

CONTROL DE FALLAS EN PERFILADORA DE ASFALTO ROADTEC RX 500

CRISTIAN DAVID LEGARDA ROMÁN
CÓDIGO 201616750144
CÉDULA 1085246065

UNIVERSIDAD EAFIT
MAGISTER EN INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN - ANTIOQUIA - COLOMBIA

2018

CONTROL DE FALLAS EN PERFILADORA DE ASFALTO ROADTEC RX 500

CRISTIAN DAVID LEGARDA ROMÁN
CÓDIGO 201616750114
CÉDULA 1085246065

DIRECTOR
ING. PH.D. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE MAGISTER EN INGENIERÍA
TESIS DE GRADO
UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN - ANTIOQUIA - COLOMBIA
2018

Contenido

	Pág.
Sección 0 - Prólogo	16
Aparte 1 - Sección 0 - Introducción	16
Aparte 2 - Sección 0 - Objetivos	17
Artículo 1 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo general.	18
Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivos específicos.	18
<i>Elemento 1 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico uno - Fundamentos.</i>	<i>20</i>
<i>Elemento 2 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico dos - Caracterización.</i>	<i>20</i>
<i>Elemento 3 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico tres - Fallas</i>	<i>20</i>
<i>Elemento 4 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico cuatro - Mantenimiento.</i>	<i>21</i>
<i>Elemento 5 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Específico cinco - Conclusiones</i>	<i>21</i>
Aparte 3 - Sección 0 - Estructura del proyecto	22
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo uno fundamentos.	23
Artículo 2 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo dos caracterización.	23
Artículo 3 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo tres fallas.	23
Artículo 4 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo cuatro mantenimiento.	23
Artículo 5 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo quinto conclusiones.	24
Aparte 4 - Sección 0 - Justificación	24
Aparte 5 - Sección 0 - Antecedentes	25
Aparte 6 - Sección 0 - Conclusión de capítulo cero	26
Sección 1 - Fundamentos	27
Aparte 1 - Sección 1 - Objetivo	27
Aparte 2 - Sección 1 - Introducción	27
Aparte 3 - Sección 1 - Desarrollo	27
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Metodología de análisis de falla.	28
Parágrafo 1 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Necesidad operativa.	30
Parágrafo 2 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Integración de parámetros.	30
Parágrafo 3 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Confiabilidad máxima.	30
Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Fallas.	30
<i>Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Clasificación de fallas.</i>	<i>31</i>
Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Origen de las fallas.	31
Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Período y frecuencia de falla.	32
Parágrafo 3 Elemento 1 Artículo 2 Aparte 3 Sección 1 - Programación	34
<i>Elemento 2 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Fallos funcionales.</i>	<i>34</i>

Artículo 4 del Aparte 3 Sección 1 - Causas de falla.....	35
Artículo 5 del Aparte 3 Sección 1 - Modo de falla.....	35
Artículo 6 del Aparte 3 Sección 1 - Síntomas o efectos de falla.....	36
<i>Elemento 1 del Artículo 6 del Aparte 3 Sección 1 - Síntomas de falla en un componente mecánico.....</i>	<i>37</i>
Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Clasifica causas inmediatas.....	38
<i>Elemento 1 del Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Clasificación de causas inmediatas.....</i>	<i>38</i>
Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Causas básicas.....	38
<i>Elemento 1 de Artículo 8 de Aparte 3 Sección 1 - Clasificación causas básicas. 39</i>	<i>39</i>
Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Causa raíz.	39
<i>Elemento 1 del Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Notificación de un incidente o problema.....</i>	<i>41</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Síntomas y límites.</i>	<i>42</i>
<i>Elemento 3 de Artículo 9 de Aparte 3 Sección 1 - Causas percibidas problema . 42</i>	<i>42</i>
Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1- Políticas de control en mantenimiento.	42
<i>Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción correctiva.</i>	<i>43</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción modificativa.</i>	<i>44</i>
Parágrafo 1 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Primera época de Funcionamiento del equipo.....	44
Parágrafo 2 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Segunda época de Funcionamiento del equipo.....	45
Parágrafo 3 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - tercera época de Funcionamiento del equipo.....	45
<i>Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción Preventiva.</i>	<i>46</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción Sistemática.....</i>	<i>46</i>
<i>Elemento 5 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción Predictiva.</i>	<i>47</i>
Parágrafo 1 - Elemento 5 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Ventajas acción predictiva.	47
<i>Elemento 6 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Monitoreo por condición. . 48</i>	<i>48</i>
Aparte 4 - Sección 1 - Conclusión del capítulo uno.....	49
Sección 2 - Caracterización.....	50
Aparte 1 - Sección 2 - Objetivo.....	50
Aparte 2 - Sección 2 - Introducción.....	50
Aparte 3 - Sección 2 - Desarrollo.....	50
Artículo 1 del Aparte 3 sección 2 - Descripción ROADTEC RX 500.	51
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 sección 2 - Principio de funcionamiento perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.</i>	<i>53</i>
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 sección 2 - Función perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.....</i>	<i>54</i>
Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Sistema mecánico motor.	57
<i>Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Turbo cargador.....</i>	<i>58</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Sistema eléctrico de motor... 59</i>	<i>59</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Combustible.</i>	<i>59</i>

Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Sistema hidráulico.	60
<i>Elemento 1 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba auxiliar serie 45.</i>	<i>61</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba del ventilador.</i>	<i>61</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba transportadores primarios y secundarios.</i>	<i>61</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba principal de impulsión serie 90.</i>	<i>62</i>
<i>Elemento 5 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Válvulas.</i>	<i>62</i>
<i>Elemento 6 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Caja de válvulas delanteras.</i> 63	
<i>Elemento 7 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Caja de válvulas protector de la correa.</i>	<i>63</i>
<i>Elemento 8 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Caja de válvulas traseras.</i>	<i>63</i>
<i>Elemento 9 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Fluido hidráulico.</i>	<i>64</i>
Parágrafo 1 de Elemento 9 de Artículo 3 de Aparte 3 Sección 2 - Temperatura	65
Parágrafo 2 de Elemento 9 de Artículo 3 de Aparte 3 Sección 2 - Viscosidad	65
Artículo 4 del Aparte 3 sección 2 - Sistema eléctrico.	66
Artículo 5 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de transmisión.	66
Artículo 6 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de suspensión.	67
Artículo 7 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de dirección.	67
Artículo 8 del Aparte 3 sección 2 - Sistema aspersor de agua.	67
Artículo 9 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de transportadores.	68
Artículo 10 del Aparte 3 sección 2 - Controles de grado.	68
Artículo 11 del Aparte 3 sección 2 - Caja de corte de asfalto.	68
<i>Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 3 sección 2 - Elementos de desgaste del rotor de corte de asfalto.</i>	<i>69</i>
Artículo 12 del Aparte 3 sección 2 - Características de seguridad.	70
Artículo 13 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de orugas.	70
<i>Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 3 sección 2 - Tensión de orugas.</i>	<i>71</i>
Artículo 14 del Aparte 3 sección 2 - Consola de operador.	71
Aparte 4 - Sección 2 - Conclusión del capítulo dos	72
Sección 3 - Fallas	73
Aparte 1 - Sección 3 - Objetivo.....	73
Aparte 2 - Sección 3 - Introducción	73
Aparte 3 - Sección 3 - Desarrollo.....	73
Aparte 4 - Sección 3 - Análisis de falla sistema hidráulico	74
Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 3 - Identificar el problema.	74
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 3 - Características del sistema de embrague.</i>	<i>76</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 3 - Características operativas.</i> 77	
Artículo 2 del Aparte 4 - Sección 3 - Beneficios económicos.	77
Artículo 3 del Aparte 4 - Sección 3 - Desviación sub estándar.	77
Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Especificación técnica bomba hidráulica serie 90 SAUER DANFOSS.	78

<i>Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Componentes bomba SAUER DANFOSS serie 90.....</i>	79
Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Pistones.....	80
Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Eje de accionamiento.....	80
Parágrafo 3 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Tapas y ejes.....	80
Parágrafo 4 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Sensor de velocidad.....	81
Parágrafo 5 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Bomba de carga.....	81
Parágrafo 6 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvula de alivio.....	81
Parágrafo 7 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvulas multifuncionales.....	82
Parágrafo 8 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvulas compactas.....	82
Parágrafo 9 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvulas sistema de control.....	83
Parágrafo 10 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvulas de derivación.....	83
Parágrafo 11 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvula de anulación de presión.....	83
Parágrafo 12 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Limitador de presión.....	84
Parágrafo 13 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Empaques de montaje auxiliar.....	84
Parágrafo 14 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Filtración de carga parcial.....	84
Parágrafo 15 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Filtración por presión de carga.....	85
Parágrafo 16 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Filtración por succión.....	85
Parágrafo 17 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Control de desplazamiento hidráulico.....	86
<i>Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Síntoma de falla.....</i>	86
<i>Artículo 6 del Aparte 4 - Sección 3 - Causa de falla.....</i>	87
<i>Artículo 7 del Aparte 4 - Sección 3 - Modo de falla.....</i>	87
<i>Artículo 8 del Aparte 4 - Sección 3 - Efecto de falla.....</i>	88
<i>Artículo 9 del Aparte 4 - Sección 3 - Causa inmediata.....</i>	88
<i>Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Causa básicas.....</i>	89
<i>Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 1. A.....</i>	89

Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - 1. A. 1 Baja presión de operación.....	90
Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - 1. A. 2 Alta temperatura en la bomba.....	90
Parágrafo 3 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - 1. A. 3 Sobrepresión de operación.....	92
Parágrafo 4 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - 1. A. 4 Fuga de aceite alrededor de la bomba.	92
Parágrafo 5 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - 1. A. 5 Restricción de succión en la bomba.....	93
<i>Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 2. B.</i>	93
Parágrafo 1 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B. 1 Bajo nivel de fluido hidráulico en el tanque.	94
Parágrafo 2 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B. 2 El aceite no cumple con las características del fabricante.....	94
Parágrafo 3 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B. 3 Temperatura del fluido hidráulico.	95
Parágrafo 4 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B. 4 Cavitación.....	95
Parágrafo 5 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B. 5 Degradación del aceite.....	96
<i>Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 3. C.</i>	96
Parágrafo 1 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C. 1 Filtros hidráulicos no cumplen con las especificaciones del fabricante.....	97
Parágrafo 2 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C. 2 Sellos de los acoples cristalizados.....	98
Parágrafo 3 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C. 3 Fatiga en las mangueras del circuito hidráulico.	98
Parágrafo 4 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 1. C. 4 Filtro hidráulico que ya cumplió su ciclo de vida útil.	99
Parágrafo 5 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C. 5 - Montaje del filtro hidráulico en forma incorrecta.....	100
Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Selección causa planteada y probada.....	101
<i>Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Operación a altas temperaturas y presiones.....</i>	102
<i>Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Resistencia a la contaminación del fluido.</i>	102
<i>Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Especificación técnica aceite fabricante.....</i>	103
<i>Elemento 4 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Descripción del aceite hidráulico CATERPILLAR TO-04.....</i>	104
Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Análisis causa raíz.	105

<i>Elemento 1 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Análisis de aceite.</i>	<i>105</i>
<i>Elemento 2 de Artículo 12 de Aparte 4 - Sección 3 - Informe análisis de aceite</i>	<i>106</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Resultado del análisis de aceite.</i>	<i>108</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Falla bomba serie 90 por desgaste abrasivo.</i>	<i>109</i>
Parágrafo 1 del Elemento 4 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Microscopía de fuerza de fricción	109
Parágrafo 2 del Elemento 4 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Microscopía y microestructura.	110
<i>Elemento 5 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Análisis de por desgaste abrasivo bomba SAUER DANFOSS.</i>	<i>111</i>
<i>Elemento 6 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Resultado prueba microscopía.....</i>	<i>114</i>
<i>Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Políticas de control.....</i>	<i>116</i>
Parágrafo 1 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Planificación y programación.	116
Parágrafo 2 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Ensayos no destructivo.....	117
Parágrafo 3 Elemento 7 del Artículo 13 del Aparte 3 - Sección 3 - Control de fallas bomba hidráulica serie 90.....	117
Parágrafo 4 Elemento 7 de Artículo 12 de Aparte 3 - Sección 3 - Fluido Hidráulico	118
Parágrafo 5 Elemento 7 de Artículo 12 de Aparte 3 - Sección 3 - Lubricación	119
Parágrafo 6 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Análisis de aceite.	120
Parágrafo 7 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Manómetros de presión de carga.	120
Parágrafo 8 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Implementación de controles.	121
Parágrafo 9 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Seguimiento a los diferentes controles.	122
Parágrafo 10 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Beneficios técnicos y económicos.	122
Aparte 5 - Sección 3 - Análisis de falla sistema de corte de asfalto	122
Artículo 1 del Aparte 5 - Sección 3 - Identificar el problema.....	123
<i>Elemento 1 de Artículo 1 de Aparte 5 - Sección 3 - Características operativas.</i>	<i>124</i>
Artículo 2 del Aparte 5 - Sección 3 - Beneficios económicos.	124
Artículo 3 del Aparte 5 - Sección 3 - Desviación subestándar.	125
Artículo 4 del Aparte 5 - Sección 3 - Descripción técnica elementos de la caja de corte de asfalto.	125
Artículo 5 de Aparte 5 - Sección 3 - Componentes de caja de corte de asfalto..	127
<i>Elemento 1 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Principio de funcionamiento del sistema de fresado.....</i>	<i>128</i>

<i>Elemento 2 del Artículo 6 del Aparte 4 - Sección 3 - Función y estructura del Rotor de corte de asfalto.</i>	128
<i>Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Rotor de corte de asfalto.</i>	130
Parágrafo 1 Elemento 3 de Artículo 5 Aparte 4 - Sección 3 - Rotor bidireccional	
.....	132
Parágrafo 2 Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Rotor de fresado estándar.	132
Parágrafo 3 Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Rotor de microfresado.	134
<i>Elemento 4 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Puntas de fresado.</i>	136
Parágrafo 1 de Elemento 4 de Artículo 5 de Aparte 4 - Sección 3 - Proceso de corte	
.....	137
<i>Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Portaherramienta.</i>	138
Parágrafo 1 del Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Portaherramienta recambiable.	139
Parágrafo 2 del Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Portaherramienta soldada.	140
<i>Elemento 6 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Base Portaherramienta.</i> .	142
<i>Elemento 7 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Expulsores de fresado.</i>	143
Parágrafo 1 Elemento 7 Artículo 5 Aparte 4 - Sección 3 - Expulsor tipo 1..	144
Parágrafo 2 Elemento 7 Artículo 5 Aparte 4 - Sección 3 - Expulsor tipo 2..	144
Artículo 6 del Aparte 5 - Sección 3 - Síntoma de falla.	145
Artículo 7 del Aparte 5 - Sección 3 - Causa de falla.	145
Artículo 8 del Aparte 5 - Sección 3 - Modo de falla.	146
Artículo 9 del Aparte 5 - Sección 3 - Efecto de falla.	146
Artículo 10 del Aparte 5 - Sección 3 - Causa inmediata.	147
Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Causa básicas.	147
<i>Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 1. A.</i>	148
Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 1. A. 1 Desgaste prematuro de las puntas.	148
Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 1. A. 2. Características de resistencia del asfalto muy altas.	149
Parágrafo 3 del Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 1. A. 3. Característica de la punta no es la idónea para trabajo de corte de asfalto.	150
<i>Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 2. B.</i>	151
Parágrafo 1 del Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 2. B. 1. Bajo caudal de agua en la bomba.	152
Parágrafo 2 del Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 2. B. 2. Fuga de agua en tubos del sistema de refrigeración.	153
Parágrafo 3 del Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 2. B. 3. Obstrucción en línea de aspersores de agua.	153

<i>Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 3. C.</i>	154
Parágrafo 1 del Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Baja tensión en la banda transportadora.....	154
Parágrafo 2 del Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pérdida de función rodillos transportadores.....	155
Parágrafo 3 del Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Desalineación de la banda transportadora.....	155
Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Selección causa planteada y probada.....	156
<i>Elemento 1 del Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Mezclas asfálticas.</i>	156
<i>Elemento 2 del Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Características del asfalto en Colombia.</i>	158
<i>Elemento 3 del Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Propiedades de las mezclas asfálticas.</i>	158
Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Análisis causa raíz.	160
<i>Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Material con el que se fabrican las punta de fresado.</i>	160
<i>Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Progresión óptima de desgaste.</i>	161
Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Posición de la punta en el rotor de fresado.	162
<i>Elemento 2 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Análisis de desgaste de la punta de fresado.</i>	163
<i>Elemento 3 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Resultado del análisis desgaste de las puntas de fresado.</i>	168
Artículo 14 del Aparte 5 - Sección 3 - Políticas de control.....	169
Aparte 6 - Sección 3 - Conclusión del capítulo tres.....	172
Sección 4 - Mantenimiento	173
Aparte 1 - Sección 4 - Objetivo.....	173
Aparte 2 - Sección 4 - Introducción	173
Aparte 3 - Sección 4 - Desarrollo.....	173
Aparte 4 - Sección 4 - Control de mantenimiento.....	174
Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 4 - Función de control de mantenimiento	174
Aparte 5 - Sección 4 - Mantenimiento preventivo sistema hidráulico.....	175
Artículo 1 del Aparte 5 - Sección 4 - Actividad de mantenimiento por bajas presiones en la bomba.	175
Artículo 2 del Aparte 5 - Sección 4 - Actividad de mantenimiento por sobrepresión en la bomba.	176
Artículo 3 del Aparte 5 - Sección 4 - Rutinas de mantenimiento preventivo de la bomba SAUER DANFOSS serie 90.	177
Aparte 6 - Sección 4 - Mantenimiento basado en condición sistema de corte de asfalto	179
Artículo 1 del Aparte 6 - Sección 4 - Monitorización discontinua.	180
Artículo 2 del Aparte 6 - Sección 4 - Planes de mantenimiento	181
<i>Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 6 - Sección 4 - Inspección visual directa.</i>	184

