidades y habilidades de todo el personal, dando instrucciones de las diferentes actividades de la empresa y como se hacen. Algunas ventajas que se obtienen son: formar personal competente en equipos y en la mejora continua de su área de responsabilidad. Estimular el autodesarrollo del personal. Desarrollar recursos humanos que puedan satisfacer las necesidades de trabajo futuras. Estimular la formación sistemática del personal.
 - **Operadores.** Profesionales capaces de realizar actividades de mantenimiento, de forma espontánea (limpieza, lubricación, inspección, pequeños ajustes y medición).

- **Mantenedores.** Profesionales capaces de realizar actividades múltiples , hoy ampliado al desarrollo de actividades de análisis de ocurrencias (aplicación de las siete herramientas de la calidad total).
- **Ingenieros de producción.** Profesionales capaces de evaluar, revisar y proyectar equipos con reducida necesidad de intervención y alta mantenibilidad.
- **Control inicial.** Desde este pilar se pretende reducir el deterioro de los equipos actuales y mejorar los costos de su mantenimiento, así como incluir los equipos en proceso de adquisición para que su mantenimiento sea el mínimo. Se pretende con este pilar, asegurar que los equipos de producción a emplear sean:
 - Fiables
 - Fáciles de mantener y de operar
 - Lograr un arranque vertical (arranque rápido, libre de problemas correcto desde el principio)
 - Seguros
- **Mantenimiento de la calidad.** Es una estrategia de mantenimiento que tiene como propósito establecer las condiciones del equipo en un punto donde el "cero defectos" es factible. Las acciones del MC buscan verificar y medir las condiciones "cero defectos" regularmente, con el objeto de facilitar la operación de los equipos en la situación donde no se generen defectos de calidad. El mantenimiento de calidad se basa en:
 - Realizar acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad
 - Prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple las condiciones para "cero defectos" y que estas se encuentra dentro de los estándares técnicos.

- Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a las situaciones de anormalidad potencial.
 - Realizar estudios de ingeniería del equipo para identificar los elementos del equipo que tienen una alta incidencia en las características de calidad del producto final, realizar el control de estos elementos de la máquina e intervenir estos elementos.
- **TPM en oficinas.** Su objetivo es lograr que las mejoras lleguen a la gerencia de los departamentos administrativos y actividades de soporte y que no solo sean actividades en la planta de producción. Estas mejoras buscan un fortalecimiento de estas áreas, al lograr un equilibrio entre las actividades primarias de la cadena de valor y las actividades de soporte.
 - **Seguridad y medio ambiente:** La seguridad y el medio ambiente se enfocan en buscar que el ambiente de trabajo sea confortable y seguro, muchas veces ocurre que la contaminación en el ambiente de trabajo es producto del mal funcionamiento del equipo, así como muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo.

Los principales objetivos son:

- Cero accidentes.
- Cero contaminaciones

2.3.2.6 La implantación de TPM en una empresa. El Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) desarrolló un método en siete pasos cuyo objetivo es lograr el cambio de actitud indispensable para el éxito del programa. Los pasos para desarrollar es cambio de actitud son los siguientes:

- **Fase 1. Aseo inicial.** En esta fase se busca limpiar la máquina de polvo y suciedad, a fin de dejar todas sus partes perfectamente visibles. Se implementa además un programa de lubricación, se ajustan sus componentes y se realiza una puesta a punto del equipo (se reparan todos los defectos conocidos)
- **Fase 2. Medidas para descubrir las causas de la suciedad, el polvo y las fallas.** Una vez limpia la máquina es indispensable que no vuelva a ensuciarse y a caer en el mismo estado. Se deben evitar las causas de la suciedad, el polvo y el funcionamiento irregular (fugas de aceite, por ejemplo), se mejora el acceso a los lugares difíciles de limpiar y de lubricar y se busca reducir el tiempo que se necesita para estas dos funciones básicas (limpiar y lubricar).
- **Fase 3. Preparación de procedimientos de limpieza y lubricación.** En esta fase aparecen de nuevo las dos funciones de mantenimiento primario o de primer nivel asignadas al personal de producción: se preparan en esta fase procedimientos estándar con el objeto que las actividades de limpieza, lubricación y ajustes menores de los componentes se puedan realizar en tiempos cortos.
- **Fase 4. Inspecciones generales.** Conseguido que el personal se responsabilice de la limpieza, la lubricación y los ajustes menores, se entrena al personal de producción para que pueda inspeccionar y chequear el equipo en busca de fallos menores y fallos en fase de gestación, y por supuesto, solucionarlos. Por ejemplo fallas asociadas a factores de operación de los equipos.
- **Fase 5. Inspecciones autónomas.** En esta quinta fase se preparan las gamas de mantenimiento autónomo, o mantenimiento operativo. Se preparan listas de chequeo (check list) de las máquinas realizadas por los propios operarios, y se

ponen en práctica. Es en esta fase donde se produce la verdadera implantación del mantenimiento preventivo periódico realizado por el personal que opera la máquina.

- **Fase 6. Orden y Armonía en la distribución.** La estandarización y la procedimentación de actividades es una de las esencias de la Gestión de la Calidad Total, que es la filosofía del TPM. Se busca crear procedimientos y estándares para la limpieza, la inspección, la lubricación, el mantenimiento de registros en los que se reflejarán todas las actividades de mantenimiento y producción, la gestión de la herramienta y del repuesto entre otras.
- **Fase 7. Optimización y autonomía en la actividad.** La última fase tiene como objetivo desarrollar una cultura hacia la mejora continua en toda la empresa: se registra sistemáticamente el tiempo entre fallos, se analizan éstos y se proponen soluciones. Y todo ello, promovido y liderado por el propio equipo de producción. El tiempo necesario para completar el programa varía de 2 a 3 años, y suele desarrollarse de la siguiente manera:
 1. La Gerencia da a conocer a toda la empresa su decisión de poner en práctica TPM. El éxito del programa depende del énfasis que ponga la Gerencia General en su anuncio a todo el personal.
 2. Se realiza una campaña masiva de información y entrenamiento a todos los niveles de la empresa de tal manera que todo el mundo entienda claramente los conceptos de TPM. Se utilizan todos los medios posibles como charlas, posters, diario mural y otros, de tal manera que se cree una atmósfera favorable al inicio del programa.
 3. Se crean organizaciones para promover TPM, como ser un Comité de Gerencia, Comités departamentales y Grupos de Tarea para analizar cada tema.
 4. Se definen y emiten las políticas básicas y las metas que se fijarán al programa TPM. Con este objeto se realiza una encuesta a todas las operaciones de la

empresa a fin de medir la efectividad real del equipo operativo y conocer la situación existente con relación a las “6 Grandes Pérdidas”. Como conclusión se fijan metas y se propone un programa para cumplirlas.

5. Se define un plan maestro de desarrollo de TPM que se traduce en un programa de todas las actividades y etapas.
6. Una vez terminada la etapa preparatoria anterior se da la “partida oficial” al programa TPM con una ceremonia inicial con participación de las más altas autoridades de la empresa y con invitados de todas las áreas.
7. Se inicia el análisis y mejora de la efectividad de cada uno de los equipos de la planta. Se define y establece un sistema de información para registrar y analizar sus datos de fiabilidad y mantenibilidad
8. Se define el sistema y se forman grupos autónomos de mantenimiento que inician sus actividades inmediatamente después de la “partida oficial”. En este momento el departamento de mantenimiento verá aumentar su trabajo en forma considerable debido a los requerimientos generados por los grupos desde las áreas de producción.
9. Se implementa un sistema de mantenimiento programado en el departamento de mantenimiento.
10. Se inicia el entrenamiento a operadores y mantenedores a fin de mejorar sus conocimientos y habilidades.
11. Se crea el sistema de mejoramiento de los equipos de la planta que permite llevar a la práctica las ideas de cambio y modificaciones en el diseño para mejorar la confiabilidad y mantenibilidad.
12. Se consolida por último la implantación total de TPM y se obtiene un alto nivel de efectividad del equipo. Con este objeto se deben crear estímulos a los logros internos del programa TPM en los diversos departamentos de la empresa.

2.3.2.7 Debilidades, beneficios y fortalezas del TPM. A continuación se escriben las debilidades y Fortalezas del TPM.

- **Debilidades.** Su implementación es a mediano plazo, lo que hace que si cambia el personal, este debe estar comprometido con el programa o puede haber un retroceso al inicio del mismo. El personal debe ver el TPM como algo innovador a diario, si no se transforma en algo rutinario y se puede perder la visión del programa.

El grado de concientización del personal (gerente, empleado, obrero) es quizás el punto más débil del TPM, si algún eslabón no participa el programa irá al fracaso. Es imperiosa la necesidad de trabajar en grupo, unidos mantenimiento y producción que no siempre es fácil. La empresa que desea implementar el TPM debe tener alguna base para hacer el trabajo, como son los programas de mantenimiento preventivo, las Cinco “S” y otras.

- **Beneficios o Fortalezas**

Productividad

- Aumento de la productividad laboral
- Aumento del valor agregado por persona
- Aumento de la tasa de operación
- Reducción de paradas

Calidad

- Reducción de defectos en los procesos
- Menos quejas del cliente

Costes

- Reducción de contenido laboral
- Reducción de costos de mantenimiento
- Reducción del consumo de energía

Entregas

- Reducción de tiempo de entrega
- Reducción de inventario

Seguridad

- Reducción de accidentes
- Cero polución contaminación

Motivacional

- Mejor medio ambiente laboral
- Aumento de ideas sugeridas
- Aumento de actividades en grupo
 - Desarrolla el compañerismo y el trabajo en equipo, la participación y el involucramiento.
 - Potenciación del personal, desarrollando habilidades y conocimientos.
 - Mejora la efectividad gerencial y supervisaría, generando tiempo para actividades preventivas, creativas y proyectos de mantenimiento.
 - Activa el descubrimiento y ataque de los grandes enemigos: deterioro y desperdicios.
 - Organiza y ordena áreas, información, herramientas.
 - Genera calidad de vida en el trabajo.
 - Produce motivación por el logro de objetivos y metas reales tangibles.

2.3.3 Estrategia de las 5 S. Con el desarrollo del TPM se comprobó de forma fundamental que, además de la necesidad que cada uno de los componentes de la empresa, buscase la limpieza y la organización, para la mejora de sus actividades y del ambiente laboral de un modo general; los atributos de orden, aseo y disciplina, también influían en la mejora de la productividad,

Figura 37. Metodología de las 5 S



Fuente: <http://www.herramientasparapymes.com/metodologia-de-las-5-s>

Las 5S son un método de gestión japonesa originado en los años 60's en Toyota, esta técnica es denominada de esta manera gracias a la primera letra en japonés de cada una de sus cinco fases. Esta metodología pretende reducir los costos por pérdidas de tiempo y energía, mejorar la calidad de la producción, minimizar los riesgos de accidentes o sanitarios, incrementar la seguridad industrial y mejorar las condiciones de trabajo al igual que elevar la moral del personal

El grupo de las "5S", cinco palabras que en japonés, empiezan con la letra S y tienen los siguientes significados:

1. **Seiri** (Clasificar). Separar innecesarios: Eliminar lo innecesario en el espacio de trabajo
2. **Seiton** (Ordenar). Situar necesarios: Organizar adecuadamente los elementos a usar en el espacio de trabajo
3. **Seisō** (Limpiar). Eliminar Suciedad: Un lugar limpio no es el que más se limpia sino el que menos se ensucia

4. **Seiketsu** (Estandarizar). Señalizar anomalías: Detectar situaciones irregulares o anómalas, mediante normas sencillas y visibles
5. **Shitsuke** (Entrenamiento y autodisciplina). Mejorar continuamente Pretende: Trabajar permanentemente de acuerdo con las normas establecidas

2.3.4 Mantenimiento autónomo, pilar del TPM enfocado al personal de operaciones. El mantenimiento autónomo son las actividades que los operarios de una empresa realizan para cuidar correctamente su área de trabajo, la maquinaria, calidad del proceso y seguridad, además comparten el conocimiento que obtienen del trabajo cotidiano.

TPM le da un papel importante a los operarios en el cuidado de las máquinas, ya que son ellos son quienes más las conocen, es por eso que deben mantener los equipos en condiciones básicas de operación sin necesidad de pérdida de tiempo. Con esta orientación se busca también que el recurso y personal especializado de mantenimiento sea asignado a tareas de mayor envergadura aprovechando al máximo todas sus capacidades y conocimientos.

El mantenimiento autónomo está conformado por pequeños equipos de trabajo (PET), en ingles sería Small Group Activities, con los cuales se busca comenzar a formar nuevos grupos de mejoras enfocadas, estos PET buscan dar soluciones puntuales a problemas generados en el área de trabajo. Entre otros los pequeños equipos de trabajo buscan, a través de su líder, una conexión directa entre los operarios con la alta gerencia.

Se han encontrado muchas dificultades en el propósito de los PET debido a la baja escolaridad de los operarios, el rango educativo tan variado, el tiempo

ejerciendo en la misma labor y otras, los cuales los hace reacios a este cambio cultural⁵.

En algunas ocasiones lo único capaz de generar el cambio de mentalidad en los operarios de alta antigüedad en las empresa es que se empiezan a sentirse solos, ya que el resto de los compañeros de trabajo se concientizan del inminente cambio que hay que generar en la empresa y optan por las capacitaciones y demás actividades que conlleva el cambio; en pocas palabras terminan solos y se ven forzados a alistarse a las nuevas prácticas de mantenimiento.

Por otro lado estos pequeños equipos están encargados del mejoramiento de la planta y ubicación de problemas esto se logra debido a las continuas capacitaciones que se le da a los operarios para enseñar a estos a identificar los problemas, cuando estos son de alta gravedad, que requieren una inmediata intervención el operario que llena un reporte de averías y llama al técnico para poner en contacto al personal de ingeniería con el de producción para estos tomar las inmediatas soluciones y dar las ordenes respectivas para que el problema sea solucionado.

Mantenimiento autónomo⁶ tiene el siguiente orden:

- 1. Limpieza inicial.** Completamente remueva polvo y contaminantes del equipo.
- 2. Elimine fuentes de contaminación y áreas inaccesibles.** Elimine la fuente de polvo y tierra, mejore la accesibilidad de áreas que son difícil de limpiar y lubricar, reduzca el tiempo para limpieza y lubricación.

⁵ Temas de ingeniería industrial. Mantenimiento Autónomo [citado Agosto 03 de 2013]
Disponible: http://perso.wanadoo.es/idmb/a_ing/temas/mantenimiento_autonomo.htm

⁶ Temas de ingeniería industrial. Mantenimiento Autónomo [citado Agosto 03 de 2013]
Disponible: http://perso.wanadoo.es/idmb/a_ing/temas/mantenimiento_autonomo.htm

- 3. Estándares de limpieza y lubricación.** Seleccione los estándares para limpieza, lubricación y fijación que serán fácilmente mantenidos en intervalos cortos, el tiempo requerido para el trabajo diario/periódico debe ser claramente especificado.
- 4. Inspección general.** Conduzca el entrenamiento sobre las destrezas de acuerdo con los manuales de inspección, encuentre y corrija defectos menores en inspecciones generales, modifique el equipo para facilitar la inspección.
- 5. Inspección autónoma.** Desarrolle y use la lista de verificación para mantenimiento autónomo (estandarice limpieza, lubricación e inspección para fácil aplicación).
- 6. Organización y mantenimiento del lugar de trabajo.** Normalice los elementos del lugar de trabajo para mejorar la eficacia de la labor, calidad del producto y la seguridad del ambiente: reduzca los tiempos de preparación y ajuste, elimine el trabajo en proceso. Ajuste el manejo de materiales en la planta. Colecte y registre datos para la sistematización del proceso. controle los estándares y procedimientos para materias primas, trabajo en proceso, productos, partes de repuesto, plantillas, y herramientas.
- 7. Implemente el programa de mantenimiento autónomo completamente.** Desarrolle metas para la compañía, comprométase en actividades de mejora continua, mejore el equipo basado en el registro del análisis de MTBF (Mean Time Between Failures).

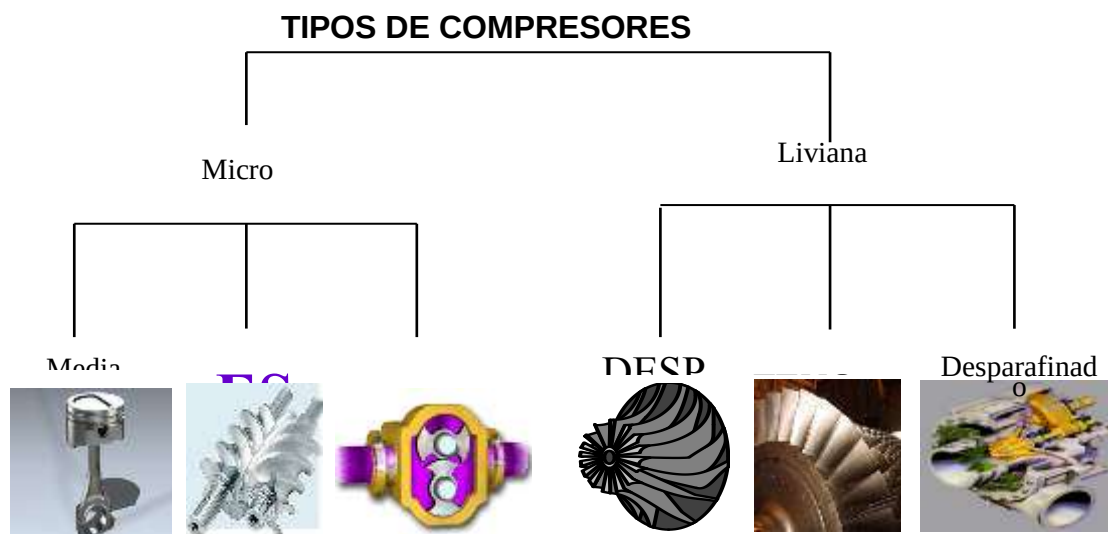
3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

A continuación, se describen de manera muy breve y genéricamente los equipos instalados en las unidades de proceso.

3.1 COMPRESORES

Los compresores son equipos que tienen como finalidad aportar una energía a un fluido compresible (gas o vapor) sobre los que actúan, comprimiéndolos a una presión mayor que la presión de admisión, haciéndolos fluir. En este proceso el fluido sufre un cambio de temperatura y densidad. La energía necesaria para realizar este trabajo es proporcionada generalmente por una turbina o motor. Dependiendo el uso y el tipo de fluido los compresores se clasifican en:

Figura 38. Clasificación de los compresores



Fuente: Presentación fundamentos aire comprimido Ingersoll Rand Marzo de 2010

3.1.1 Compresores de desplazamiento positivo. Comprimen el fluido aumentando la presión directamente por medio de la reducción del volumen en la cámara donde se encuentre confinado el gas. Se tipifican en:

3.1.1.1 Compresores reciprocantes. También llamados alternativos son en su mayoría de efecto simple, es decir un pistón efectúa solamente una carrera de aspiración y una de compresión por cada revolución del cigüeñal.

Por lo general son de doble acción, el pistón posee dos caras, realiza dos veces más trabajo por revolución del cigüeñal, ejecutando dos carreras de aspiración y dos de compresión. Cada cilindro del compresor tiene 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.

La disposición del pistón, biela, cigüeñal y cárter es similar a la de un motor de gasolina, el enfriamiento puede ser por medio de agua aceite o aire

3.1.1.2 Compresores de tornillo. La parte principal del equipo está constituida por un par de elementos de contra rotación con acanaladuras helicoidales que engranan entre sí y que están encerrados en una cubierta ajustada. El aire es aspirado por un extremo por entre las acanaladuras abiertas y 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.

3.1.1.3 Compresores de lóbulos. Son para 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 ejes⁷.

3.1.2 Compresores dinámicos. Imparten velocidad al gas y luego convierte esa velocidad en presión. Aunque están diseñados para relaciones de presión muy elevadas, se usan generalmente para bajas presión y grandes caudales. Se compone esencialmente de una sola pieza móvil, un rotor de aspas, que gira en una cubierta envolvente bien ajustada donde el aire entrante choca contra las aspas que giran con gran rapidez siendo acelerado a una alta velocidad, y que al disminuir la velocidad del flujo por su encuentro con la presión creciente, aumenta la presión estática. Se clasifican en:

3.1.2.1 Compresor centrífugo. Llamado también de flujo radial porque el gas es acelerado hacia afuera a partir del centro de rotación hacia la periferia. Un impulsor acelera el gas y la energía de velocidad se convierte en presión parcial en el impulsor y parcialmente en el difusor, este equipo mantiene una presión constante con gastos variables de caudal.

3.1.2.2 Compresor axial. Consiste en un rotor de forma cilíndrica que gira dentro de una carcasa o estator, el fluido de trabajo circula por un espacio anular entre el rotor y el estator, pasando por hileras de alabes fijos y móviles, estos equipos están diseñados para altos caudales y bajas presiones.

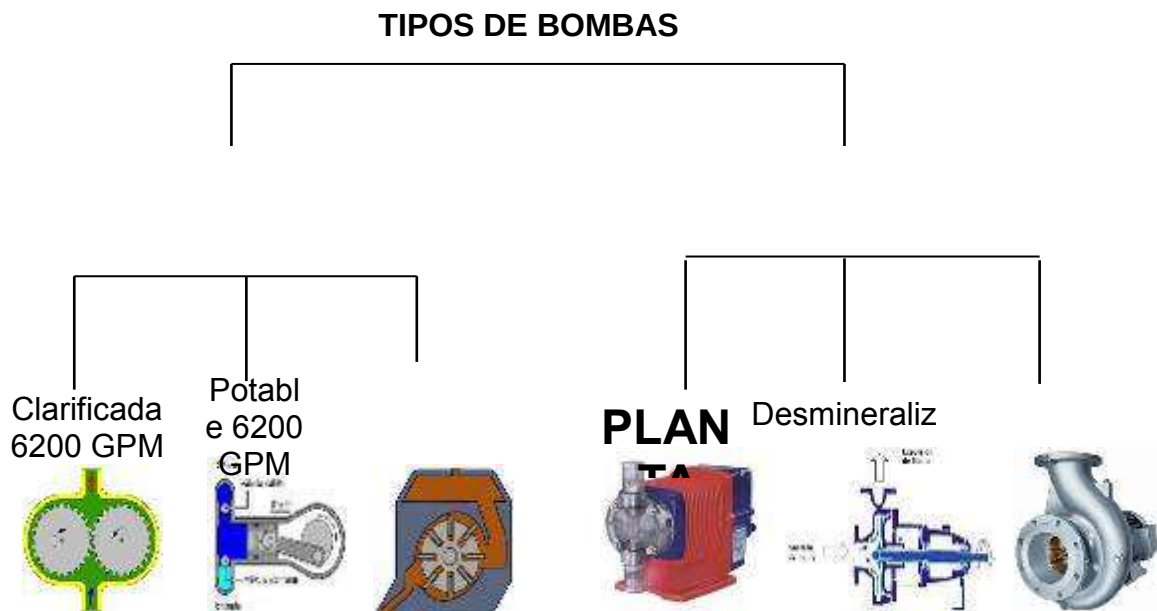
3.1.2.3 Compresor mixto. El equipo está constituido por uno o más impulsores los cuales imparten velocidad al gas. La energía cinética de este se transforma en energía de presión la cual es distribuida en un difusor corriente abajo, el flujo del gas es oblicuo.

3.2 BOMBAS

⁷ MONTAÑO Jorge. Manual de Compresores .Edición 4 Junio 1997 pagina 17-22

Son equipos utilizados para impulsar fluidos incomprensibles de una zona de menor presión o altitud hacia con mayor presión o altitud, mediante la conversión de energía mecánica externa a energía hidráulica, la cual es transferida al líquido aumentando su presión y velocidad. De manera general las bombas se clasifican en dos grupos

Figura 39. Clasificación de las bombas



Fuente: Autores del proyecto

3.2.1 Bombas de desplazamiento o volumen fijo. Se caracterizan porque entregan un producto fijo a velocidad constante. Este tipo de bomba se usa más comúnmente en los circuitos industriales básicos, son de fácil construcción y su costo varía dependiendo la presión de descarga y volumen.

Una característica importante la cantidad relativamente pequeña de pulsación en el volumen producido, la combinación de los engranajes producirán una unidad o pulso de presión.

3.2.1.1 Bombas de engranajes. Consta de dos engranajes cerrados en un compartimiento muy ajustado, los cuales giran en sentido contrario a medida de que giran los dientes de los piñones se produce un vacío forzando al fluido al orificio de entrada de la bomba, pasando por el espacio entre dientes de los engranajes que debido a la rotación continua de estos permite que el fluido llegue hasta el orificio de salida.

Se cuenta con una gran variedad de bombas de engranajes su clasificación depende de la presión de operación, tipo de fluido y diseño.

3.2.1.2 Bombas de pistón. Consta de un pistón deslizante alojado dentro de un cilindro que gira alrededor de un eje, el aumento de presión se realiza por movimiento de empuje que realiza el pistón sobre las paredes del cilindro variando su volumen, este tipo de bombas también son llamadas volumétricas porque cada ciclo del pistón genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, este volumen puede ser fijo o variable. Se cuenta con una gran variedad de bombas de engranajes su clasificación depende de la posición del pistón y su diseño⁸.

3.2.1.3 Bombas de paletas. Son relativamente pequeñas en función de las potencias que desarrollan. Están compuestas por un rotor, paletas deslizantes y un estator y carcasa las paletas se deslizan y aprietan al interior del estator. La cámara de trabajo es llenada entre dos paletas contiguas que durante el giro del rotor el volumen del fluido se aumenta, el cual al conseguir un volumen máximo se cierra para trasladar el fluido a la línea de descarga de la bomba, a la par se inicia el desalojo del fluido de la cámara de trabajo una cantidad igual a su volumen.

⁸Clasificación de bombas hidráulicas total [En línea] .Barrancabermeja. [citado Agosto 07 de 2013]
Disponible

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/clasificacionbombashidraulicas/clasificaciondelasbombashidraulicas.html>

Hay una amplia gama de estos equipos los cuales varía dependiendo el diseño y la presión de operación.

3.2.2 Bombas dinámicas. Son equipos que operan aumentando energía de manera continua con el fin de incrementar la velocidad del fluido dentro de la bomba a valores mayores de los existentes en la descarga de manera subsecuente reducción en velocidad dentro o más allá de la bomba, produce un incremento de presión

3.2.2.1 Bombas especiales. Son relativamente pequeñas en función de las potencias que desarrollan operan con fluidos manejan muy agresivos y corrosivos, las más comunes son la de tipo diafragma las cuales poseen una membrana que combina la acción recíproca de un diafragma de teflón o caucho y las válvulas que abren y cierran de acuerdo al movimiento del diafragma. A veces a este tipo de bomba también se llama bomba de membrana.

3.2.2.2 Bombas periféricas. Son relativamente pequeñas en función de las potencias que desarrollan. Son también conocidas como bombas tipo turbina, regenerativas o de vértice, en este tipo de equipos se producen remolinos en el fluido debido a la alta velocidad que desarrollan sus alabes, dentro del canal anular donde gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía; dentro de este grupo se encuentran las bombas unipaso y multipaso.

3.2.2.3 Bombas centrífugas. Son aquellas en la cual el fluido ingresa por el eje, y sale siguiendo una trayectoria periférica y tangencial. La energía es impartida al fluido por medio de un impulsor rotativo el cual genera una fuerza centrífuga.

Las bombas centrífugas constan de un rotor con pocos alabes fijos, el cual gira dentro de la caja envolvente, generalmente de forma espiral, el fluido ingresa por medio de una línea de succión al por el centro del rotor este hace girar

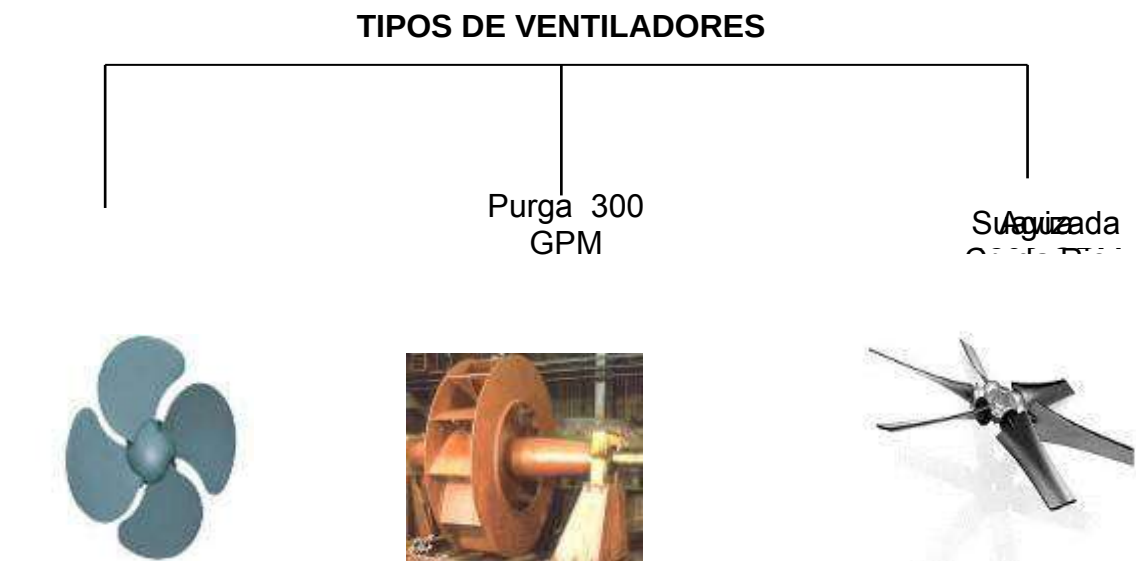
bruscamente la masa líquida gracias a la fuerza centrífuga, haciéndola salir por medio de unos canales situados entre los alabes y la envoltura de la caja donde progresivamente la energía cinética del líquido se transforma en energía potencial de presión.