<i>Elemento 2 de Artículo 2 de Aparte 6 - Sección 4 - Frecuencia de inspección.</i>	<i>184</i>
Artículo 3 del Aparte 6 - Sección 4 - Rutinas de mantenimiento basado en condición del sistema de corte de asfalto.....	184
Aparte 7 - Sección 4 - Conclusión de capítulo cuatro.....	186
Sección 5 - Conclusiones.....	187
Aparte 1 - Sección 5 - Objetivo.....	187
Aparte 2 - Sección 5 - Introducción	187
Aparte 3 - Sección 5 - Desarrollo.....	187
Aparte 4 - Sección 5 - Conclusiones de capítulo cinco y del proyecto	187
BIBLIOGRAFÍA.....	190

Figuras

Figura 1 - Profundidad de los verbos de Bloom & Gagné.	19
Figura 2 - Verbos para configurar objetivos.	20
Figura 3 - Secuencia lógica de objetivos.	22
Figura 4 - Procedimiento análisis de fallas.	27
Figura 5 - Proceso de análisis de fallas.	28
Figura 6 - Curva de la bañera o Davies 32	32
Figura 7 - Fallas crónicas frente a Fallas esporádicas 33	33
Figura 8 - Condiciones estándares en fallas. 34	34
Figura 9 - Modos de Fallas y sus lazos 36	36
Figura 10 - Árbol lógico en el RCFA 40	40
Figura 11 - Etapas de implementación del RCFA 41	41
Figura 12 - Perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. 51	51
Figura 13 - Sistemas principales ROADTEC RX 500. 52	52
Figura 14 - Peso y medidas de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. 53	53
Figura 15 - Capacidad de servicio perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. 53	53
Figura 16 - Principio general de funcionamiento ROADTEC RX 500. 54	54
Figura 17 - Función principal de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 56	56
Figura 18 - Motor CUMMINS diésel QSX - 15 57	57
Figura 19 - Placa de características del motor CUMMINS QSX - 15. 58	58
Figura 20 - Sistema hidráulico perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. 60	60
Figura 21 - Posición de válvulas. 62	62
Figura 22 - Caja de válvulas. 64	64
Figura 23 - Baterías sistema eléctrico. 66	66
Figura 24 - Rotor y herramientas de corte de asfalto. 69	69
Figura 25 - Sistema de transmisión por correas y poleas del sistema de embrague. 75	75
Figura 26 - Características del sistema de embrague. 76	76
Figura 27 - Bomba SAUER DANFOSS serie 90. 78	78
Figura 28 - Bomba hidráulica serie 90 79	79
Figura 29 - Indicadores de presión 90	90
Figura 30 - Cámara termografía. 91	91
Figura 31 - Filtros aceite hidráulico 100	100
Figura 32 - Manómetros de presión de carga 121	121
Figura 33 - Caja de corte de asfalto. 124	124
Figura 34 - Caja y componentes de corte de asfalto. 126	126
Figura 35 - Componentes caja de corte de asfalto. 127	127
Figura 36 - Esquema de transmisión de potencia al rotor de corte de asfalto. 128	128
Figura 37 - Rotor de corte de asfalto en espiral. 130	130
Figura 38 - Rotor de corte de asfalto. 132	132
Figura 39 - Rotor de corte de asfalto estándar. 133	133
Figura 40 - Rotor de microfresado. 135	135
Figura 41 - Elementos de la punta. 137	137

Figura 42 - Dirección de giro de punta.....	138
Figura 43 - Portaherramientas.	139
Figura 44 - Portaherramienta recargable.	140
Figura 45 - Portaherramientas soldada.	141
Figura 46 - Base portaherramientas.....	142
Figura 47 - Expulsores de material fresado.....	143
Figura 48 - Expulsor tipo 1.....	144
Figura 49 - Expulsor tipo 2.....	145
Figura 50 - Características de punta para corte de asfalto.....	151
Figura 51 - Estructura de mezclas asfálticas.	157
Figura 52 - Carburo de tungsteno bajo el microscopio	161
Figura 53 - Progresión óptima de desgaste.	162
Figura 54 - Posición de puntas de fresado.....	162
Figura 55 - Desgaste de la punta de corte de asfalto.	163
Figura 56 - Plan de mantenimiento del Sistema de Corte de Asfalto RX 500	182
Figura 57 - Plan de mantenimiento de Sistema Hidráulico de Perfiladora de Asfalto ROADTEC RX500	183

Tablas

Tabla 1 - Grado de profundidad Escala de Bloom & Gagné - Alcance y Niveles.....	19
Tabla 2 - Características de seguridad ROADTEC RX 500.	70
Tabla 3 - Información sistema hidráulico a analizar.	74
Tabla 4 - Causas inmediatas bomba hidráulica SAUER DANFOSS.....	88
Tabla 5 - Función 1. A causas básicas.....	89
Tabla 6 - Rango de temperaturas bomba serie 90	91
Tabla 7 - Función 2. B causas básicas.....	94
Tabla 8 - Función 3. C causas básicas.....	97
Tabla 9 - Secuencia para instalar un filtro.....	101
Tabla 10 - Especificación fluido hidráulico SAUER DANFOSS.....	103
Tabla 11 - Características aceite CATERPILLAR TO-4.....	105
Tabla 12 - Informe análisis de aceite.....	107
Tabla 13 - Análisis componentes bomba SAUER DANFOSS	111
Tabla 14 - Análisis de microscopia	115
Tabla 15 - Actividades para cambio de fluido hidráulico	119
Tabla 16 - Información sistema de asfalto a analizar.....	123
Tabla 17 - Proceso de producción de rotor.....	129
Tabla 18 - Estilos de rotores de fresado.	131
Tabla 19 - Rotor de corte de asfalto estándar	133
Tabla 20 - Rotor de microfresado.....	135
Tabla 21 - Causas inmediatas sistema de corte de asfalto.....	147
Tabla 22 - Causas básicas función 1. A.....	148
Tabla 23 - Propiedades físicas del asfalto.	150
Tabla 24 - Causas básicas sección 2. B.....	152
Tabla 25 - Causas básicas sección 3. C.....	154
Tabla 26 - Análisis de asfalto	158
Tabla 27 - Propiedades mezcla asfáltica.	159
Tabla 28 - Análisis de desgaste de la punta de fresado.....	164
Tabla 29 - Políticas de control para puntas de fresado.....	170
Tabla 30 - Actividades de mantenimiento baja presión de la bomba.....	176
Tabla 31 - Proceso de configuración de presión	177
Tabla 32 - Rutina de mantenimiento bomba hidráulica.	178
Tabla 33 - Rutinas de mantenimiento sistema de corte de asfalto	185

Sección 0 - Prólogo

El argumento de la tesis es con el fin, de aplicar el estudio e investigación de la metodología de análisis de fallas, como requisito para obtener el grado en maestría de ingeniería; la tesis está dividida en cinco capítulos en los cuales se describe la importancia que tiene la metodología de análisis de falla en la industria de la construcción de infraestructura vial. Describe como se encuentra estructurada la metodología de análisis de fallas direccionándola a equipos de construcción de vías. Caracterizar los principales sistemas y componentes del equipo al que se va a analizar; se establece por medio de la metodología la falla que avería presentan los elementos mecánicos del equipo, resultando de este análisis la programación y ejecución de los planes de mantenimiento más precisos y concisos con el fin de mitigar o eliminar las fallas.

La tesis ha sido orientada gracias al interés que se tiene acerca del tema de mantenimiento y sus diferentes metodologías ha sido el enfoque principal para la elaboración de la tesis.

Aparte 1 - Sección 0 - Introducción

El progreso del país está enfocado en el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura vial de cuarta generación, Para el desarrollo de estas obras es esencial contar con la maquinaria y equipos, que permiten que su trabajo sea exitoso. Para optimizar las metodologías de mantenimiento para maquinaria y equipos, apuntamos a un equipo primordial en la ejecución y rehabilitación de infraestructura vial con mayor eficiencia. El equipo a analizar es una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

La perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 es un equipo fundamental en la construcción de infraestructura vial. La función principal es fresar el asfalto que se encuentra en mal estado, se fresa para dar disposición a uno nuevo, por tanto el enfoque principal es la causa de falla que se pueden evidenciar en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de este equipo.

El sistema hidráulico se conforma por un circuito hidráulico, bomba principal, auxiliares y caja de válvulas y electroválvulas. La caja de corte de asfalto está conformada por rotor de fresado y herramientas de corte de asfalto.

El rotor está conformado por las herramientas de corte, el conjunto se compone de base portaherramientas, portaherramientas y elemento de desgaste (punta), base de expulsores y expulsores de fresado. Para optimizar los tiempos y costos de mantenimientos, se realiza un análisis de fallas aplicando diversas metodologías para determinar la causa raíz de la falla principal que se evidencie en el sistema hidráulico del embrague de rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto, verificar por medio de inspecciones los eventos de fallas evidentes en los componentes del sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte, de manera que podamos realizar intervenciones de mantenimiento programado y evitar paradas inesperadas de equipo.

Aparte 2 - Sección 0 - Objetivos

Los objetivos son uno de los factores principales en la elaboración de un proyecto ya que permite comprender y definir en una forma integral el objetivo general y los objetivos específicos,

el objetivo general nos permite identificar como se estructura el proyecto. Los objetivos específicos es la derivación de los principales temas que se estudiarán y aplicarán en el proyecto.

Los objetivos son el eje en torno al cual se define un proyecto y la metodología a ser aplicada. El objetivo de la investigación es lograr alcanzar las metas que se propone en el proyecto. Por lo general, los objetivos están alineados con el campo de conocimiento específico en que está direccionado el trabajo, y buscan ampliar los conocimientos y metodologías que se han propuesto en torno al estudio que se esté realizando.

Artículo 1 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo general.

Aplicar la metodología de análisis de falla encaminado al mantenimiento del sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivos específicos.

La construcción de los objetivos se hace con base en la metodología de Bloom & Gagné, que consiste en tres partes fundamentales, que son: verbo (en infinitivo y tercera persona; solo se usa uno por objetivo), acción (que es donde se aplica el verbo) y los condicionantes (tales como: porqué, para qué, dónde, qué, cuándo, dónde, etcétera; se colocan meramente los necesarios). A su vez para la utilización de verbos, se tienen en la escala de Bloom y Gagné, niveles diferentes que son estructurados, acorde al nivel deseado, lo cual cubre varias escalas, en orden.

Los objetivos específicos apuntan a solucionar el problema específico determinado el problema. Es el resultado final que quiere alcanzarse en el capítulo, es decir, la razón por la que se realiza la investigación.

Tabla 1 - Grado de profundidad Escala de Bloom & Gagné - Alcance y Niveles.

Niveles de escala Bloom	Alcance	Entorno científico de aplicación
1 - Uno	Conocer	Tecnología – Técnicas – Bachiller especializado
2 - Dos	Comprender	Profesional Pregrado
3 - Tres	Aplicar	Especialización
4 - Cuatro	Analizar	Maestría de Profundización
5 - Cinco	Sintetizar	Maestría de Investigación
6 - Seis	Juzgar	Doctorado – Ph.D.

Fuente (Barret&Bloom@, 2012) (Zapata, 2018)

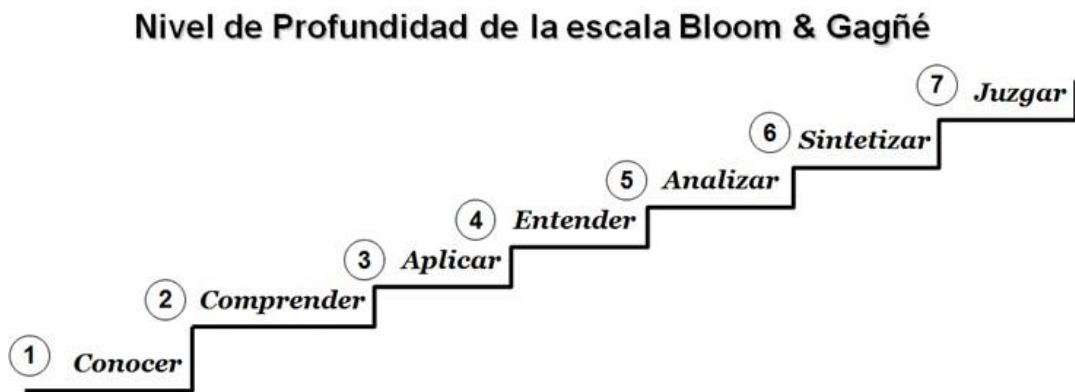


Figura 1 - Profundidad de los verbos de Bloom & Gagné.
Fuente (Barret&Bloom@, 2012) (Zapata, 2018)

Verbs que se recomiendan para montar Objetivos en los Proyectos de Investigación, Tesis, Tesinas o Proyectos de fin de Carrera					6
			4	5	JUZGAR
1	2	3	4	5	6
CONOCER	COMPRENDER	APLICAR	ANALIZAR	SINTEZAR	JUZGAR
Definir Repetir Registrar Memorizar Nombrar Relatar Subrayar Identificar	Interpretar Traducir Reafirmar Describir Reconocer Explicar Expresar, Revisar Ubicar, Informar	Aplicar Emplear Utilizar Demostrar Practicar Ilustrar Operar, Dibujar Programar, Esbozar	Distinguir, Analizar Diferenciar Calcular, Probar Experimentar Comparar, Criticar Contrastar, Discutir Diagramar, Debatir Inspeccionar, Catalogar	Planear, Proponer Diseñar Formular Reunir Construir, Crear Establecer Organizar Dirigir, Preparar	Juzgar Evaluar Clasificar Estimar Seleccionar Valorar Calificar Escoger Medir

Figura 2 - Verbos para configurar objetivos.
Fuente (Zapata, 2018)

Elemento 1 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico uno -

Fundamentos.

Describir la metodología de análisis de fallas, definiendo: síntomas o efectos de fallas, causas inmediatas, causas básicas, causa raíz y políticas de control.

Elemento 2 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico dos -

Caracterización.

Caracterizar los principales sistemas y los elementos relevantes de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Elemento 3 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico tres - Fallas

Analizar los procesos de falla en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

***Elemento 4 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Objetivo específico cuatro -
Mantenimiento.***

Desarrollar un plan de mantenimiento con causas precisas para garantizar que las fallas que se presentan en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte del asfalto de la perfiladora ROADTEC RX 500 no se vuelvan a presentar.

Elemento 5 Artículo 2 del Aparte 2 Sección 0 - Específico cinco - Conclusiones

QUINTO - Concluir a partir de los resultados obtenidos en el proyecto la aplicación de la metodología de análisis de fallas, la causa raíz de los eventos de falla que presenta el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora ROADTEC RX 500.

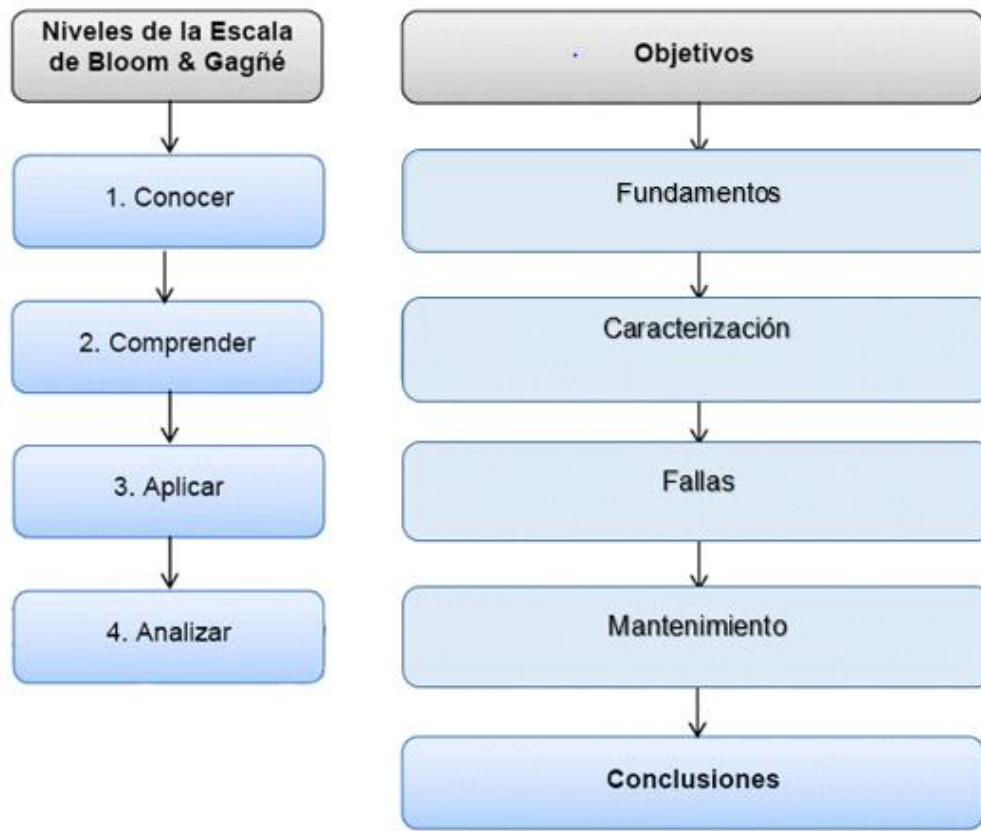


Figura 3 - Secuencia lógica de objetivos.