Estos equipos son ampliamente usados en la industria su uso depende especialmente del tipo de flujo, impulsor y tipo de succión.

3.3 VENTILADORES

Se usan principalmente para producir flujo de gases de un punto a otro, por lo general este gas es el medio de transporte de calor, humedad o de material sólido. Su funcionamiento se basa en el movimiento de un rotor que gira a alta velocidad el cual absorbe energía mecánica y la trasfiere al gas incrementando su energía cinética, transformándola parcialmente en presión estática no mayor de 1.000 mmH₂, este equipo se le considera una turbo maquina.

Figura 40. Clasificación de los ventiladores



Fuente: Autores del proyecto

3.3.1 Ventiladores de hélice. Consiste en una hélice dentro de un anillo o marco de montaje, la dirección del flujo de aire es paralela al eje del ventilador son usados ya sea para trasladar aire de un lugar a otro, introducir aire fresco o hacia un ambiente exterior. Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja, el ancho de las aspas, su ángulo y su velocidad axial son factores que intervienen en su diseño.

3.3.2 Ventiladores centrífugos. En estos equipos la aspiración del aire entra a través del ojo del rotor el cual está ubicada de forma paralela al eje del rotor y después de succionado el aire es arrojado contra la envolvente y el aire es descargado tangencialmente al eje del rotor, es decir que el aire cambia de dirección 90° grados pueden alcanzar presiones estáticas hasta 1500 inHg (pulgadas de agua), y son los empleados en los sistemas de ventilación localizada, el rotor posee una serie de paletas o álabes, con diversas formas y curvaturas, su velocidad de operación está entre las 200 y 5000 rpm.

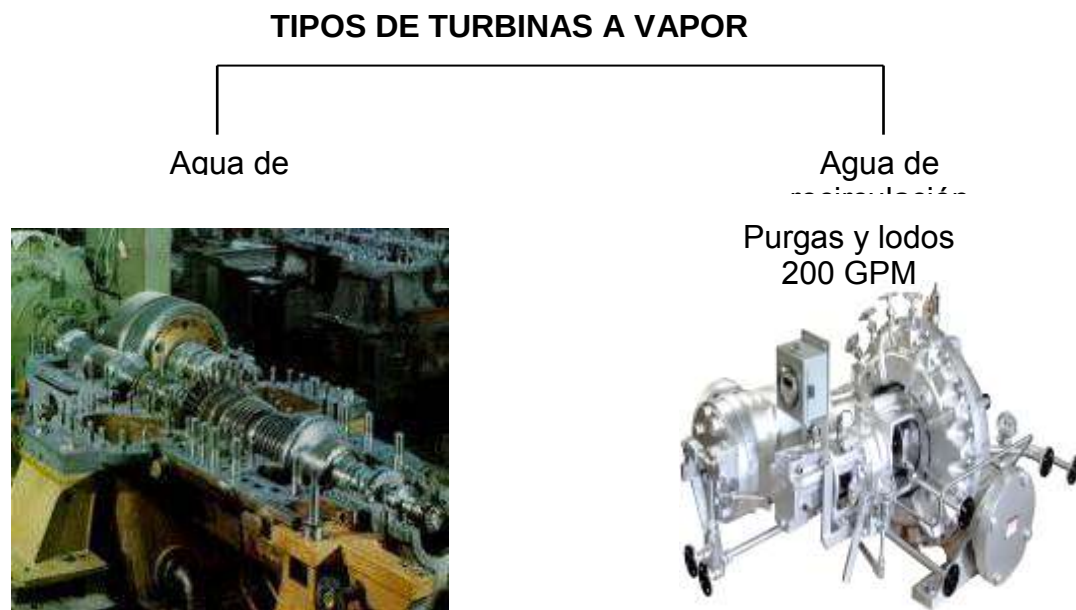
3.3.3 Ventiladores axiales. En estos ventiladores, el movimiento del flujo de aire se realiza conservando la dirección del eje del rotor, ya que esencialmente consiste en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica, además tiene alabes guía en la succión como en la descarga del aire para alinear el flujo.

Se usan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos, pero como la resistencia al flujo es muy baja, requiere generar una presión estática entre de los 5 a 25 inHg por esta razón también se les llama extractores o inyectores de aire.

3.4 TURBINAS A VAPOR

Es una turbomáquina que realiza un trabajo, transformando la energía térmica de un flujo de vapor en energía mecánica. Este flujo de vapor es admitido a alta presión y exhostado a baja presión, esta caída depende del diseño del equipo. Una turbina esta constituida por dos partes principalmente, el rotor que esta conformado por una serie de ruedas de álabes unidas a un eje que constituyen la parte móvil y el estator que también está formado por álabes pero fijos a la carcasa del equipo. Las turbinas es común clasificarlas por su grado de reacción.

Figura 41. Clasificación de las turbina a vapor



Fuente: Autores del proyecto

3.4.1 Turbinas de vapor de acción. Son máquinas de flujo permanente, el vapor entra por las toberas y se expande en el estator donde pierde presión pero aumenta velocidad, durante este proceso una parte de la energía cinética del vapor es transferida a los alabes de la turbina hasta pasar al rotor donde la presión

se mantiene constante pero la velocidad se reduce. En estas turbinas las toberas son fijas y van montadas sobre el estator.

3.4.2 Turbinas de vapor de reacción. En estos equipos el vapor se expande en el rotor manteniendo velocidad y presión constante al pasar por el estator, el cual sólo sirve para dirigir y orientar el flujo de vapor, el tamaño y forma de los alabes incide en la potencia y tamaño de la turbina.

3.5 MOTORES ELÉCTRICOS

Son maquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes. Por lo general los motores eléctricos se clasifican por su alimentación eléctrica:

Figura 42. Clasificación de motores eléctricos



Fuente: Autores del proyecto

3.5.1 Motores de corriente alterna. Se diseñan para trabajar con corriente alterna polifásica, pueden ser síncronos cuyo funcionamiento se asemeja a un alternador trifásico que funciona a la inversa, donde su velocidad de giro es

constante y dependiente de la frecuencia de la red y por el número de pares de polos del motor o de inducción (asíncrono), el cual consta de un rotor formado por una serie de conductores metálicos dispuesto de forma paralela, el cual se encuentra ubicado en el interior de un campo magnético giratorio creado por el estator y este campo magnético giratorio producido por las bobinas inductoras del estator genera unas corrientes inducidas en el rotor, que son las que producen el movimiento. Este tipo de motor es muy usado en la industria⁹.

3.5.2 Motores de corriente continúa. Esta máquina se compone principalmente de dos partes, el estator que brinda un soporte robusto y mecánico al equipo, además este es hueco en el centro. En el estator se ubican los polos (imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro) y un rotor de forma cilíndrica también devanado y con núcleo al que le llega la corriente mediante dos escobillas.

El movimiento giratorio se basa en el empuje obtenido de la repulsión y atracción entre los polos, estos crean campos magnéticos orientados convenientemente en el estator y rotor los cuales generan un par de fuerza que obliga al rotor a que gire. Pueden ser de tres clases: serie, paralelo, compound. Se utiliza para aplicaciones donde se requiere regular continuamente la velocidad del motor

3.5.3 Motores especiales. Su disposición es la de un motor de corriente continua, pero difiere de este en que su alimentación eléctrica es con corriente alterna. Su eficiencia es baja pero ideal para realizar trabajos donde no se requiere mucha potencia, además se limita a períodos cortos de operación para garantizar la integridad de la maquina. Son usados en aspiradoras, taladros de mano y licuadoras entre otros.

⁹ Motores de corriente alterna [En línea] .Barrancabermeja. [citado Agosto 10 de 2013]
Disponible <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.pdf>

3.6 CRISTALIZADORES

El cristalizador de superficie es en realidad un intercambiador de calor de doble tubo, pero bastante inusual, ya que se desempeña como un cristalizador de enfriamiento.

Figura 43. Vista exterior cristalizador



Fuente: Autores del proyecto

Están contruidos con tubos de 10 pulgadas de diámetro nominal de las tuberías internas y tuberías exteriores de mayor diámetro. El espacio anular entre el tubo interior y exterior contiene un fluido de enfriamiento que circula. El fluido de proceso que lleva tubo interior contiene varios elementos raspadores giratorios. Las cuchillas giratorias mezclan el fluido de proceso, raspan la pared del tubo interior y eliminan los depósitos cristalinos que reducen la transferencia de calor.

Figura 44. Diseño interno tubos del cristalizador



Fuente: Autores del proyecto

Estos equipos son especiales y poco comunes, debido a que su uso solo se da en muy pocas industrias, en especial plantas de petroquímica. La parte mecánica rotativa de estos equipos está compuesta esencialmente por un sistema de transmisión mecánica de potencia, el cual lo componen un reductor, cajas de rodamientos, piñones y una cadena.

Figura 45. Vista motor reductor instalado en cristalizadores



Fuente: Autores del proyecto

Figura 46. Vista sistema de transmisión cristalizadores



Fuente: Autores del proyecto

Los raspadores internos están montados sobre bujes en bronce en los extremos de cada sección del eje y son movidos por el motor reductor de velocidad a través de la cadena a las diferentes cajas de rodamientos. En caso de alto torque debido a problemas mecánicos o de taponamiento al interior de los tubos raspados, los ejes disponen de dos pasadores de seguridad, los cuales en caso de presentarse el alto torque, están diseñados para romperse. Para reducir las vibraciones generadas por el sistema de transmisión en los ejes internos de los tubos, cada eje dispone de un acople de elastómero, el cual también puede actuar rompiéndose en caso de frenado mecánico del eje.

Los puntos críticos de estos equipos a tener en cuenta en el desarrollo de esta monografía, son el sistema de transmisión con sus diferentes componentes:

- Reductores de velocidad
- Cajas de rodamientos
- Piñones
- Cadenas

Figura 47. Vista de cajas de rodamientos y acoples cristalizadores



Fuente: Autores del proyecto

3.7 FILTROS ROTATIVOS AL VACÍO

Los filtros rotatorios al vacío son los equipos encargados de realizar la separación física del aceite desparafinado y la cera desaceitada de la unidad de Mek de la planta de parafinas, por medio de vacío generado por un compresor de CO₂.

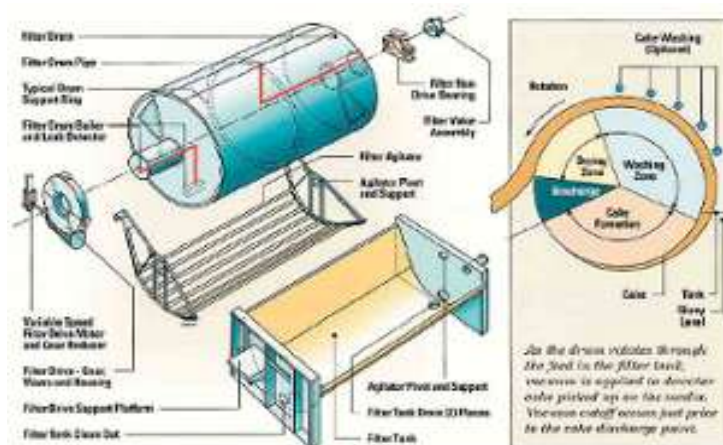
Figura 48. Vista general filtros rotatorios al vacío



Fuente: Dorr Oliver Eimco (Fabricante)

Estos equipos al igual que los Chiller anteriormente descritos, son equipos especiales y de uso solo en Industrias de petroquímica y papelera entre otras.

Figura 49. Esquema de construcción filtros rotatorios al vacío



Fuente: Dorr Oliver Eimco (Fabricante)

Están contruidos por un tambor cilíndrico, el cual dispone de una serie de tuberías que succionan el líquido de la carga por medio de vacío, a través de unas mallas, el cual se direcciona hacia el exterior del tambor, por medio de una válvula máster rotativa también.

El tambor del filtro esta soportado en sus extremos por medio de cojinetes lisos y rodamientos dentro de otro tambor o carcasa fija, la cual ofrece una atmosfera inerte y positiva al tambor con el fin de permitir la formación de vacío al interior del tambor.

Figura 50. Vista sistema de transmisión de filtros rotatorios al vacío



Fuente: Dorr Oliver Eimco (Fabricante)

La rotación del tambor se realiza con la ayuda de un sistema de transmisión de potencia conformado por un motor eléctrico y dos reductores de velocidad de engranajes, los cuales permiten que rota a una velocidad de 0.2 a 1.2 RPM, dependiendo de las condiciones operacionales de la unidad.

La carga filtrada en las mallas del tambor es raspada y enviada hacia un sistema de tornillo sin fin, el cual se encarga de mezclarla con solvente líquido y enviarla hacia otra etapa del proceso.

El equipo en general tiene como puntos críticos para el desarrollo de este trabajo los siguientes componentes:

- Reductores de velocidad de engranajes.
- Sellos mecánicos.
- Sistema de lubricación

3.8 SISTEMAS AUXILIARES DE LUBRICACIÓN

En esta sección estudiaremos los sistemas auxiliares de lubricación, los cuales operan asociados a los equipos.

3.8.1 Lubricación. La finalidad principal de la lubricación es reducir la temperatura, fricción y el desgaste en el interior de los rodamientos que podrían causar fallas mecánicas prematuras.

3.8.1.1 Objetivos de la lubricación.

- Reducir el rozamiento entre dos superficies manteniendo una película de aceite entre ellas.
- Disminuir los efectos de vibración del roce.
- Disipar calor generado.
- Proteger las superficies contra la oxidación.
- Arrastra las inevitables partículas desprendidas por desgaste

3.8.1.2 Tipos de lubricación.

- Lubricación hidrodinámica.
- Lubricación límite.
- Lubricación hidrostática.

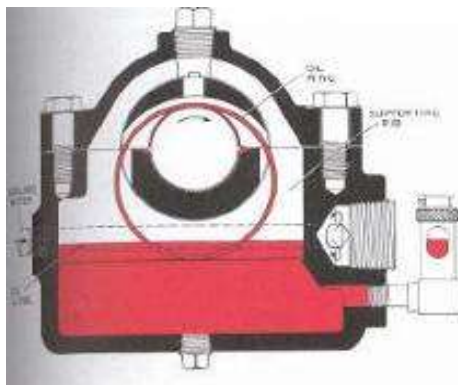
3.8.1.3 Lubricantes más usados.

- Aceites y grasas minerales (derivados del petróleo).
- Aceites y grasas animales o vegetales.
- Lubricantes sólidos minerales.
- Lubricantes sintéticos

3.8.1.4 Métodos de lubricación más comunes. Los sistemas de lubricación más usados en estos equipos industriales, anteriormente descritos, son:

- **Lubricación por salpique:** Muy usado en mecanismos cerrados y consiste en que una parte de un componente de este se sumerge parcialmente y por su movimiento salpica y lubrica al resto de los componentes. Uso en Bombas y turbinas

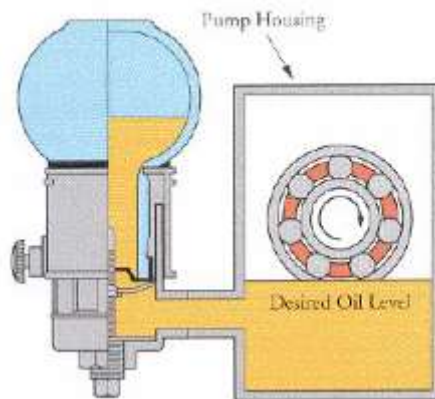
Figura 51. Sistema de lubricación por salpique



Fuente: Autores del proyecto

- **Lubricación por nivel constante.** Una parte del rodamiento se sumerge y por su movimiento salpica y lubrica el resto de los componentes. Uso en bombas y reductores

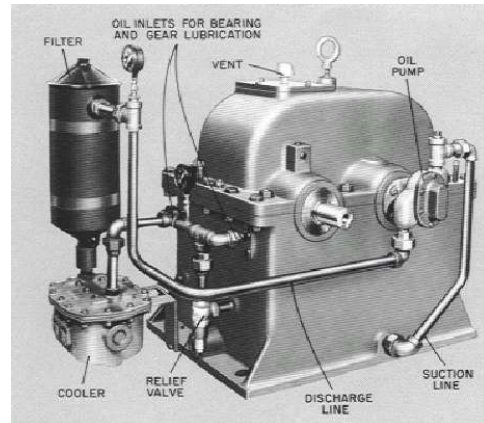
Figura 52. Sistemas de sistema de lubricación por nivel constante



Fuente: Autores del proyecto

- **Lubricación por circulación forzada.** Este sistema de lubricación opera con la ayuda de una bomba que no solo lubrica, sino además refrigera los componentes. El sistema tiene controles de presión, sistema de filtros y enfriamiento del aceite lubricante.

Figura 53. Sistemas de lubricación por circulación forzada



Fuente: Autores del proyecto

- **Lubricación por goteo.** Este sistema se opera con la ayuda de una bomba que envía aceite en gotas a los diferentes puntos de lubricación del equipo.

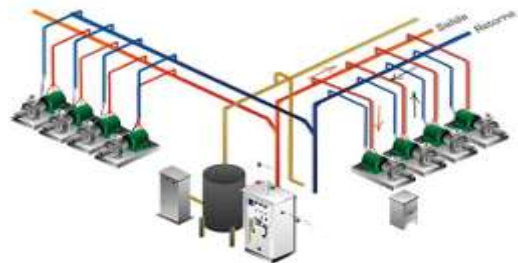
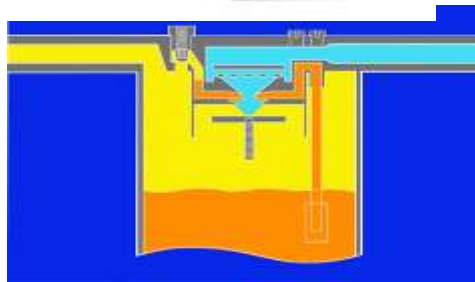
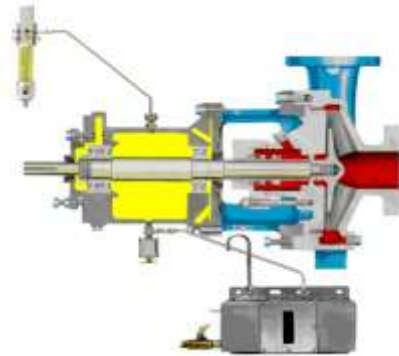
Figura 54. Sistemas de lubricación por goteo



Fuente: Autores del proyecto

- **Lubricación por niebla.** Este sistema precalienta una corriente de aire seco que arrastra por efecto de vórtice partículas atomizadas de aceite para generar una niebla y es transportada por tuberías hasta los dispositivos instalados en los equipos.

Figura 55. Sistemas de lubricación por niebla



Fuente: Autores del proyecto

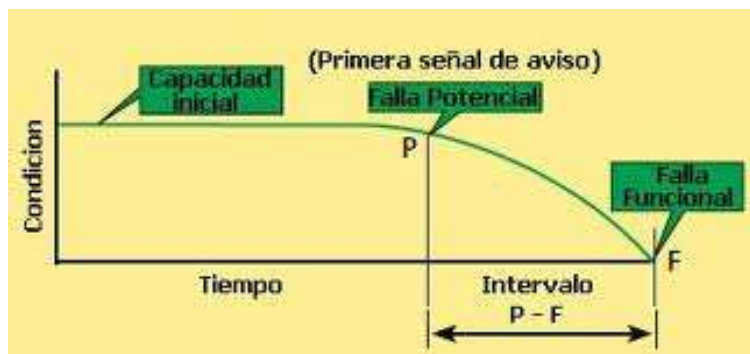
- **Beneficios.** Sistemas de lubricación por niebla
- **Confiabilidad de producción.** Al aumentar la confiabilidad de los equipos de proceso, se incrementa la confiabilidad operativa de la planta.
- **Seguridad del personal y las instalaciones.** La automatización reduce la exposición innecesaria del personal a vapores tóxicos (H₂S, HF, hidrocarburos u otros) y riesgos de accidentes en las plantas de proceso, al disminuir rutinas de lubricación y mantenimiento.
- **Ahorro de Agua de enfriamiento.** La disipación de temperatura por el flujo continuo de niebla lubricante en este sistema, reduce sustancialmente la necesidad de agua de enfriamiento en las cajas de rodamientos. modernización. Reducción de fallas hasta de: 50% en bombas centrífugas cajas de engranes; 75% en motores eléctricos; 80%, entre otros equipos.
- **Ventajas.**
 - Excelente lubricación Elasto-Hidro-Dinámica (EHD). Disminución de los coeficientes de fricción.
 - Disminución de las temperaturas de operación (15%). Disminución del consumo de lubricante
 - Disminuye las fallas de sellos mecánicos por vibración.

4. MODOS DE FALLA PRESENTADOS EN EQUIPOS ROTATIVOS INSTALADOS

En los últimos tiempos, se ha empezado a hablar del concepto de confiabilidad, en la medida que se comprendió que no era suficiente lograr una alta disponibilidad, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de falla de las máquinas críticas durante la operación, es decir lograr conseguir una alta confiabilidad.

Las consecuencias de una falla pueden ir desde el lucro cesante o pérdida de producción, pasando por las horas hombre improductivas de operaciones hasta la degradación y rotura de las propias máquinas que pueden afectar a personas, instalaciones o el ambiente. Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad si implica una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria, el proceso o equipos, presentan una baja probabilidad de falla.

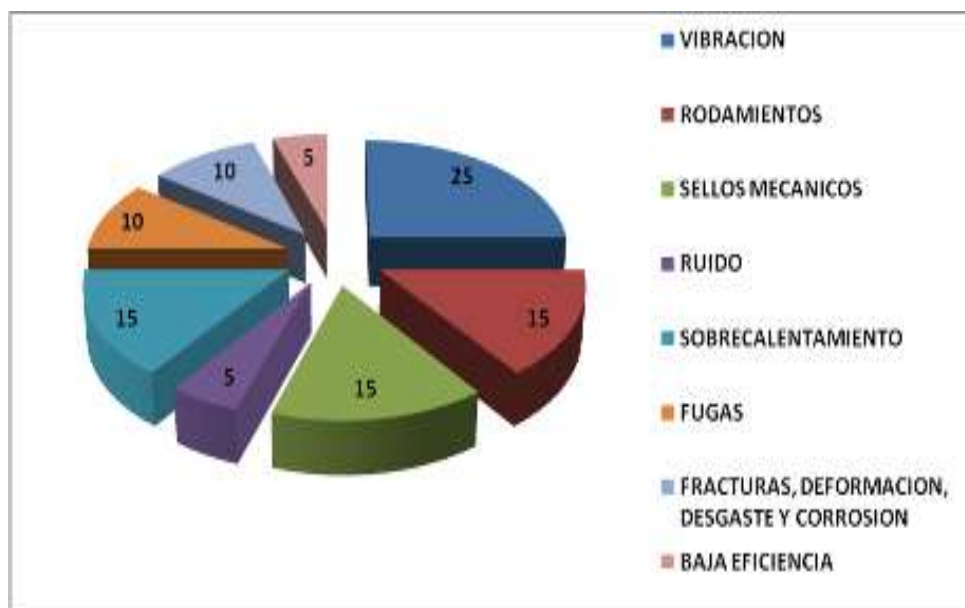
Figura 56. Curva PF



Fuente: Autores del proyecto

Para el desarrollo de esta monografía, estudiaremos los modos de falla más presentados en los equipos rotativos instalados en las unidades, los cuales se resumen en la siguiente gráfica.

Figura 57. Modos de falla presentados en equipos rotativos



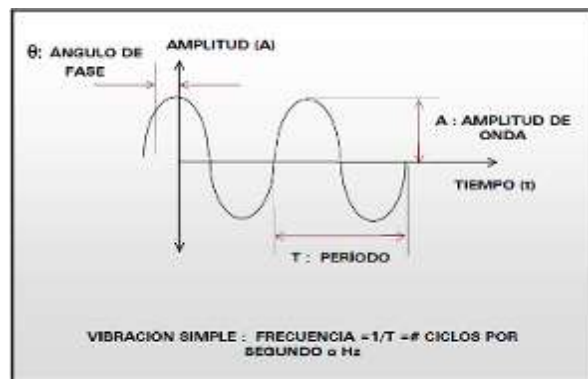
Fuente: Autores del proyecto

4.1 VIBRACIÓN

En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina significa la suma vectorial de la vibración de cada uno de sus componentes.

4.1.1 Vibración simple. La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras.

Figura 58. Onda sinoidal de vibración

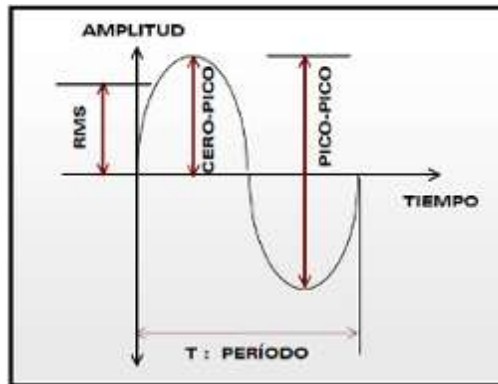


Fuente: www.a-maq.com

El recíproco del período es la frecuencia (es decir $F=1/P$) la cual generalmente es dada en Hz (ciclos por segundo) o también ciclos por minuto (CPM). La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es cuanta cantidad de movimiento puede tener una masa desde una posición neutral. La amplitud se mide generalmente en valores pico-pico para desplazamiento y valores cero-pico y RMS para velocidad y aceleración. La fase realmente es una medida de tiempo entre la

separación de dos señales, la cual puede ser relativa o absoluta. Generalmente es encontrada en grados.

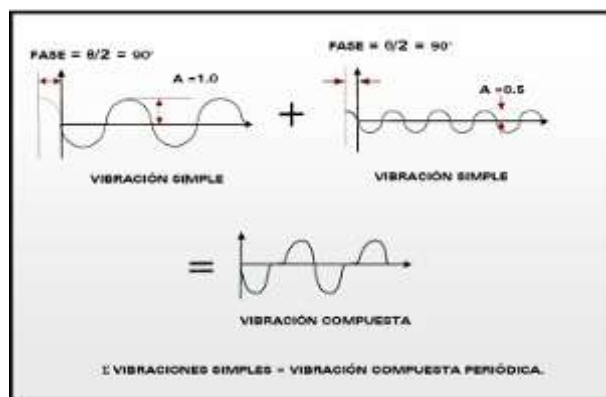
Figura 59. Valores onda sinoidal de vibración



Fuente: www.a-maq.com

4.1.2 Vibración compuesta. Una señal compuesta es una sumatoria de varias señales sinusoidales que comprenden cada uno de los componentes que se encuentran en la máquina, más todos los golpeteos y vibraciones aleatorias.

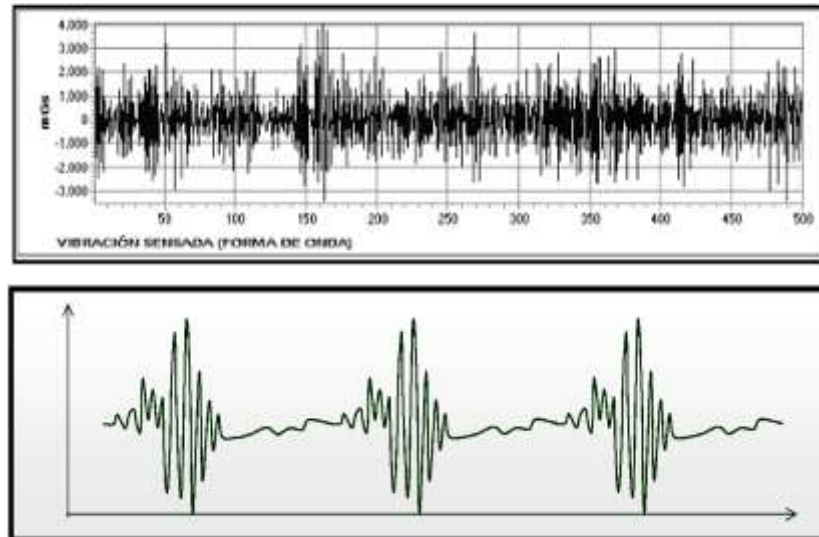
Figura 60. Vibración compuesta



Fuente: www.a-maq.com

4.1.3 Vibración aleatoria y golpeteos intermitentes. Además de las vibraciones simples, también existen otros tipos de vibraciones como son la vibración aleatoria y los golpeteos intermitentes. La vibración aleatoria no cumple con patrones especiales que se repiten constantemente o es demasiado difícil detectar donde comienza un ciclo y donde termina. Estas vibraciones están asociadas generalmente turbulencia en blowers y bombas, a problemas de lubricación y contacto metal- metal en elementos rodantes o a cavitación en bombas. Este tipo de patrones es mejor interpretarlos en el espectro y no en la onda en el tiempo. Los golpeteos intermitentes están asociados a golpes continuos que crean una señal repetitiva. Estas se encuentran mas comúnmente en los engranajes, en el paso de las aspas de un impulsor o ventilador entre otros. Este tipo de señales tiende a morir debido a la amortiguación del medio.

Figura 61. Vibración aleatoria y golpeteos intermitentes

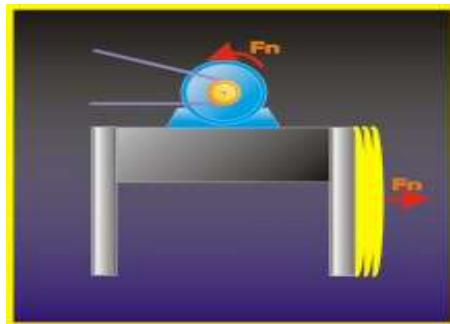


Fuente: www.a-maq.com

4.1.4 Frecuencia natural y resonancias. La frecuencia natural presenta un carácter muy diferente a las anteriormente nombradas, debido a que depende de las características estructurales de la máquina, tales como su masa, su rigidez y su amortiguación, incluyendo los soportes y tuberías adjuntas a ella. No depende de la operación de la máquina, a no ser que la rigidez sea función de la velocidad. Si la frecuencia natural es excitada por un agente externo la amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios que a corto o mediano plazo pueden llegar a ser catastróficos. Esto es lo que se conoce con el nombre de **resonancia**.

Cuando una resonancia es detectada, es necesario identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación.

Figura 62. Resonancia

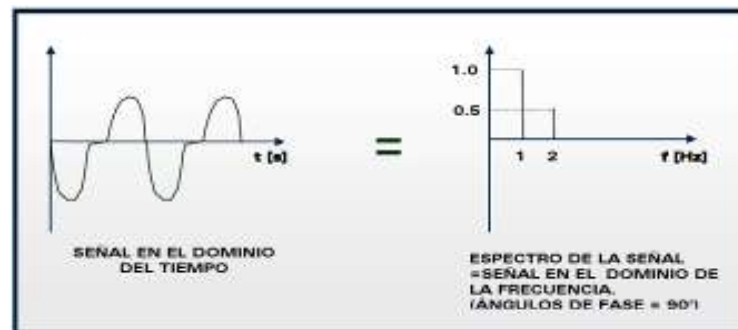


Fuente: www.a-maq.com

4.1.5 Transformada de Fourier. Hasta ahora sólo hemos visto vibraciones en el dominio del tiempo, que son señales directas de la máquina, en estas señales se encuentra plasmada toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina. Pero hay un problema a la hora de realizar un

diagnóstico: estas señales están cargadas de mucha información en forma muy compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, por lo cual prácticamente queda imposible distinguir a simple vista sus comportamientos característicos. Existen otras formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar esta señal en el dominio de la frecuencia.

Figura 63. Señal de vibración en el dominio del tiempo y su equivalente en el dominio de la frecuencia



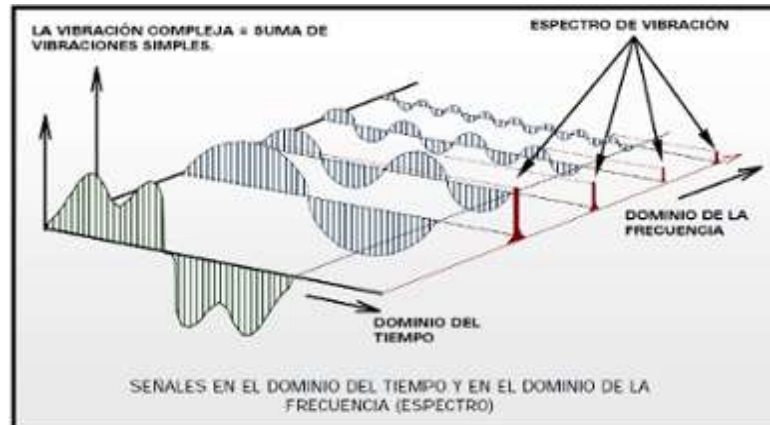
Fuente: www.a-maq.com

Esta es la gráfica de Amplitud vs. Frecuencia y es conocida con el nombre de **espectro**. Esta es la mejor herramienta que se tiene actualmente para el análisis de maquinaria. Fue precisamente el matemático francés **Jean Baptiste Fourier** (1768 – 1830) quien encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos. Entonces lo que hace un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia.

En la siguiente ilustración de tres dimensiones puede notarse claramente la señal compleja (en color verde), capturada desde una máquina. A dicha señal se le calculan todas las series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas

en azul) y por último se muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo). La figura muestra una señal en el dominio del tiempo y su correspondiente en el dominio de la frecuencia.

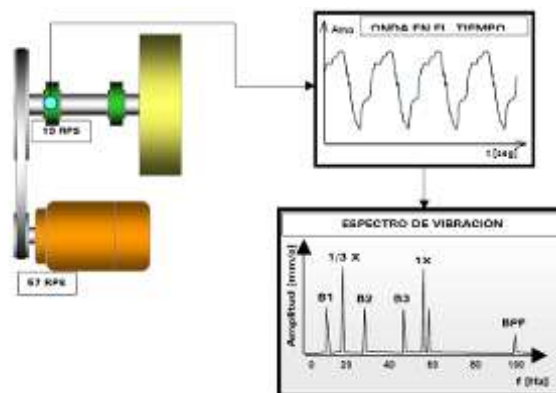
Figura 64. Espectro con señales en el dominio del tiempo y frecuencia.



Fuente: www.a-maq.com

4.1.6 Análisis espectral. Cuando se mide vibración en una máquina, se genera una información muy valiosa que es necesario analizar. El éxito de este análisis depende de la correcta interpretación que se le de a los espectros capturados con respecto a las condiciones de operación en que se encuentra la máquina. A continuación se muestra un esquema de cómo sería la captura de la información desde una máquina para luego ser analizada.

Figura 65. Esquema análisis espectral



4.1.7 Desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración. Existen varias variables para medir la amplitud de vibración de un espectro. Para vibraciones mecánicas lo más común es medirlas en unidades de desplazamiento, velocidad y aceleración. Cada una presenta ventajas respecto de las otras, por tanto es recomendable para el analista revisarlas todas.

La medida en desplazamiento (mm ó μ m en SI, mils en S. Inglés) es importante para reconocer patrones que están a muy baja frecuencia. Los picos de vibración que están al comienzo del espectro son mejor resaltados. Esta es una medida especial para hallar anomalías en chumaceras de aceite, muy utilizadas en turbomaquinaria.

La medida en velocidad (mm/s en SI, in/s en S. Inglés) permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente, como por ejemplo desbalanceo, desalineación, holgura mecánica, fricciones abrasivas, resonancias, pulsaciones, engranajes de pocos dientes, sistema de poleas, aspas de bombas y ventiladores. Esta variable de velocidad es importante para resaltar picos de bajas y medias frecuencias.

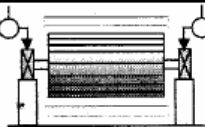
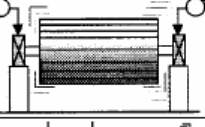
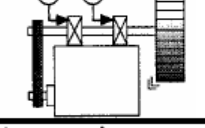
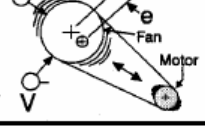
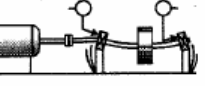
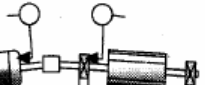
La medida en aceleración (mG o G en ambos sistemas de medición) permite reconocer patrones asociados a contactos metal-metal y fricciones abrasivas, problemas en engranajes, cavitación, entre otros. Esta variable resalta picos de vibración de medias y altas frecuencias, y es muy utilizada para la detección prematura de fallas en chumaceras y rodamientos, y otros componentes como engranajes.

4.1.8 Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas.
El cuadro de diagnóstico vibracional mostrado en la figura, es un medio probado

para ayudar en el análisis y diferenciación entre los muchos problemas que se pueden presentar en la maquinaria, el cual cubre 17 tipos de problemas que fueron subdivididos dentro de 40 categorías. Básicamente la ilustración del cuadro, parte del siempre problema a 1X RPM y continua con el diagnóstico de problemas mas complejos.

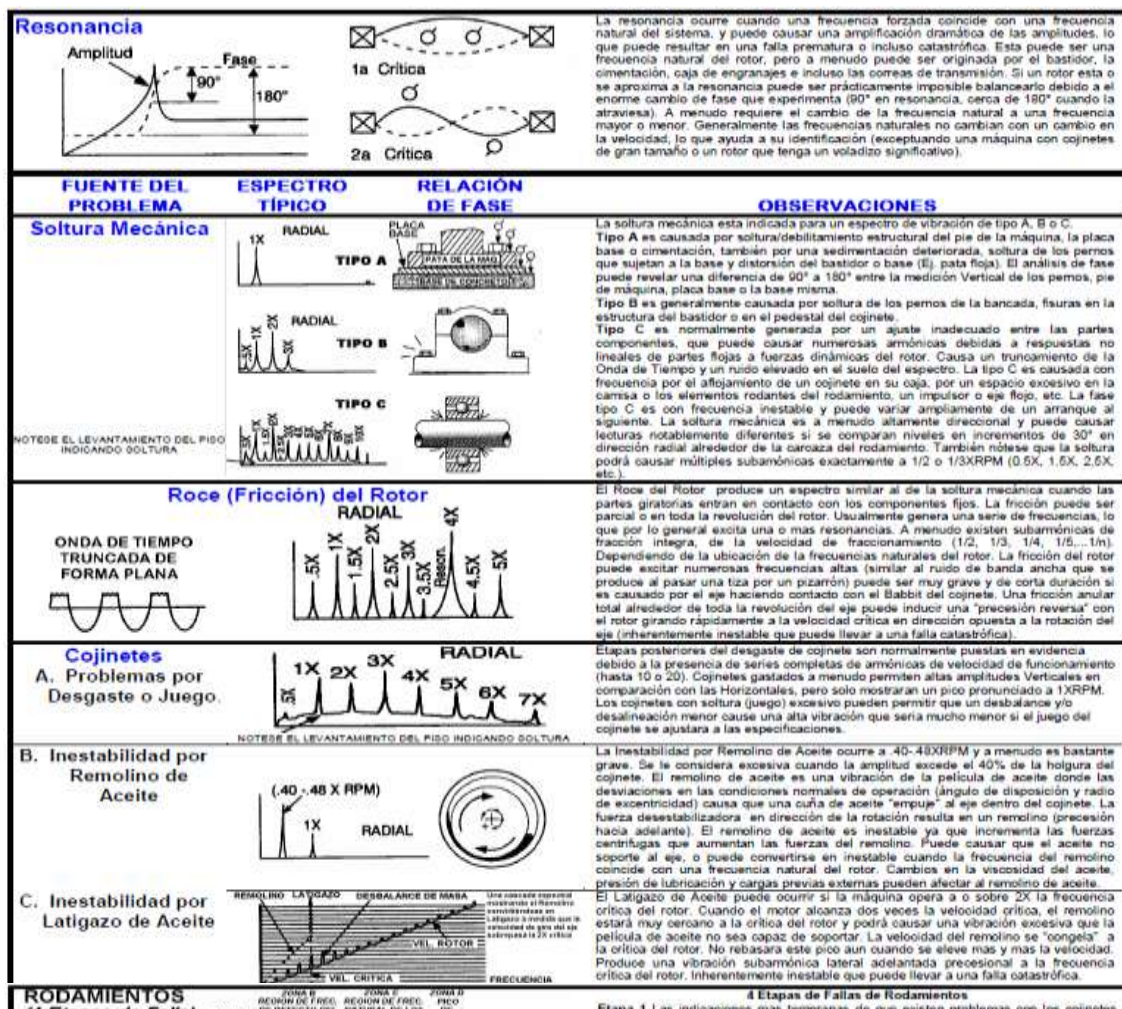
Usando el análisis de fases, se entiende como la máquina esta vibrando y en cual de las direcciones y cual fase es mas pronunciada. Finalmente, la columna de observaciones (Remarks) proporciona y explica información complementaria de los problemas de las máquinas, síntomas y diagnósticos.

Figura 66. Patologías de vibración básicas, clasificadas para maquinas rotativas

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
Desbalanceo A. Desbalanceo Estático	1X RADIAL		El Desbalanceo Estático estará en fase y estable. La amplitud debido al desbalance aumentará por el cuadrado de la velocidad incrementada estando por debajo de la primera crítica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = una vibración a 9X mayor). 1XRPM siempre estará presente y por lo general domina el espectro. Puede ser corregido colocando un solo peso de corrección de balance en un plano en el Centro de Gravedad del Rotor (CG). Una diferencia de fase aproximadamente de 0° debe existir entre los Horizontales OB&IB, así como entre las Verticales OB&IB. Usualmente también ocurre una diferencia de fase aproximadamente de 90° entre las lecturas de fase Horizontal y Vertical en cada rodamiento del rotor desbalanceado ($\pm 30^\circ$).
B. Desbalanceo de Par de Fuerzas	1X RADIAL		Un Desbalanceo de Par de Fuerzas resulta en un desfase de 180° del movimiento en el mismo eje. 1XRPM siempre esta presente y normalmente domina el espectro. La amplitud varía por el cuadrado de la velocidad incrementada por debajo de la primera velocidad crítica del rotor. Puede causar una alta vibración axial así como radial. La corrección requiere la colocación de los pesos de balanceo en al menos 2 planos. Note que debe existir una diferencia aproximada de 180° entre las Horizontales OB&IB así como entre las Verticales OB&IB. También usualmente ocurre una diferencia aproximada de 90° entre las lecturas Horizontal y vertical en cada rodamiento ($\pm 30^\circ$).
C. Desbalanceo Dinámico	1X RADIAL		El Desbalanceo Dinámico es el tipo de desbalanceo que se consigue mas comúnmente y es una combinación de Desbalanceo estático y de par de fuerzas. 1XRPM domina el espectro y realmente necesita una corrección en 2 planos. Aquí la diferencia de fase Radial entre los rodamientos externos e internos puede estar en cualquier lugar del rango entre 0° y 180°. Sin embargo, la diferencia de fase Horizontal debe de cuadrar usualmente con la diferencia de fase Vertical, cuando se comparan las mediciones de los rodamientos externos e internos ($\pm 30^\circ$). Si el desbalance predomina una diferencia de fase de 90° resulta entre las lecturas Horizontal y Vertical de cada rodamiento ($\pm 40^\circ$).
D. Desbalanceo de Rotor en Voladizo	1X AXIAL & RADIAL		El Desbalanceo de Rotor en Voladizo causa un alto 1XRPM en las direcciones Axial y Radial. Las lecturas Axiales tienden a estar en fase mientras que las lecturas de fase Radial pueden estar inestables. Sin embargo, las diferencias de fase Horizontal usualmente cuadrar con las diferencias de fase Vertical en el rotor desbalanceado ($\pm 30^\circ$). Los Rotores en Voladizo tienen desbalances Estáticos y de Par de Fuerzas, cada uno de los cuales requiere una corrección. Así, los pesos de corrección casi siempre tendrán que ser colocados en dos planos para contrarrestar ambos desbalances, el estático y el de par de fuerzas.
Rotor Excéntrico	1X FAN 1X MOTOR RADIAL		La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación esta fuera de la línea de centro geométrico de una ptolea, engranaje, rodamiento, armadura del motor, etc. La vibración mayor ocurre a 1XRPM del componente excentrico en una dirección a través de la línea que une el centro de ambos rotores. Comparativamente, las lecturas de fase Horizontales y verticales usualmente difieren 0° ó 180° (cada una de las cuales indica el movimiento en línea recta). El intentar balancear un rotor excentrico resulta en reducir la vibración en un dirección radial pero incrementarla en la otra (dependiendo de la cantidad de excentricidad).
Eje Doblado	1X AXIAL 2X		Los problemas de Eje Doblado causan una alta vibración axial con un diferencia de fase axial tendiendo a 180° en el mismo componente de la máquina. La vibración dominante ocurre normalmente a 1X si esta doblado cerca del centro del eje, pero ocurre a 2X si esta doblado cerca del acople. (ser cuidadoso al tomar en cuenta la orientación del transmisor para cada medición axial si usted voltea la dirección de la probeta). Use un indicador de dial para confirmar el doblez de eje.
Desalineación A. Desalineación Angular	1X 2X AXIAL 3X		La Desalineación Angular se caracteriza por una alta vibración axial, 180° fuera de fase a través del acople típicamente tendrá una vibración axial en 1XRPM y 2XRPM. Sin embargo no es inusual que tanto 1X, 2X ó 3X domine. Estos síntomas también pueden indicar problemas de acople. Una severa desalineación angular puede exotar muchas armónicas de 1XRPM. A diferencia de la soltura mecánica de tipo C, estas múltiples armónicas no tienen típicamente un incremento de ruido en el piso del espectro.