Fuente (Barret&Bloom@, 2012) (ElaboracionPropia, 2018)

Aparte 3 - Sección 0 - Estructura del proyecto

El proyecto desarrolla las metodologías de análisis de falla en una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Se define el estudio en todos sus aspectos de los sistemas mecánicos, hidráulico, eléctrico y corte de asfalto, describiendo en cada uno de los sistemas sus componentes principales, y de esta manera implementar la metodología de análisis de fallas, la información que se obtiene a partir de la implementación de esta metodología es con el fin de reducir los impactos y factores de riesgos en la actividad del equipo.

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo uno fundamentos.

Definir los principales fundamentos de la metodología de análisis de fallas, desarrollando investigaciones para identificar potenciales problemas y aplicar mejoras al sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora ROADTEC RX 500.

Artículo 2 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo dos caracterización.

Especificar las principales características y componentes de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 principalmente en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto y los elementos que la conforman.

Artículo 3 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo tres fallas.

Realizar cruce de evidencias arrojadas por el análisis de fallas en los elementos del sistema hidráulico del embrague del rotor de corte y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora ROADTEC RX 500.

Artículo 4 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo cuatro mantenimiento.

Desarrollar un plan de Mantenimiento, acciones, táctica y estrategias, a partir de los resultados analíticos, de los capítulos anteriores, para mejorar todas las paradas imprevistas causadas por las fallas, en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto, de tal para garantizar que no se vuelvan a presentar.

Artículo 5 del Aparte 3 Sección 0 - Estructura capítulo quinto conclusiones.

Entregar todos los resultados obtenidos en la investigación y desarrollo del proyecto, de tal manera, que plasme el perfeccionamiento de la metodología de análisis de fallas aplicada ala perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500, que permita evaluar las fallas en los sistemas y componentes de la máquina a futuro, por sus usuarios.

Aparte 4 - Sección 0 - Justificación

Las metodologías de mantenimiento en la actualidad se han diseñado para emplearse en los diferentes campos de la industria, para mejorar significativamente la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, aplicando nuevas técnicas de mantenimiento que preservan la vida útil de los mecanismos de una máquina.

El proyecto en su fase de desarrollo no solo involucra maquinaria y equipos, si no también la parte de construcción de obra civil. Maquinaria y equipos es una de las partes técnicas más importantes en el progreso de la ejecución del proyecto. Al implementar técnicas de mantenimiento como el análisis de fallas en los componentes funcionales de los equipos, se lograra reducir costos en mantenimiento, mejorar la funcionalidad y disponibilidad del equipo y por tanto el cumplimiento de las expectativas de entrega de un trabajo de calidad.

La metodología de mantenimiento en analistas de fallas, aplicada para mitigar y eliminar las fallas evidenciadas en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y de las herramientas de corte de asfalto de una perfiladora ROADTEC RX 500.

Aparte 5 - Sección 0 - Antecedentes

La perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 es una máquina que al desplazarse en línea recta remueve el asfalto en mal estado, con los direccionamientos de operación tanto de profundidad, largo y ancho dando paso a rehabilitar los tramos en mal estado sin afectar el asfalto que este en buenas condiciones.

Los mecanismos de los equipos de perfilado o fresado de asfalto son accionados por sistemas hidráulicos convencionales que genera el movimiento y desplazamiento a las herramientas mediante la energía mecánica proporcionada por el motor de combustión interna que genera el desplazamiento del equipo, hoy en día se ha avanzado en la tecnología de los sistemas hidráulicos de estos equipos.

Los mecanismos de movimientos y de herramientas son activados por sistemas hidráulicos conformados por bomba con características específicas a su implementación, cuerpo de válvulas, electroválvulas, solenoides, sensores de profundidad, el desplazamiento se realiza por medio de motores de traslación lo que hace de estos equipos sean más eficientes y precisos en su trabajo.

Los problemas descubiertos a lo largo de la evolución de las perfiladoras de asfalto hacen necesario implementar las metodologías de mantenimiento de análisis de falla en los elementos más críticos en el sistema hidráulico y de fresado de una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Aparte 6 - Sección 0 - Conclusión de capítulo cero

El proyecto describe las características y aplicaciones para el control de fallas en una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500, aplicando las principales metodologías de análisis de fallas en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto.

Sección 1 - Fundamentos

Aparte 1 - Sección 1 - Objetivo

Describir la metodología de análisis de fallas, definiendo: síntomas o efectos de fallas, causas inmediatas, causas básicas, causa raíz y políticas de control.

Aparte 2 - Sección 1 - Introducción

La sección expondrá las metodologías y técnicas de análisis de fallas. Su implementación como estrategia para analizar, evaluar y eliminar fallas presentadas en diferentes componentes mecánicos.

Aparte 3 - Sección 1 - Desarrollo

La metodología de análisis de fallas es ampliamente aplicada en la industria, para determinar averías en los sistemas mecánicos, se emplea una secuencia de análisis de fallas recolectando datos para que la solución sea eficiente, confiable y definitiva.

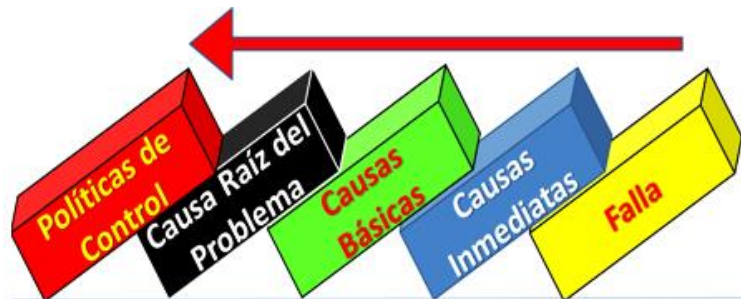


Figura 4 - Procedimiento análisis de fallas.
Fuente (Mora, 2015)

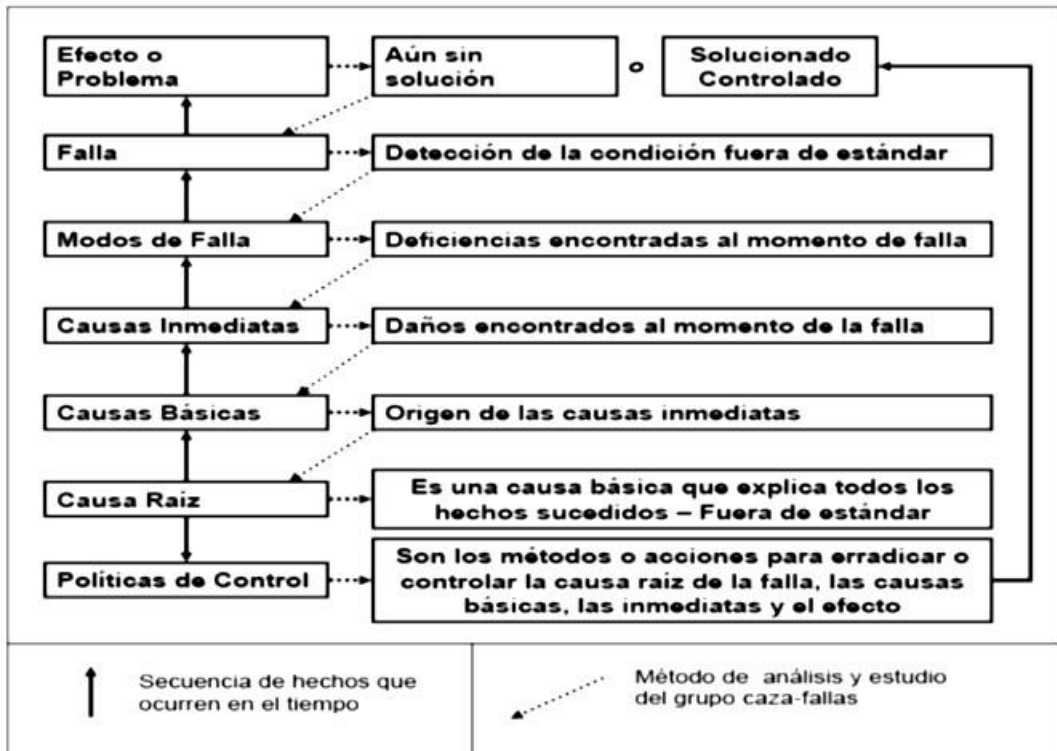


Figura 5 - Proceso de análisis de fallas.
Fuente (Mora, 2015)

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Metodología de análisis de falla.

La esencia del *FMEA*¹ es identificar y prevenir potenciales problemas que afectan un equipo. Esta metodología nos ayuda a definir tres componentes de fallas como la ocurrencia que es la frecuencia de la falla, la severidad es la gravedad de efectos de falla y la detección es la capacidad de detectar la falla antes de que ocurra. Los cualitativos, debe seguir el comportamiento del componente. Este comportamiento es esperado por que las frecuencias con el tiempo se comportan de manera normal. Se espera este comportamiento por que las fallas que ocurrieron deberían ser

¹ *FMEA* - Analysis of the Effects, of the Modes of the Failures

de la categoría de molestia en lugar de crítica o catastrófica, porque hay más preocupación por que no se evidencia las fallas.

La razón más importante para implementar un *FMEA* es la necesidad de mejorar los procesos de encontrar la causa raíz de las fallas mediante el cuadro de decisiones del *FMECA* (AMEF@, 2005) o *RCFA* (Stamatis D. H., 1995)). Para adquirir todos o algunos de los beneficios de un programa *FMEA*, la necesidad de mejorar debe estar arraigada en la cultura de la organización. De lo contrario, el programa *FMEA* no tendrá éxito. Un *FMEA* exitoso para una empresa es obtener una calidad de clase mundial.

Aunque la metodología para implementar un *FMEA* es la misma, existen algunas diferencias claras en la identificación del modo de falla, las causas de falla y los mecanismos de control para prevenir estos modos de falla. El *FMEA* es un análisis o método disciplinado para identificar modos de falla potenciales o conocidos y proporcionar seguimiento y acciones correctivas antes de que se produzca la primera ejecución de producción.

El diseño *FMEA* es un proceso evolutivo dinámico opuesto al estático, que aplica de diversas tecnologías y métodos para producir un resultado de diseño efectivo. El diseño eficaz de *FMEA* se realiza básicamente a través del proceso de ingeniería, desarrollo de productos, investigación y desarrollo, comercialización, fabricación o una combinación de todas las características. El objetivo del diseño del *FMEA* es definir y demostrar soluciones de ingeniería en respuesta a los requisitos funcionales definidos por el sistema *FMEA* y el cliente (Stamatis D. H., 2003).

Parágrafo 1 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Necesidad operativa.

La necesidad operativa es una descripción de parámetros de rendimiento de un sistema. La configuración del sistema debe de ser lo más precisa posible mediante el uso de un proceso interactivo de análisis funcional: síntesis, optimización, definición, diseño, revisiones de diseño, verificación y evaluación (Stamatis D. H., 2003).

Parágrafo 2 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Integración de parámetros.

La integración de los parámetros técnicos relacionados asegura la compatibilidad de todas las interfaces físicas, funcionales del programa, de tal manera que se optimice la definición y el diseño total del sistema (Stamatis D. H., 2003).

Parágrafo 3 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Confiabilidad máxima.

El resultado del diseño *FMEA* es preliminar puede cambiar con información nueva modificada con una configuración de referencia y especificaciones funcionales para cumplir con los requisitos establecidos en un proceso cualitativo y cuantitativo detallando las características de ensamble o servicio. Los modos de falla del sistema *FMEA* generan toda la información esencial para el diseño y su proceso (Stamatis D. H., 2003).

Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Fallas.

Al detectar una falla y repararla, lo importante es descubrir el origen del desperfecto y prever que no se repita en el futuro. La industria suele considerar como avería a cualquier anomalía que impida mantener los niveles de producción.

Lo consideramos también una avería a cualquier polución que de alguna manera ponga en peligro el normal desarrollo de la vida humana (Torres, 2005).

Las fallas típicas causadas por fractura frágil es propagación a lo largo de los planos cristalográficos ocurrencia de fractura frágil temperaturas bajas, grietas generadas durante la fabricación o en servicio, gran deformación plástica previa, baja ductilidad del material, concentración de estrés debido a discontinuidades, fabricación o servicio de tensiones residuales. La Fuga es fluido que escapa de un recipiente presurizado afecta el servicio, que solo en casos de alta toxicidad o inflamabilidad, representa un riesgo de seguridad (Otegui, 2014).

Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Clasificación de fallas

Los distintos aspectos que implica una actividad productiva, es clasificar las fallas que afectan la producción, calidad del producto, seguridad de las personas y Fallas que degradan el ambiente. Las dos primeras afectan directamente al producto sea en su cantidad o calidad, las otras dos afectan al entorno (Torres, 2005).

Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Origen de las fallas

El desgaste natural o envejecimiento por el uso producido por el tiempo y al trabajo cotidiano de las máquinas o equipos estos alcanzan niveles de desgaste, abrasión y corrosión. A este tipo de falla se estima en el 10,45 %. Los Fenómenos naturales y las condiciones atmosféricas pueden influir ocasionalmente en el normal funcionamiento de las máquinas o equipos, y junto con otro tipo de fallas pueden ocasionar roturas y paradas esporádicas de producción (Torres, 2005).

Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 -

Período y frecuencia de falla

El periodo de ocurrencia puede ser Infantiles o prematuras las cuales se relacionan con el diseño incorrecto o con defectos de fabricación relacionados con los materiales o los procesos
 Figura 6 - Curva de la bañera o Davies.

El período aleatorio se relaciona con un mal funcionamiento debido a accidentes por procesos extraordinarios, abusos o a un diseño insuficiente. El periodo se relaciona con las diferentes formas de corrosión, desgaste y fatiga de sus elementos debido al envejecimiento (Mora, 2015).

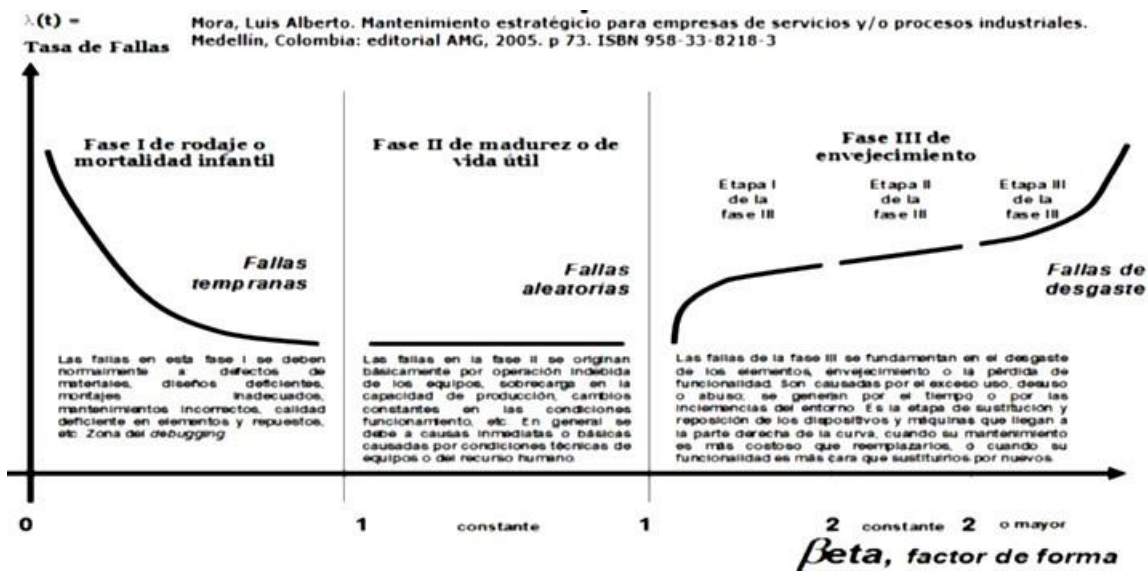


Figura 6 - Curva de la bañera o Davies
 Fuente (Mora, 2015)

Las fallas según su frecuencia son esporádicas, por lo cual su desviación estándar es fácilmente detectable. Generalmente son poco frecuentes y en algunos casos de consecuencias graves. Pero son de fácil control. La falla crónica, tiene desviación estándar difícilmente

apreciable. Son frecuentes, de difícil control, se aceptan como parte normal de los costos de producción. Son típicas de algunos elementos mecánicos y de algunos sistemas de control y de potencia (Mora, 2015).