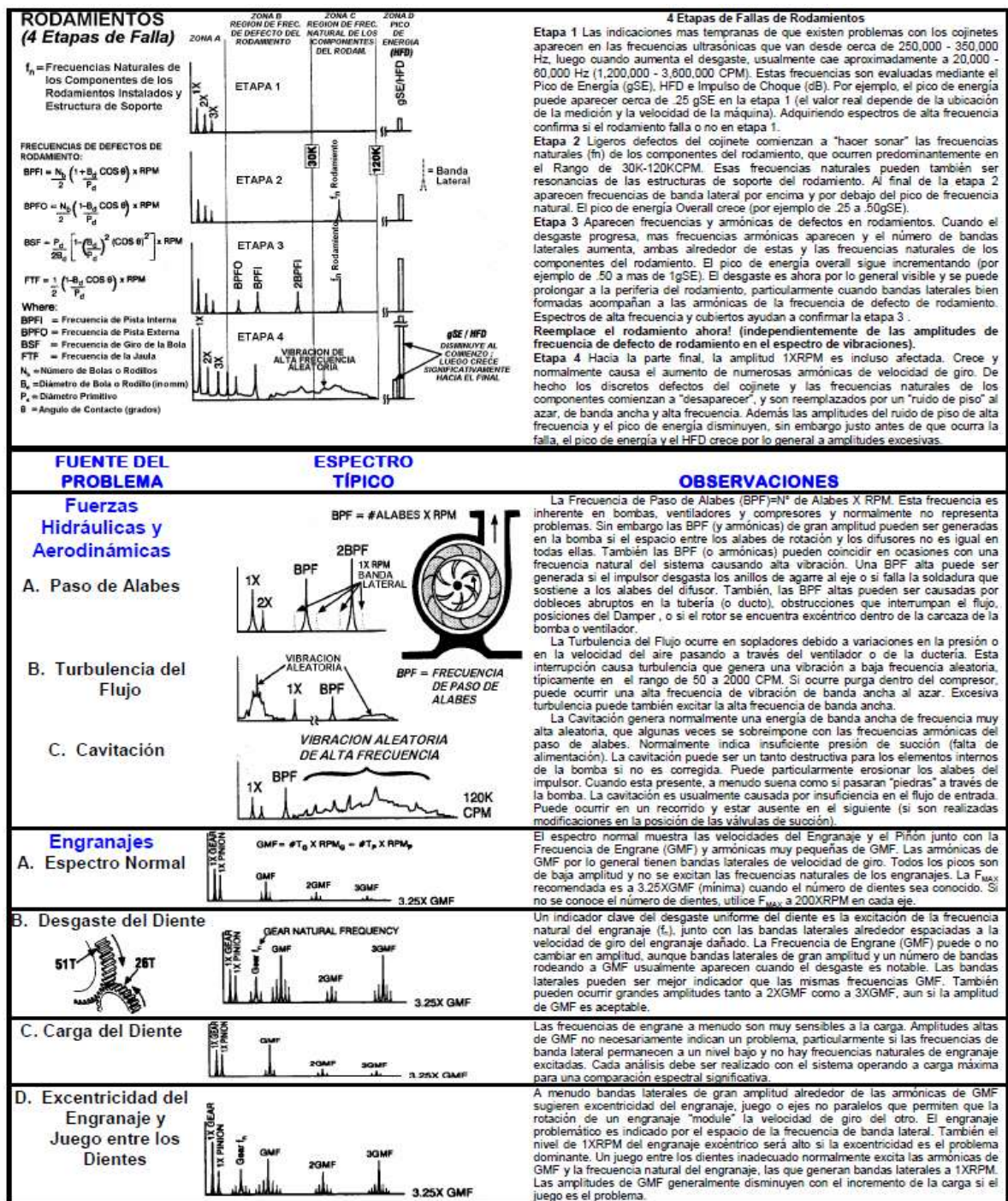
Fuente: www.a-maq.com

Figura 67. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas



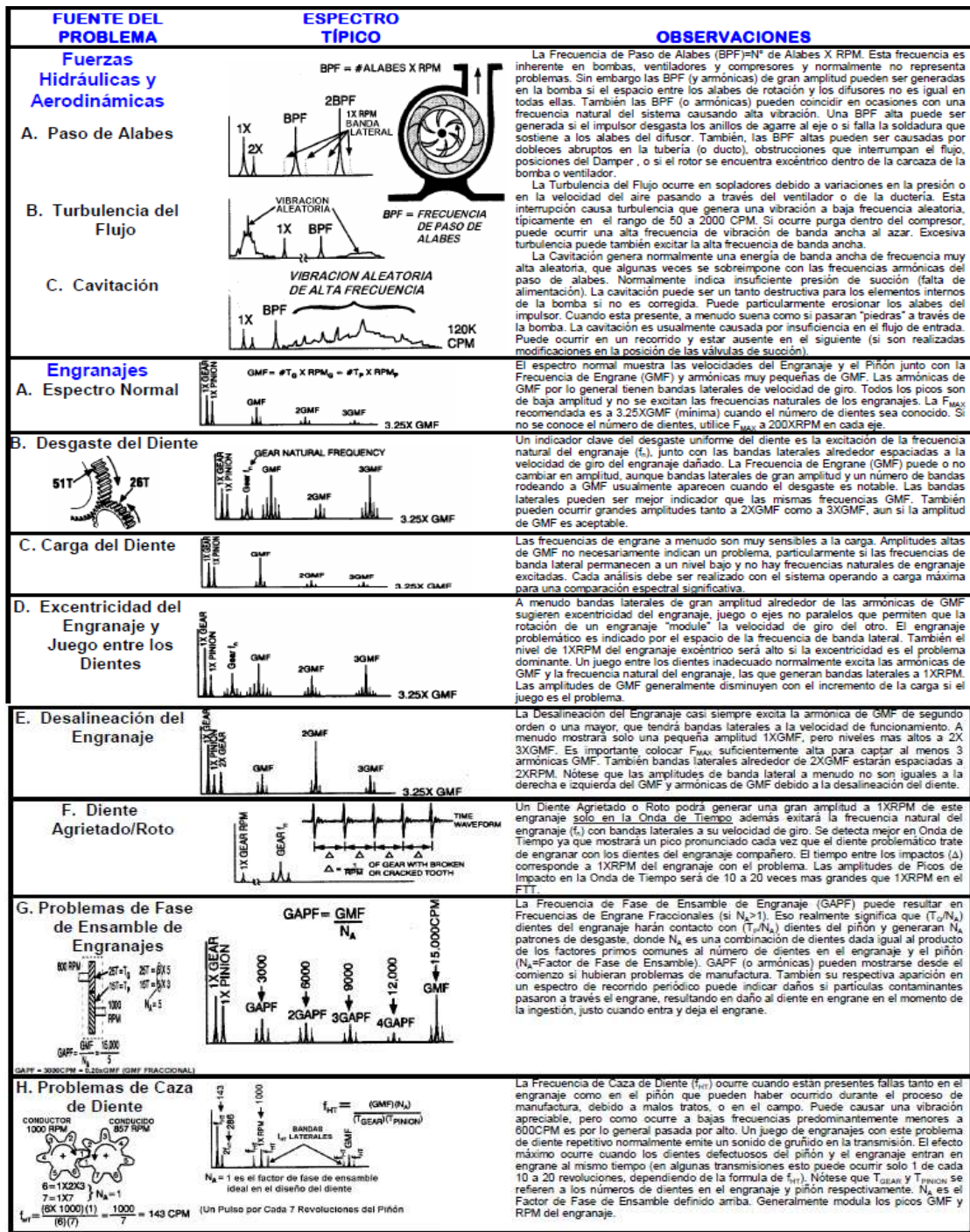
Fuente: www.a-maq.com

Figura 68. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas



Fuente: www.a-maq.com

Figura 69. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas



Fuente: www.a-maq.com

Figura 70. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	OBSERVACIONES
I. Soltura del Rodamiento		Una holgura excesiva de los rodamientos que soportan los engranajes puede no solo excitar muchas armónicas de la velocidad de giro, sino también puede causar respuestas de gran amplitud en GMF, 2GMF y/o 3GMF. Estas altas amplitudes de GMF son actualmente respuestas a, y no la causa de, soltura de los rodamientos que soportan a los engranajes. Esta soltura excesiva puede ser causada por desgaste excesivo del rodamiento o por un montaje inadecuado del mismo durante la instalación. Si se deja sin corregir, puede causar un desgaste excesivo del engranaje y daño a otros componentes.
Motores de Inducción AC A. Excentricidad del estator, Laminaciones en Corto o Hierro Flojo		Los problemas del estator generan alta vibración a 2X frecuencia de línea (2F _L). La excentricidad del estator produce un entrehierro fijo irregular entre el rotor y el estator que produce una vibración muy direccional. El entrehierro diferencial no debe exceder el 5% en los motores de inducción y 10% en los motores sincrónicos. Una pata floja y bases dobladas pueden producir un estator excentrico. Un hierro flojo es debido al debilitamiento o aflojamiento del soporte del estator. Los cortos circuitos en las laminas del estator pueden causar un calentamiento irregular localizado, que puede deformar al mismo estator. Esto produce vibración térmicamente inducida que puede crecer significativamente con el tiempo de operación causando deformación del estator y problemas del entrehierro.
B. Rotor Excéntrico (Entrehierro Variable) F _L = Frec. de Línea Eléctrica N _s = Veloc. de Sinc. = 120 F _L / P F _s = Frec. de Desliz. = N _s - RPM F _p = Frec. Paso de Polo = F _s x P P = # de Polos		Los Rotores Excéntricos producen un entrehierro de rotación variable entre el rotor y el estator, lo que induce una vibración pulsante (normalmente entre 2F _L y la armónica de velocidad de giro más cercana). A menudo requiere de un "zoom" del espectro para separar 2F _L y la armónica de la velocidad de giro. Los rotores excéntricos generan una 2F _L rodeada de bandas laterales de frecuencia de Paso de Polo (F _p), así como bandas laterales F _p alrededor de la velocidad de giro. F _p aparece por sí sola a baja frecuencia (Frecuencia de paso de Polo = Frecuencia de Deslizamiento X #Polos), los valores comunes del rango F _p va de 20 a 120 CPM (0.3 - 2.0 Hz). Una pata floja o una desalineación a menudo inducen un entrehierro variable debido a la distorsión (realmente un problema mecánico; no eléctrico).
C. Problemas del Rotor Estator Barras del Rotor Rotor Rotor de 2 Polos Entrehierro Conductores Campo Magnético		Unas Barras del rotor rotas o agrietadas o anillos en corto; juntas malas entre las barras del rotor y los anillos en corto o laminaciones del rotor en corto pueden producir una vibración a velocidad de giro 1X con bandas laterales a la frecuencia de paso de polo (F _p). Además estos problemas generarán a menudo bandas laterales de paso de polo F _p alrededor de las segunda, tercera, cuarta y quinta armónica de la velocidad de giro. Barras del rotor flojas o abiertas con son indicadas por bandas laterales a 2X la frecuencia de línea (2F _L) rodeando a la Frecuencia de Paso de Barra del Rotor (RBPF) y/o sus armónicas (RBPF = Número de barras X RPM). A menudo causaran altos niveles a 2XRBPF con solo una pequeña amplitud a 1XRBPF. Un arqueamiento inducido eléctricamente entre las barras flojas del rotor y los anillos a menudo mostraran altos niveles a 2XRBPF (con bandas laterales a 2F _L); pero muy poco o casi ningún incremento en amplitud a 1XRBPF.
D. Problemas de Fase (Conector Flojo)		Los problemas de Fase debidos a conectores flojos o rotos pueden causar una excesiva vibración a 2X la frecuencia de línea (2F _L) que tendrá unas bandas laterales alrededor espaciadas a 1/3 de la frecuencia de línea (1/3 F _L). Los niveles a 2F _L pueden exceder 1.0 in/sec sino se corrige. Este es particularmente un problema si el conector defectuoso solo hace contacto esporádicamente. Los conectores flojos o rotos deben ser reparados para prevenir una falla catastrófica.
Motores AC Sincrónicos (Espiras del Estator Flojas)		Las Espiras del Estator flojas en un motor sincrónico generarán alta vibración a la frecuencia de paso de espira (CPF) que es igual al número de espiras del estator X RPM (#Espiras del Estator = #Polos X #Espiras/Polo). La Frecuencia de Paso de Espira estará rodeada por bandas laterales a 1X RPM. Los problemas de motor sincrónico también serán indicados por altos picos de amplitud a aprox. 60,000 a 90,000 CPM, acompañados de bandas laterales a 2F _L . Tomar al menos un espectro a 90,000 CPM en cada carcasa de rodamiento del motor.
Motores y Controladores DC A. Espectro Normal		Numerosos problemas de Motores y Controladores DC pueden ser detectados por análisis de vibración. Los Motores con Circuito Rectificado a Onda Completa (6SCR) generan una señal a 6X la frecuencia de línea (6F _L = 360 Hz = 21,600 CPM); mientras que los Motores con Circuito Rectificado a Onda Media (3SCR) la generan a 3X la frecuencia de línea (3F _L = 180 Hz = 10,800 CPM). La Frecuencia de Disparo SCR está presente normalmente en el Espectro de Motor DC, pero a baja amplitud. Nótese la ausencia de otros picos múltiples de F _L .
B. Arrollado de Armadura Roto, Problemas de Aterramiento o Falta de Entonación del Sistema		Cuando los espectros de Motor DC están dominados por altos niveles a SCR 2XSCR normalmente indica tanto un Arrollado de Armadura Roto como Falta de Entonación (Tuning) del Sistema. Solo una entonación apropiada podrá disminuir las vibraciones en SCR y 2XSCR significativamente, si el problema de control es predominante. Altas amplitudes a estas frecuencias normalmente se encontraran sobre .10 in/sec a 1XSCR y .04 in/sec a 2XSCR de Frec. de disparo.
C. Tarjeta de Disparo Defectuosa o Fusible Quemado		Cuando una Tarjeta de Disparo falla en disparar, 1/3 de la energía se pierde, y puede causar cambios momentáneos de velocidad en el motor repetidamente. Esto puede conducir a altas amplitudes a 1/3X y 2/3X de la Frecuencia SCR (1/3X SCR Frec. = 1X F _L para SCR Rectificados a Onda Media, pero 2X F _L para SCR Rectificados a Onda Completa). Precaución: La configuración de la Tarjeta/SCR debe ser conocida antes de reparar el motor (#SCR, #Tarjetas de Disparo, etc.).
D. SCR Defectuoso, Tarjeta de Control en Corto, Conexiones Flojas o Fusible Quemado		Las Fallas de SCR, Tarjetas de Control en Corto y/o Conexiones Flojas pueden generar picos de amplitud notable en numerosas combinaciones de frecuencia de línea (F _L) y frecuencia de disparo SCR. Normalmente, 1 SCR malo puede causar altos niveles a F _L y/o 5 F _L en motores 6SCR. El punto es que tanto F _L , 2F _L , 3F _L , 4F _L y 5F _L no deben estar presentes en el Espectro de Motor DC.
E. Tarjeta de Comparador Defectuosa		Las Tarjetas de Comparador Defectuosas causan problemas con la fluctuación de la RPM o "caza". Esto ocasiona un colapso y regeneración constante del campo magnético. Estas bandas laterales a menudo se aproximan a la RPM de fluctuación y requiere de un FFT de alta resolución para apenas ser detectadas, estas bandas laterales pueden también deberse a generación y regeneración del campo magnético.
F. Paso de Corriente a través de los Rodamientos del Motor DC		El Fluting inducido eléctricamente es detectado normalmente por una serie de diferencia de frecuencias espaciadas mas o menos a la frecuencia de defecto de pista externa (BPO), aun si ese Fluting esta presente tanto en la pista externa como en la interna. A menudo aparecen en un rango centrado cerca de 100,000 a 150,000 CPM. Un espectro a 180K con 1600 líneas es recomendado para detectar haciendo mediciones en los rodamientos OB e IB del Motor DC.

Fuente: www.a-maq.com

Figura 71. Patologías de vibración básicas, clasificadas para máquinas rotativas

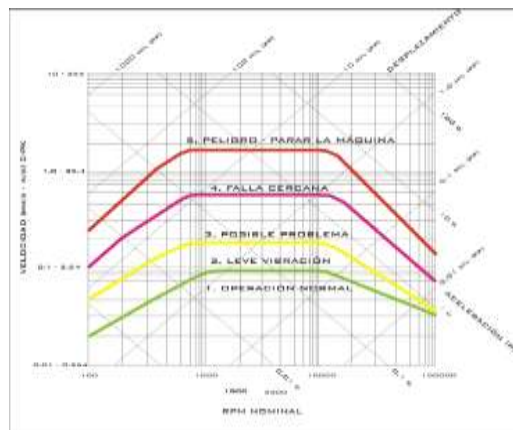
FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	OBSERVACIONES
Problemas de Transmisión de Correas A. Desgaste, Aflojamiento o Descuadre de las Correas 		FREC. DE LA CORREA = $3.142 \times \text{RPM DE LA POLEA} \times \text{DIAMETRO PRIMITIVO} / \text{LONGITUD DE LA CORREA}$ FREC. DE LA CORREA DENTADA = $\text{FREC. DE LA CORREA} \times \# \text{ DIENTES DE LA CORREA}$ $= \text{RPM DE LA POLEA} \times \text{DIENTES DE LA POLEA}$ La Frecuencia de la Correa esta por debajo de las RPM del motor o de la máquina conducida. Cuando están desgastadas, flojas o descuadradas, normalmente causan de 3 a 4 múltiplos de frecuencia de correa. A menudo la frecuencia 2X de la correa es el pico dominante. La amplitudes son normalmente inestables algunas veces pulsando tanto con la RPM del conductor o del conducido. En correas dentadas, el desgaste o desalineación de la polea es indicado por altas amplitudes a la Frecuencia de la Correa Dentada. Las transmisiones de cadena indicarán problemas a la Frecuencia de Paso de Cadena que es igual a #Dientes del Piñón X RPM.
B. Desalineación de la Correa/Polea 		La desalineación de la polea produce alta vibración a 1XRPM predominantemente en la dirección axial. El radio de las amplitudes de las RPM de la polea conductora a la conducida depende de donde se toman los datos, así como de la masa relativa y la rigidez del bastidor. A menudo con la desalineación de la polea la vibración axial mas elevada se encontrara a las RPM del ventilador, o vice versa. Puede ser confirmada por mediciones de fase colocando el Filtro de Fase a las RPM de la polea con mayor amplitud axial; luego compare las fases a esta frecuencia en particular en cada rotor en la dirección axial.
C. Poleas Excéntricas 		Las poleas excentricas causan alta vibración a 1XRPM de la polea excentrica. La amplitud es normalmente la mas alta cuando se encuentra alineada con las correas y debe aparecer tanto en los rodamientos de la polea conductora como en la conducida. En ocasiones es posible balancear las poleas excentricas colocando arandelas en los pernos. Sin embargo, aunque se balancee, la excentricidad seguirá induciendo vibración y esfuerzo de fatiga reversible en la correa. La excentricidad de la polea puede ser confirmada por un análisis de fase que muestre la diferencia de fase horizontal y vertical cercana a 0° a 180°.
D. Resonancia de Correa 		La Resonancia de la Correa puede ocasionar amplitudes altas si la frecuencia natural de la correa llega a aproximarse, o coincidir ya sea con las RPM del motor o de la máquina. La frecuencia natural de la correa puede ser alterada cambiando la tensión, longitud o sección transversal de la correa. Puede ser detectada tensionando y luego soltando la correa mientras se mide la respuesta en las poleas y rodamientos. Sin embargo, cuando esta operando, las frecuencias naturales de la correas tenderán a ser un poco mas altas en el lado tensionado y un poco mas bajas en el lado flojo.
Pulsaciones 		La Frecuencia de Golpeteo es el resultado de frecuencias cercanas que entran y salen de sincronización entre si. El espectro de banda ancha normalmente mostrara un pico pulsando arriba y abajo. Al hacer un acercamiento a este pico (espectro bajo), se observan dos picos muy cercanos. La diferencia entre estos dos picos ($F_2 - F_1$) es la frecuencia de golpeteo, que aparece por si misma en el espectro de banda ancha. La frecuencia de golpeteo no se ve comúnmente en mediciones de rango de frecuencia normales, ya que es inherentemente una frecuencia baja, fluctuando usualmente entre 5 a 100 CPM. La vibración máxima se alcanza cuando la onda de tiempo de una frecuencia (F_1) entra en fase con la onda de tiempo de la otra frecuencia (F_2). La vibración mínima ocurre cuando la onda de tiempo de estas dos frecuencias se alinean 180° fuera de fase. ESPECTRO DE BANDA ANCHA ZOOM DEL ESPECTRO
Pata Floja, Pata Resorteada y Resonancia de Pata 		"Pata Floja" ocurre cuando la pata de una máquina o el bastidor se deflecta cuando un perno de sujeción se afloja, causando el levantamiento de la pata aprox. mas de .002 - .003 pulgadas. esto no siempre causa un gran incremento de la vibración. sin embargo, podría hacerlo si la pata floja afecta la alineación o el entrehierro del motor. "Pata Resorteada" puede causar gran distorsión del bastidor, resultando en un incremento de la vibración, fuerza y esfuerzo del bastidor y carcasa del rodamiento, etc. Esto puede ocurrir cuando un perno de sujeción es ajustado excesivamente en la pata como un intento de nivelarla. "Resonancia de la Pata" puede causar incrementos dramáticos de la amplitud de 5 a 15 veces o mas, si se compara con aquella cuando el perno (o combinación de pernos) están flojos o apretados a mano. Cuando se ajusta, este perno puede cambiar notablemente la frecuencia natural del mismo bastidor de la máquina. La Pata Floja, Pata Resorteada o la Resonancia de la Pata afecta mas a menudo a 1XRPM, pero también puede hacerlo a 2XRPM, 3XRPM, 2XF, frecuencia de paso de alabe, etc. (particularmente la resonancia de pata).

Fuente: www.a-maq.com

4.1.9 Nivel de alarmas y tendencias de vibraciones. Antes de entrar a realizar un diagnóstico de un equipo rotativo con la ayuda de las patologías vistas

anteriormente, es necesario observar los niveles de vibración que presenta cada uno de los puntos de la máquina. Muchas veces los espectros de vibración pueden presentar picos especiales, pero esto no significa que haya una característica de falla, ya que la máquina puede estar operando a condiciones normales dentro de los niveles establecidos por la norma. El problema se presenta cuando estos picos comienzan a aumentar su nivel y de esta manera incrementan el overall del punto. Existen algunas normas internacionales que proponen unos estándares generales para varios tipos de máquinas y niveles de alarma. Estos niveles pueden aplicarse a una gran cantidad de máquinas, pero hay excepciones que exigen estudiar otras herramientas para poder llegar a una conclusión del estado de máquina. Existe una gráfica logarítmica que encarna valores de aceleración, velocidad y desplazamiento frente a una frecuencia específica. Para aplicarlos a diferentes máquinas, se hace necesario revisar varias características presentadas en ellas, como son su tamaño y su cimentación y de acuerdo a ello, se escoge un factor de servicio, en la tabla mostrada más adelante, se presentan unos valores tentativos de los factores de servicio de estas máquinas.

Figura 72. Nivel de alarmas y tendencias de vibraciones



Fuente: www.a-maq.com

Un ejemplo de norma de rangos de severidad de vibración es la ISO 2372 la cual ejemplifica límites de y los factores de servicio para cuatro tipos de máquina. El valor de severidad de la vibración asociada a un rango de clasificación en

particular, depende del tamaño y masa del cuerpo vibrante, las características del montaje del sistema, la salida y el uso que se le da a la máquina. De esta forma es necesario tomar cuenta de varios propósitos y circunstancias concernientes a los diferentes rangos.

Figura 73. Rangos de severidad de vibración para máquinas

RANGO DE SEVERIDAD DE VIBRACION		CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-PK (mm/s)	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.3960	A	A	A	A
0.45	0.6364				
0.71	1.0041				
1.12	1.5839	B	B	B	B
1.8	2.5456				
2.8	3.9598	C	C	C	C
4.5	6.3640				
7.1	10.0409	D	D	D	D
11.2	15.8392				
18	25.4558				
28	39.5980				
45	63.6396				
71	100.4092				
FSM para las máquinas		1.57020	1	0.62608	0.39625
FSN para los niveles (1/FSM)		0.63686	1	1.59725	2.52364

RANGOS DE SEVERIDAD DE VIBRACIÓN PARA MÁQUINAS PEQUEÑAS (CLASE I), MÁQUINAS DE TAMAÑO MEDIANO (CLASE II), GRANDES MÁQUINAS (CLASE III), Y TURBOMÁQUINAS (CLASE IV).

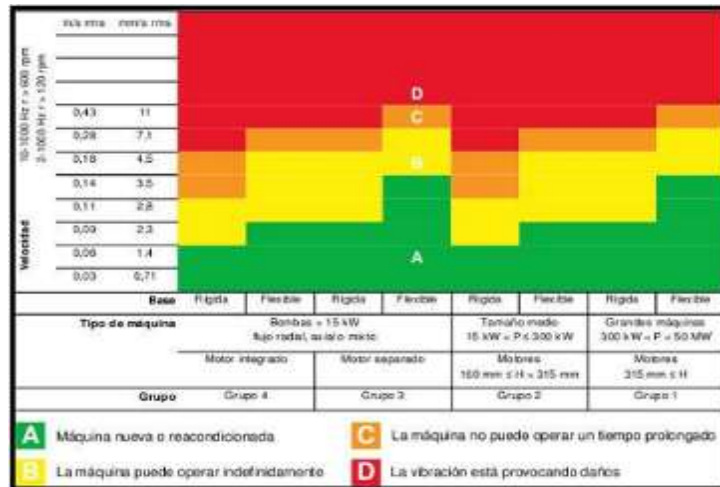
Fuente: www.a-maq.com

El análisis de vibraciones ayuda a diagnosticar problemas en el equipo antes de que ocurra algún fallo catastrófico y ofrece importantes ventajas¹⁰:

- Gran reducción en los costos de mantenimiento no planeado.
- Altas reducciones en inventario de partes de repuesto.
- Reducción en las ordenes de trabajo de emergencia y tiempo extra.
- Reparaciones más eficientes y reducción de costes de mantenimiento.
- Incremento en la capacidad de producción.
- Mejores condiciones de seguridad, al no forzar a las máquinas a trabajar hasta el punto de fallar.

¹⁰ GARCIA Wilbert. RCA mediante Vibraciones a Compresor Aerzen de Tornillo. México. Facultad de Ingeniería Mecánica. Campus Coatzacoalcos. Sep 26 de 2011

Figura 74. Rangos de severidad de vibración para máquinas



Fuente: www.a-maq.com

4.2 RODAMIENTOS

Los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas más graves, por eso es necesario tener un especial cuidado con ellos.

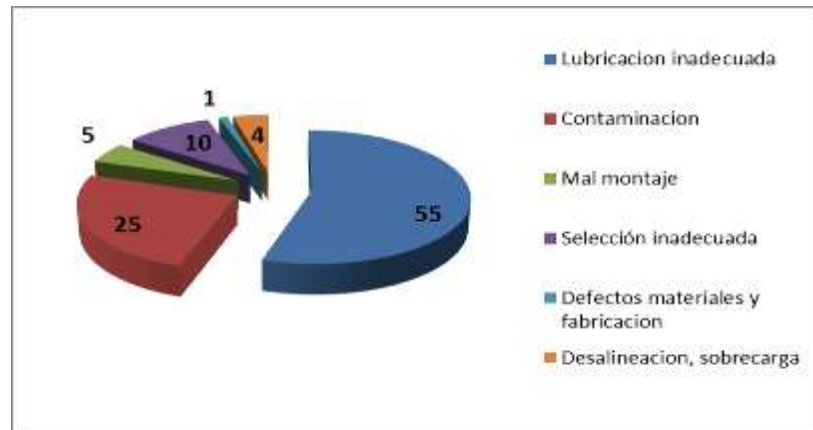
Figura 75. Rodamientos en falla



Fuente: Autores del proyecto

Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta.

Figura 76. Principales causa de falla de rodamientos en máquinas rotativas



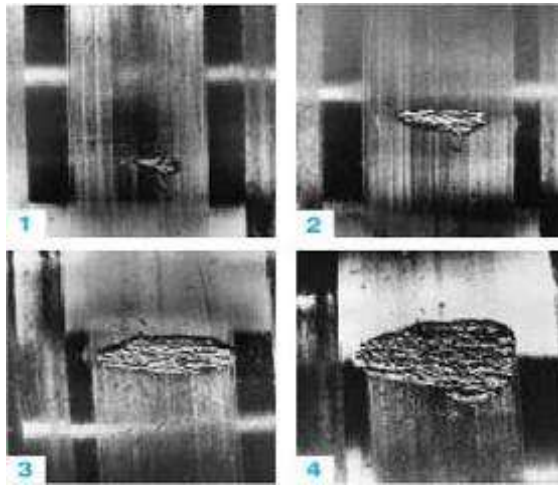
Fuente: Autores del proyecto

Los materiales se “fatigan” con el uso. El tiempo que transcurre hasta la aparición de los primeros síntomas de fatiga dependerá del número de revoluciones, la magnitud de la carga, la lubricación y la limpieza del lubricante.

Con el paso del tiempo, por debajo de la superficie que soporta la carga (pistas), comienzan a formarse pequeñas grietas que se van extendiendo hasta alcanzar la superficie.

A medida que las bolas o rodillos van pasando por las grietas, se va desprendiendo material (exfoliación). El lubricante va arrastrando esas partículas, apareciendo nuevos daños en otros sectores. En poco tiempo, el rodamiento queda inservible.

Figura 77. Ciclo de falla del rodamiento



Fuente: Autores del proyecto

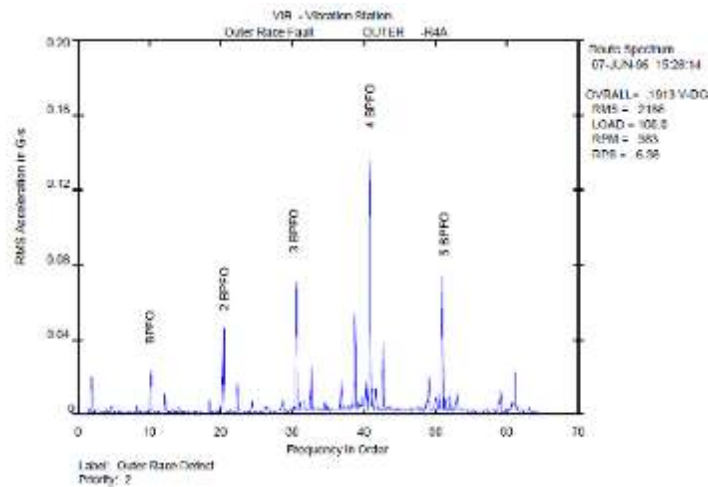
Podemos notar estos síntomas por el aumento del ruido y las vibraciones. Este es el momento justo para cambiar el rodamiento antes que se produzca la falla total con riesgo de rotura de otros elementos.

Al hablar de fallas de rodamientos, es importante hablar de medición de vibraciones, pues es la forma más directa de detectar los inicios de estas fallas.

Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica, que aunque no exacta, es capaz de encontrar fallos en rodamientos de máquinas, anticipándose a la avería.

4.2.1 Fallas en rodamientos vistas en espectros de vibración. El proceso de deterioro de rodamientos ocurre durante cuatro etapas. Las cuales se pueden observar e interpretar en las tablas de diagnóstico vibracional, vistas en la sección de vibraciones o patologías de vibración básicas.

Figura 78. Espectro real de vibración de equipo con falla de rodamientos



Fuente: www.a-maq.com

4.2.2 Frecuencias de falla de los rodamientos. Para facilitar el análisis de rodamientos y de sus defectos en el estudio de vibraciones, se desarrollaron cálculos basados en su geometría que permiten calcular los valores de las frecuencias a las cuales responden su falla o desgaste.

Actualmente el software de vibraciones incorporan las bases de datos de las diferentes marcas de rodamientos en las que cada designación trae los valores de falla de sus elementos. Las frecuencias de falla de rodamientos son cuatro parámetros que se calculan con base en la geometría del mismo. Las frecuencias de falla corresponden a cada uno de los elementos que componen el rodamiento: pistas interior y exterior, canastilla y elementos rodantes.

Figura 79. Calculo de frecuencia de falla de rodamientos

Denominación	Término en Inglés	Español
BPFO	Ball Pass Frequency	Frecuencia de falla de la
	Outer Race	pista exterior
BPFI	Ball Pass Frequency	Frecuencia de falla de la
	Inner Race	pista interior
BSF	Ball Spin Frequency	Frec. Paso de bolas o rodillos
FTF	Fundamental Frequency	Train Frec. Fundamental de canastilla

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) * RPM$$

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) * RPM$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right)^2 \right] * RPM$$

$$FTP = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) * RPM$$

Donde:

N_b = Número de elementos rodantes

P_d = Diámetro primitivo

B_d = Diámetro de los elementos rodantes

Q = Angulo de contacto

En caso de no conocer las dimensiones del rodamiento, se puede obtener un valor aproximado si se conoce el número de elementos rodantes mediante el siguiente conjunto de ecuaciones¹¹.

¹¹ GARCIA CASTRO Alfonso. Análisis de Vibraciones en maquinas, Diagnostico de fallas y Mantenimiento Predictivo. Trabajo de grado especialización en Gerencia de mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2011.

$$BPFI \cong \left(\frac{N_b}{2} + 1.2 \right) * RPM$$

$$BPFO \cong \left(\frac{N_b}{2} - 1.2 \right) * RPM$$

$$BSF \cong \frac{1}{2} \left(\frac{N_b}{2} - \frac{1.2}{N_b} \right) * RPM$$

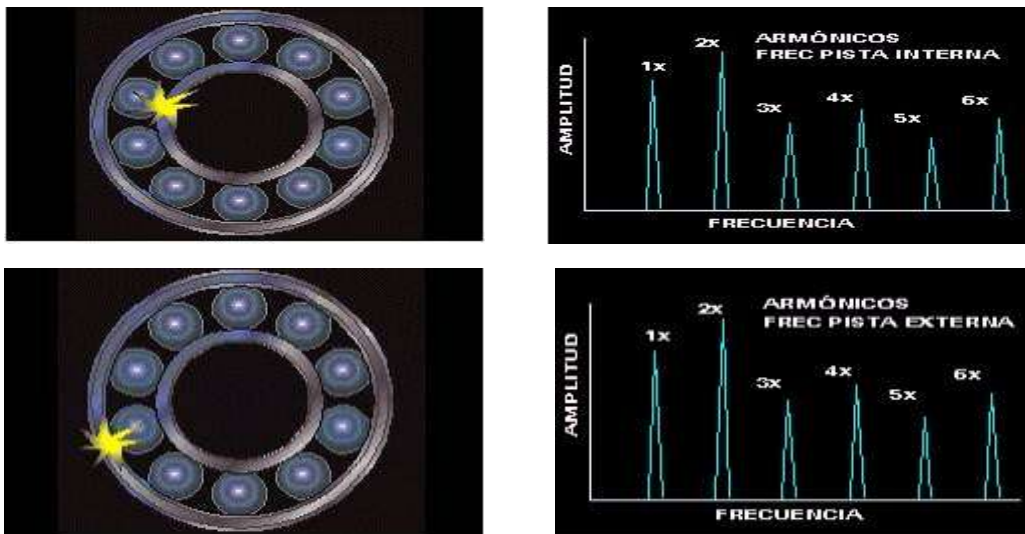
$$FTF \cong \left(\frac{1}{2} - \frac{1.2}{N_b} \right) * RPM$$

Fuente: www.a-maq.com

4.2.3 Fallas de componentes del rodamiento.

4.2.3.1 Fallas en pistas externas o internas. Se presenta agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna o externa, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes se debe revisar el estado de lubricación del rodamiento.

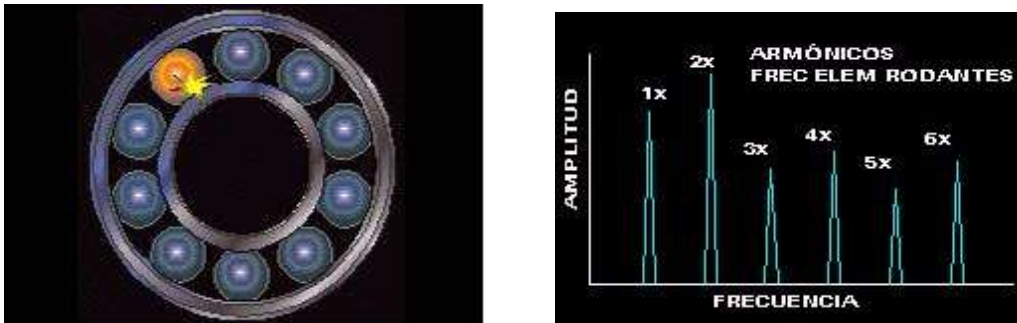
Figura 80. Espectros de fallas en pistas externas o internas



Fuente: www.a-maq.com

4.2.3.2 Fallas en elementos rodantes. Se presenta agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

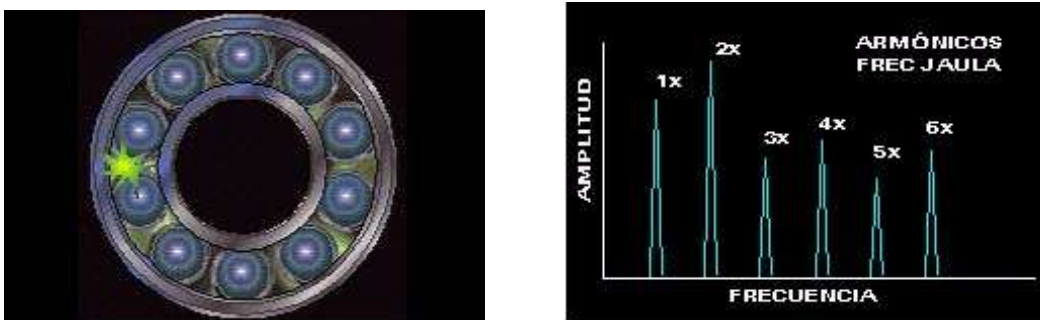
Figura 81. Espectros de fallas en elementos rodantes



Fuente: www.a-maq.com

4.2.3.3 Fallas en canastilla. Deformación de la canastilla. El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Revise la posible causa que está dando origen a la falla.

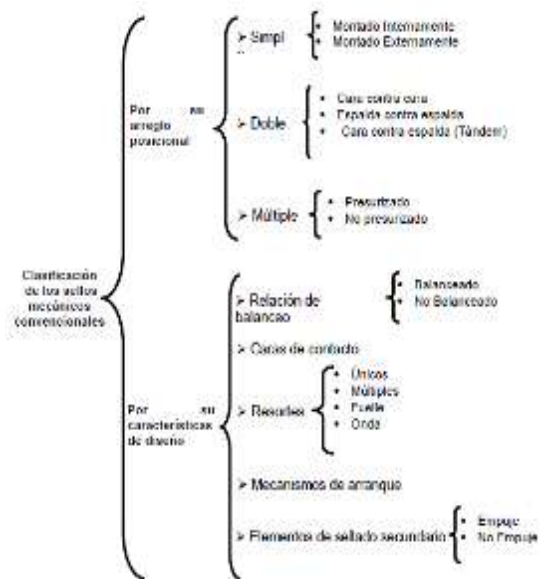
Figura 82. Espectros de fallas en canastilla



Fuente: www.a-maq.com

parte estacionaria. La parte rotativa gira sobre la parte estacionaria en un lugar donde hablamos de las caras del sello mecánico, usualmente mantenidas juntas por un resorte. El correcto funcionamiento del sello es asegurado mientras que las caras corren sin rajaduras, fracturas o aperturas una sobre la otra. Como material se usa carbón, carburo de silicio, carburo de tungsteno, cerámica (óxido de aluminio). Aunque los sellos buenos no tiene pérdidas visibles, cuando un sello mecánico tiene pérdidas (que pueden observarse visualmente) significa que el sello necesita ser reparado.