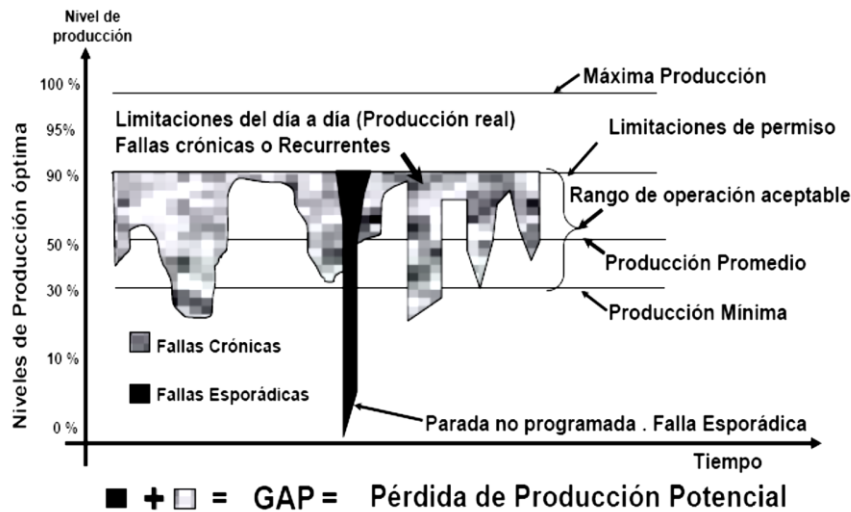


Figura 7 - Fallas crónicas frente a Fallas esporádicas
Fuente (Mora, 2015)

El ejemplo de fallas repentinas y progresivas es cuando en un motor encendido por chispa, falla la bobina encargada de elevar la tensión que alimenta a la bujía, estamos ante una falla total, porque el motor no puede seguir funcionando y es imprescindible reemplazar el elemento para que el sistema pueda seguir operando.

El tipo de falla da muchas señales antes de producirse, manifiesta la proximidad de una avería, realizando un seguimiento se puede determinar con mucha exactitud el momento en que se producirá la avería. Las fallas según la facilidad de detección es la falla evidente que es fácilmente detectable.

La Falla oculta no es detectable fácilmente, se presenta con frecuencia en los sistemas de protección de las máquinas y generalmente tiene consecuencias graves en el equipo (Torres, 2005).

Parágrafo 3 Elemento 1 Artículo 2 Aparte 3 Sección 1- Programación

La programación es importante desde el punto de vista de la producción, desde la perspectiva de mantenimiento, pueden ser interesantes otros tipos de clasificaciones. Una de ellas es aquella que se hace en función de la capacidad de trabajo del equipo y en función de la forma de aparecer la falla. Dependiendo, la aparición de una o de otra, de la organización de la producción en paralelo o en serie, y del grado de complejidad de la instalación (Torres, 2005).

Elemento 2 del Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Fallos funcionales

Las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo ya se hayan determinado, el paso siguiente es identificar como puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de un fallo funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado (Moubray, 2004).

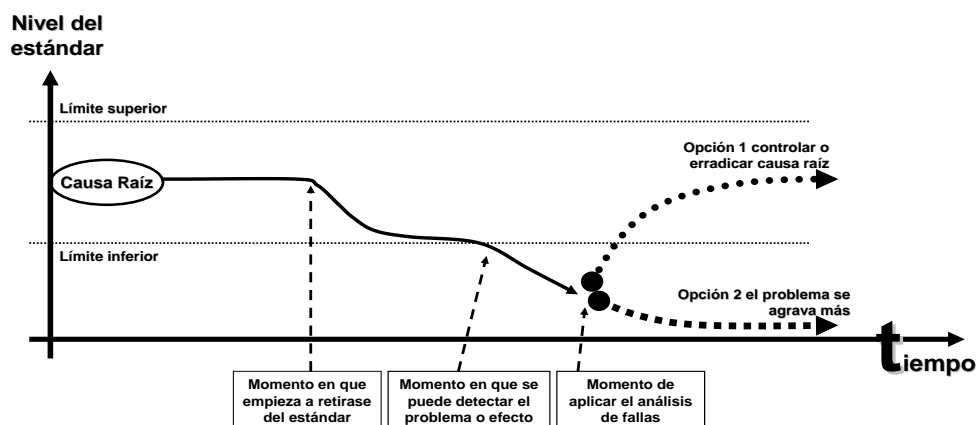


Figura 8 - Condiciones estándares en fallas.

Fuente (Mora, 2015)

Artículo 4 del Aparte 3 Sección 1 - Causas de falla

La investigación se centra en identificar lo inmediato de causa o causas de falla, las causas de falla pueden conllevar al fracaso por un error humano. Sin embargo, en términos de una unidad operativa, es común identificar las causas de falla que requieren diferentes acciones. Estas son condiciones que aumentan la probabilidad o las consecuencias de una falla eventual.

La causa requiere una metodología particular para el análisis. El análisis de causas de falla de elementos mecánicos generalmente incluye la evaluación de las fotografías, registros y recolección de datos de campo, caracterizaciones superficiales y dimensionales, características microestructurales, caracterización química y mecánica de materiales, modelado mecánico de la formación del daño inicial y la ruptura final, ingeniería de análisis crítico y reuniones específicas de expertos para discutir los resultados (Otegui, 2014).

Artículo 5 del Aparte 3 Sección 1 - Modo de falla

El Análisis de Riesgo de Fallas (FHA), también conocido como el Análisis de Peligros Funcionales, sigue un enfoque de razonamiento inductivo para la resolución de problemas, ya que el análisis se concentra principalmente en lo específico y se mueve hacia lo general. La FHA es una expansión del modo de falla y análisis de efecto (*FMEA*).

La FHA es un excelente método de ingeniería de seguridad del sistema que se puede utilizar para garantizar la integridad operativa del sistema. Los *FMEA* normalmente se pueden realizar durante la fase operativa de la vida del equipo, posteriores pueden analizar solo un subconjunto único o incluso un solo componente crítico específico dentro de ese subconjunto (Jeffrey, 2006).

Al realizar este pasó, es importante identificar el origen de la causa de cada fallo Figura 9 - Modos de Fallas y sus lazos. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas al mismo tiempo, cada modo de fallo debería de ser considerado en el nivel más apropiado. Los modos de falla se manifiestan como falla completa, parcial, con el tiempo y sobre el desempeño de la función (Moubray, 2004).

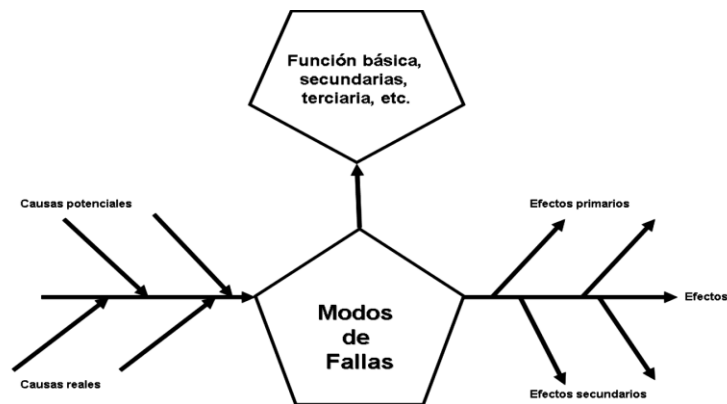


Figura 9 - Modos de Fallas y sus lazos

Fuente (Mora, 2015)

Artículo 6 del Aparte 3 Sección 1 - Síntomas o efectos de falla

Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla, el efecto de falla no es la consecuencia de falla, un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene? La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla, Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente, Las maneras (si las hubiera) en que afectan a la producción o a las operaciones, Los daños (si los hubiera) causados por la falla y que debe hacerse para reparar la falla.

Si hemos de hacer esto correctamente, no podemos empezar suponiendo que se está realizando ya algún mantenimiento proactivo; por ello los efectos de las fallas deben describirse como si no se estuviera haciendo nada para impedirlos (Moubray, 2004).

El procedimiento *FMEA* es una secuencia de pasos lógicos, comenzando con el análisis de subsistemas o componentes de nivel inferior. A cada modo de falla y efecto resultante se le asigna una clasificación de criticidad, basada en la probabilidad de ocurrencia y su severidad. Para fallas con una puntuación alta en la clasificación de criticidad, el diseño cambia para reducirlo son recomendados. Seguir este procedimiento proporciona un diseño más confiable.

También ese uso correcto de la el proceso de *FMEA* resulta en dos mejoras principales, confiabilidad mejorada anticipando problemas e instaurar correcciones antes de producir el producto y validez mejorada del método analítico, que resulta de una documentación estricta de la justificación de cada paso en el proceso de toma de decisiones (Keith , 1999).

Elemento 1 del Artículo 6 del Aparte 3 Sección 1 - Síntomas de falla en un componente mecánico

El síntoma de falla es muy importante en el mantenimiento por condición y en especial el mantenimiento predictivo para medirlo, monitorearlo y planificar una acción de mantenimiento sobre la máquina cuando este llega a un valor crítico.

El nivel de ruido que produce un engranaje roto o desgastado, rodamiento desgastado o deteriorado, elementos elásticos del acople dañado y desalineación o desbalanceo. El nivel de

vibraciones se manifiesta por daños en rodamientos, tornillos de anclaje sueltos, desalineación por asentamientos y velocidades de trabajo excesivas (Mora, 2015).

Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Clasifica causas inmediatas

Las causas inmediatas se refieren a los daños y hechos que se encuentran en el equipo al momento de percibir o reportar la falla. Las causas básicas son el origen de las causas inmediatas. Una o varias causas básicas que generan el problema por medio del cual se detecta la falla y que a la vez ocasiona la pérdida de funcionalidad del sistema o elemento. El elemento que entra en estado de falla se denomina como ítem susceptible de mantenimiento (Mora, 2015).

Elemento 1 del Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Clasificación de causas inmediatas.

Las causas inmediatas se clasifican en causa mecánicas las cuales se pueden evidenciar por medio de fugas, vibraciones desalineación, deformación y piezas sueltas. La causa de falla producida por materiales se puede evidenciar desgaste, cavitación, corrosión, erosión, fractura, fatiga y sobrecalentamiento. Otra de las causas de falla son los instrumentos de control de equipo los cuales son controlados por medio de un software el cual no emite señales o alarmas de alerta en el equipo (Mora, 2015).

Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Causas básicas

Las causas básicas son el origen de las causas inmediatas. Una o varias causas básicas que generan el problema por medio del cual se detecta la falla y que a la vez ocasiona la pérdida de

funcionalidad del sistema o elemento, recibe el nombre de causa raíz. La criticidad o grado del problema se asocia a la clase de falla (Mora, 2015).

Elemento 1 de Artículo 8 de Aparte 3 Sección 1 - Clasificación causas básicas

Las causas básicas se clasifican: por el diseño incorrecto de los componentes mecánicos de un equipo que involucra la capacidad, resistencia, materiales y diseño inadecuado.

Las causas de falla se originan por errores en el proceso de fabricación o instalación de un equipo en la operación y mantenimiento los errores más frecuentes son la operación, el mantenimiento, el servicio fuera del diseño y desgaste o rotura esperada de una pieza. Lo datos erróneos en los documentos, las fallas eléctricas que se producen por cortos circuitos, circuitos abiertos, falla de energía por voltajes o amperajes bajos (Mora, 2015).

Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Causa raíz.

El análisis de causa raíz de las fallas es un método riguroso para la solución de problemas en cualquier tipo de falla, se basa en un proceso lógico y en la utilización de árboles de causas de falla. Figura 10 - Árbol lógico en el RCFA, consiste en una representación visual de los eventos de una falla, en el cual por razonamiento deductivo y mediante la verificación de los hechos que ocurren se puede llegar de una manera fácil y fluida a las causas originales de las fallas (Stamatis D. H., 2003).

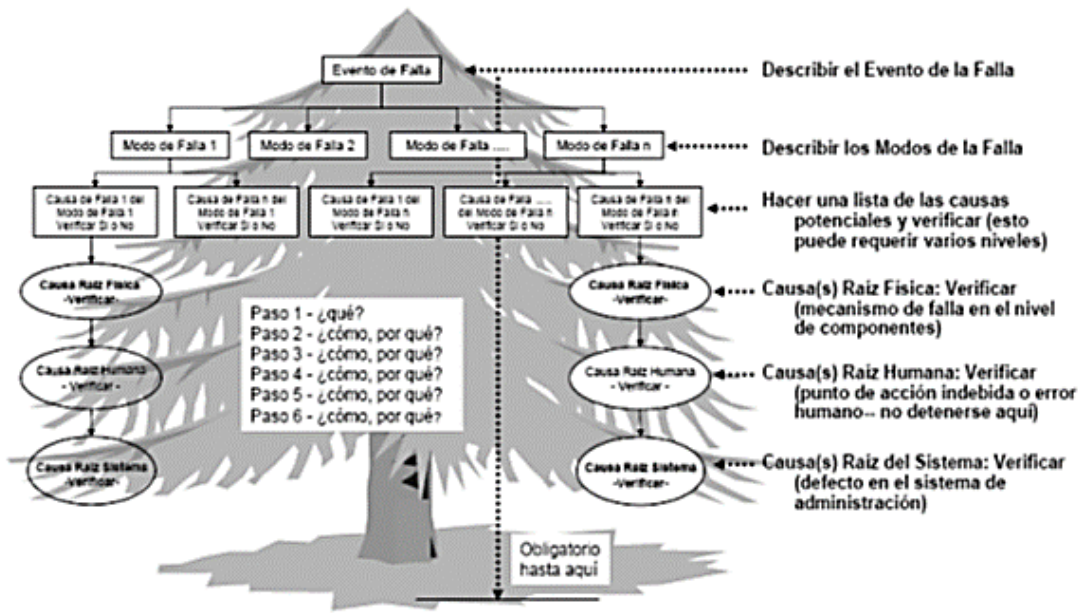


Figura 10 - Árbol lógico en el RCFA
Fuente (Mora, 2015)

El *RCFA* se puede llegar a deducir hasta tres niveles de causa raíz. El método *RCFA* es una ayuda complementaria al método de análisis de falla que perfecciona las etapas requeridas en él, para encontrar las diferentes causas inmediatas, básicas y raíz.

Las ventajas que presenta el método es permitir establecer un patrón de fallas en elementos o máquinas, aumenta la motivación del recurso humano del grupo caza - fallas ya que en la mayoría de los casos es muy exitoso en la búsqueda de causas raíces, mejora las condiciones ambientales de trabajo, como también las de seguridad industrial y reduce sustancialmente los tiempos de no funcionalidad y de no disponibilidad en los equipos (Stamatis D. H., 2003).

La causa raíz es la siguiente a la función de causa de falla, es quizás la sección más importante del *FMEA*. Al abordar el problema de la causa de una falla, sea cuidadoso de no estar demasiado ansioso por una solución (Duke , 2009).

El *RCFA* es una secuencia lógica de pasos que lleva al investigador a través del proceso de aislar los hechos que rodean un evento o falla Figura 11 - Etapas de implementación del *RCFA*. En la ilustración que muestra a continuación describe las etapas de implementación de una analiza de falla causa raíz (Mora, 2015)

- | |
|--|
| <p>A. Describir el evento de la falla en forma clara y concisa</p> <p>B. Reunir las evidencias circunstanciales y propias del evento</p> <p>C. Realizar la tormenta de Ideas sobre las causas de la falla o aplicar el Método Vaticano</p> <p style="padding-left: 20px;">a. Detectar las causas posibles de fallas</p> <p style="padding-left: 20px;">b. Verificar las causas de las fallas</p> <p>D. Encontrar la causa raíz y verificarla, que explique todos los hechos que suceden</p> <p>E. Determinar la posible causa raíz humana y verificarla</p> <p>F. Determinar la factible causa raíz latente y verificarla</p> <p>G. Comunicar los resultados y las recomendaciones de control diseñadas</p> <p>H. Monitorear, vigilar, hacer el costeo final y establecer un seguimiento hasta la erradicación o control total de la falla</p> |
|--|

Figura 11 - Etapas de implementación del RCFA
Fuente (Mora, 2015)

Elemento 1 del Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Notificación de un incidente o problema

El investigador rara vez está presente cuando ocurre un incidente o problema. Por lo tanto, el primer paso es la notificación inicial de que se ha producido un incidente o problema. Típicamente, este informe será verbal, una breve nota escrita o una anotación en el registro de producción libro. En la mayoría de los casos, la comunicación no contendrá una descripción completa del problema.

Más bien, será una descripción muy breve de los síntomas percibidos observado por la persona encargada de informar el problema (Keith , 1999).

Elemento 2 del Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Síntomas y límites.

El medio más efectivo de definición de problema o evento es determinar sus síntomas reales y establecer límites que vinculen el evento. En esta etapa de la investigación, la tarea se puede lograr mediante una entrevista con la persona que primero observó el problema (Keith , 1999).