Figura 85. Clasificación de sistemas de sello convencionales



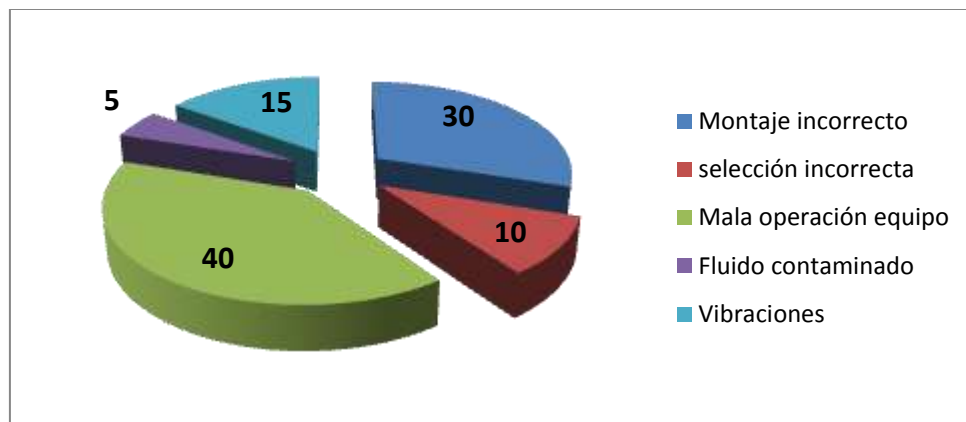
Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-bombas-centrifugas/sello-completo-tipos-sellado-interfacial>

Teóricamente el sello persiste hasta que una de sus caras se haya desgastado totalmente. No obstante, en la práctica observamos que en 85% de los casos, los sellos fallan antes que se hayan desgastado las caras, o sea, las caras se abren, rajan, fracturan cuando todavía hay material en las caras.

4.3.1 Principales causas de falla en sellos mecánicos. Las mayores causas de estas fallas prematuras son:

1. Vibraciones en el sistema por desalineamiento entre motor y bomba, soporte inadecuado y/o desbalance en las piezas que giran a gran velocidad.
2. Instalación incorrecta del sello mecánico.
3. La bomba opera a un punto de operación muy alejado de su punto de mayor eficiencia.
4. Eficiencia. La causa en este caso son las grandes fuerzas radiales que experimenta el eje (deflexión del eje) y que originan desalineamiento de las caras. Esto permite que sólidos entran entre las caras, donde son atrapados y luego funcionan como una lija efectiva para dañar las caras del sello.

Figura 86. Principales causas de falla en sellos mecánicos



Fuente: Autores del proyecto

Además se puede esperar problemas si uno de los componentes del sello es atacado químicamente por el líquido bombeado.

4.3.2 Soluciones para evitar fallas en sellos mecánicos¹².

1. Minimizar vibraciones en el sistema de la bomba y su fijación.
2. Establecer procedimientos adecuados asegurar una selección óptima y montaje del sello mecánico.
3. Operar la bomba en o cerca su punto de máxima eficiencia.

¹² CÓRDOBA ALIENDRES Marigre. Análisis de fallas de los sellos mecánicos en las Bombas de Proceso de una Planta Cervecería. Trabajo de grado. Anzoátegui. Universidad de Oriente Venezuela. Departamento de Mecánica. Abril de 2009

4.4 RUIDO

Uno de los síntomas mas comunes de fallas en los diferentes equipos en instalaciones industriales es el ruido durante su operación, el cual puede estar asociado a diferentes fallas dentro del equipo, como lo pueden ser:

4.4.1 Cavitación. Debido a las características y condiciones de los fluidos que manejan, en especial en el caso de bombas y sistemas hidráulicos. Dicha cavitación es producida por la formación de burbujas, las cuales al colapsar suelen ser tan destructivas en superficies metálicas como impulsores y carcasas. Este efecto se presenta por varias causas como bajo NPSHr, alta temperatura del producto, obstrucciones o fallas en diseño e instalación de los equipos.

Figura 87. Equipo afectado por cavitación



Fuente: Autores del proyecto

4.4.2 Aireación. Ocasionada por la entrada de aire junto con el producto manejado, ocasiona también ruido en los equipos, el cual ocasiona daños similares a los de la cavitación en impulsores o ruedas de alabes de turbinas.

4.4.3 Desgaste o daños en rodamientos. Debidos a fallas de los mismo o presencia de contaminantes o mala calidad del aceite de lubricación de los equipos. Fallas en válvulas de alivio por suciedad o depósitos, los cuales ocasionan turbulencia en los fluidos, ocasionando altos niveles de ruido por flujo turbulento, lo cual genera vibraciones en el sistema, que va a ser absorbidas por los equipos asociados.

Figura 88. Causas de ruido en equipos rotativos

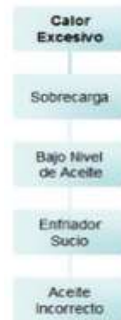


Fuente: Autores del proyecto

4.5 SOBRECIENTAMIENTO

Todos los sistemas mecánicos generan calor como resultado de su operación. Un incremento en la temperatura de operación de un equipo, fuera de los parámetros establecidos por el fabricante, es relativamente fácil de detectar y medir.

Figura 89. Causas de sobrecalentamiento en equipos rotativos

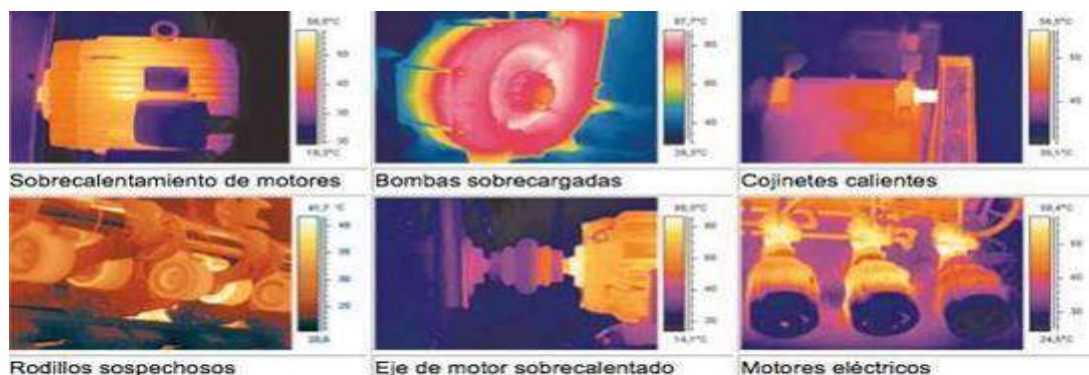


Fuente: Autores del proyecto

Lo interesante es determinar su origen y corregirlo. La fricción, la falla de los elementos y/o mecanismo de disipación de energía térmica y el envejecimiento de los materiales, entre otros factores, propician el incremento de la temperatura.

La termografía infrarroja y con pirómetro, son herramientas excelente para hacer monitoreos de la condición, en busca de reducir los costos asociados al mantenimiento correctivo de los equipos. Mediante la aplicación de inspecciones termográficas es posible detectar condiciones de instalación inadecuadas, anomalías en rodamientos, degradación del aislamiento y desalineamiento entre otras

Figura 90. Termografía en máquinas rotativas



Fuente: Autores del proyecto

La mayoría de los fabricantes de equipos mecánicos han establecido parámetros de temperaturas de operación para sus equipos a plena carga, para lo cual hay que establecer para cada equipo sus temperaturas normales de operación en sus diferentes componentes. Ésta es una de las referencias que se toman para la elaboración de diagnósticos.

Con termografía infrarroja podemos inspeccionar un sin fin de equipos mecánicos, ejemplo: motores, rodamientos, bombas, bandas, ventiladores y tuberías entre otras.

4.5.1 Equipos y/o sistemas mecánicos. El rotor de un motor que no está debidamente alineado va a provocar una fricción entre éste y el estator, que si no se detecta y corrige a tiempo, va a desencadenarse en una falla del equipo.

4.5.2 Motores y generadores. Todos los motores tienen un parámetro máximo de temperatura de operación. Este parámetro es normalmente dado en grados centígrados, y puede encontrarse en su la placa de especificaciones. La mayoría son diseñados para operar a temperatura ambiente de hasta 40 grados centígrados.

4.5.3 Bandas y poleas. La interacción de las bandas y las poleas durante su operación genera fricción por el contacto directo entre ellas, y por la tensión y distensión de la banda. Ambos casos generan un incremento en la temperatura de la banda y la polea. Muchas de las veces un calentamiento anormal puede indicarnos una inadecuada tensión de la banda, o un desalineamiento del eje de la polea.

4.5.4 Rodamientos. Problemas en los rodamientos pueden ser detectados mediante la comparación de un rodamiento con otro que se encuentra bajo las mismas condiciones de carga y ambiente. Un calentamiento en una chumacera

por ejemplo puede ser originado por una mala lubricación de rodamiento, un desalineamiento y otras.

4.6 FUGAS

Es muy común que en equipos de la industria, se encuentren fugas de producto, el cual afecta el medio ambiente, a las personas y las instalaciones, ocasionando parada de plantas, intervenciones de mantenimiento y hasta afectaciones. Productos de proceso como Hidrocarburos, lubricantes, productos no peligrosos y gases generalmente se fugan de los equipos, debido a diferentes causas.

Figura 91. Fugas de productos en equipos rotativos



Fuente: Autores del proyecto

4.6.1 Principales causas de fugas de productos en equipos rotativos. Las causas más comunes de fugas en equipos industriales se presentan en:

- Falla de empaquetaduras.
- Fugas por sellos en bombas y compresores.
- Escapes en tuberías y recipientes.
- Conexiones flojas debido a malos procedimientos de instalación o debidas a aflojamiento por altas vibraciones mecánicas en sistemas.
- Escapes por carcasas de equipos debido a fallas catastróficas.

4.7 FRACTURAS, DEFORMACION, DESGASTE, CORROSIÓN

Fallas presentadas en componentes de diferentes equipos como bombas, turbinas, reductores de velocidad, compresores, entre otros.

4.7.1 Ejes. Se presentan fallas como torsión del eje o fracturas por flexión o torsión, debido a causas como Sobrecarga, falla de rodamientos, materiales o tratamientos inadecuados, así como problemas por instalación y operación.

Figura 92. Ejes desgastados, fracturados y deformados.



Fuente: Autores del proyecto

También fallas por desgaste y corrosión causados por lubricación inadecuada, inadecuada selección de materiales y tratamientos de componentes y sobrecargas.

Figura 93. Ejes de maquinas rotativas con desgaste y corrosión



Fuente: Autores del proyecto

4.7.2 Carcasas, impulsores y ruedas en bombas y turbinas. Se han presentado fallas en estos componentes causadas por diferentes motivos como destrucción total por impactos, fallas en el material y fallas debidas a procedimientos de operación inadecuada.

Figura 94. Impulsor de bomba fracturado



Fuente: Autores del proyecto

4.7.3 Engranajes. Ruedas de engranajes dañadas por problemas de lubricación, altos torques y desgaste excesivo de componentes por desajuste o daño de rodamientos

Figura 95. Rueda de engranajes con dientes fracturados



Fuente: Autores del proyecto

4.8 BAJA EFICIENCIA

Se presentan anomalías en los equipos concernientes a baja eficiencia, los cuales ocasionan disturbios operacionales en las unidades, haciéndose necesario sacarlos de servicio y colocar sus equipos auxiliares o en casos extremos parar las unidades, si son equipos únicos o si sus respaldos están en falla o por cuenta de mantenimiento.

4.8.1 Principales causas de baja eficiencia en equipos rotativos. Los problemas mas comunes se presentan en equipos como:

4.8.1.1 Bombas centrífugas con bajo flujo o presión de descarga.

- Entrada de aire por sello mecánico.
- Sentido de giro invertido.
- Impulsor obstruido.
- Impulsor dañado.
- Impulsor desbalanceado.
- Entrada de aire por la tubería de succión.
- Equipo mal diseñado.
- Equipo mal instalado
- Daños en rodamientos o cojinetes ocasionando alta fricción

4.8.1.2 Bombas de desplazamiento positivo con bajo flujo o presión de descarga.

- Desgaste de anillos del pistón.
- Fallas de válvulas de succión o descarga.
- Fugas por sellos o empaquetaduras.
- Sentido de giro invertido
- Sentido de giro invertido.
- Entrada de aire por la tubería de succión.

- Equipo mal diseñado.
- Equipo mal instalado.
- Daños en rodamientos o cojinetes ocasionando alta fricción.
- Alta fricción por daño en rodamientos.

4.8.1.3 Turbinas de vapor con baja eficiencia.

- Daño en ruedas de alabes.
- Alta fricción por daño en rodamientos.
- Obstrucción de entrada o salida de vapor.
- Excesivo escape de vapor por carbones o sistemas de sello.

4.8.1.4 Reductores de velocidad.

- Alta fricción por daño en rodamientos.
- Daño de ruedas de engranajes.
- Lubricación inadecuada.

4.8.1.5 Ventiladores.

- Ensuciamiento de aspas del ventilador.
- Desgaste de aspas del ventilador.

4.8.1.6 Compresores de desplazamiento positivo.

- Fallas de válvulas de succión o descarga.
- Fugas por sellos o empaquetaduras.
- Desgaste de anillos del pistón.

4.8.1.7 Compresores centrífugos.

- Daño en ruedas de alabes.
- Alta fricción por daño en rodamientos.
- Obstrucción de entrada o salida de gases.

- Excesivo escape de gas por sistemas de sello.

4.8.1.8 Motores eléctricos.

- Alta fricción en rodamientos
- Daño en devanados del estator y rotor.
- Fallas de voltaje o frecuencia derivadas de alimentación o mecanismos de control
- Alta carga

5. PREVENCIÓN DE FALLAS

Uno de los objetivos del mantenimiento es prevenir las anomalías que un equipo o sistema con el paso del tiempo o por su constante operación pueda tener dificultando su correcto funcionamiento estas por lo general están vinculada al desempeño del activo, la experiencia y conocimiento que se tenga del equipo son claves para su oportuna detección y corrección.

Las diferentes metodologías de mantenimiento hacen referencia a esta necesidad, el análisis de falla es una de estas técnicas, la cual están estrechamente ligados con la criticidad del equipo, punto de referencia al momento al evaluar y direccionar las estrategias o recursos de mantenimiento que se le asignan a determinado sistema o equipo las cuales.

5.1 CRITICIDAD DE EQUIPOS Y PROCESOS

Jerarquizar los sistemas, instalaciones y equipos en función del impacto que estos generan, enfocado en un área específica o general de una organización es uno de los ítems más relevantes al evaluar la criticidad de un activo.

Los equipos críticos son aquellos que al fallar pueden afectar la seguridad del personal y el entorno ambiental provocando un paro de la producción y por ende incrementando su costo de mantenimiento.

Los análisis de criticidad facilitan la toma de decisiones, en consecuencia para realizar el análisis se debe tener plenamente definido el alcance y propósito de este, estableciendo un nivel de criticidad ya sea bajo, medio o alto.

Estratificado el nivel de criticidad, se selecciona el método de evaluación para determinar los equipos o sistemas sometidos al análisis.

Entre los diferentes aspectos para realizar un análisis de criticidad los más relevantes son:

- **Impacto al medio ambiente.** Evalúa la probabilidad de un evento intolerable que pueda violar cualquier estándar o regulación ambiental conocida o afecte el medio ambiente.
- **Impacto en las personas.** Evalúa la probabilidad de ocurrencia de eventos donde se puedan generar lesiones o el deceso de una persona, por ello deben ejecutar todas las actividades de mantenimiento que prevenga este escenario.
- **Impacto a las instalaciones.** Este criterio esta enfocado en las frecuencias las cuales evalúan las consecuencias operacionales y económicas de las fallas funcionales, esta a su vez están relacionadas con la incapacidad del equipo para realizar la tarea para la cual fue diseñado de forma confiable, segura y también evalúa las fallas ocultas las cuales no tiene efectos adversos directos sobre el activo, pero de no corregirse a tiempo puede aumentar la probabilidad de una falla que afecte la integridad del activo. Los costos de producción y mantenimiento también hacen parte de este criterio el cual analiza las estrategias que se deben implementar para el óptimo y adecuado uso de los recursos, reflejándose en la prolongación de la vida útil del activo, el descenso del número de fallas, la disminución de los tiempos de reparación y el aumento de la confiabilidad del equipo.
- **Impacto al proceso.** Valora el porcentaje de producción que se ve afectado de forma directa sobre la capacidad del activo, dicho impacto afecta la calidad del producto, el servicio al cliente el incremento de la producción, por lo general este impacto es evaluado en términos económicos.

5.2 RCM DE EQUIPOS INSTALADOS

Con el fin de poder estructurar el plan de mantenimiento objetivo de esta monografía, se procedió a elaborar un RCM, enfocado hacia los equipos rotativos, en donde se analizaron los equipos listados en el Capítulo 3 y en cada uno de ellos se analizaron las posibles causas a presentarse, con sus efectos, criticidad, tareas necesarias para poder prevenirlas.

Este ejercicio quedó plasmado en los anexos A al D, los cuales se pueden consultar al final del trabajo.

Para los equipos rotativos analizados, los modos de falla más comunes con criticidades altas son:

- **Falla de rodamientos.** Producto del roce de internos, baja la presión del sistema por la pérdida de función de la bomba, produce alarma en el cuarto de control y el operador debe manejar la contingencia
- **Falla de lubricación.** Se produce daño en chumaceras de turbina- reductor, daño del gobernador. La presión del sistema de agua enfriamiento cae suena la alarma en el cuarto de control y el operador coloca en servicio la bomba auxiliar.
- **Falla sistema de sello.** Se presentan fugas de producto.

Es de resaltar que esta estrategia está acompañada de una gran cantidad de tareas que debe realizar el operador de planta, durante su turno de trabajo.

Estas tareas resultan ser las de mayor impacto costo-efecto, dado que ayudan a mantener la función del equipo y en muchas ocasiones a aminorar la consecuencia de las fallas, todo esto a un bajo costo.

5.3 CASOS PRESENTADOS

En esta sección y la tabla adjunta, se hace referencia a las fallas mas comúnmente presentadas en los diferentes equipos rotativos, donde se ha evidenciado falencias con la aplicación de acciones de mantenimiento efectivas a cada uno de los diferentes activos que se encuentran instalados en la plantas de proceso.

Con esta información como referente este documento destaca las principales causas y enseñanzas que estos eventos han generado dando un gran aporte a los planes de mantenimientos actuales

Tabla 4. Recopilación casos reales de fallas con sus causas

EQUIPO	FALLA PRESENTADA	CAUSAS	LECCION
BOMBA	FALLA RODAMIENTOS	FALTA MANTENIMIENTO	PROGRAMAR MTTO PREVENTIVO SEGÚN RCM
		PERSONAL OPERATIVO DESCONOCE FUNCIONAMIENTO	CAPACITAR PERSONAL OPERACIÓN DEL EQUIPO
		USO EXCESIVO	USAR SEGÚN RECOMENDACIÓN FABRICANTE Y DISEÑO
BOMBA	SELLO MECANICO	PROCEDIMIENTO ARRANCADA	APLICAR PROCEDIMIENTOS DE ARRANCADA DE LAS UNIDADES
		VENTANAS OPERATIVAS	SEGUIMIENTO A VENTANAS OPERATIVAS
		MANTENIMIENTO INADECUADO	APLICAR PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS
TURBINA	FALLA CHUMACERAS	FALLA LUBRICACION	REFORZAR SISTEMA DE LUBRICACION CON ALARMAS Y CORTES
		FALTA CHEQUEO OPERADOR	REFORZAR RONDAS DE CHEQUEO DE OPERACIONES
BOMBA	SELLO MECANICO	FALLA INSTRUMENTACION	REPARAR INSTRUMENTO, GENERAL PLAN DE MTTO
		VENTANAS OPERATIVAS	SEGUIMIENTO A VENTANAS OPERATIVAS
BOMBA	DAÑO CATASTROFICO CIGÜEÑAL, PATINES Y BANCADA	FALLA LUBRICACION	PROGRAMAR MTTO PREVENTIVO SISTEMA DE LUBRICACION
		FALLA INSTRUMENTACION	REPARAR INSTRUMENTO
		PERDIDA DE DISEÑO	RECUPERAR DISEÑO INICIAL
CHILLER	EJES FRACTURADOS	SOBRE CARGA	OPERAR DENTRO DE VENTANAS
		FALLA INSTRUMENTACION	REPARAR INSTRUMENTOS ASOCIADOS
		PERDIDA DE DISEÑO	INSTALAR REPUESTOS ADECUADOS SEGÚN DISEÑO
TURBINA	EJE DAÑADO	FALLA LUBRICACION	REFORZAR SISTEMA DE LUBRICACION
		PERSONAL OPERATIVO DESCONOCE FUNCIONAMIENTO	CAPACITAR PERSONAL OPERACIÓN DEL EQUIPO
		MANTENIMIENTO INADECUADO	PROGRAMAR MTTO PREVENTIVO SEGÚN RCM

Fuente: Autores del proyecto

5.4 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA)

Es una herramienta utilizada para identificar la causa o causas de falla de un equipo, con el fin de evitar que se repita el evento ya sea en el mismo o en otro activo similar que realice la misma función. El análisis de causa raíz ayuda a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, profundizando en cada uno de los aspectos que incidieron en el suceso, tales como el estudio de la pieza dañada, los componentes físicos de la falla (presión, temperatura y nivel entre otros), las acciones humanas que desataron la cadena causa-efecto e incluso indagar e investigar si los procedimientos y capacitación del personal eran los idóneos o si el sistema de gerenciamiento de activos tiene falencias.

El RCA es un proceso de deducciones lógicas que permite dimensionar y relacionar la causa y el efecto el cual va dirigido a descubrir el evento indeseable o causa raíz.

Entre las técnicas utilizadas para realizar e RCA se resaltan el diagrama de espina de pescado, árbol de falla, documentación del proceso, análisis causa-efecto. Cabe resaltar que los beneficios del uso de esta herramienta son muchos entre los cuales se destacan la reducción de incidentes y fallas, aumento de la confiabilidad operacional, eficiencia, disponibilidad y productividad además de un notable descenso en los costos de mantenimiento¹³.

Para tener una idea de la aplicación de RCA para análisis y solución de fallas en equipos, anexamos un caso real de un análisis realizado a un equipo en falla, el cual lo podemos observar como anexo O.

¹³ Análisis de modo de falla [En línea] .Barrancabermeja. [Citado Septiembre 2 de 2013] Disponible <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>

6. PROPUESTA

6.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las plantas industriales de proceso de Parafinas y Servicios Industriales de la Refinería de Barrancabermeja se cuenta con una amplia gama de equipos rotativos instalados como bombas, compresores, motores eléctricos y de combustión, turbinas a vapor y reductores entre otros, los cuales se diseñaron para cumplir tareas específicas, según el fin del proceso.

Teniendo el precedente de ser una empresa de clase mundial nuestra organización ha trazado una serie de políticas que le permitan cumplir esta meta a cabalidad, de las cuales se destacan aquellas que van dirigidas hacia el mantenimiento primario de las unidades de proceso, cuyo principal objetivo es aumentar el margen de confiabilidad y preservación de los equipos.

Muchos de ellos trabajan de forma constante en condiciones operacionales y ambientales extremas, sometidos a diferentes procesos y manejando una gran variedad de productos, el resultado de todos estos factores es la pérdida progresiva de su vida útil.

Este deterioro por lo general produce pequeñas fallas en algunos de los componentes del equipo, detrimento que se evidencian de forma temprana y localizada que al no ser corregidas a tiempo puede generar una mayor avería o la pérdida total del equipo.

Estamos en un proceso de cambio de cultural en donde las actividades de mantenimiento no recaen solamente en el personal de mantenimiento, sino como lo indican las practicas modernas como TPM (Mantenimiento Productivo Total),

deben involucrar al personal operativo en la ejecución de tareas básicas de mantenimiento, ya que son ellos, los principales responsables de su operación confiable y los que a primera mano detectan irregularidades en la operación de sus equipos. Dichas tareas se pueden realizar a la par con labores operativas, manteniendo parámetros de seguridad, teniendo en cuenta el conocimiento sobre sus equipos y la capacitación proporcionada al personal operativo.

Teniendo en cuenta lo anterior es nuestro deseo estructurar el programa de mantenimiento básico de equipos rotativos para ser ejecutado por personal operativo, teniendo en cuenta las mejores prácticas en cuidado básico de equipos como la filosofía de la 5S y el mantenimiento autónomo.

Con la implementación de este programa, se proyecta, mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, de las unidades, optimizando el proceso de mantenimiento de los equipos y la progresiva la reducción de fallas.

6.2 OBJETIVOS

6.2.1 Objetivo general. Estructurar y consolidar el programa de mantenimiento básico de equipos rotativos, aplicando como sistema de gerenciamiento de mantenimiento la filosofía de las “5S” y el mantenimiento autónomo, enfocado hacia el cuidado y preservación de las unidades de proceso generando condiciones más seguras y confiables para las personas, el medio ambiente y la operación.

6.2.2 Objetivos específicos.

- Revisar el estado actual de tareas de mantenimiento ejecutadas por personal operativo a los equipos rotativos.
- Clasificar los equipos rotativos dependiendo su criticidad valorando y detallando su impacto a la operación

- Definir las tareas de mantenimiento básico a realizar por parte del personal de operaciones teniendo en cuenta las habilidades y destrezas para ejecutarlas
- Medir la efectividad del programa aplicando las herramientas y conocimientos adquiridos en la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, evaluando el aporte de este programa en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos rotativos, realizando seguimiento a la falla de equipos y la relación de estas fallas por inadecuado cuidado básico de los mismos.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas más graves que se tiene en las diferentes dependencias de la Refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja es la apatía por parte del personal de operaciones por las actividades de mantenimiento.

Dentro del programa de optimización de refinerías, hoja de ruta de la organización cuyo propósito principal es el posicionamiento de esta entre las mejores en la industria del petróleo, se encuentra contenido el modulo de Mantenimiento y Confiabilidad, el cual enfatiza y prioriza la importancia del nuevo rol que debe asumir el personal de operaciones, haciendo énfasis en la participación activa de este en las actividades de mantenimiento menor realizadas entorno al equipo que tiene bajo su responsabilidad.

Bajo esta premisa el operador es la persona que conoce el funcionamiento óptimo de su unidad y es él quien de primera mano detecta cualquier anomalía asociada a ésta, que al no corregirse a tiempo, puede generar un deterioro o daño catastrófico de la misma y por ende una baja productividad en la planta de proceso

Por lo general estas fallas pueden ser solucionadas aplicando conocimientos y acciones de mantenimiento primario el cual puede realizar el operador de forma efectiva, forjando una mayor confiabilidad operacional de los equipos.

Con este nuevo enfoque se espera mejorar y prolongar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos y como valor agregado, alivia la carga laboral del personal especializado en labores mantenimiento, tales como metalistas, instrumentistas, mecánicos entre otros, redireccionando este personal técnico hacia tareas de mantenimiento mayor, ya sea de carácter preventivo o correctivo.

6.4 DETECCIÓN DE FALLAS

La detección de fallas en los diferentes equipos se puede dar durante la ejecución de las diferentes rondas realizadas por el personal de operaciones en el transcurso de su turno de trabajo.

6.4.1 Ronda diaria del operador. En las rondas diarias del operador en su unidad de proceso, el puede determinar a simple vista fallas en los equipos como ruido, alta vibración (percibible a simple vista), fugas de lubricante, fugas de producto y hasta posibles fallas catastróficas del equipo.

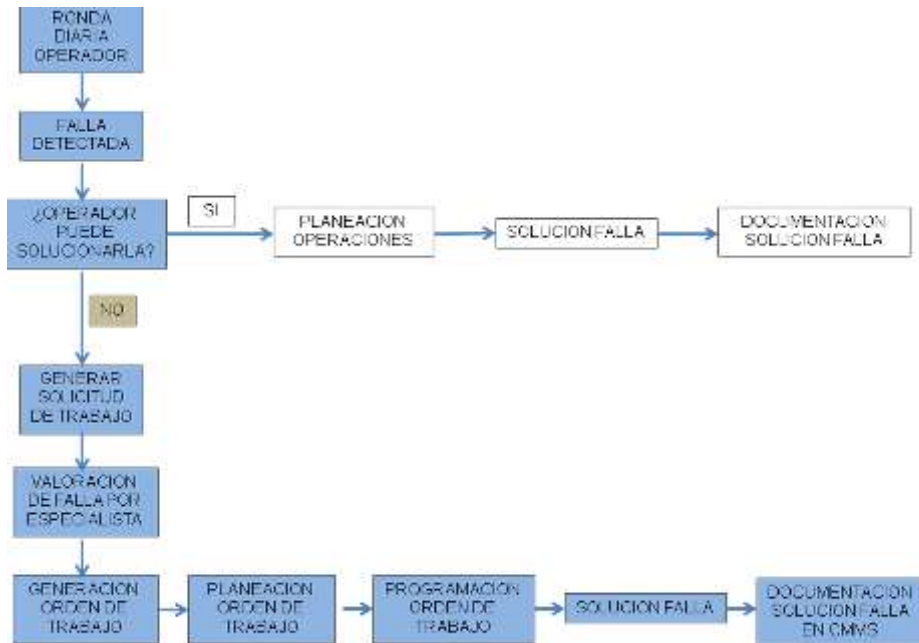
6.4.2 Rondas programadas de monitoreo. Se entenderá como rondas programadas de monitoreo por parte del operador de la unidad, las tareas programadas para monitoreo de vibración, temperatura y verificación de lubricación de los equipos.

6.5 PROCESO DE SOLUCIÓN DE FALLAS

Cuando se habla de solucionar fallas presentadas en los equipos instalados en una unidad, encontraremos que se presentan dos posibilidades, por las cuales estas fallas se pueden corregir. Las fallas pueden solucionarse con mantenimiento mayor por personal más calificado o por personal de operaciones, según su complejidad técnica.

6.5.1 Eliminación de fallas con mantenimiento mayor. En el caso de requerirse la intervención del equipo por personal de mantenimiento especializado, el proceso entra a otra etapa, la cual exige mayor planeación y requiere más tiempo para ser solucionada. El gráfico muestra cual es la ruta para corregir estas fallas.

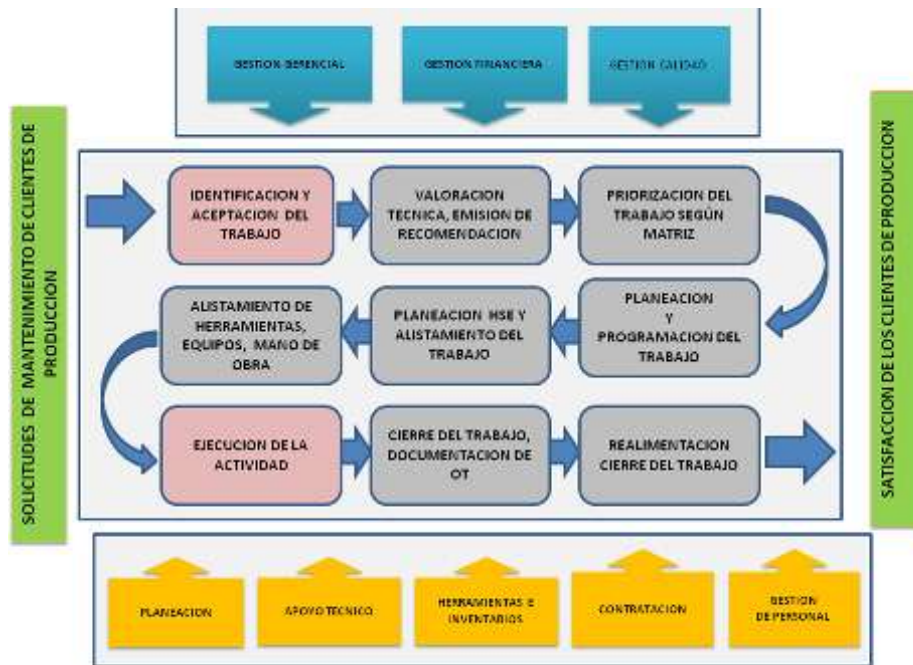
Figura 96. Diagrama de flujo solución de fallas con mantenimiento mayor



Fuente: Autores del proyecto

Algunas fallas de equipos requieren una planeación aun mas extensa, y es cuando se requieren programar su solución en una T/A (Turna round o Reparación General), las cuales se programan con una periodicidad de 4 años o mas, en las cuales se aprovecha para una inspección general de las unidades.

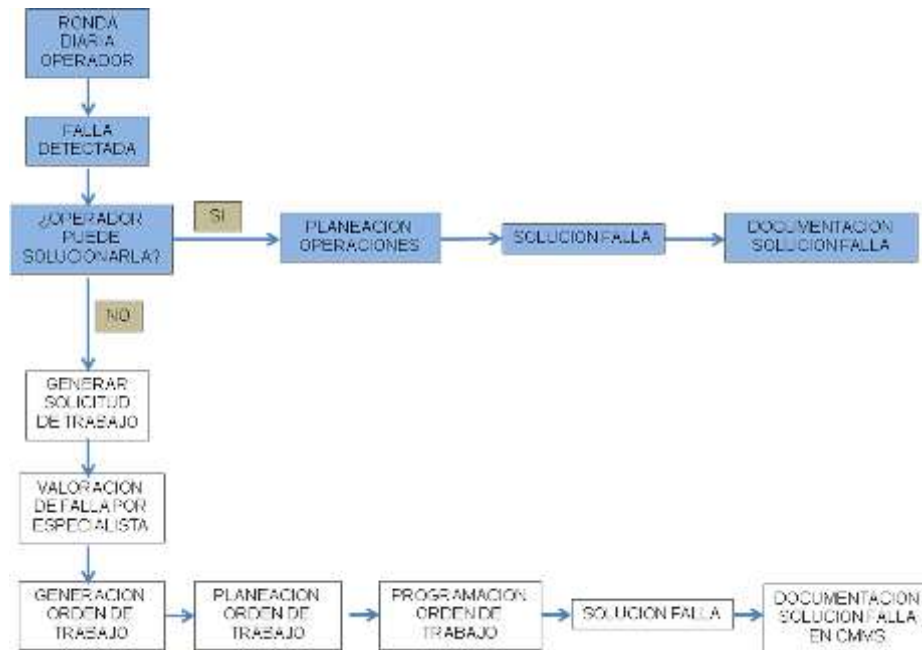
Figura 97. Pasos específicos para solución de fallas con mantenimiento mayor



Fuente: Autores del proyecto

6.5.2 Eliminación de fallas con mantenimiento básico realizado por personal de operaciones. De acuerdo a la criticidad de las fallas y si el personal de operaciones se encuentra con el entrenamiento necesario, los operarios están en capacidad de solucionar fallas presentadas en los equipos, con el fin de mantener su funcionamiento o disponibilidad. Para la solución de estas fallas y ejecución de tareas programadas, se cuentan con los procedimientos establecidos, los cuales encontramos en los anexos G al N.

Figura 98. Pasos específicos para solución de fallas con mantenimiento básico realizado por personal de operaciones



Fuente: Autores del proyecto

6.5.2.1 Tareas programadas. Las tareas programadas en este plan, son las relacionadas con acciones de Mantenimiento menor, las cuales serán ejecutadas y documentadas por personal de operaciones. Las tareas mas críticas y de mayor impacto son las siguientes, las cuales están listadas en el anexo E.

- **Monitoreo de Vibraciones.** El objetivo es realizar sistemáticamente el monitoreo de vibraciones mecánicas de los equipos rotativos instalados, con el fin de realizar seguimiento al comportamiento mecánico del equipo y sus componentes como cajas de Rodamientos en motores, turbinas, bombas, entre otros.

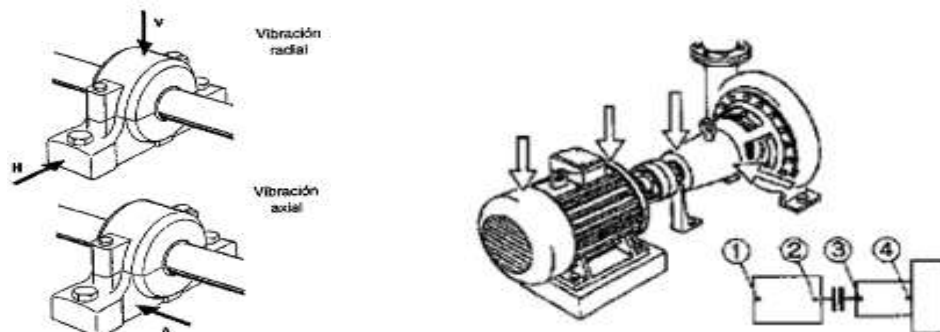
Figura 99. Monitoreo de vibración en equipos rotativos



Fuente: Autores del proyecto

El análisis de datos consta de dos etapas: adquisición e interpretación de los datos obtenidos al medir la vibración de la máquina. El fin a alcanzar es determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallos específicos, mecánicos o funcionales. La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones. Los datos a tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia ($\text{rpm}=\text{cpm}$). Así, para bajas rpm (bajos cpm) se tomarán datos de desplazamientos. Para velocidades que estén dentro del orden de 600 y 60.000 rpm se medirán velocidades. Y para los que sean de orden superior, los datos a tomar serán aceleraciones.

Figura 100. Puntos de Monitoreo de vibración en equipos rotativos



Fuente: Autores del proyecto

- **Monitoreo de temperaturas de operación.** El fin de esta tarea es la de monitorear las temperaturas de operación de los componentes críticos de los equipos, ya sea con un pirómetro o una cámara termográfica, el objetivo es el de conocer como están operando con respecto a su temperatura, las cajas de Rodamientos en motores, turbinas y bombas entre otros.

Figura 101. Puntos de monitoreo de temperatura en equipos rotativos



Fuente: Autores del proyecto

Averías mecánicas que se pueden detectar con la termografía:

- Problemas de lubricación
- Errores de alineación
- Motores recalentados
- Rodillos sospechosos
- Bombas sobrecargadas
- Ejes de motor recalentados
- Rodamientos calientes

- **Análisis de estado de aceite y condiciones de lubricación.** Preservar la condición del aceite es vital para garantizar un adecuado funcionamiento del equipo. Existen varios factores que reducen considerablemente la vida del aceite y el fin de estas tareas es establecer el estado del mismo.

Los aceites de bases minerales que operan por encima de 50 GC duplican su rata de oxidación. Hasta donde sea posible, se requiere evitar estas altas temperaturas, con el uso de sistemas de enfriamiento, aceites sintéticos o sistemas de lubricación por niebla.

Figura 102. Referencia de estado de aceite de lubricación



Fuente: Autores del proyecto

Dentro de un equipo en operación, se puede dar lugar a la formación de herrumbre y con esto la interrupción de la película lubricante. A altas temperaturas es posible que el aceite se emulsione y se de lugar a la formación de gomas y lodos que taponen tuberías y generen fallas del equipo.

La contaminación con sólidos del aceite lubricante, puede generar desgaste abrasivo en rodamientos y por ende daños en componentes con sus consecuentes fallas.

El cobre es uno de los mejores acelerantes de la oxidación del aceite. No se debe usar en tuberías de lubricación. Estas en lo posible, deben ser en acero inoxidable.

- **Cambios de aceite de lubricación.** En caso de requerirse un cambio del aceite de lubricación del equipo, este se debe ejecutar teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones.
 - Recolectar y disponer el aceite usado en recipientes y sitios seguros.
 - Usar el mismo grado ISO o SAE de aceite, según fabricante.
 - No mezclar Aceites minerales y sintéticos.
 - Eliminar fuentes de humedad en el equipo.
 - Lavar con un aceite de menor viscosidad lo mejor posible el carter o caja de rodamientos del equipo.
 - Reponer el nivel adecuado del aceite lubricante.
 - Asegurar drenajes de recipientes para evitar fugas de aceite.
 - Verificar estado de venteos de carter o caja de rodamientos.
 - Demarcar los equipos con el tipo y nivel de aceite usado.
 - Mantener herramientas de lubricación en buen estado de aseo.

Figura 103. Cambio de aceite de lubricación en equipos rotativos



Fuente: Autores del proyecto

- **Rotación de equipos en SB.** Los equipos que operan como equipos auxiliares y se encuentran en SB, debido a que el equipo principal esta operando, o el caso de equipos de bajo factor de uso se deben tener en

seguimiento especial y se le deben ejecutar tareas básicas de preservación, con el fin de mantenerlos disponibles para operar o conocer su posibles fallas ocultas en pruebas donde se colocan en servicio por determinado tiempo, según el tipo de maquina. Es en este espacio donde entra en operación, donde se realizan monitoreo de vibraciones, temperaturas, lubricación y estado de sistema de sello en el caso de bombas o compresores.

Figura 104. Rotación manual de equipos en SB



Fuente: Autores del proyecto

- **Verificación de sistemas de plan de sellado.** Por ser uno de los componentes que mas falla en equipo rotativos, los sistemas de sellado especialmente en bombas, requieren la programación de tareas de mantenimiento menor, con las cuales se asegure su correcto funcionamiento. Para la revisión de estos sistemas de sello se requiere ejecutar las tareas estipuladas en el anexo F, donde se especifica una a una las tareas para los diferentes tipos de planes de sello.

Figura 105. Mantenimiento planes de sellado

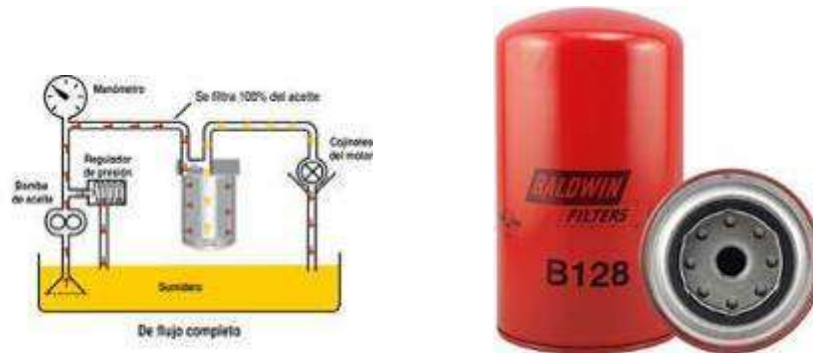


Fuente: Autores del proyecto

6.5.2.2 Tareas emergentes. En el caso de tareas emergentes, que deben solucionarla lo mas pronto posible con el fin de mantener la operabilidad del equipo, la planeación y ejecución de estas tareas puede darse en el mismo día o turno, según su grado de complejidad, para lo cual el personal de operaciones (llámese Supervisor y Operador o Técnico) deben ponerse de acuerdo y realizar un proceso de análisis de riesgo, compra de repuestos o insumos necesarios para poder ejecutarla. Habiendo realizado el análisis de riesgo para la ejecución de la tarea y teniendo los elementos o recursos necesarios, se procede a realizar su programación en el sistema de información de operaciones, en donde después de ejecutarla, se debe documentar el tiempo requerido, materiales y acciones empleadas en la ejecución.

- **Cambios de filtros de sistemas de lubricación.** Si los elementos filtrantes en sistemas de lubricación, se encuentran ya con altos valores de presión diferencial, se debe realizar su reemplazo, con el fin de mantener óptima calidad del aceite de lubricación y unas óptimas condiciones de lubricación al equipo, como presión y flujo del lubricante. Este cambio de elementos filtrantes se realiza colocando el filtro auxiliar en operación o *bypaseando* el que se va a cambiar en el caso de no existir esta facilidad.

Figura 106. Cambio de filtros en consolas de lubricación



Fuente: <http://www.baldwinfilter.com/es/ProductHighlights102011.html>

- **Limpieza y pintura de equipos.** Con el fin de mantener los equipos en un óptimo estado físico, se requieren ejecutar tareas para realizar limpieza general del mismo, eliminación de fuentes de suciedad, pintura y embellecimiento del equipo, logrando que sean identificados según los códigos de colores para instalaciones industriales, como también sus instrumentos, rótulos de aceite y demás aspectos físicos del mismo.

Figura 107. Estándar de limpieza y pintura de equipos rotativos



Fuente: Autores del proyecto

- **Cambio indicadores de presión y temperatura local THI.** Estos elementos de medición son básicos y necesarios en la operación de un equipo y de su

correcto funcionamiento depende la buena operación de equipos industriales, ya que en estos instrumentos el operador puede analizar el funcionamiento del equipo, así como detectar fallas funcionales. Por esto es necesario mantenerlos en buen estado y de ser necesario realizar su reemplazo en caso de que presenten falla. Para estos casos se requiere verificar cuales son los instrumentos en falla, sus especificaciones y el procedimiento a ejecutar para realizar el cambio de los mismos. Durante la ejecución del procedimiento de cambio de indicadores locales de presión y temperatura, se debe tener especial cuidado de aplicar un correcto bloqueo del instrumento para evitar lesiones al personal, por fugas de producto.

Figura 108. Cambio indicadores de presión y temperatura local THI



Fuente: Autores del proyecto

- **Lubricación de válvulas bloque, globo y de control.** Esta tarea permite una preservación de estos elementos de control, los cuales con su constante movimiento requieren un nivel básico de lubricación, el cual permite que su manipulación por personal de operaciones sea mas aceptable, logrando una mayor ergonomía, evitando fallas de estos equipos por ausencia de lubricación y evitando también lesiones al personal por su difícil manipulación.

Figura 109. Lubricación de válvulas bloque, globo y de control



Fuente: Autores del proyecto

- **Limpieza de elementos filtrantes en succión de equipos.** Con el fin de asegurar una operación optima de equipos rotativos dentro de sus ventanas operativas, en especial cuando hablamos de NPSHr, el cual se mide mediante la presión de succión, se requieren acciones de mantenimiento con el fin de realizar cambio o limpieza de elementos filtrantes a la succión y también descarga de equipos, los cuales protegen los componentes internos de llegada de sólidos en suspensión en fluidos como líquidos o gases. De esta forma mantenemos las condiciones necesarias para que estos equipos operen de acuerdo a sus condiciones de diseño, protegiéndolos y prolongando su ciclo de vida.

Figura 110. Limpieza de elementos filtrantes en succión de equipos



Fuente: Autores del proyecto

6.6 PLANEACIÓN DE TAREAS

Para la planeación de las tareas se diseñó un plan, en el cual se listan todas las actividades de mantenimiento a realizar por el personal de operaciones. Allí se muestran las tareas específicas, los equipos en los que aplican su frecuencia, método de ejecución, el riesgo que presenta al momento de realizarla y una descripción más detallada del objetivo de esta tarea.

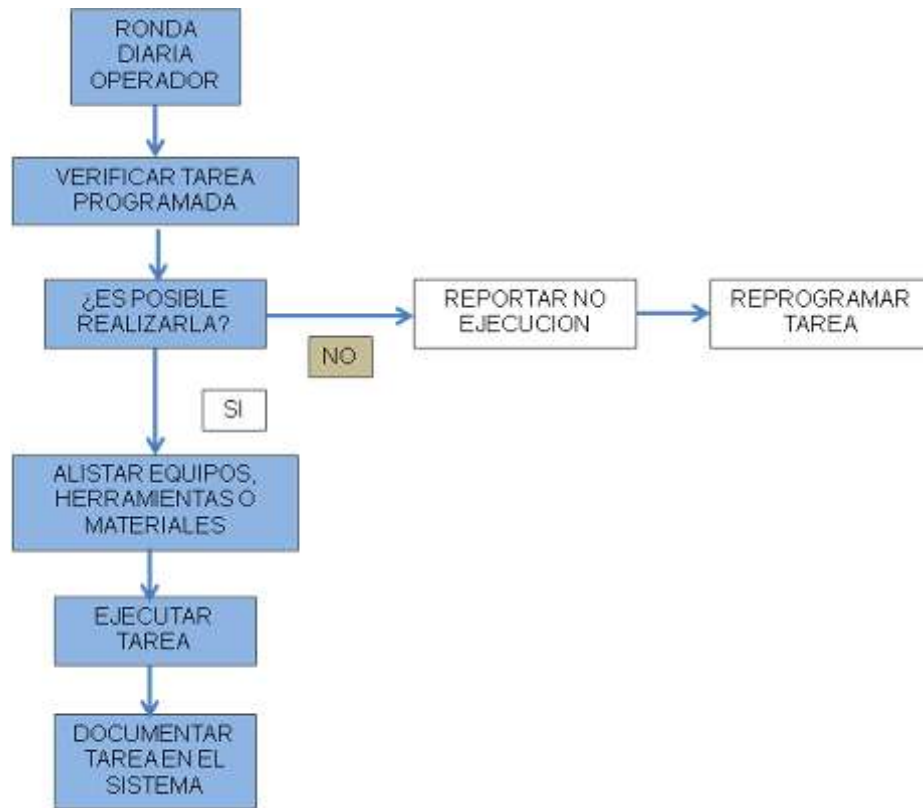
En el caso de tareas emergentes, las cuales anteriormente hemos descrito que se pueden presentar a falla, es decir, en cualquier momento no planeado, también aplica el plan en lo referente a tipos de equipos que aplica, método de ejecución, el riesgo y el detalle de la tarea, sin embargo es de especial cuidado que la ejecución de una tarea emergente, no cause afectación en las personas, medio ambiente o instalaciones, debido a que no se cuenta con un tiempo suficiente para su planeación.

6.7 EJECUCIÓN DE TAREAS

La ejecución de las tareas programadas se realizará todos los días en los diferentes turnos operativos del personal, sin exceder el 20% del tiempo total del turno, con el fin de poder dar tiempo a realizar sus demás labores operativas.

Para la ejecución de las tareas, es necesario realizar la planeación requerida con el fin de poder completarla de una forma eficiente y segura.

Figura 111. Pasos para ejecución de tareas de mantenimiento



Fuente: Autores del proyecto

6.8 CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

Para la correcta ejecución de estas tareas y con el fin de lograr un alto estándar de calidad en las mismas, evitando incidentes con las personas, medio ambiente e instalaciones, es necesario capacitar al personal de operaciones en los diferentes temas aquí tratados, con el fin de suministrar los conocimientos necesarios para que la ejecución de estas tareas, que en últimas resultan en una mayor confiabilidad y disponibilidad de los equipos, logrando estos dos aspectos, el personal de operaciones, se beneficia enormemente ya que aspectos como confiabilidad operacional, calidad de sus procesos y productos permiten un trabajo más estable.

Los temas en los cuales se debe capacitar al personal son:

- Tribología en maquinas rotativas: lubricación, desgaste, temperatura
- Monitoreo y análisis de vibraciones mecánicas.
- Sistemas auxiliares de lubricación.
- Instrumentación básica.
- Muestreo y análisis de aceites lubricantes.
- Operación y mantenimiento de planes de sellado.
- Lubricación de equipos en general.
- Mantenimiento de equipos instalados según fabricante.
- Disposición de aceites y elementos usados.

6.9 MEDICIÓN DE EFECTIVIDAD

La efectividad en la ejecución de estas tareas será medida de acuerdo a la cantidad de tareas que se ejecutan en el mes y en especial su calidad. Con la efectividad de estas tareas se espera lo siguiente:

- Mejoramiento del lugar del trabajo, logrando unos equipos en mejores condiciones y unas instalaciones más agradables.
- Aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos e instalaciones.
- Obtener mayor disponibilidad de equipos en SB.
- Reducir el numero de fallas y por lo tanto el Tiempo medio entre fallas.
- Mejorar la mantenibilidad de los equipos con la corrección de fallas pequeñas.
- Mejoramiento continuo de las capacidades técnicas del personal de operaciones.
- Disminución de la carga laboral al personal de mantenimiento.

CONCLUSIONES

Realizada la revisión de los diferentes equipos rotativos instalados en cada una de las áreas de proceso analizadas se logró elaborar e identificar los diferentes y más comunes modos de falla que se presentan en estos activos.

Las bombas centrífugas fueron los equipos donde se evidencio el mayor número de fallas, estos eventos causan un gran deterioro en la integridad del activo viéndose reflejada en los diferentes componentes de estas máquinas, especialmente en los sellos mecánicos y rodamientos.

Se evidencia que muchas de las anomalías de los equipos rotativos pueden ser detectadas fácilmente, y que de ser prevenidas y corregidas a tiempo impactan positivamente en la integridad del activo.

Para el caso del mantenimiento proactivo ejecutado por el personal de operaciones se constató que este tipo de acciones son muy escasas, además no se tienen plenamente estandarizadas e identificadas y el factor determinante es la poca capacitación y conocimiento del tema.

Las nuevas tendencias de mantenimiento industrial, enfatizan la inclusión y participación activa del personal de operaciones en el mantenimiento básico de los equipos bajo su responsabilidad y que apoyado y sustentado en estas metodologías se optimiza el ciclo de vida de los activos.

Los equipos analizados se clasificaron de acuerdo a su criticidad, elaborando los respectivos planes de mantenimiento, encaminados a prevenir fallas en los mismos y mediante la aplicación de RCM.

Se requiere como premisa antes de ejecutar el plan de mantenimiento propuesto, estructurar y fortalecer un plan de capacitación al personal de forma continua y constante en el cual adquieran las destrezas necesarias para la ejecución segura y correcta de las tareas de mantenimiento.

El objetivo principal de diseñar estos programas es el de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de las unidades, optimizando el proceso de mantenimiento de los equipos y la progresiva reducción de fallas.

La aplicación de esta iniciativa a la par con el plan de mantenimiento programado que se les ejecuta a los diferentes equipos rotativos, fortalece significativamente la confiabilidad y disponibilidad de estos, lo cual repercute finalmente en la operación más confiable y segura de las diferentes unidades de proceso.

Esperamos finalmente que este trabajo logre cumplir sus objetivos, sirva para ser aplicado y sea la guía para que otras personas o empresas mejoren sus indicadores.

BIBLIOGRAFIA

CÓRDOBA ALIENDRES Marigre. Análisis de fallas de los sellos mecánicos en las Bombas de Proceso de una Planta Cervecera. Trabajo de grado. Anzoategui. Universidad de Oriente. Departamento de Mecánica.

Fundamentos aire comprimido Ingersond Rand Marzo de 2010.

GARCÍA CASTRO Alfonso. Análisis de vibraciones en máquinas, diagnóstico de fallas y mantenimiento predictivo. Trabajo de grado especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2011.

GARCIA Wilbert. RCA mediante vibraciones a compresor Aerzen de tornillo. México. Facultad de Ingeniería Mecánica. Campus Coatzacoalcos.

Manual de descripción de unidades de proceso. Refinería Ecopetrol Barrancabermeja.

MONTAÑO Jorge. Manual de compresores. Edición 4 Junio 1997 pagina 17-22.

MUÑOZ, María Belén. Mantenimiento Industrial. Madrid. Universidad Carlos III de Madrid Área de Ingeniería Mecánica.

SANZOL, Lorenzo Implantación de Plan de mantenimiento TPM en planta de cogeneración. Trabajo de Grado. Pamplona Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. 2010.

CIBERGRAFÍA

www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx.

www.a-maq.com.

<http://www.mailxmail.com/curso-bombas-centrifugas/sello-completo-tipos-sellado-interfacial>.

http://www.google.com.co/search?q=motores+electricos+ac&bav=on.2.or.r_qf.&biw=819&bih=533&bvm=pv.xjs.s.en_US.yR6OC0MmjVk.O&um=1&ie=UTF-8&hl=es&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=76QVUuefJseh2AWp2YHYC.

<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>.

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.pdf>

<http://www.monografias.com/trabajos74/motores-corriente-directa/motores-corriente-directa.shtml>.

<http://es.scribd.com/doc/2448049/Manual-de-motores-electricos>.