Elemento 3 de Artículo 9 de Aparte 3 Sección 1 - Causas percibidas problema

Las causas percibidas se centran en entrevistar a una persona quien tendrá una opinión definitiva sobre el incidente, y tendrá su descripción del evento y una razón absoluta de la ocurrencia. En muchos casos estas percepciones son totalmente erróneas, pero no se pueden descartar. Incluso aunque muchas de las opiniones expresadas por las personas involucradas o que informan sobre el evento puede ser inválido (Keith , 1999).

Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1- Políticas de control en mantenimiento.

La función de control de mantenimiento se puede ver como una parte importante e integral de la función de gestión de mantenimiento. Los gerentes de mantenimiento deben tener la capacidad de reconocer el rendimiento problemas y oportunidades, tome buenas decisiones y tome las medidas apropiadas para lograr el éxito de la organización en términos de efectividad del rendimiento y eficiencia, y por lo tanto de alcanzar un alto nivel de productividad (Ahmed E. Haroun, 2009).

La principal función de mantenimiento es mantener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas acordes a las necesidades de sus clientes; que son todas aquellas dependencias y/o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos, para producirlos.

La alta interrelación de mantenimiento y producción se ratifica en el hecho de que la gestión de mantenimiento depende básicamente de la tecnología de los equipos de producción y del tipo de actividad industrial y organización a la que se pertenece; se afirma nuevamente que lo más importante en un departamento de mantenimiento, el recurso humano resalta la importancia de que la gestión de mantenimiento debe ir en concordancia con los objetivos de la empresa.

El seguimiento, revisión, monitoreo y racionalización de la práctica (acciones correctivas) hace la mejora continua se convierte en una parte genuina de la cultura organizacional (Mora, 2015).

Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción correctiva.

El personal encargado de reportar las averías es el operario de la máquina, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento. El principal inconveniente con que nos encontramos en este tipo de acción correctiva, es que el operario detecta la avería en el momento que se requiere del equipo, ya sea al ponerlo en marcha o bien durante su utilización, la intervención después de ocurrida la avería, sufre una discontinuidad en los flujos de producción y logísticos, tiene una gran incidencia en los costos de mantenimiento y producción no efectuada, se denomina también mantenimiento accidental (Torres, 2005).

La mayor parte del mantenimiento es correctivo. Las reparaciones siempre serán necesarias; el mejor mantenimiento es mejorar y prevenir las fallas. Sin embargo, el mantenimiento puede reducir la necesidad de correcciones de emergencia. El desafío es detectar problemas incipientes antes de que conduzcan a fallas totales y corregir los defectos al menor costo posible (Mobley, 2002).

Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción modificativa.

Las acciones modificativas que llevan a cabo las actividades de mantenimiento, para modificar las características de las máquinas o equipos, para lograr una mayor fiabilidad o mantenibilidad de los mismos. La acción modificativa va de la mano con la fiabilidad de las máquinas, ya que cuando se ejecuta la mejora, se está buscando una máquina más confiable y adaptable a la operación que realiza.

Los motivos por el cual no es muy común de encontrar éste tipo de mantenimiento son por los costos y el tiempo que demanda realizar trabajos de ésta naturaleza, ya que al realizarlo estaríamos rediseñando de alguna forma la máquina a utilizar, sabiendo la complejidad que esto implica (Torres, 2005).

Parágrafo 1 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 -

Primera época de Funcionamiento del equipo.

La primera época es cuando se pone en funcionamiento el equipo por primera vez. Los sistemas de los equipos y máquinas estándar, en ocasiones, necesitan ser adaptados a las necesidades propias de la empresa ya sea por razones de producción o por ajustar el costo de

mantenimiento. Un equipo que tenga durante su diseño un análisis desde el punto de vista de mantenimiento, evitará problemas posteriores que, en ocasiones, pueden ser difíciles de solucionar (Torres, 2005).

Parágrafo 2 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 -

Segunda época de Funcionamiento del equipo.

La segunda época en la que pueden aparecer las acciones modificativas es durante su vida útil. Se trata de modificar las, máquinas o equipos para eliminar las causas más frecuentes que producen fallas. El análisis de las causas de las averías es el origen de éste tipo de mantenimiento y supone la eliminación total de ciertas fallas (Torres, 2005).

Parágrafo 3 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 -

tercera época de Funcionamiento del equipo.

La acción modificativa en esta época se utiliza cuando una máquina entra en la época de vejez. En esta ocasión se lo trata de reconstruir para asegurar su utilización durante un intervalo de tiempo posterior a su vida útil. Es en este momento cuando se introducen todas las mejoras posibles tanto para producción como para mantenimiento. Este mantenimiento también tiene como objetivo el de realizar una reforma parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento de esta, de acuerdo a los requerimientos del tipo de trabajo que se desea realizar, o bien para obtener un beneficio en la rapidez de reparación (Torres, 2005).

Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción Preventiva.

El tiempo medio hasta el fallo (*MTTF*)² o la curva de la bañera indica que una máquina nueva tiene una alta probabilidad de falla debido a su trabajo, se presentan problemas durante las primeras semanas de operación. Después de este período inicial, la probabilidad de fracaso es relativamente bajo durante un período prolongado. La implementación real del mantenimiento preventivo varía mucho. Algunos programas son extremadamente limitados y consisten solamente de lubricación y ajustes menores (Mobley, 2002).

La acción preventiva, se efectúa con la intención de reducir al mínimo la probabilidad de falla, o evitar la degradación de las máquinas y equipos. La intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes de la fecha probable de aparición de una falla (Torres, 2005)

Elemento 4 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción Sistemática.

Las acciones sistemáticas requieren de amplios conocimientos de la fiabilidad de las máquinas o equipos con los que se está trabajando, es decir, se asegura que existe el conocimiento previo del comportamiento de los materiales. La acción preventiva se anticipa a la falla y la acción correctiva toma el lugar del preventivo y neutraliza los posibles beneficios. La acción preventivo requiere una correcta metodología para determinar su periodo de intervención (Torres, 2005).

² *MTTF - The Mean Time To Failure*

Elemento 5 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Acción Predictiva.

La acción condicional o predictiva consiste en el análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar un fallo antes de que este tenga consecuencias más graves. La acción predictiva, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué periodo de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves (Torres, 2005).

Parágrafo 1 - Elemento 5 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 -

Ventajas acción predictiva.

Las ventajas de las acciones predictivas es reducir el tiempo de parada de equipo al conocerse exactamente que componente es el que va a fallar. Permite estudiar la evolución de un defecto en el tiempo optimizando la gestión del personal de mantenimiento, el cual requiere una plantilla de mantenimiento más reducida para la verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite elaborar un archivo histórico del comportamiento mecánico y operacional muy útil en estos casos.

La exactitud en el tiempo límite que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto, consiente en la toma de decisiones sobre la parada de una línea de las máquinas en momentos críticos (Torres, 2005)

El mantenimiento predictivo está monitoreando la vibración de la maquinaria rotativa en un intento de detectar problemas incipientes y prevenir fallas catastróficas, está monitoreando la imagen infrarroja de interruptores eléctricos, motores y otros dispositivos eléctricos El

mantenimiento predictivo es el medio de mejorar la productividad, calidad del producto y efectividad general de fabricación y producción en plantas.

El mantenimiento predictivo no es monitoreo de vibraciones o imágenes térmicas o lubricación análisis de aceite o cualquiera de las otras técnicas de prueba no destructivas que se están comercializados como herramientas de mantenimiento predictivo (Mobley, 2002)..

El mantenimiento predictivo es una filosofía o actitud que, en pocas palabras, usa la real condición operativa de los equipos y sistemas de la planta para optimizar el funcionamiento total de la planta. Un programa integral de administración de mantenimiento predictivo usa las herramientas más rentables (por ejemplo, monitoreo de vibraciones, termografía, tribología) para obtener condición de funcionamiento real de los sistemas de planta críticos y sobre la base de estos datos reales programa todas las actividades de mantenimiento según sea necesario (Revillas, 2011)

Elemento 6 del Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Monitoreo por condición.

El monitoreo es la medición de una variable física que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indican si el equipo está en buen estado o deteriorado. Los objetivos del monitoreo por condición son: indicar cuándo existe un problema, para diagnosticar entre condiciones buena y mala; y si es mala indicar cuán mala es. Evitando fallos catastróficos, diagnosticar fallos con problemas específicos y pronosticar la vida útil y cuánto tiempo más podría funcionar el equipo sin riesgo de fallo.

La técnica permite realizar un análisis paramétrico de funcionamiento cuya evaluación permite detectar un fallo antes de que tenga consecuencias más graves.

La evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo ese fallo va a tomar una relevancia, para así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Las características más importantes es que no debe alterar el funcionamiento normal de los procesos. La inspección de los parámetros se puede realizar de forma periódica o continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de planta, clase de fallos a diagnosticar y la inversión que se quiere realizar (Amendola, 2010).

Aparte 4 - Sección 1 - Conclusión del capítulo uno

El capítulo define la metodología de análisis de fallas, especificando en forma precisa y concisa como se encuentra estructurada esta metodología. De esta manera se trabaja en la aplicación de análisis de fallos para reducir y eliminar las fallas en los diferentes sistemas mecánicos dando paso a prolongar su vida útil.

Sección 2 - Caracterización

Aparte 1 - Sección 2 - Objetivo

Caracterizar los principales sistemas y elementos mecánicos más relevantes en la estructura de una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Aparte 2 - Sección 2 - Introducción

El capítulo se encuentra orientado a la estructura de la perfiladora de asfalto, dando a conocer sus principales funciones, operación y componentes en los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctrico y las herramientas de corte de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. En esta sección vamos a describir los componentes de los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctrico y las herramientas de corte de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 en el cual se concentra el proceso de implementar la metodología de análisis de fallas.

Aparte 3 - Sección 2 - Desarrollo

El equipo ROADTEC RX 500 es una perfiladora de asfalto de fresado en frío, confiable y de calidad, diseñada para facilitar su operación y servicio. La RX 500 muele y alisa cualquier material de pavimentación, con una longitud de corte de 1905 a 2006 mm por medio de cajas de corte atornilladas.

El motor diésel estándar de 675 hp motoriza el rotor de corte accionado por transmisión por correa, el cual puede cortar hasta 305 mm de profundidad. El rotor de corte carga el material en un transportador primario de 863 mm de ancho que lo transfiere a un transportador secundario de 863

mm ancho. El transportador secundario es capaz de girar 60 grados a la izquierda y a la derecha para cargar más fácilmente el material en un camión de volteo. La Figura 12 - Perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 muestra a nivel general el aspecto exterior de la estructura de la perfiladora de asfalto.



Figura 12 - Perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Artículo 1 del Aparte 3 sección 2 - Descripción ROADTEC RX 500.

El perfil del equipo se representa a continuación en la Figura 13 - Sistemas principales ROADTEC RX 500. Por medio de sus vistas, superior y lateral y la ubicación de los sistemas y sub sistemas principales de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

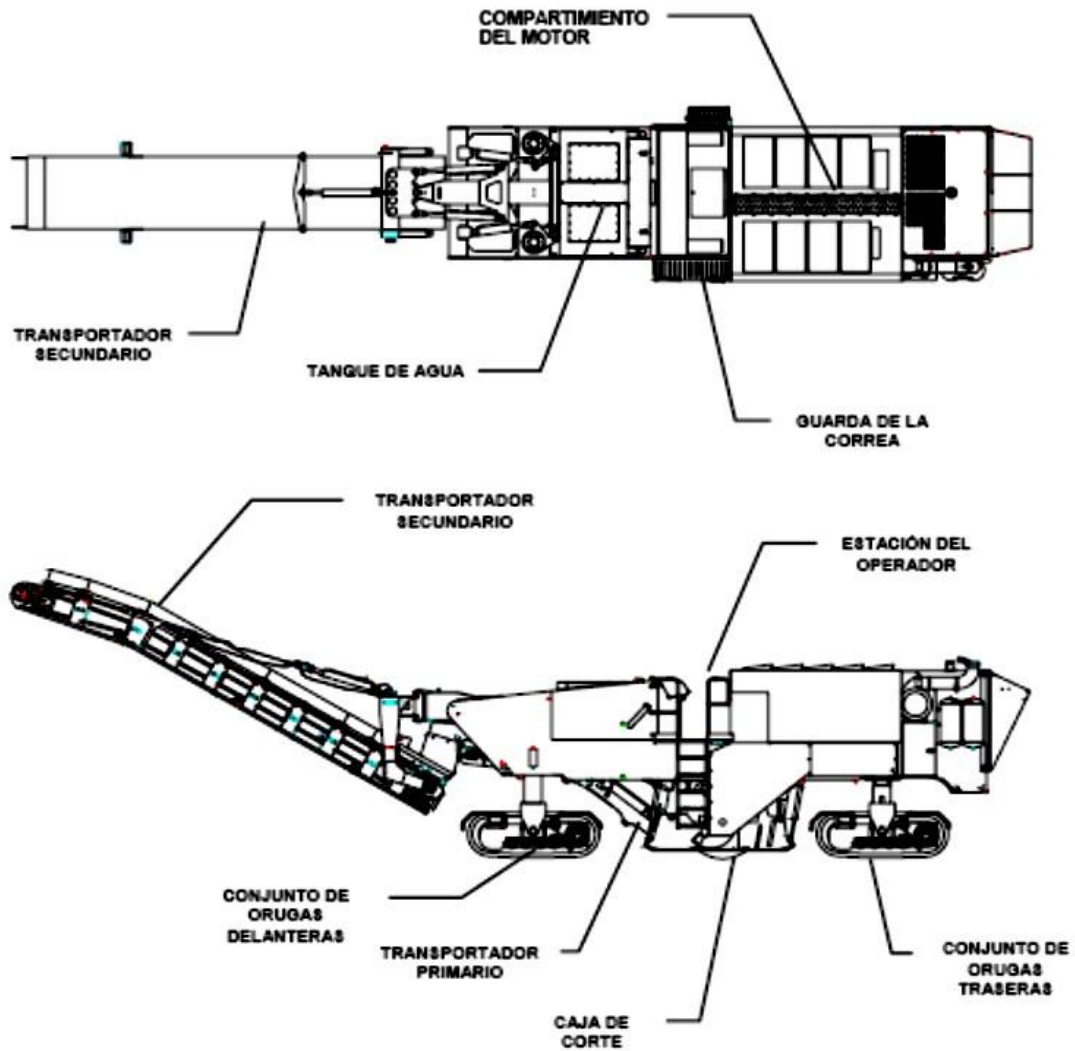


Figura 13 - Sistemas principales ROADTEC RX 500.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

La Figura 14 - Peso y medidas de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Continuación descrita Muestra las dimensiones y el peso del equipo para el traslado por vías nacionales, especifica también el ancho y la profundidad de corte de asfalto que puede realizar el equipo.

Peso y medidas		
Longitud de envío	Pies (mm)	42' 10" (13064)
Ancho del envío	Pies (mm)	7' 5" (2260)
Altura del envío	Pies (mm)	9' 10" (2998)
Profundidad de corte máxima	Pulgadas (mm)	13" (330)
Ancho de corte estándar	Pulgadas (mm)	79" (2006)
Ancho de corte máximo	Pulgadas (mm)	86" (2184)
Inside Turn Radius	Pies (mm)	7' (2133)

Figura 14 - Peso y medidas de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

La capacidad de servicio que se representa en Figura 15 - Capacidad de servicio perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Es la capacidad de almacenamiento en los tanques de combustible, agua y fluido hidráulico. El fluido hidráulico se recomienda llenar el tanque en un 90 % de su capacidad ya que se expande al calentarse.

Capacidades de servicio		
Capacidad del tanque hidráulico	Gal (L)	100 (379)
Capacidad del tanque de combustible	Gal (L)	185 (700)
Capacidad del tanque de agua	Gal (L)	800 (3028)

Figura 15 - Capacidad de servicio perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

***Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 sección 2 - Principio de funcionamiento
perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.***

El principio de funcionamiento es básicamente que el rotor de fresado giratorio ubicado idealmente en el centro de gravedad de la máquina: está extrayendo el asfalto y dependiendo del

método de trabajo, dejando el material extraído detrás de la máquina, usando moldeo lateral para generar grandes acumulaciones de desechos, o cargue el material extraído directamente a los camiones Figura 12 - Perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. (Volk, 2016)

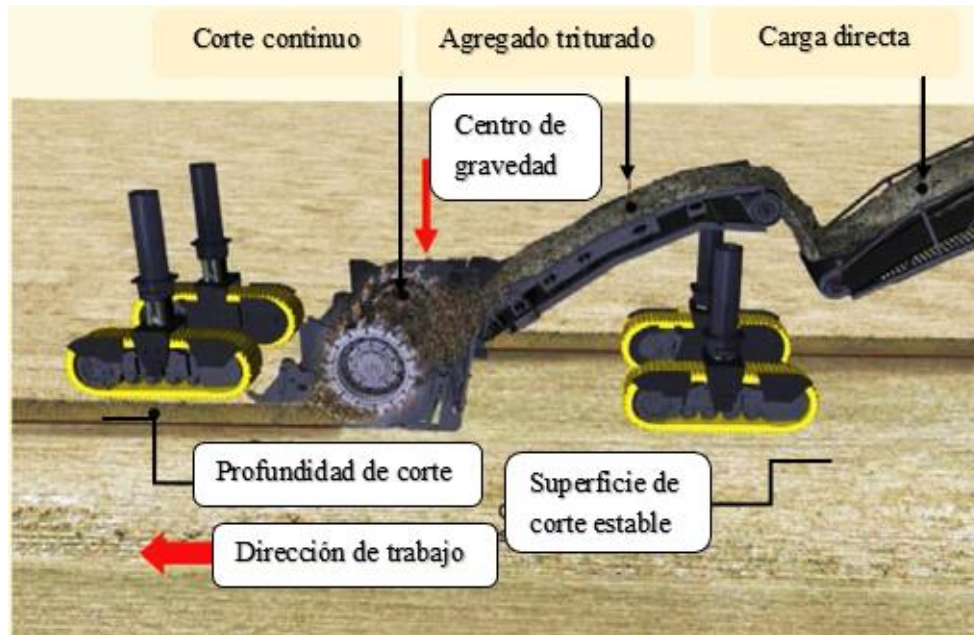


Figura 16 - Principio general de funcionamiento ROADTEC RX 500.
Fuente (Volk, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 sección 2 - Función perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Las fresadoras grandes se diseñan con un rotor de fresado dispuesto en la parte central debajo de la máquina y con un sistema de carga de dos partes, dirigido hacia adelante y, por consiguiente, se las denomina máquinas de carga frontal. Gracias a la potente cinta de descarga giratoria y de altura regulable, es posible cargar camiones grandes de forma rápida y flexible.