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Turbinas-De-Accion-y-Reaccion/567569.htm>

<http://www.google.com.co/clasificacion> bombas hidráulicas

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/clasificacionbombashidraulicas/casificaciondelasbombashidraulicas.html>

<http://html.rincondelvago.com/bombas-y-sus-aplicaciones.html>

<http://bombas-hidro.blogspot.com/2008/03/bombas-especiales.html>

<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/TBombas.htm>

<http://es.scribd.com/doc/32396634/CONCEPTOS-BOMBAS>

http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_VENTILADORE

https://www.google.com.co/search?hl=es&q=turbinas+a+vapor&bav=on.2,or.r_qf.&bvm=bv.51156542,d.b2l,pv.xjs.s.en_US.yR6OC0MmjVk.O&biw=819&bih=533&um=1&ie=UTF-8&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=zok

<http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

www.rcm-confiabilidad.com.ar

<http://www.herramientasparapymes.com/metodologia-de-las-5-s>

http://perso.wanadoo.es/idmb/a_ing/temas/mantenimiento_autonomo.htm

www.ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html

<http://ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html>

ANEXOS

Anexo A Cuadro RCM de bombas

EQUIPO	TIPO EQUIPO	MODULO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CRITICIDAD	TIPO TAREA	TAREA	EJECUTOR	FRECUENCIA	RAM EJECUCION
BOMBAS	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL TIPO VOLADIZO	FALLA SELLO MECANICO	FALLA SELLO MECANICO. PRESENTA ESCAPE AL EXTERIOR, OPERADOR DETECTA LA FALLA, EN EL CASO CRITICO MANEJA LA CONTINGENCIA CON LA AUXILIAR.	M	PTVO	CHEQUEAR OPERACION SISTEMA DE SELLO	OPERADOR	SEMANAL	L
		FALLA RODAMIENTOS	FALLA RODAMIENTOS. DEFICIENCIA EN LA LUBRICACION, ALTA TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO, DEGRADACION DEL ACEITE. EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FLUJO POR PARADA DE BOMBA , MANEJA LA CONTINGENCIA CAMBIANDO POR LA AUXILIAR	L	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	DIARIA	L
				L	PTVO	RUTA TRIBOLOGIA DEL OPERADOR	OPERADOR	SEMANAL	L
				L	PDTVO	MEDICION VIBRACIONES Y TEMPERATURAS	OPERADOR	MENSUAL	L
				L	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	MENSUAL	L
				L	PTVO	APLICAR POLITICA ROTACION DE EQUIPO STAND BY	OPERADOR	MENSUAL	L
		FALLA SOPORTERIA	FALLA DE SOPORTERIA (FLEXIBILIDAD). SOBRE ESFUERZOS EN LOS EQUIPOS ASOCIADOS, POSIBLE DAÑO EN EL EQUIPO ROTATIVO, EL OPERADOR REPORTA A MANTENIMIENTO.	M	PVTO	CHEQUES DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	MENSUAL	L
		FILTRO SUCCION SUCIO	ENSUCIAMIENTO PROGRESIVO DEL FILTRO, EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FLUJO, MANEJA LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR.	L	POR CONDICION	LIMPIEZA DE FILTRO SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	POR CONDICION	L
	BOMBAS RECIPROCANTES	FALLA EMPAQUETADURAS	FALLA DE EMPAQUETADURA, ESCAPE AL EXTERIOR. EL OPERADOR DETECTA LA FALLA MANEJA LA CONTINGENCIA CON LA AUXILIAR Y REPORTA A MANTENIMIENTO.	M	POR CONDICION	AJUSTAR EMPAQUETADURA SEGUN CONDICION	OPERADOR	DIARIA	L
		DESGASTE DE INTERNOS	DESGASTE DE LOS INTERNOS (VALVULAS, EMBOLO). EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL, MANEJA LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR Y REPORTA A MANTENIMIENTO.	M	PDTVO	MONITOREO DE VENTANAS OPERATIVAS	OPERADOR	SEMANAL	L
		FALLA TRANSMISION	FALLA DE LA TRANSMISION. EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL, MANEJA LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR Y REPORTA A MANTENIMIENTO.	L	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	DIARIA	L
	BOMBAS DE TORNILLO	DESGASTE DE INTERNOS	FALLAN LOS INTERNOS (TORNILLO). EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL MANEJA LA CONTINGENCIA Y REPORTA A MANTENIMIENTO	L	PTVO	LIMPIAR FILTRO DE SUCCION SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	MENSUAL	L
		FALLA SELLO MECANICO	FALLA DE SELLO MECANICO ESCAPE AL EXTERIOR , EL OPERADOR IDENTIFICA MANEJA LA CONTINGENCIA CON LA AUXILIAR Y REPORTA A MANTENIMIENTO	N	PTVO	ENGRASAR SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	MENSUAL	L
	BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL	FALLA RODAMIENTOS	FALLA RODAMIENTOS. DEFICIENCIA EN LA LUBRICACION, ALTA TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO, DEGRADACION DEL ACEITE. EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FLUJO POR PARADA DE BOMBA , MANEJA LA CONTINGENCIA CAMBIANDO POR LA AUXILIAR	L	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	DIARIA	L
				L	PDTVO	ENGRASAR SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	MENSUAL	L
				L	PDTVO	MEDICION VIBRACIONES Y TEMPERATURAS	OPERADOR	MENSUAL	L
				L	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	MENSUAL	L
		DESGASTE DE INTERNOS	DESGASTE DE LOS INTERNOS, PERDIDA DE FLUJO. EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA, MANEJA LA CONTINGENCIA Y REPORTA A MANETNIMIENTO	N	PDTVO	MEDICION Y ANALISIS TENDENCIA VIBRACIONES	OPERADOR	MENSUAL	L
				N	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	MENSUAL	L

Fuente: Autores del proyecto

Anexo B Cuadro RCM de turbinas motores y agitadores

EQUIPO	TIPO EQUIPO	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CRITICIDAD	TIPO TAREA	TAREA	EJECUTOR	FRECUENCIA	RAM EJECUCION
TURBINAS	TURBINAS DE VAPOR	FALLA CHUMACERAS	FALLA DE CHUMACERA . SE DISPARA LA TURBINA OCASIONANDO DAÑO SEVERO , EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FLUJO , MANEJA LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR Y REPORTA A MANTENIMIENTO	L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	UNA VEZ POR TURNO	M
				L	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	UNA VEZ POR TURNO	M
				L	PDTVO	MEDICION VIBRACIONES y TEMPERATURAS	OPERADOR	MENSUAL	M
				L	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	MENSUAL	M
		FALLA SISTEMA LUBRICACION	FALLA SISTEMA DE LUBRICACION, FORMACION DE GOMAS, TAPONAMIENTO DEL FILTRO, CONTAMINACION DE ACEITE, DETERIORO DE CHUMACERAS, ALTA VIBRACION, FALLA DE CHUMACERA . SE DISPARA LA TURBINA OCASIONANDO DAÑO SEVERO , EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FL	L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	UNA VEZ POR TURNO	M
				L	PTVO	MONITOREO DE DIFERENCIAL DE PRESION	OPERADOR	DIARIA	M
				L	POR CONDICION	CAMBIAR FILTRO DE ACEITE SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	M
				L	POR CONDICION	LIMPIAR ENFRIADOR SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	M
				M	PDTVO	DRENAR Y MUESTREAR ACEITE POR AGUA/SEDIMENTOS/P ARTICULAS	OPERADOR	SEMANAL	M
MOTORES	MOTORES DE INDUCCION	FALLA RODAMIENTOS	FALLA DE RODAMIENTOS: AUMENTO DE VIBRACION Y TEMPERATURA, RUIDO ANORMAL, SE PEGAN LOS RODAMIENTOS, DISPARO DE PROTECCIONES. EL OPERADOR MANEJA LA CONTINGENCIA, EN EL CASO CRITICO EL OPERADOR MANEJA LA CONTINGENCIA REDUCIENDO EN UN 5% LA EFICIENCIA DE LA PL	L	PTVO	ENGRASAR SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	MENSUAL	L
AGITADORES	AGITADORES DE TANQUES	FALLA RODAMIENTOS	FALLA DE RODAMIENTOS: AUMENTO DE VIBRACION Y TEMPERATURA, RUIDO ANORMAL, SE PEGAN LOS RODAMIENTOS, DISPARO DE PROTECCIONES. EL OPERADOR MANEJA LA CONTINGENCIA, EN EL CASO CRITICO EL OPERADOR MANEJA LA CONTINGENCIA REDUCIENDO EN UN 5% LA EFICIENCIA DE LA PL	N	PTVO	ENGRASAR SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	MENSUAL	L
		FALLA SELLO MECANICO	FALLA SELLO MECANICO. PRESENTA ESCAPE AL EXTERIOR, OPERADOR DETECTA LA FALLA, EN EL CASO CRITICO MANEJA LA CONTINGENCIA CON LA AUXILIAR.	M	PTVO	CHEQUEAR OPERACIÓN SISTEMA DE SELLO	OPERADOR	SEMANAL	L

Fuente: Autores del proyecto

Anexo C Cuadro RCM de cajas de engranajes y filtros rotatorios

EQUIPO	TIPO EQUIPO	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	CRITICIDAD	TIPO TAREA	TAREA	EJECUTOR	FRECUENCIA	RAM EJECUCION
CAJAS DE ENGRANAJES	REDUCTORES DE VELOCIDAD	FALLA ENGRANAJES	FALLA DEL REDUCTOR: DAÑO DE RODAMIENTO Y ENGRANAJES EN CASO CRITICO PARA EL CHILLER, EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL, MANEJA LA CONTINGENCIA BY-PASSEANDO EL EQUIPO, REPORTA A MANTENIMIENTO. REDUCIENDO EN UN 5% LA EFICIENCIA DE LA	L	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	DIARIA	L
				L	PDTVO	MEDICION VIBRACIONES y TEMPERATURAS	OPERADOR	MENSUAL	L
				L	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	MENSUAL	L
		FALLA DE EMPAQUETADURA	FALLA DE LA EMPAQUETADURA, ESCAPE AL EXTERIOR, EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA MANEJA LA CONTINGENCIA Y REPORTA A MANTENIMIENTO. REDUCCION EFICIENCIA DE LA PLANTA.	L	POR CONDICION	REAPRETAR PRENSAEMPAQUE	OPERADOR	POR CONDICION	L
		DESGASTE CADENAS Y PIÑONES	DESGASTE PROGRESIVO DE CADENA Y PIÑONES: POSIBLE ROTURA DE CADENA Y PIÑON OCASIONANDO SALIDA DEL EQUIPO, REDUCIENDO LA EFICIENCIA DE LA PLANTA.	L	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	DIARIA	L
		FALLA RODAMIENTOS	DAÑO DE RODAMIENTOS EN PIÑONES Y TENSORES: SE FRENA EJE, SE ROMPE EL ACOPLE, SE TAPONA EL CHILLER Y ES NECESARIO PARARLO CON DISMINUCION DE EFICIENCIA DE LA PLANTA. EL OPERADOR MANEJA LA CONTINGENCIA PARANDO EL EQUIPO Y DISMINUYENDO CARGA EN 5%.	L	PTVO	ENGRASAR SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	MENSUAL	L
FILTROS	FILTROS ROTATIVOS AL VACIO	LONA ROTA	ROTURA DE LONA: SE PRESENTA ROTURA DE LONA, PRESENTA CONTAMINACION DE PRODUCTO, EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL Y DATOS DE LABORATORIO, MANEJA LA CONTINGENCIA Y REPORTA A MANTENIMIENTO.	L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	L
		ALAMBRES SUELTOS	SOLTURA DE ALAMBRES: SE PRESENTA DESTENSIONAMIENTO. EN EL CASO CRITICO GENERA ROTURA DE LONA, EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL Y DATOS DE LABORATORIO, REPORTA A MANTENIMIENTO.	L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	L
		FALLA CUCHILLAS	FALLA DE CUCHILLA: SE PIERDE EFICIENCIA EN DESALOJO DE CERA, EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL, REPORTA A MANTENIMIENTO.	N	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	MECANICA	DIARIA	L
		FALLA TORNILLO	FALLA DE TORNILLO (RODAMIENTO, BUJES, ACOPLE): ESTA FALLA NO PERMITE LA EVACUACION DE CERA HACIA LA BOTAS. EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL, MANEJA LA CONTINGENCIA Y REPORTA A MANTENIMIENTO.	N	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	L
		FALLA ENGRANAJES	FALLA DEL REDUCTOR: DAÑO DE RODAMIENTO Y ENGRANAJES EN CASO CRITICO PARA EL EQUIPO, EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA POR ANALISIS OPERACIONAL, MANEJA LA CONTINGENCIA, REPORTA A MANTENIMIENTO. REDUCIENDO EN UN 5% LA EFICIENCIA DE LA CARGA.	N	PTVO	CHEQUEAR NIVEL DE ACEITE Y COMPLETAR	OPERADOR	DIARIA	L
				N	PDTVO	MEDICION VIBRACIONES y TEMPERATURAS	OPERADOR	MENSUAL	L
				N	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	MENSUAL	L

Fuente: Autores del proyecto

Anexo D Cuadro RCM d iladores y compresores

EQUIPO	TIPO EQUIPO	MODULO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CRITICIDAD	TIPO TAREA	TAREA	EJECUTOR	FRECUENCIA	RAM EJECUCION
ENFRIADORES	VENTILADORES	FALLA DE RODAMIENTOS	FALLA DE RODAMIENTO: AUMENTO DE LA VIBRACION, SE PARA EL EQUIPO EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA MANEJANDO LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR.	N	PTVO	ENGRASAR RODAMIENTO SEGUN PROGRAMA	OPERADOR	SEMANAL	N
		FALLA CORREA	FALLA DE CORREAS: NO HAY TRANSMISION SE PARA EL EQUIPO, EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA MANEJA LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR.	L	PTVO	CHEQUEAR TENSION/DESGASTES CORREAS	OPERADOR	SEMANAL	L
COMPRESORES	RECIPROCANTES	FALLA VALVULAS	FALLA VALVULA SUCCION, DESCARGA; ALTA TEMPERATURA, CAIDA DE PRESION, BAJO FLUJO. SUENA LA ALARMA, EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA MANEJA LA CONTINGENCIA CON SISTEMA AUXILIAR.	L	CMT	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	L
		FALLA ANILLOS DE COMPRESION	FALLA DE INTERNOS, ANILLOS GUIA Y COMPRESION, CILINDRO, PISTON; PERDIDA EFICIENCIA DEL EQUIPO, EL OPERADOR DETECTA LA FALLA, MANEJA LA CONTINGENCIA CON EQUIPO AUXILIAR.	L	CMT	MONITOREO RELACION DE COMPRESION	OPERADOR	DIARIA	L
		FALLA ENFRIAMIENTO	FALLA SISTEMA ENFRIAMIENTO DE LA S CAMISAS; AUMENTO DE TEMPERATURA EN EL CILINDRO, DESGASTE DE INTERNOS, EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR PERDIDA DE EFICIENCIA, MANEJA LA CONTINGENCIA CON EL EQUIPO AUXILIAR.	L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	L
				L	POR CONDICION	LIMPIAR ENFRIADOR SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	L
		FALLA SISTEMA LUBRICACION	FALLA SISTEMA DE LUBRICACION, FORMACION DE GOMAS, TAPONAMIENTO DEL FILTRO, CONTAMINACION DE ACEITE, DETERIORO DE CHUMACERAS, ALTA VIBRACION, FALLA DE CHUMACERA . SE DISPARA LA TURBINA OCASIONANDO DAÑO SEVERO , EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FL	L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	M
				L	PTVO	MONITOREO DE DIFERENCIAL DE PRESION	OPERADOR	DIARIA	M
				L	POR CONDICION	CAMBIAR FILTRO DE ACEITE SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	M
				L	POR CONDICION	LIMPIAR ENFRIADOR SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	M
				M	PDTVO	DRENAR Y MUESTREAR ACEITE POR AGUA/SEDIMENTOS/P ARTICULAS	OPERADOR	SEMANAL	M
				M	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	M
	CENTRIFUGOS	FALLA CHUMACERAS	FALLA LA CHUMACERA, INCREMENTA LA VIBRACION, SUENA LA ALARMA, EL OPERADOR IDENTIFICA LA FALLA, SOLICITA DIAGNOSTICO. FINALMENTE PARA LA PLANTA	M	PDTVO	MEDICION VIBRACIONES y TEMPERATURAS	OPERADOR	SEMANAL	M
				M	PDTVO	ANALIZAR TENDENCIAS (VIBRACION - TEMPERATURA)	OPERADOR	SEMANAL	M
				L	PTVO	CHEQUEOS DEL OPERADOR SEGUN RUTINA	OPERADOR	DIARIA	M
		FALLA SISTEMA LUBRICACION	FALLA SISTEMA DE LUBRICACION, FORMACION DE GOMAS, TAPONAMIENTO DEL FILTRO, CONTAMINACION DE ACEITE, DETERIORO DE CHUMACERAS, ALTA VIBRACION, FALLA DE CHUMACERA . SE DISPARA LA TURBINA OCASIONANDO DAÑO SEVERO , EL OPERADOR DETECTA LA FALLA POR CAIDA DE FL	L	PTVO	MONITOREO DE DIFERENCIAL DE PRESION	OPERADOR	DIARIA	M
				L	POR CONDICION	CAMBIAR FILTRO DE ACEITE SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	M
				L	POR CONDICION	LIMPIAR ENFRIADOR SEGUN CONDICION	OPERADOR	POR CONDICION	M
				M	PDTVO	DRENAR Y MUESTREAR ACEITE POR AGUA/SEDIMENTOS/P ARTICULAS	OPERADOR	SEMANAL	M

*
**

Condiciones visual del aceite (Viscosidad, color, consistencia y contenido de partículas)
Condiciones de Presion en la succion del equipo, que muestre obstruccion
Analisis de laboratoro especializado (Cont

N
L
M
H

NINGUNO
BAJO
MEDIO
ALTO

Fuente: Autores del proyecto

Anexo E Plan de tareas de mantenimiento a realizar por operadores

ITEM	TAREA	EQUIPO	FRECUENCIA	METODO o HERRAMIENTA	RIESGO	DESCRIPCION
1	Monitoreo de Vibraciones.	Bombas Centrifugas Horizontales y verticales	Semanal	Recoleccion Manual (Colector)	L	Recoleccion de datos para Monitoreo y Analisis de Vibraciones con equipo portatil
		Turbinas de vapor			M	
		Motores Electricos			L	
		Turbo Compresores y Generadores	Diaria	Monitoreo en linea	N	Monitoreo y Analisis de Vibraciones con equipo de analisis en linea
		Ventiladores (Rodamientos)	Semanal	Recoleccion Manual (Colector)	M	Recoleccion de datos para Monitoreo y Analisis de Vibraciones con equipo portatil
		Reductores de velocidad			L	
2	Monitoreo de temperaturas de Operación.	Bombas Centrifugas Horizontales y verticales	Semanal	Medir temperatura con Pirometro	L	Monitoreo de temperatura del equipo con Pirometro o Camara termografica
		Turbinas de vapor			M	
		Motores Electricos			L	
		Turbo Compresores y Generadores	Diaria	Monitoreo en linea	N	Monitoreo de temperatura con equipo de analisis en linea
		Ventiladores (Rodamientos)	Semanal	Medir temperatura con Pirometro	M	Monitoreo de temperatura del equipo con Pirometro o Camara termografica
		Reductores de velocidad			L	
		Consolas de Lubricacion forzada o Niebla			L	

ITEM	TAREA	EQUIPO	FRECUENCIA	METODO o HERRAMIENTA	RIESGO	DESCRIPCION
3	Análisis de estado de aceite y condiciones de lubricación.	Bombas Centrifugas Horizontales y verticales	Semanal	Visual	M	Análisis visual del estado del aceite tomando muestra, verificando color, viscosidad, partículas o presencia de metales
		Turbinas de vapor			M	
		Motores Eléctricos			M	
		Turbo Compresores y Generadores	Diaria	Visual y Laboratorio	H	Análisis visual y de laboratorio especializado (Conteo de partículas, ferrografía, Viscosidad
		Ventiladores (Rodamientos)	Semanal	Visual	M	Análisis visual del estado del aceite tomando muestra, verificando color, viscosidad, partículas o presencia de metales
		Reductores de velocidad			M	
		Consolas de Lubricación forzada o Niebla			M	
4	Cambios de aceite de lubricación.	Bombas Centrifugas Horizontales y verticales	Según condición*	Recipientes para aceite nuevo y usado	M	Realizar cambio total de aceite en cajas de balineras o cárter del equipo, según resultados visuales o de laboratorio , conservando especificaciones del mismo como tipo (sintético o mineral) grado ISO y nivel
		Turbinas de vapor			M	
		Motores Eléctricos			M	
		Turbo Compresores y Generadores	Según análisis laboratorio****	Realizar cambio total de aceite en Parada de planta	H	
		Ventiladores (Rodamientos)	Según condición*	Recipientes para aceite nuevo y usado	M	
		Reductores de velocidad			M	
		Consolas de Lubricación forzada o Niebla			M	

ITEM	TAREA	EQUIPO	FRECUENCIA	METODO o HERRAMIENTA	RIESGO	DESCRIPCION
5	Rotacion de equipos en SB	Bombas Centrifugas Horizontales y verticales	Cada 3 dias	N/A	M	1. Verificar estado de lubricacion del equipo a rotar o colocar en servicio para realizar pruebas. 2. Girar manualmente o con ayuda de medio motriz los equipos en SB, SF o por MTTO, con el fin de evitar fallas por daño en cojinetes o rodamientos. 3. Aplicar plan de colocar en servicio equipo en SB, con el fin de conocer su estado real e identificar fallas ocultas
		Turbinas de vapor			M	
		Motores Electricos			M	
		Turbo Compresores y Generadores			H	
		Ventiladores			M	
		Reductores de velocidad	Semanal		M	
6	Verificacion de Sistemas de Plan de sellado	Bombas Centrifugas Horizontales y verticales	Semanal	Piometro, herramientas varias	L	1. Este instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo si la presión de descarga sobrepasa las 50 psi. 2. Verificar la limpieza del filtro. 3. Que el intercambiador no se encuentre obstruido. 4. La temperatura del líquido que sale del intercambiador se encuentre 10°C o 50°F mínimo por debajo de la temperatura de vaporización del producto. Verificar nivel de fluido barrera, liquido compatible con producto bombeado. El manómetro tenga el rango apropiado para el servicio. Asegurar la presion del plan de sellado según diseño, descartar fugas de Fluido barrera. Reponer si se requiere. Verificar que cuando el fluido a inyectar sea vapor este deber seco. La presión del vapor seco inyectado debe estar entre 3 y 5 psi. Para esto seleccionar un Pi de rango adecuado.
7	Cambios de filtros de lubricacion.	Consolas de Lubricacion forzada o Niebla	Trimestral o por condicion**	Elementos filtrantes, llave de cadena	H	Cambiar elemento filtrante de consolas de lubricacion sacando de servicio el filtro por medio de by pas o colocando en servicio elemento auxiliar. Tener cuidado con alta presion de aceite y de dejar los equipos sin lubricacion

ITEM	TAREA	EQUIPO	FRECUENCIA	METODO o HERRAMIENTA	RIESGO	DESCRIPCION
8	Limpieza y pintura de equipos	Bombas Centrífugas Horizontales y verticales	Anual	Papel lija, grata mecánica, cepillo de acero, brichas, pintura,	M	1. Corregir fuentes de suciedad como fugas de aceites o líquidos que dañen la pintura 2. Realizar limpieza mecánica o química del equipo. 3. Recuperar estado exterior del equipo aplicando pintura según código de colores. 4. Identificar en el equipo sentido de rotación, tipo y nivel de lubricante, puntos de monitoreo de vibraciones y temperatura. 5. Establecer plan sistemático de limpieza del equipo para realizar su preservación.
		Turbinas de vapor			M	
		Motores Eléctricos			M	
		Turbo Compresores y Generadores			M	
		Ventiladores			M	
		Reductores de velocidad			M	
		Consolas de Lubricación forzada o Niebla			M	
9	Cambio Indicadores de presión y temperatura local THI	En todos los equipos por falla del Instrumento (PI o TI)	Por falla	TIs, herramientas.	M	Cambio de instrumentos de Presión y Temperatura locales según procedimiento, cuidando de aplicar bloqueo del equipo a cambiar.
10	Lubricación de válvulas bloque, globo y de control.	Válvulas bloque, globo y de control	Mensual	PIs, herramientas.	L	Realizar lubricación con grasa de vástagos y bujes de Válvulas bloque, globo y de control
11	Limpieza o cambio de elementos filtrantes en succión de equipos.	Bombas Centrífugas Horizontales y verticales	Según condición***	Elementos filtrantes, llaves	M	Realizar limpieza o cambio de elementos filtrantes en la succión de bombas o compresores, según su condición o por tiempo.
		Turbo Compresores y Generadores			M	
12	Engrase de mecanismos	Cajas de rodamientos	Mensual	Engrasadora, llaves varias, trapo.	M	Realizar engrase de cajas de rodamientos en turbinas, bombas, motores según procedimiento y con el tipo de grasa recomendada por fabricante o especialista de Lubricación.
		Motores			M	
		Turbinas			M	

* Condicionen visual del aceite (Viscosidad, color, consistencia y contenido de partículas)

** Condición de presión diferencial a través del equipo o cada 3 meses

*** Condiciones de Presión en la succión del equipo, que muestre obstrucción

**** Análisis de laboratorio especializado (Conteo de partículas, ferrografía, Viscosidad)

N NINGUNO

L BAJO

M MEDIO

H ALTO

Fuente: Autores del proyecto

Anexo F Plan de tareas de mantenimiento para sistemas de sellado

PLAN DE SELLADO	DESCRIPCION	APLICACIONES	ELEMENTOS DEL PLAN	ACTIVIDADES DE VERIFICACION
11	Circulación desde la descarga de la bomba hasta las caras de sello, pasando por una Placa Orificio (Agujero de Restricción)	Bombas horizontales.	Placa Orificio	Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo si la presión de descarga sobrepasa las 50 psi.
		Líquidos limpios.		
		Servicio General.		
13	Circulación desde la cavidad de sellado hasta la succión pasando por una Placa Orificio (Agujero de Restricción)	Bombas horizontales o verticales.	Placa Orificio	
		Líquidos limpios.		
		Servicio General.		
22	Circulación desde la descarga hasta la cavidad de sellado pasando por de una placa orificio, un filtro y un intercambiador de calor.	Bombas horizontales.	Placa Orificio	Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo.
		Líquidos limpios a altas temperaturas con eventuales partículas.	Filtro en "Y"	Verificar la limpieza del filtro
			Intercambiador de Calor	Verificar que el intercambiador no se encuentre obstruido
			Termómetro Bimetálico	Verificar que la temperatura del líquido que sale del intercambiador se encuentre 10°C o 50°F mínimo por debajo de la temperatura de vaporización del producto.
52	Circulación forzada a través de un anillo de bombeo o por efecto termosifónico de líquido de barrera no presurizado contenido en un reservorio.	Bombas horizontales o verticales.	Reservorio	Verificar nivel de fluido barrera, liquido compatible con producto bombeado.
		Arreglo de sellos duales no presurizados (11/52 y 13/52)	Placa Orificio	Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo.
		Líquidos que se cristalizan o vaporizan al contacto atmosférico.	Manómetro	Verificar que el manómetro tenga el rango apropiado para el servicio.
		Líquidos peligrosos de baja concentración.	Switch de Nivel (Opcional)	Verificar que líquido circule correctamente. Entrada al sello por la parte inferior y salida por la parte superior. La tubería de salida debe estar mas caliente que la tubería de entrada
		Líquidos explosivos o inflamables	Switch de Presión	Verificar que el switch de presión se encuentre calibrado para punto de disparo entre 10 y 20 psi subiendo. El sistema no es presurizado y debe estar venteado. La válvula de venteo debe estar abierta. El sistema debe tener una placa orificio en la línea de venteo.
			Válvulas de bloqueo para Venteo y Drenaje	
53	Circulación forzada a través de un anillo de bombeo o por efecto termosifónico de líquido de barrera presurizado contenido en un reservorio.	Bombas horizontales o verticales.	Reservorio	Verificar que el manómetro tenga el rango apropiado para el servicio.
		Arreglo de sellos duales presurizados (dobles)	Manómetro	Verificar que el switch de presión se encuentre calibrado bajando para que se active 5 psi por encima de la presión del líquido de barrera. La presión del líquido de barrera debe estar 30 psi (2 bar) por encima de la presión en la cavidad de sellado.
		Líquidos que cristalizan o vaporizan al contacto atmosférico.	Switch de Nivel	Verificar que el switch de nivel se active cuando no se observe líquido en la mirilla del reservorio.
		Líquidos peligrosos de alta concentración.	Switch de Presión	Verificar que líquido circule correctamente. Entrada al sello por la parte inferior y salida por la parte superior. La tubería de salida debe estar mas caliente que la tubería de entrada
		Líquidos explosivos o inflamables	Válvulas de bloqueo para Venteo y Drenaje	Asegurar válvulas de drenajes y venteos cerrados por ser sistema presurizado.
			Sistema de presurización con Nitrogeno	Asegurar la presión del plan de sellado según diseño, descartar fugas de Fluido barrera. Reponer si se requiere.
62	Conexiones para Lavado y Drenaje para efectuar lavado con fluido externo (vapor, agua, etc.)	Bombas horizontales o verticales.	Válvula Check	Verificar que que la válvula Check opere correctamente.
		Arreglo de sellos sencillos.	Válvula de Bloqueo	Verificar que cuando el fluido a inyectar sea vapor este deber seco.
		Fluidos que cristalizan al contacto atmosférico o produce depósitos sólidos que atasquen o peguen las caras del sello	Manómetro.	Verificar que se tenga instalado en el sistema un trampa de vapor.
				La presión del vapor seco inyectado debe estar entre 3 y5 psi. Para esto seleccionar un PI de rango adecuado.