Las máquinas con carga frontal generalmente disponen de un puesto de mando cómodo y continuo. De forma alternativa, vienen dotadas de una cabina desplazable y girable por medios hidráulicos. Numerosas e inteligentes funciones automáticas apoyan al operador en su trabajo.

Las máquinas con carga frontal están equipadas, además, con cuatro trenes de orugas con dirección y altura regulables. En esta categoría, la potencia del motor abarca desde aprox. 200 KW³/ 270 CV⁴ hasta aprox. 750 KW / 1000 CV (Company W. G., 2016).

³ KW - Kilowatt medida de potencia eléctrica

⁴ CV - Caballos de vapor

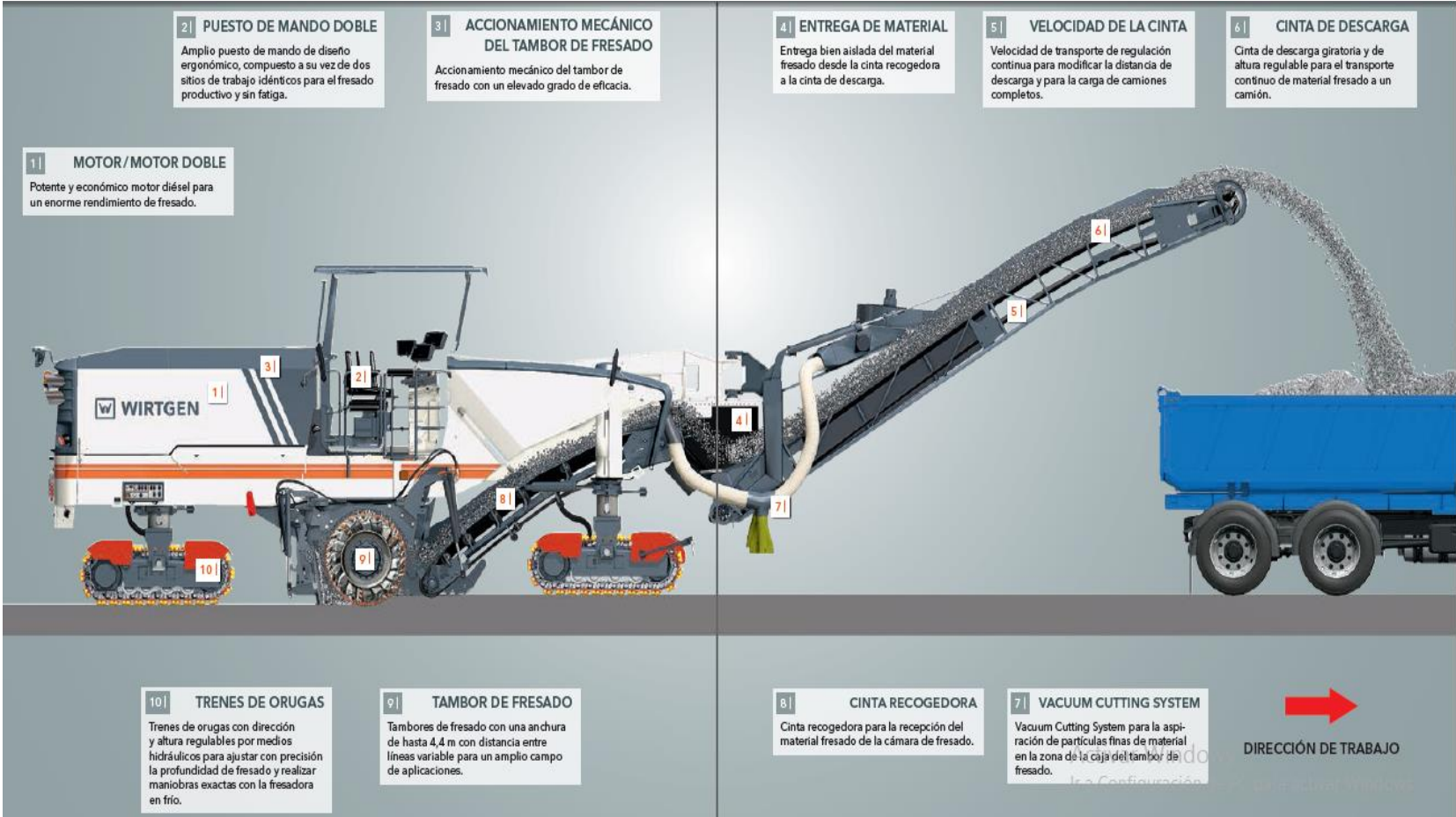


Figura 17 - Función principal de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500
Fuente (Company W. G., 2016)

Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Sistema mecánico motor.

La RX 500 está equipada con el motor diésel CUMMINS QSX - 15. Este motor se controla electrónicamente y es capaz de generar 503 KW (675 hp) a 1850 RPM⁵. Un dispositivo de apagado de emergencia evita que una alta temperatura o una presión incorrecta de operación ocasionen daño innecesario.

El motor diésel CUMMINS QSX-15 es un motor diésel de 15 litros (915 pulgadas cúbicas) en línea, con turbo cargador y sub enfriador, capaz de generar 675 HP⁶ a 1850 RPM (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)



Figura 18 - Motor CUMMINS diésel QSX - 15

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

⁵ RPM - Revoluciones por minuto

⁶ HP - Horse Power

La placa de datos del motor muestra la información específica respecto al motor: el número de serie del motor, la lista de las piezas de control, el modelo y las especificaciones de potencia y *RPM*; proporcionan información útil para hacer pedidos de piezas y satisfacer las necesidades de servicio.

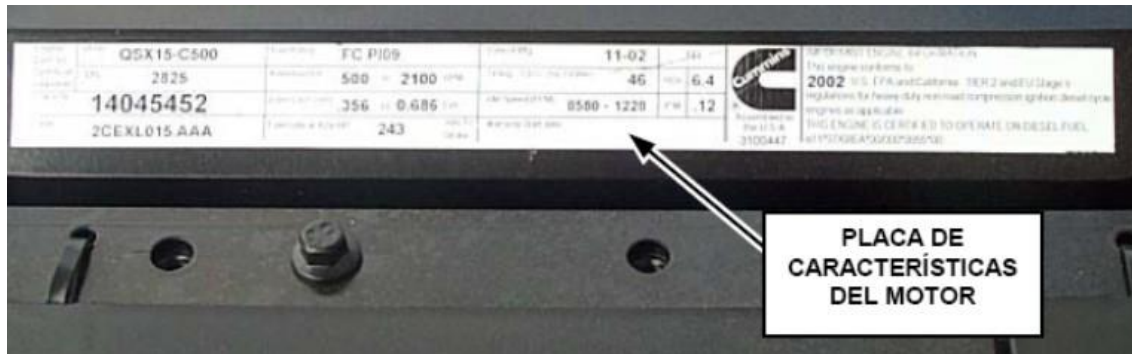


Figura 19 - Placa de características del motor CUMMINS QSX - 15.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Turbo cargador.

El turbo cargador utiliza la energía de los gases de escape para comprimir el aire en los pistones del motor. Una combustión más eficiente, un mejor consumo de combustible y menos calor son algunos de los beneficios que puede prestar un motor turbo cargado. También tiene una función de compensación para mantener la densidad del aire de combustión en mayores altitudes de operación. Estos motores suministran su potencia nominal plena a 2,590 metros sobre el nivel del mar.

El sub enfriador enfría el aire de entrada presurizado proveniente del turbo cargador, permitiendo una mayor densidad de aire para una combustión más completa (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 2 del Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Sistema eléctrico de motor.

El motor está equipado con un módulo electrónico de control (ecm), que está conectado a varios sensores en el motor. Estos sensores le transmiten información esencial al (ecm) para monitorizar las funciones del motor.

La alta temperatura del refrigerante o la baja presión del aceite activará los sensores que abren el circuito al solenoide del inyector de combustible, y apaga la alimentación de combustible al motor. La placa de datos del motor no debe cambiarse a menos que así lo apruebe el fabricante, muestra la información específica respecto al motor (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 3 del Artículo 2 del Aparte 3 sección 2 - Combustible.

El combustible diésel que siempre use para el equipo debe de ser de buen grado, cuyo contenido de azufre sea menor de 0.5%. Un contenido más alto de azufre afectará los intervalos de cambio de aceite. Observe estrictas pautas de limpieza al llenar el tanque. En casos de baja temperatura ambiente, use combustible para invierno solamente. El tanque de combustible debe llenarse sin dilación para evitar que quede vacío: de lo contrario, será necesario ventilar los filtros de combustible y los conductos de inyectores (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Sistema hidráulico.

El sistema hidráulico de la RX 500 se compone de cinco bombas hidráulicas Figura accionadas por motor que les proporciona energía hidráulica a los diversos motores y válvulas del sistema. Estas bombas son: la bomba de impulsión principal, la bomba del transportador primario, la bomba del transportador secundario, la bomba auxiliar y la bomba del ventilador del radiador.

La energía hidráulica proporcionada por estas bombas acciona los siguientes circuitos hidráulicos: impulsión principal, dirección, transportador primario, transportador secundario, giro del transportador secundario, frenos, elevación del vertedero, elevación de la compuerta trasera, tensión de la correa, barra de rociado/lavado y ventilador del radiador. La presión de las bombas de impulsión principal, del transportador primario, del transportador secundario, del embrague y auxiliar se puede monitorizar mediante el panel de instrumentos de la consola del operador (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

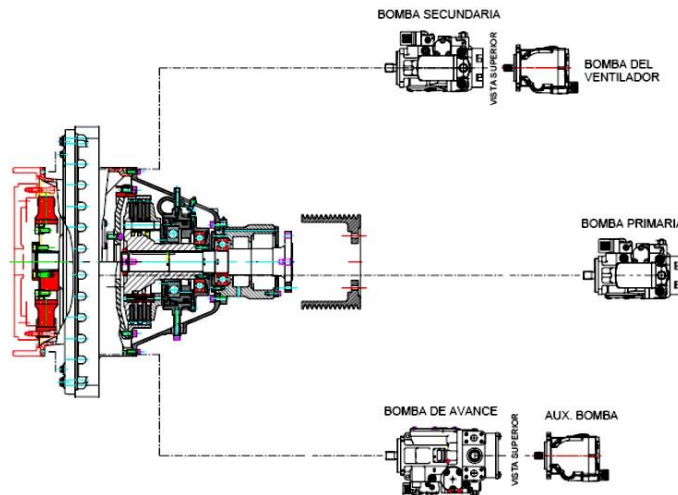


Figura 20 - Sistema hidráulico perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Elemento 1 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba auxiliar serie 45.

La bomba del sistema auxiliar es una bomba SAUER DANFOSS de la serie 45. La presión del Sistema auxiliar es 1,896 KPA^7 (2,750 Libra. /Pulgada .2) (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 2 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba del ventilador.

La bomba del ventilador del motor es una bomba SAUER DANFOSS de la serie cpb 180. La Presión del ventilador es 17,238 KPA (2,500 Libra. /Pulgada .2) (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 3 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba trasportadores primarios y secundarios.

Las bombas de los sistemas de trasportadores primario y secundario son bombas SAUER DANFOSS de la serie 90. Ambas bombas se calibran con un alivio de presión a 31,993 (4,640 Libra. /Pulgada .2) y una presión descarga de 2,413 KPA (350 Libra. /Pulgada .2) (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

⁷ KPA - Unidad de presión kilopascal

Elemento 4 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Bomba principal de impulsión serie 90.

La bomba principal de impulsión es una bomba SAUER DANFOSS de la serie 90. La presión de alivio de la bomba se ajusta en 34,958 KPA (5,070 Libra. /Pulgada .2) y una presión de carga de 2,413 KPA (350 Libra. /Pulgada .2) (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 5 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Válvulas.

Las válvulas compactas que utiliza el sistema hidráulico de la RX 500 sirven para reducir un circuito hidráulico multietapas a una unidad sencilla. Cada unidad proporciona flujo hidráulico, reducción de presión, un bloque de válvulas, alivio de presión y verificación de presión (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).



Figura 21 - Posición de válvulas.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Elemento 6 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Caja de válvulas delanteras.

La caja de válvulas delantera se encuentra justo delante de la consola del operador y está cubierta por una tapa protectora especial. Esta tapa debe levantarse para tener acceso al banco de válvulas. La presión descendente del vertedero delantero se puede ajustar en esta caja para satisfacer cualquier requisito especial de trabajo (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 7 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Caja de válvulas protector de la correa.

Las válvulas se encuentran instaladas en la parte superior de la caja de baterías, debajo del ala derecha del capó. Estas válvulas regulan la presión que va a los siguientes circuitos hidráulicos: frenos, embrague, eje de dos velocidades trasero, tensor de correa del rotor de corte y eje de dos velocidades delantero (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 8 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Caja de válvulas traseras.

Las válvulas se encuentran justo detrás del tanque hidráulico. El vertedero trasero y las compuertas traseras están equipados con válvulas reductoras de presión para satisfacer requisitos especiales de trabajo (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)



Figura 22 - Caja de válvulas.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Elemento 9 del Artículo 3 del Aparte 3 sección 2 - Fluido hidráulico.

Las especificaciones y datos correspondientes a los productos SAUER DANFOSS se basan en el uso del equipo con líquidos hidráulicos de primera calidad que contienen excelentes inhibidores de oxidación, moho y espuma. Estos incluyen aceites especiales de turbina, aceites de motor *API*⁸ cs pre *SAE*⁹ j 183, m2c33f o fluidos de transmisión g (tipo f), fluidos de transmisión con cambios asistidos que cumplan con las normas ALLISON c-3 o CATERPILLAR to-2, y ciertos fluidos de especialidades agrícolas.

Aunque los fluidos que contienen aditivos anti desgaste no son necesariamente para el rendimiento satisfactorio de las unidades de pistón SUNDSTRAND, estos generalmente se requieren para los equipos afines. Estos fluidos deben tener una buena estabilidad térmica e

⁸ *API - American Petroleum Institute*

⁹ *SAE - Society of Automotive Engineers*

hidrolítica para evitar el desgaste, la erosión y la corrosión de los componentes internos. (Company S. d., 2007).

El tanque de 379 litros (100 galones) les suministra aceite a todos los circuitos hidráulicos. Se recomienda llenar el tanque hidráulico hasta el 90% de su capacidad 340.6 litros (90 galones) para evitar que se desborde por la expansión térmica del aceite hidráulico durante el funcionamiento de la máquina (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Parágrafo 1 de Elemento 9 de Artículo 3 de Aparte 3 Sección 2 -

Temperatura

La temperatura de operación del sistema no debe superar los 82 grados centígrados (180 grados Fahrenheit) continuos y 104 grados centígrados (220 grados Fahrenheit) intermitentemente en el drenaje de la caja (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Parágrafo 2 de Elemento 9 de Artículo 3 de Aparte 3 Sección 2 -

Viscosidad

Las condiciones de operación, la viscosidad de los fluidos debe ser mayor de 9cst (55 sus¹⁰) continuamente y nunca menor de 6.4 cst¹¹ (47 sus) (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

¹⁰ SUS - Segundos Saybolt Universal

¹¹ CST - Centistokes unidad de medida de la viscosidad cinemática de un fluido en el sistema cegesimal

Artículo 4 del Aparte 3 sección 2 - Sistema eléctrico.

La máquina perfiladora ROADTEC está equipada con dos baterías de 12 voltios conectadas en serie que alimentan el sistema eléctrico de 24 voltios. Las baterías constituyen el núcleo del sistema eléctrico y, con el debido cuidado, garantizan una operación sin problemas. Un alternador de 60 amperios proporciona la corriente necesaria para mantener cargada las baterías (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).



Figura 23 - Baterías sistema eléctrico.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Artículo 5 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de transmisión.