Fuente: Autores del proyecto

Anexo G Procedimiento cambio de aceite en bombas, reductores y turbinas

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO		Versión: # 01
			POP - 001		Fecha: 01/09/2013
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:		
CAMBIAR ACEITE LUBRICANTE BOMBAS,TURBINAS, REDUCTORES			1,Tener disponibilidad de aceite		
PLAN:			2,Lubricante adecuado según carta de lubricacion disponible		
			3,Equipo este parado		
			4,Realizar seun resultados de analisis de aceite o cambio por frecuencia según aplique.		
			5,Conocer el nivel correcto del equipo		
			6,Tener accesorios dsiponibles		
1	Drenar el equipo totalmente		7, Personal Capacitado y entrenado		
2	Drenar aceite con drenaje abierto				
3	Cerrar drenaje				
4	Verificar nivel del equipo				
5	Instalar tapón y venteo		EPP		
6	Registrar acción en hoja de lubricación		Equipos de Proteccion Personalestandar		
No	Tarea		Quién	Riesgo	Consecuencia
1	Drenar el equipo totalmente				
	PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2				
	1,1	Abrir drenaje al 100%	OP	L	No se puede realizar actividad
	2,2	Recoger aceite gastado	OP	L	contaminación en el área
2	Adicionar aceite con drenaje abierto				
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2				
	2,1	Seleccionar aceite adecuado	OP	L	Daño del equipo
	2,2	Adicionar aceite nuevo al equipo para retirar aceite gastado	OP	L	Daño del equipo
3	Cerrar drenaje				
	PLAN: realizar paso 3,1				
	3,1	Cerrar drenaje cuando salga aceite nuevo y limpio. No se deben evidenciar lodos, gomas, grumos, agua o partículas sólidas	OP	L	Perdida de confiabilidad de la máquina.
4	Recuperar nivel de aceite				
	PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2				
	4,1	Adicionar aceite hasta el nivel indicado	OP	L	daño del equipo
	4,2	Verificar el nivel de aceite del equipo	OP	L	daño del equipo
5	Instalar venteo y tapón				
	PLAN: realizar paso 5,1 al 5,2				
	5,1	Instalar tapón	OP	L	pérdida de aceite
	5,2	Instalar venteo	OP	L	contaminación de aceite
6	Registrar acción en hoja de lubricación del equipo				
	PLAN: Realizar paso 6,1				
	6,1	Registrar fecha y cantidad de aceite	OP	N	Perdida de registros de confiabilidad histórica del equipo
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento					
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

Fuente: Autores del proyecto

Anexo H Procedimiento cambio indicadores de temperatura

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO POP - 001	Versión: # 01 Fecha: 01/09/2013	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:		
CAMBIAR INDICADORES DE TEMPERATURA LOCALES THI BIMETALICOS			1 Disponibilidad de accesorios		
PLAN:			2 Operador entrenado y capacitado.		
			3 Rango del TI el doble de gama al del proceso		
			4 Longitud y estado del termopozo predeterminados		
1	AFLOJAR BIMETALICO THI		5 Estado de la rosca del termopozo y bimetalico revisadas		
2	VERIFICAR ESCAPE DEL TERMO POZO		6 Ausencia de escape en el termopozo		
3	RETIRAR TERMOCUPLA O BIMETALICO		7 Conocimiento preciso de las condiciones del proceso		
4	INSTALAR BIMETALICO		8 Data sheet del instrumento disponible		
5	VERIFICAR LECTURA REAL				
			EPP		
			Equipos de Proteccion Personal estandar		
No	Tarea		Quién	Riesgo	Consecuencia
1	AFLOJAR BIMETALICO THI				
	PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2				
	1,1 Instalar llave de expansión en cuadrante y aflojar instrumento		OP	L	Daño del accesorio
2	VERIFICAR ESCAPE DEL TERMO POZO				
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2				
	2,1 Realizar inspección visual si presenta escape el termopozo		OP	L	No se realiza la actividad
3	RETIRAR TERMOCUPLA O BIMETALICO				
	PLAN: realizar paso 3,1				
	3,1 Desenroscar totalmente el bimetalico y retirarlo		OP	L	No se realiza actividad
	3,2 Verificar estado de roscas del bimetalico y termopozo		OP	L	No se puede instalar instrumento
4	INSTALAR BIMETALICO				
	PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2				
	4,1 Instalar cinta de teflón a la rosca del bimetalico		OP	L	Presenta escape por rosca
	4,2 Roscar manualmente bimetalico en termopozo		OP	L	Daño de la rosca
	4,3 Realizar ajuste instalando llave de expansión en el cuadrante y ajusta		OP	L	Presenta escape
	4,4 Verificar que la carátula del instrumento quede en posición adecuada		OP	L	No se pude tomar lectura en campo
5	VERIFICAR LECTURA REAL				
	PLAN: realizar paso 5,1 al 5,2				
	5,1 Verificar en campo de la lectura real con pirómetro		OP	L	Lectura del instrumento no confiable
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento					
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

Fuente: Autores del proyecto

Anexo I Procedimiento cambio de indicadores de presión

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO		Versión: # 01
			POP - 001		Fecha: 01/09/2013
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:		
CAMBIAR INDICADOR DE PRESIÓN PARA EQUIPO ROTATIVO			1 Área segura y despejada		
PLAN:			2 Disponibilidad de herramientas		
			3 Cuando en el equipo presenta alta vibración instalar pi con sellos de glicerina en la carátula		
1	CERRAR VÁLVULA BLOQUE PRINCIPAL		4 Disponibilidad de accesorios		
2	DRENAR EQUIPO		5 PI que se va instalar con el doble del rango de la presión del equipo		
3	RETIRAR INDICADOR DE PRESIÓN		6 Si el producto en la línea de proceso es vapor instalar coleta		
4	INSTALAR INDICADOR DE PRESIÓN		7 Manifold sin escapes		
5	NORMALIZAR SISTEMA		8 Operador capacitado y entrenado		
			9 Data sheet del instrumento disponible		
			EPP		
			Equipos de Proteccion Personal		
No	Tarea		Quién	Riesgo	Consecuencia
1	CERRAR VÁLVULA BLOQUE PRINCIPAL				
	PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2				
	1,1	Cerrar manualmente valvula de bloque	OP	L	No se pude realizar el trabajo
	1,2	Verificar escape	OP	L	Perdida de producto
2	DRENAR EQUIPO				
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2				
	2,1	Abrir válvula de drenaje con llave para tubo de 8"	OP	L	Queda línea presionada
	2,2	Verificar que el sistema sea depresionado	OP	L	No se realiza actividad
	2,3	Destapar con una varilla si el drenaje se encuentra obstruido	OP	L	Queda presionado el sistema
3	RETIRAR INDICADOR DE PRESIÓN				
	PLAN: realizar paso 3,1				
	3,1	Utilizar llave de expansión en el cuadrante y llave para tubo instalar en la línea de toma	OP	L	Daños de accesorios
	3,2	Realizar una posición de 45 grados con las herramientas para retirar con facilidad el PI	OP	L	Daños de accesorios
4	INSTALAR INDICADOR DE PRESIÓN				
	PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2				
	4,1	Aplicar cinta de teflón o permatex en rosca del PI	OP	M	Escape por rosca
	4,2	Roscar manualmente indicador de presión	OP	L	Escape por rosca
	4,3	Reapretar con llave para tubo y expansión	OP	L	Daño en cuadrante
	4,4	Instalar indicador en una posición adecuada para visualizar lectura	OP	L	No se pude tomar lectura
5	NORMALIZAR SISTEMA				
	PLAN: realizar paso 5,1 al 5,2				
	5,1	Cerrar válvula de drenaje	OP	M	Perdida del producto
	5,2	Abrir válvula de toma con llave de tubo de 8"	OP	L	No hay lectura
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento					
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

Fuente: Autores del proyecto

Anexo J Procedimiento de engrase de mecanismos y acoples

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO		Versión: # 01
			POP - 001		Fecha: 01/09/2013
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:		
ENGRASE DE MECANISMOS Y ACOPLES					
PLAN:			1.Disponibilidad de grasa de acuerdo a la marca del los equipos a engrasar.		
1	UBICACION DE LOS PUNTOS DE ENGRASE		2.Equipo para engrasar (Engrasadora).		
2	REALICE LA ACCION DE ENGRASAR		3. Graseras cuando se requieran cambiar o instalar.		
3	VERIFIQUE LA OPERABILIDAD DEL MECANICOS O ACOUPLE		4. Conocimiento de la cantidad y tipo de grasa requerida.		
			5. Llave expansiva para retirar graseras si se requiere.		
			EPP		
			Equipos de Proteccion Personalstandar		
No	Tarea		Quién	Riesgo	Consecuencia
1	UBICACION DE LOS PUNTOS DE ENGRASE				
	PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2				
	1.1	Identifique cuantos puntos tiene el elemento a engrasar.	OP	L	No hay referencia para realizar actividad
	1.2	limpie las graseras con un trapo quitando el polvo y grasa vieja.	OP	L	Contaminar el equipo a engrasar
	1.3	Presiones con un punzón, lapicero, puntilla la esfera de la grasera, esta debe	OP	L	No engrasar adecuadamente
	1.4	Si la esfera no se retrae, significa que esta pegada y se debe cambiar para permitir el ingreso de grasa nueva.	OP	L	No engrasar adecuadamente
2	REALICE LA ACCION DE ENGRASAR				
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2				
	2.1	Cuando tiene doble grasera quite una para verificar la salida de grasa.	OP	L	No se engrase adecuadamente
	2.2	En los mecanismos que tienen una sola grasera la verificación se hace inspeccionando el exceso de grasa al rededor del mecanismo.	OP	L	No se engrase adecuadamente
	2.3	Posicione la punta de la engrasadora sobre la grasera asegurandose el ajuste adecuado.	OP	L	Perdidad de grasa y no engrase adecuado
	2.4	inyecte grasa de a tres bombazos y verifique la salida de grasa por los puntos 2.1 o 2.2, hasta que vea grasa nueva.	OP	L	No se engrase adecuadamente
	2.5	No bombear mas de 10 veces.	OP	L	Sobresaturar el mecanismo de grasa
	2.6	Instale las graseras que haya retirado.	OP	M	Peridad de la grasa rapidamente
3	VERIFIQUE LA OPERABILIDAD DEL MECANICOS O ACOUPLE				
	PLAN: realizar paso 3,1				
	3.1	Verifique que el mecánicos opera correctamente.	OP	M	Daño del equipo
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento					
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

Fuente: Autores del proyecto

Anexo K Procedimiento para medir, analizar y realizar toma de temperaturas

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES		CODIGO		Versión: # 01	
		POP - 001		Fecha: 01/09/2013	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA		REQUISITOS O PRECONDICIONES:			
MEDIR ,ANALIZAR Y REALIZAR TOMA DE TEMPERATURA A EQUIPO ROTATIVO					
PLAN:					
1	Tomar datos en motor eléctrico	1, Operador entrenado y capacitado.			
2	Tomar datos en bomba accionada por motor	2, Equipo debe estar en operando.			
3	Tomar datos en la turbina	3, Contar con pirómetro en buen estado.			
4	Tomar datos en bomba accionada por turbina	EPP			
5	Descarga ronda al programa de tribología.	Equipos de Proteccion Personalstandar			
No	Tarea	Quién	Riesgo	Consecuencia	
1	Tomar datos en motor eléctrico				
	PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2				
	1,1 Tomar temperatura del cuerpo del motor (MT)	OP	L	Deterioro de rodamientos, daño al motor	
	1,2 Tomar temperatura del lado acople del motor (MBT)	OP	L	Deterioro de rodamientos.	
	1,3 Tomar corriente del motor (M) (si es posible)	OP	L	Daño en motor por sobrecarga	
2	Tomar datos en bomba accionada por motor				
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2				
	2,2 Tomar temperatura del lado acople.(PCT)	OP	L	Deterioro del aceite, fricción interna de piezas	
	2,3 Tomar temperatura del lado exterior. (PDT)	OP	L	Deterioro del aceite o fricción interna de piezas	
	2,4 Tomar presión de descarga del fluido. (PD)	OP	L	Deterioro de internos de la bomba o sellos	
	2,5 Tomar temperatura del fluido en la succión. (TS)	OP	L	Deterioro de internos de la bomba o sellos	
	2,6 Tomar temperatura del fluido en la descarga. (TD)	OP	L	Deterioro de internos de la bomba o sellos	
3	Tomar datos en la turbina				
	PLAN: realizar paso 3,1				
	3,1 Tomar temperatura del lado exterior. (NAT). Lado gobernador	OP	L	Deterioro del aceite, fricción interna de piezas	
	3,2 Tomar temperatura del lado acople.(NBT)	OP	L	Deterioro del aceite, fricción interna de piezas	
	3,3 Tomar temperatura en cuerpo de la turbina. (NT)	OP	L	Deterioro del aceite, fricción interna de piezas	
4	Tomar datos en bomba accionada por turbina				
	PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2				
	4,1 Tomar temperatura del lado acople.(PCT)	OP	N	Deterioro del aceite, fricción interna de	
	4,2 Tomar temperatura del lado exterior. (PDT)	OP	N	Deterioro del aceite o fricción interna de	
	4,3 Tomar presión de descarga del fluido. (PD)	OP	N	Deterioro de internos de la bomba o sellos	
	4,4 Tomar temperatura del fluido en la succión. (TS)	OP	N	Deterioro de internos de la bomba o sellos	
5	4,5 Tomar temperatura del fluido en la descarga. (TD)	OP	N	Deterioro de internos de la bomba o sellos	
	Descarga ronda al programa de tribología.				
	PLAN: realizar paso 5,1 al 5,2				
	5,1 Conectar CSI y descargar datos al sistema.	OP	L	Baja confiabilidad de los equipos.	
	5,2 Comprobar envío de datos al sistema.	OP	L	No análisis de datos por parte de ATP.	
	5,3 Ver y comparar tendencias de temperaturas y vibraciones.	OP	L	Imposibilidad para comprobar confiabilidad de equipos	
5	5,4 Verificar tendencia de datos de temperatura si hay incremento solicitar valoracion de ATP.	OP	L	Daño de equipo	
	5,5 Reportar tribología a supervisor con anomalías encontradas	OP	L	Imposibilidad para verificar la información.	
	Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento				
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

Fuente: Autores del proyecto

Anexo L Procedimiento para medir, analizar y tomar datos de vibración de equipo rotativo

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO	Versión: # 01	
			POP - 001	Fecha: 01/09/2013	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:		
MEDIR, ANALIZAR Y TOMAR DATOS DE VIBRACION DEL EQUIPO ROTATIVO					
PLAN:					
1	Tomar datos en motor eléctrico		1. Operador entrenado y capacitado.		
2	Tomar datos en bomba accionada por motor		2. Equipo debe estar operando.		
3	Tomar datos en la turbina		2. Contar con equipo CSI y pirometro en buen estado.		
4	Tomar datos en bomba accionada por turbina		EPP		
5	Descarga ronda al programa de tribología.		Equipos de Proteccion Personalestandar		
No	Tarea		Quién	Riesgo	Consecuencia
1	Tomar datos en motor eléctrico				
	PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2				
	1.1	Tomar vibración horizontal (MAH) y vertical (MAV) de lado exterior.	OP	L	Deterioro de rodamientos.
	1.2	Tomar vibración horizontal (MBH), vertical (MBV) y axial (MBA) de lado	OP	L	Deterioro de rodamientos
2	Tomar datos en bomba accionada por motor				
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2				
	2.1	Tomar vibración horizontal (PCH) y vertical (PCV) de lado acople.	OP	L	Deterioro de rodamientos o cojinetes/exposición a equipo rotativo
	2.2	Tomar vibración horizontal (PDH), vertical (PDV) y axial (PDA) de lado exterior.	OP	L	Deterioro de rodamientos o cojinetes
3	Tomar datos en la turbina				
	PLAN: realizar paso 3,1				
	3.1	Tomar vibración horizontal (NAH) y vertical (NAV) de lado exterior.	OP	L	Deterioro de rodamientos o cojinetes
	3.2	Tomar vibración horizontal (NBH),vertical (NBV) y axial (NBA) de lado acople	OP	L	Deterioro de rodamientos o cojinetes
4	Tomar datos en bomba accionada por turbina				
	PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2				
	4.1	Tomar vibración horizontal (PCH), vertical (PCV) y axial (PCA) de lado acople.	OP	N	Deterioro de rodamientos o cojinetes
	4.2	Tomar vibración horizontal (PDH) y vertical (PDV) de lado exterior.	OP	N	Deterioro de rodamientos o cojinetes
5	Descarga ronda al programa de tribología.				
	PLAN: realizar paso 5,1 al 5,2				
	5.1	Conectar CSI y descargar datos al sistema.	OP	L	Baja confiabilidad de los equipos.
	5.2	Comprobar envío de datos al sistema.	OP	L	No análisis de datos por parte de ATP.
	5.3	Ver y comparar tendencias de temperaturas y vibraciones.	OP	L	Imposibilidad para comprobar confiabilidad de equipos
	5.4	Verificar tendencia de datos de vibración si hay incremento solicitar valoracion de ATP.	OP	M	Daño de equipo
	5.5	Verificar tendencia de datos de temperatura si hay incremento solicitar valoracion de ATP.	OP	M	Daño de equipo
5.6	Reportar tribología a supervisor con anomalías encontradas	OP	L	Imposibilidad para verificar la información.	
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento					
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

Fuente: Autores del proyecto

Anexo M Procedimiento para toma de muestras de aceite de lubricación

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO	Versión: # 01	
			POP - 001	Fecha: 01/09/2013	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:		
TOMAR UNA MUESTRA DE LUBRICACIÓN					
PLAN:			1 Tener disponibilidad de botella ,tapas y etiquetas		
			2 Tener disponibilidad de aceite		
1	LIMPIE EL PUNTO DE MUESTRA		3 Tener resultados de análisis de aceite		
2	DRENE CARTER O CONSOLA		4 Verificar nivel de aceite del equipo		
3	TOME MUESTRA DE ACEITE		5 Operador tiene conocimiento de la actividad		
4	ADICIONE ACBTE PARA RECUPERAR NIVEL		6 Equipo en operación		
5	MARQUE EL RECIPIENTE		7 Linea de drenaje maximo de un metro de larga, si exede esta longitud la tarea debe ser efectuada por dos personas		
6	REGISTRE ACCIÓN EN HOJA DE DATOS DE LUBRICACIÓN		EPP		
			Equipos de Proteccion Personalestandar		
No	Tarea	Quién	Riesgo	Consecuencia	
1	LIMPIE EL PUNTO DE MUESTRA <i>PLAN: realizar paso 1,1 al 1,2</i>				
	1.1 Retirar el tapón	OP	L	No se puede realizar la actividad	
	1.2 Limpiar línea o boquilla	OP	L	Análisis inadecuados	
2	DRENE CARTER O CONSOLA <i>PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2</i>				
	2.1 Abrir válvula de drenaje hasta que salga agua o lodo	OP	L	La muestra no es representativa	
	2.2 Cerrar válvula de drenaje	OP	L	Pérdida de aceite daño del equipo	
3	TOME MUESTRA DE ACEITE <i>PLAN: realizar paso 3,1</i>				
	3.1 Abrir drenaje	OP	L	No se pude realizar la actividad	
	3.2 Tomar muestra de aceite en la botella hasta que salga caliente	OP	L	Muestra no representativa	
	3.3 Cerrar válvula de drenaje	OP	M	Daño del equipo	
	3.4 Adicionar el aceite retirado nuevamente ala equipo	OP	M	Daño del equipo	
	3.5 Abrir nuevamente válvula de drenaje	OP	L	No se puede realizar la actividad	
	3.6 Tomar la muestra en una botella un 95% 100cc	OP	M	Daño del equipo	
	3.7 Cerrar el drenaje	OP	M	Daño del equipo	
	3.8 Instalar el tapón	OP	M	Daño del equipo	
4	ADICIONE ACBTE PARA RECUPERAR NIVEL <i>PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2</i>				
	4.1 Verificar el nivel de aceite del equipo	OP	M	Daño del equipo	
	4.2 Recuperar nivel de aceite del equipo si el nivel esta bajo	OP	M	Daño del equipo	
5	MARQUE EL RECIPIENTE <i>PLAN: realizar paso 5,1 al 5,2</i>				
	5.1 Tape el recipiente con su tapa	OP	L	Análisis inadecuados	
	5.2 Marque la etiqueta	OP	L	Pérdida de muestra	
6	REGISTRE ACCIÓN EN HOJA DE DATOS DE LUBRICACIÓN <i>PLAN: Realizar paso 6,1</i>				
	6.1 Realizar la acción en la hoja de lubricación del equipo	OP	L	Pérdida de histórico del equipo	
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento					
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento					

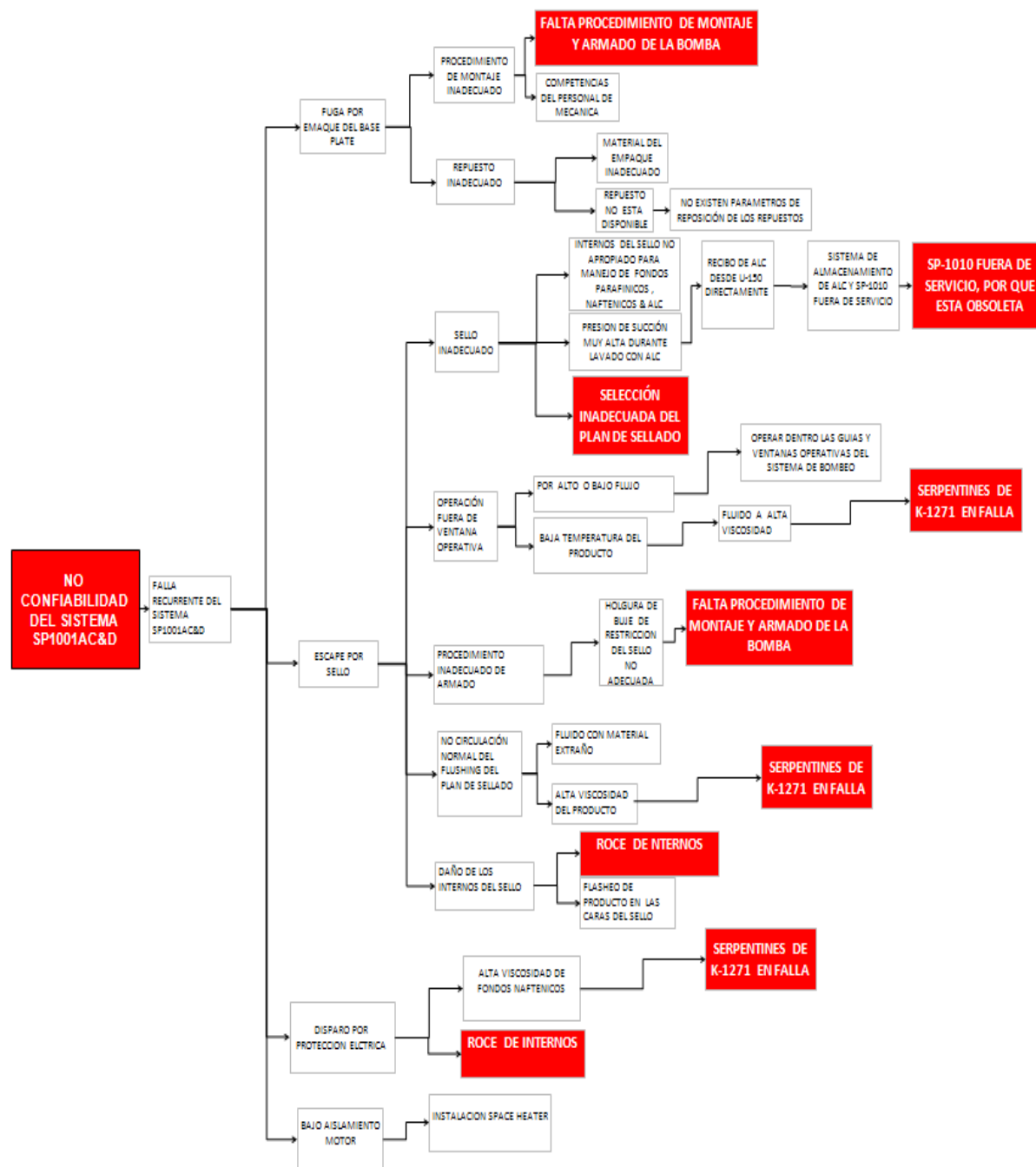
Fuente: Autores del proyecto

Anexo N Procedimiento para Limpieza de filtros de succión en equipos

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO BASICO POR OPERACIONES			CODIGO		Versión: # 01	
			POP - 001		Fecha: 01/09/2013	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA			REQUISITOS O PRECONDICIONES:			
RETIRAR Y LIMPIAR FILTRO 3"						
PLAN:			OPERADOR ENTRENADO Y CAPACITADO			
1	BLOQUEAR LÍNEA Y REALIZAR SAS		SE DEBE REALIZAR MÍNIMO DOS PERSONAS			
2	DRENAR FILTRO		CONOCIMIENTO Y MANEJO DE HERRAMIENTAS			
3	SOLTAR Y RETIRAR ESPÁRRAGOS		HERRAMIENTAS EN BUEN ESTADO			
4	RETIRAR TAPA DEL FILTRO		CONOCIMIENTO DE LAS CLASES DE EMPAQUES			
5	RETIRAR Y LIMPIAR MALLA DEL FILTRO		DISPONIBILIDAD DE ESPÁRRAGOS, FELLPRO, EMPAQUES			
6	INSTALAR MALLA DEL FILTRO					
7	INSTALAR EMPAQUE Y TAPA					
8	INSTALAR Y APRETAR ESPÁRRAGOS		EPP			
9	ALINEAR SISTEMA		Equipos de Proteccion Personalstandar			
No	Tarea		Quién	Riesgo	Consecuencia	
1	BLOQUEAR LÍNEA Y REALIZAR SAS					
	PLAN: Realizar paso 1,1 al 1,2					
	1,1 Alinear o poner en servicio filtro auxiliar (si aplica)		OP	L	No se realiza trabajo	
	1,2 Cerrar válvula bloque e instalar SAS		OP	L	Trabajo inseguro, condición subestandar	
2	DRENAR FILTRO					
	PLAN: Realizar paso 2,1 al 2,2					
	2,1 Abrir manualmente válvula del drenaje		OP	L	Contacto y derrame del producto	
	2,2 Si el drenaje esta tapado destapar manualmente con varilla		OP	L	Contacto y derrame del producto	
3	SOLTAR Y RETIRAR ESPÁRRAGOS					
	PLAN: Realizar paso 3,1					
	3,1 Soltar y retirar espárragos de la parte inferior		OP	L	Contacto con el producto	
	3,2 Soltar y retirar espárragos de la parte superior		OP	L	Contacto con el producto	
4	RETIRAR TAPA DEL FILTRO					
	PLAN: Realizar paso 4,1 al 4,2					
	4,1 Retirar manualmente y con cuidado la tapa del filtro		OP	L	No se pude realizar trabajo	
	4,2 Retirar empaque viejo		OP	L	Escape del producto	
5	RETIRAR Y LIMPIAR MALLA DEL FILTRO					
	PLAN: Realizar paso 5,1 al 5,2					
	5,1 Retirar manualmente con cuidado la malla		OP	L	Daño de la malla	
	5,2 Limpiar la malla del filtro según el producto (hacer soplado en sentido inverso a la dirección del flujo normal en operación)		OP	L	Malla sucia o tapada	
	5,3 Verificar estado malla del filtro		OP	L	Daño del equipo	
	5,4 Limpiar internamente casing del filtro.		OP	L	Trabajo mal ejecutado	
6	INSTALAR MALLA DEL FILTRO					
	PLAN: Realizar paso 6,1					
	5,1 Instalar malla manualmente y verificando sentido del producto		OP	L	Daño de la malla	
	5,2 Verificar que la malla este totalmente dentro del filtro		OP	L	Daño del equipo	
7	INSTALAR EMPAQUE Y TAPA					
	PLAN: Realizar paso 7,1					
	7,1 Verificar y limpiar cara del sellos de la tapa del filtro		OP	L	Escape del producto	
	7,2 Instalar espárragos en parte inferior sin apretar		OP	L	Se corre empaque	
	7,3 Instalar empaque nuevo de acuerdo al diámetro de la brida		OP	L	Escape del producto	
	7,4 Instalar tapa del filtro		OP	L	No se puede realizar trabajo	
8	INSTALAR Y APRETAR ESPÁRRAGOS					
	PLAN: Realizar paso 8,1					
	8,1 Aplicar fellpro en un extremo del espárrago		OP	L	Corrosión de espárragos	
	8,2 Instalar y apretar manualmente espárragos dejando tuercas repartidas		OP	L	Escape de producto	
	8,3 Apretar espárragos aplicando método de apriete		OP	L	Escape de producto	
9	ALINEAR SISTEMA					
	PLAN: Realizar paso 8,1					
	9,1 Cerrar drenaje		OP	L	Escape de producto	
	9,2 Abrir línea de bloque o del sistema y retirar SAS		OP	L	No hay paso de producto	
	9,3 Verificar que no haya escapes		OP	L	Escape de producto	
Elaboró: Equipo Operaciones y Mantenimiento						
Aprobó: Jefe Departamento de Mantenimiento						

Fuente: Autores del proyecto

Anexo O Análisis causa raíz a Equipo de bombeo en falla



Fuente: Autores del proyecto