El sistema mecánico de transmisión por correa trapezoidal acciona la caja de engranajes planetarios del rotor de corte. Los sistemas de propulsión, transporte y auxiliar se accionan por energía hidráulica (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 6 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de suspensión.

La máquina se construye con un sistema de suspensión de tres o cuatro puntos. Los rotores hidráulicos dentro de cada tubo de pata se ajustan con los controles eléctricos de la consola. Además, los tubos de pata se pueden ajustar automáticamente mediante los controles de grado automáticos (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 7 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de dirección.

El sistema de dirección coordinada permite seleccionar entre diferentes configuraciones de navegación a petición del operador. Estas configuraciones incluyen, dirección delantera, dirección trasera, dirección coordinada y dirección transversal. Radio de giro de 2.0 m con dirección de cuatro orugas radio de giro de 1.7 m con dirección de tres orugas (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 8 del Aparte 3 sección 2 - Sistema aspersor de agua.

Las barras de rociado se encuentran en las partes delantera y trasera de la caja de corte y en los transportadores primario y secundario. Estas barras de rociado les suministran agua fresca al rotor de corte y a los transportadores mientras la máquina está en marcha. Mediante una manguera se suministra agua para el procedimiento de lavado. La manguera de lavado se almacena en el carrito correspondiente situado en la parte frontal de la máquina. Todos estos sistemas reciben agua de un tanque que almacena hasta 600 galones de agua (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 9 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de transportadores.

La unidad utiliza un sistema de transportadores de descarga frontal de dos etapas, el cual le transfiere el material triturado al camión de volteo. Este sistema de dos etapas consta de un transportador de recolección de 863 mm, o “primario”, y un transportador de descarga de 863 mm, o “secundario”. El material es arrastrado por los transportadores mediante correas sin fin con abrazaderas. El transportador de descarga puede girar 60 grados en ambos sentidos para facilitar la carga de los camiones de volteo (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 10 del Aparte 3 sección 2 - Controles de grado.

Los dos costados de la máquina se encuentran sistemas de control de grado hidráulico o sónico que pueden emplearse para mantener automáticamente la profundidad de corte deseada hasta 305 mm. Las cajas de control de tierra a ambos costados de la máquina permiten activar los controles de grado desde el suelo (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Artículo 11 del Aparte 3 sección 2 - Caja de corte de asfalto.

La perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 está equipada con un sistema de cajas de corte atornilladas. La ventaja de una caja de corte atornillada es que puede cambiarse rápidamente por otra caja de corte de tamaño diferente para satisfacer los diversos requisitos de cada trabajo.

El rotor de corte es motorizado por un sistema de correa accionado por embrague. Este sistema hace girar el rotor de corte a una velocidad máxima de 94.7 rpm (con el motor acelerado al máximo). Los dientes y sujetadores del rotor de corte son fáciles de reemplazar. (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 3 sección 2 - Elementos de desgaste del rotor de corte de asfalto.

La vida útil del rotor de corte varía de acuerdo al tipo de material que se esté cortando y la estabilidad de la operación. Inspeccione periódicamente durante el día el desgaste de las puntas y asegúrese de reemplazarlas antes de que se hayan desgastado completamente los insertos de carburo. Si no se reemplazan las puntas cuando sea necesario, los portaherramientas comenzarán a golpear y se dañarán gravemente o incluso pueden desprenderse del rotor de corte. Es mucho más fácil reemplazar una punta que un portaherramientas.

Las puntas se pueden extraer con un martillo neumático, una punta recta y un botador. Para cambiar un diente sin tener que usar un martillo neumático, introduzca la punta del botador en la abertura en la parte trasera del portaherramientas y golpee firmemente el botador con un martillo para aflojar el diente. Coloque un diente nuevo en el portaherramientas de manera que el resorte de sujeción quede enganchado con el portaherramientas.



Figura 24 - Rotor y herramientas de corte de asfalto.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Artículo 12 del Aparte 3 sección 2 - Características de seguridad.

Las características de seguridad de un equipo se expresan en símbolos de alerta los cuales aparecen en la consola principal del equipo, se utilizan para llamar la atención del operador ya que arroja información importante de la condición en que se encuentra el equipo antes de iniciar su operación.

Tabla 2 - Características de seguridad ROADTEC RX 500.

Características de seguridad
1. El motor arrancará sólo cuando se cumplan las condiciones previas al arranque.
2. El motor no arrancará cuando la máquina se encuentre en condición insegura.
3. El motor no arrancará cuando el agua esté demasiado caliente ni cuando la presión de aceite sea muy baja.
4. El rotor de corte se detiene al contacto con un objeto que no pueda moler.
5. Las barras de seguridad de los tubos de pata soportan el peso de la máquina durante tareas de mantenimiento o reparación.
6. Al oprimir uno de los botones de apagado de emergencia, el motor se apaga inmediatamente, estos botones se encuentran en la consola del operador así como en todas las cajas de control de tierra.
7. El motor no arranca hasta que se haya reposicionado todos los botones de apagado de emergencia

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013) (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 13 del Aparte 3 sección 2 - Sistema de orugas.

Las orugas necesitan ajuste, será necesario realizar la verificación definida a continuación. Compruebe que la máquina esté a nivel. Coloque una cuerda, un nivel o un canto recto sobre la parte superior de las orugas. Use una regla para medir la distancia desde la parte superior de las orugas hasta la cuerda o regla. Si la distancia desde la parte superior de las orugas hasta la cuerda o regla es mayor de 1.27 cm, la tensión de las orugas es muy poca y deberá apretarse la oruga.

Verifique y ajuste la tensión de las demás orugas (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 3 sección 2 - Tensión de orugas.

Después de aplicar varias descargas de grasa resistente a altas temperaturas, se verificar la distancia entre la parte superior de las orugas y el borde inferior del canto recto o cuerda. Si la distancia es aún mayor de 1.27 cm, aplique más grasa a la grasera y vuelva a medir la distancia. Al aplica demasiada grasa al tensor de las orugas o si es necesario retirar las orugas para fines de reemplazo, será necesario reducir la tensión (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

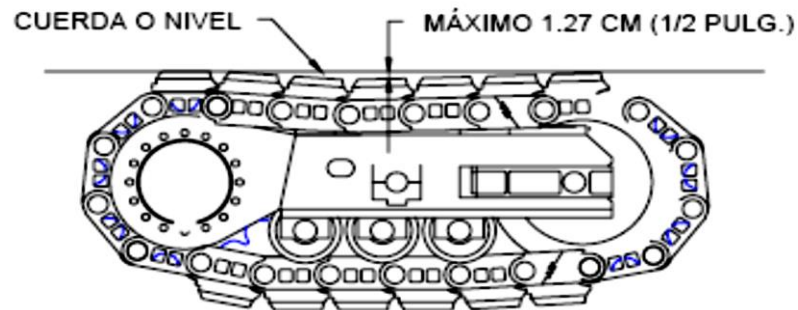


Figura 21 - Tención de orugas.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Artículo 14 del Aparte 3 sección 2 - Consola de operador.

La consola del operador de la RX-500 es sencilla y fácil de acceder. Un conjunto de controles e indicadores amigables para el usuario simplifica la operación de la RX-500. La consola se subdivide en tres secciones: consola izquierda, consola central y consola derecha.

Las consolas izquierda y derecha están integradas por los mismos controles básicos de modo que la máquina puede pilotarse desde cualquier costado de la estación del operador, dependiendo de la necesidad del operador y los requisitos del trabajo que se realiza. (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).



Figura 22 - Consola de operador.

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Aparte 4 - Sección 2 - Conclusión del capítulo dos

La unidad presenta los principales sistemas y elementos de una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Precizando las características de cómo está conformada en sus sistemas mecánicos e hidráulicos que conforman a este equipo, como también su operación, funcionamiento y función principal para la ejecución de trabajos de fresado de asfalto en frío, de esta manera encaminamos la metodología de análisis de fallas con mayor conocimiento en los sistemas que se va a analizar en la perfiladora de asfalto.

Sección 3 - Fallas

Aparte 1 - Sección 3 - Objetivo

Analizar los procesos de falla en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora ROADTEC RX 500.

Aparte 2 - Sección 3 - Introducción

Las fallas a estudiar en esta unidad, está enfatizada en los fallos presentados en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora ROADTEC RX 500. Se analizara las fallas presentadas en la bomba hidráulica del sistema de embrague, en sus elementos internos y en sistemas de alimentación del fluido hidráulico. En las herramientas de corte se analiza su deformación por fricción y desgaste al entrar en contacto con el asfalto.

Aparte 3 - Sección 3 - Desarrollo

El análisis de falla se fundamenta en una perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500, aplicado al sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto. EL análisis de falla establece las causas de falla en forma sistemática, describiendo las acciones preventivas y correctivas necesarias para evitar averías en los sistemas mecánicos del equipo. Los puntos a analizar son los tipos de material, estructura, componentes, temperaturas de trabajo y desarrollar políticas de control.

Aparte 4 - Sección 3 - Análisis de falla sistema hidráulico

El análisis de falla en un sistema hidráulico se centra en identificar la causa de falla que produjo la pérdida de la funcionalidad parcial o total en el sistema hidráulico. En la siguiente Tabla 3 - Información sistema hidráulico a analizar. Se numera la información del equipo y sistema al que se realiza el análisis de falla (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 3 - Información sistema hidráulico a analizar.

Información del sistema hidráulico a analizar	
1. Equipo.	Perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.
2. Sistema Hidráulico.	Bomba hidráulica de desplazamiento variable serie 90 pistón axial SAUER DANFOSS.
3. Falla que presenta.	Rotor de corte de asfalto no gira.
4. Localización perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.	Yopal - Casanare vereda el charre, proyecto de mantenimiento y rehabilitación vial Agazul - Yopal - Hato corozal.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 3 - Identificar el problema.

La perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 sale de operación el 15 de noviembre del 2017 siendo las 7:00 am. Al encender el motor y activar el sistema de fresado con las 1800 a 2100 *RPM* específicas para su operación, se procede a ubicar en posición el equipo para realizar la actividad de fresado de asfalto, evidenciando que el rotor de fresado del no gira.

Al realizar la inspección al rotor fresado y sistema de transmisión por correa trapezoidal y polea se descarta que la falla se encuentra en estos sistemas ya que no se evidencia ninguna anomalía en sus componentes.

El sistema hidráulico que es el encargado de proporcionar el fluido hidráulico a presiones absolutas para que por medio del banco de electro válvulas active el embrague Figura 25 - Sistema de transmisión por correas y poleas del sistema de embrague el cual habilita la función de giro del rotor de fresado de asfalto, se observa que el sistema no está funcionando.

De tal manera luego de realizar pruebas de presión en el banco de electro válvulas y en el circuito hidráulico se determina que hay baja presión en la bomba hidrostática SAUER DANFOSS serie 90 que es la encargada de alimentar el sistema hidráulico para el funcionamiento del rotor corte de asfalto (ElaboracionPropia, 2018).

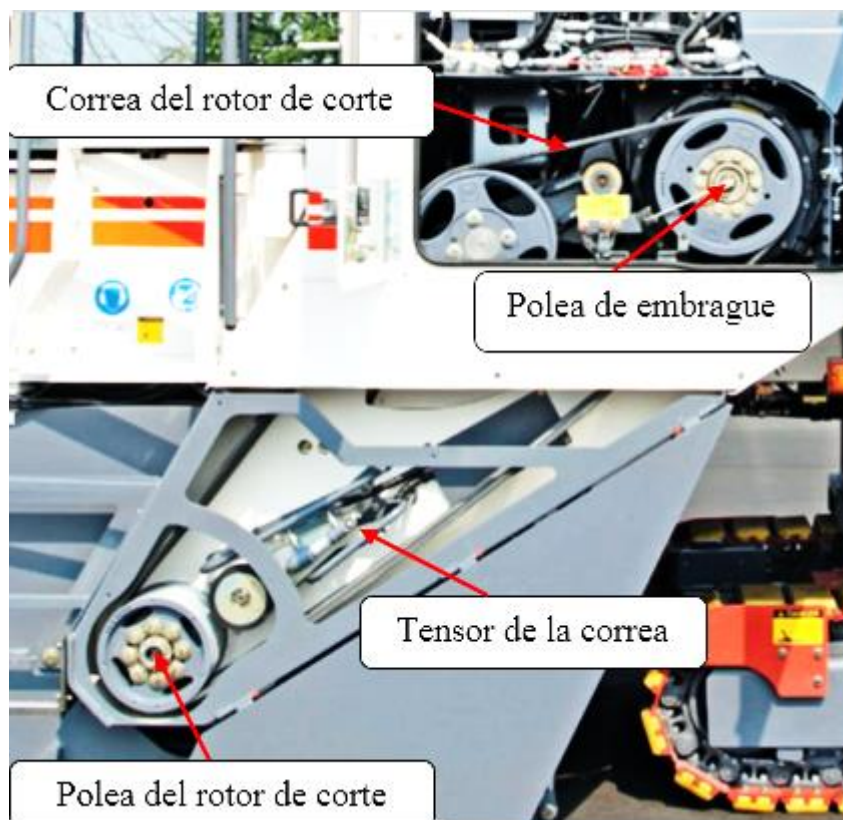


Figura 25 - Sistema de transmisión por correas y poleas del sistema de embrague
 Fuente (Group, Milling system, 2016) (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 3 - Características del sistema de embrague.

Los embragues de las máquinas fresadoras tienen que transmitir de forma segura la elevada potencia de la máquina fresadora y conectar y desconectar fiablemente la fuerza en el grupo de accionamiento del fresado. Los embragues están diseñados especialmente para el empleo en el correspondiente grupo de accionamiento de fresado. Se optimizan a fin de que soporten las cargas resultantes de la dinámica del proceso de corte. Las láminas y la corona dentada interiores deben recambiarse juntos. Los muelles de presión se cambian siempre en bloque (Group, Milling system, 2016).

- 1** *Producción precisa del dentado de las láminas, que permite un ligero movimiento en sus guías y por tanto también un funcionamiento con pocas pérdidas.*

- 2** *El robusto disco de presión para pretensar recibe la ayuda del engranaje, hecho con fundición a presión de gran precisión, para que la transmisión de fuerza sea la exacta.*

- 3** *El muelle de presión está diseñado para un gran número de cambios de cargas sin fatiga, mientras que sobre el perno y el cubo de acoplamiento actúa una transmisión de fuerza segura.*

- 4** *El retén de obturación es de un material resistente al calor. El emparejamiento de cilindros y émbolos garantiza además una movilidad sin holgura.*

- 5** *Láminas exteriores con revestimiento optimizado para gran adherencia friccional, láminas interiores para una transmisión de par de funcionamiento seguro.*

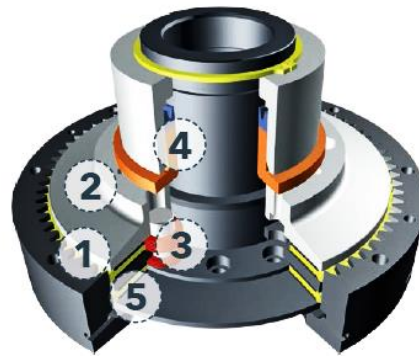


Figura 26 - Características del sistema de embrague.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 3 - Características operativas.

El tiempo de Operación es de 6 a 8 horas por día de trabajo de lunes a sábado a una temperatura ambiente entre 25 y 30 °C promedio, Presión atmosférica (1 bar) Yopal - Casanare, humedad relativa 72 a 77%, altura sobre nivel del mar de 350 metros. Presencia de vapores de combustión y polvo en el ambiente, la ubicación del sistema hidráulico interno en la máquina es accesible para su mantenimiento (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 2 del Aparte 4 - Sección 3 - Beneficios económicos.

Al evitar daños importantes que impacten la integridad física y funcional de la máquina tanto en sus sistemas principales, subsistemas y elementos de desgaste y conocer las causas principales de la falla que presente, se garantizara la disponibilidad de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 y el beneficio económico por la prestación de sus servicios.

El lucro cesante aproximado por la parada de equipo no programado es de 265.000 mil pesos por hora de trabajo y 65.000 mil pesos por m³ de fresado, estos precio se establecen por el trabajo de la máquina por hora, el combustible, elementos de desgaste y mantenimientos programados, preventivos y correctivos los asume el contratista (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 3 del Aparte 4 - Sección 3 - Desviación sub estándar.

El tiempo y costos de retraso de ejecución de obra, debido a que la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 no se encuentra operativa, por bajas presiones en la bomba hidráulica que activa el giro del rotor de corte de asfalto, genera sobre costos por reparaciones y por parada de maquina inesperada, su costo equivale a 265.000 mil pesos por hora que en promedio realiza

trabajos durante 6 horas diarias y 65.000 mil pesos por m³, costos por compra de repuestos, traslado de técnico a campo y lubricantes (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Especificación técnica bomba hidráulica serie 90 SAUER DANFOSS.

Las bombas de pistón SAUER DANFOSS Serie 90 convierten el par de entrada en energía hidráulica. Un sello en el extremo frontal de la bomba evita fugas donde el eje sale de la carcasa de la bomba. Una junta esférica en un extremo conecta cada pistón a una zapata de bronce.

El movimiento alternativo de los pistones ocurre cuando las zapatas se deslizan contra la placa inclinada durante la rotación. Una pequeña cantidad de fluido fluye desde el bloque del cilindro, placa de válvula, deslizador interfaces de placa oscilante para lubricación y refrigeración. Los puertos de drenaje de la caja devuelven este fluido al depósito. El ángulo del plato cíclico controla el volumen de fluido desplazado al sistema (Company S. d., 2007).



Figura 27 - Bomba SAUER DANFOSS serie 90
Fuente (Company S. d., 2007).

Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Componentes bomba

SAUER DANFOSS serie 90.

La bomba hidráulica serie 90 de pistón axial SAUER DANFOSS está conformada por los siguientes componentes individuales que se encuentran representados en la Figura 28 - Bomba hidráulica serie 90.

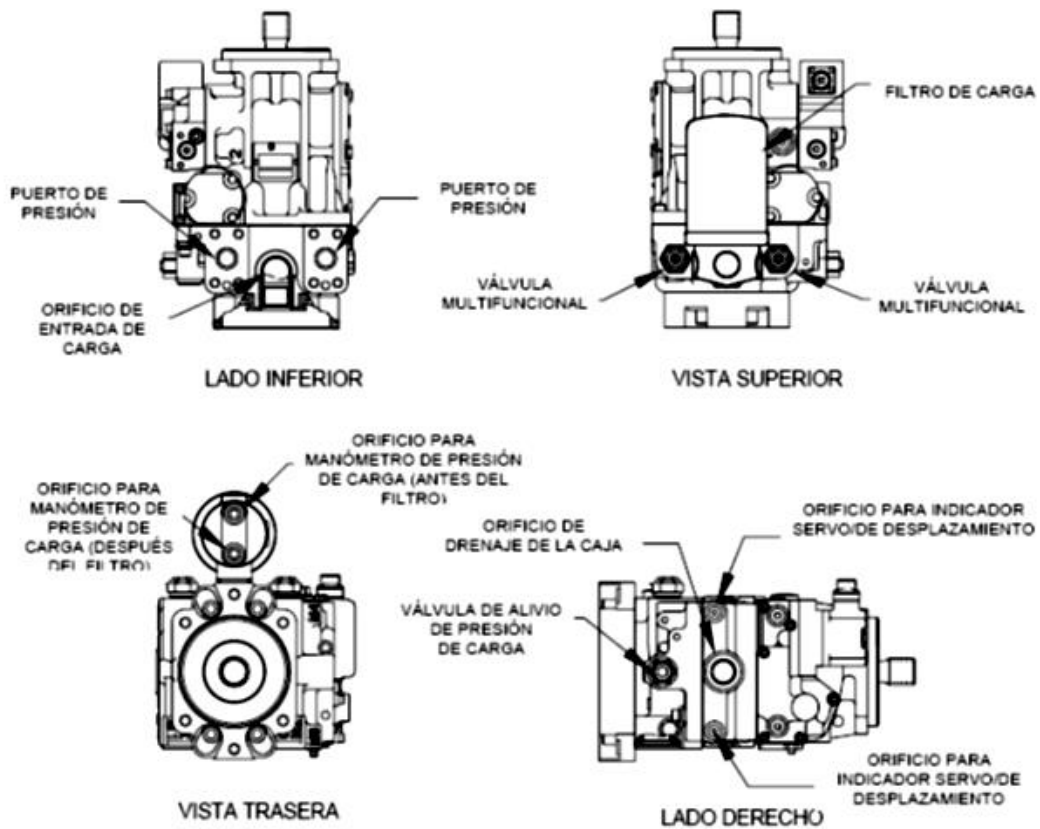


Figura 28 - Bomba hidráulica serie 90
 Fuente (Company S. d., 2007)

Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Pistones.

Los pistones de desplazamiento axial son los encargados de generar el empuje y compresión del fluido hidráulico ejercen la acción de bombeo y se deslizan en el mismo sentido del eje, siendo una parte móvil pistones cilíndricos de movimiento axial (Company S. d., 2007).

Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Eje

de accionamiento

El eje de accionamiento es el encargado de generar el movimiento de los pistones cuando recibe la energía externa proporcionada el motor. La instalación del eje de entrada vertical es aceptable. Si el eje de entrada está en la parte superior de 1 bar, la presión de la caja debe mantenerse durante su funcionamiento (Company S. d., 2007).

Parágrafo 3 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Tapas

y ejes

Las bombas Serie 90 se pueden suministrar con variedad de tapas y ejes para permitir casi cualquier configuración. Para bombas, tapas de extremo están disponibles con puertos del sistema en ambos lados (puertos laterales) o ambos puertos en un lado (puertos gemelos). Los motores tienen tapas terminales con puertos en la cara de la tapa final (puertos axiales) o ambos puertos a un lado (puertos gemelos) (Company S. d., 2007).

Parágrafo 4 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Sensor de velocidad

El sensor de velocidad se puede instalar un sensor de velocidad opcional en la Serie 90 bombas para proporcionar información de velocidad de la unidad. El sensor lee un anillo magnético envuelto alrededor de la unidad del cilindro (Company S. d., 2007).

Parágrafo 5 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Bomba de carga

La bomba de carga es necesaria para suministrar fluido y mantener la presión constante en el sistema principal para proporcionar presión, operar el sistema de control y para compensar fugas internas. La bomba de carga es de desplazamiento fijo, la bomba de desplazamiento variable es la encargada de impulsar el eje de la bomba principal. La presión de carga es limitada por una válvula de alivio.

La bomba de carga estándar será satisfactoria para la mayoría aplicaciones. Sin embargo, si los tamaños de la bomba de carga están disponibles para el tamaño de bomba principal, el engranaje de la bomba puede montarse en la almohadilla de montaje auxiliar y suministrar el flujo de carga adicional si es requerido (Company S. d., 2007).

Parágrafo 6 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 - Válvula de alivio

La válvula de alivio de carga en la bomba sirve para mantener presión de carga en un nivel designado. Una actuación directa válvula de asiento alivia la presión de carga cada vez que supera un cierto nivel Este nivel se establece nominalmente haciendo referencia presión de caja a 1500

rpm. Esta configuración nominal asume que la bomba está en punto muerto, la presión de carga inversa será menor. El alivio de carga la configuración de la válvula se especifica en el código del modelo de la bomba (Company S. d., 2007).

Parágrafo 7 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Válvulas multifuncionales

La válvula de retención del sistema permite el paso del fluido en un solo sentido e impide que fluya desde la dirección opuesta. La presión en el sistema permanece en el valor determinado por el resorte de la válvula limitadora de presión. En la válvula limitadora de presión, la presión se transforma en calor. Por esta razón se deberán evitar largos periodos de operación de esta válvula.

La válvula de alivio de alta presión está diseñada para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido. Su misión es evitar la explosión del sistema protegido o el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión. Existen también las válvulas que alivian la presión de un fluido cuando la temperatura supera un límite establecido. (Company S. d., 2007).

Parágrafo 8 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Válvulas compactas

Las válvulas compactas que utiliza en el sistema hidráulico tienen como función reducir un circuito hidráulico multietapas a una unidad sencilla. Cada unidad proporciona flujo hidráulico, disminución de presión, alivio de presión y verificación de presión (Company S. d., 2007).

Parágrafo 9 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Válvulas sistema de control

Las válvulas de retención del sistema permiten que el flujo presurizado cargue la bomba para que ingrese a baja presión al circuito, cada vez que la presión del sistema desciende por debajo de un cierto nivel necesario generalmente hay pérdida de presión debido a fugas y otros factores. La bomba puede funcionar en cualquier dirección, dos controles del sistema las válvulas se utilizan para dirigir el suministro de carga a líneas de baja presión (Company S. d., 2007).

Parágrafo 10 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Válvulas de derivación

Las válvulas de derivación se pueden operar cuando se desea con la función mecánica cuando la bomba no está funcionando. La válvula se abre de forma manual y restablece la posición de la válvula. Las válvulas de derivación están incorporadas en las válvulas multifuncionales (Company S. d., 2007).

Parágrafo 11 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Válvula de anulación de presión

La válvula de anulación de presión consiste normalmente en un sistema de tres vías válvula abierta que funciona en serie con la bomba control de desplazamiento.

La presión de suministro de control es normalmente guiada a través de la válvula de anulación de presión a la válvula de control de desplazamiento para controlar la bomba desplazamiento. A medida que la presión de control se reduce, las fuerzas internas que tienden a rotar el plato cíclico

superar la fuerza de los servos pistones y permitir la reducción de la bomba para disminuir la cilindrada (Company S. d., 2007).

Parágrafo 12 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Limitador de presión

Cuando se alcanza la presión preestablecida, el limitador de presión sistema actúa rápidamente, la bomba limita la presión del sistema para una aplicación de carga inusualmente rápida, la válvula de alivio de alta presión actúa para limitar inmediatamente presiones del sistema mediante el flujo de sistema de cruce de puertos a la baja de presión del fluido (Company S. d., 2007).

Parágrafo 13 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Empaques de montaje auxiliar

Los empaques de montaje auxiliares están disponibles en todas las Series 90. Los soportes SAE A y E están disponibles (disponibilidad varía según el tamaño de la bomba). Estos empaques se utilizan para el montaje bombas hidráulicas auxiliares y para el montaje adicional Bombas de la serie 90 para hacer bombas en tándem. Los empaques permiten una capacidad de torque completo (Company S. d., 2007).

Parágrafo 14 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Filtración de carga parcial

Los filtros existen de dos tipos a presión para la mayoría de las bombas de la Serie 90. Verifique la disponibilidad de la opción en la información técnica específica del tamaño. En cualquier caso, el circuito de filtración es el mismo con el elemento de filtro situado en el circuito

de corriente abajo la bomba de carga y arriba de la válvula de alivio de carga de modo que el flujo de carga completo sea continuo y filtrado.

La filtración de alta presión puede mitigar el vacío en arranques en frío y proporciona filtración de fluidos inmediatamente antes de la entrada al circuito y el sistema de control. La filtración a presión proporciona un mayor nivel de eficiencia de filtración que la filtración por succión (Company S. d., 2007).

Parágrafo 15 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Filtración por presión de carga

El filtro de presión puede montarse integralmente directamente en la bomba o un filtro puede montarse a distancia para facilitar su servicio. Una pantalla de 125 μm , ubicada en el depósito que carga la línea de entrada (Company S. d., 2007).

Parágrafo 16 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Filtración por succión

El filtro de succión se coloca en el circuito entre el depósito y la entrada a la bomba de carga. Cuando hay succión se usa filtración, se coloca un accesorio reductor en la carga puerto del manómetro. Dispositivos de filtración de este tipo son proporcionados por el usuario (Company S. d., 2007).

Parágrafo 17 del Elemento 1 del Artículo 4 del Aparte 4 - Sección 3 -

Control de desplazamiento hidráulico

El control de desplazamiento hidráulico utiliza una entrada de fluido hidráulico que es la señal para operar un servo válvula de cuatro vías centrada en la primera. Esta válvula suministra presión hidráulica a cada lado de un servo pistón de doble acción. El servo pistón gira el plato basculante a través de una rotación angular de $\pm 17^\circ$, variando así el desplazamiento de la bomba del desplazamiento completo en una dirección a desplazamiento completo en el lado opuesto dirección (Company S. d., 2007).

Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Síntoma de falla.

El síntoma de falla presentado por la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 al activar el movimiento de giro del rotor de corte, se determina que la falla se encuentra en sistema hidráulico por baja presión en la bomba hidráulica SAUER DANFOSS serie 90.

La bomba SAUER DANFOSS serie 90 se encarga de enviar el fluido hidráulico a una presión constante para poder activar el sistema de embrague y generar el giro del rotor de corte de asfalto; el síntoma de falla no fue evidente a los sentidos humanos por tanto se realizaron pruebas de presión tomadas con manómetros para analizar si la bomba presenta sobre presión o baja presión, lo cual arroja como resultado baja presión en la bomba, por lo tanto el sistema de embrague se encuentra inactivo, causando que el rotor de corte de asfalto no gire, ya que no posee la presión nominal que debe ejercer el fluido hidráulico en la bomba para activar el movimiento del rotor de corte de asfalto (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 6 del Aparte 4 - Sección 3 - Causa de falla.

La inspección a los subsistemas de la bomba hidráulica SAUER DANFOSS serie 90, se determina que una de las causas de falla que se encuentra es la prolongación en tiempo entre acciones preventivas en el sistema, la mala ejecución de la rutina y actividades de mantenimiento preventivo programado ya que por fabricante se debe de realizar a las 1000 horas de trabajo. Se debe de ejecutar un mantenimiento completo al sistema hidráulico, cambiar todo el fluido hidráulico, filtros de tanque de almacenamiento, filtro de sistema auxiliar de alta presión, filtros de carga de alta presión y filtros de bombas hidráulicas (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 7 del Aparte 4 - Sección 3 - Modo de falla.

El análisis de aceite es una práctica esencial para determinar la degradación del lubricante causado por contaminantes o por partículas abrasivas. El resultado del análisis de aceite del sistema hidráulico de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 demuestra que el aceite no cumple con las especificaciones requeridas por el fabricante.

El fluido hidráulico es una parte vital en sistema hidráulico este debe de ser de alta calidad y su viscosidad debe de estar entre los parámetros dados por el fabricante. Los filtros al prolongar el mantenimiento se saturan de partículas contaminantes por tanto se debe de realizar el cambio con filtros de alta calidad y que sean recomendados por el fabricante, en este caso los filtros del tanque de almacenamiento de fluido hidráulico se encuentran saturados de impurezas, esta sería la causa de la baja presión en la bomba serie 90 (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 8 del Aparte 4 - Sección 3 - Efecto de falla.

Los efectos de falla que produce la baja presión en la bomba serie 90, por causa de la pérdida de propiedades del fluido hidráulico pueden repercutir en otros elementos del sistema hidráulico, de manera que hay pérdida de la función del equipo, desgaste en elementos interno, por lo cual esta falla se ve reflejada en la producción y el tiempo de parada de equipo para su reparación (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 9 del Aparte 4 - Sección 3 - Causa inmediata.

Las causas inmediatas se refieren a los daños que se encuentran en el equipo al instante de percibir o reportar la falla. Al definir las tres funciones de las causas inmediatas numeradas 1, 2 y 3, se codifican con las letras A, B y C para diferenciar la descripción de cada una la causa básica que resultó de la inspección del sistema hidráulico del equipo (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 4 - Causas inmediatas bomba hidráulica SAUER DANFOSS

Función causas inmediatas	Código de causas inmediatas	Descripción de causas inmediatas
1	A	Baja presión bomba hidráulica serie 90.
2	B	Fluido hidráulico no cumple con las especificaciones del fabricante.
3	C	Filtros hidráulicos saturados de impurezas.

Frente (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Causa básicas.

Las causas básicas son el origen de las causas inmediatas. Se desarrollan tres funciones de causas Básicas numeradas 1, 2 y 3, por cada una de las funciones se codifican con las letras A, B y C, con un ítem consecutivo numerado del 1 al 5 que es la cantidad de causa encontradas para la funciones de las causa inmediatas y finaliza describiendo la causa básica que resultaron de en la inspección del sistema hidráulico del equipo (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 1. A.

Las pruebas de validez de las causas básicas, se desarrollan luego de realizar el análisis de las causas inmediatas. Se describe cada una de las causas básicas para justificar el porqué de la baja presión de la bomba hidráulica SAUER DANFOSS serie 90 (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 5 - Función 1. A causas básicas

Función causas básicas	Código de causas básicas	ítem causas básicas	Descripción de causas básicas
1	A	1	Baja presión de operación.
1	A	2	Alta temperatura en la bomba.
1	A	3	Sobrepresión de operación.
1	A	4	Fuga de aceite alrededor de la bomba.
1	A	5	Restricción de succión en la bomba.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - I. A. 1

Baja presión de operación.

Al instalar dos manómetros de 50 bares en cada uno de los puertos de calibración del cilindro de control de desplazamiento de la bomba serie 90. Se conecta un probador de continuidad a los terminales de el interruptor de inicio neutral, se energiza el circuito de arranque, y comienza a operar a una velocidad nominal y la bomba en posición neutral, se lee las presiones en los manómetros, las presiones arrojadas son las presiones bases. La continuidad de flujo se rompe al aumentar la presión lo que indica este ensayo es que se presenta baja presión en la bomba hidráulica serie 90 (Company S. d., 2007).



Figura 29 - Indicadores de presión

(Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - I. A. 2

Alta temperatura en la bomba.

La bomba serie 90 presenta una temperatura fuera de la normal de operación lo que ocasiona un funcionamiento irregular, se realiza una prueba de termografía infra roja para diagnosticar y

detectar las pérdida de presión en la bomba. Los resultados fueron que excede los límites normales de temperatura con 82 ° C Figura 30 - Cámara termografía. y Tabla 6 - Rango de temperaturas bomba serie 90 describe las temperaturas de operación de la bomba SAURE DANFOSS SERRIE 90 (ElaboracionPropia, 2018).



Figura 30 - Cámara termografía.
Fuete (ElaboracionPropia, 2018)

Tabla 6 - Rango de temperaturas bomba serie 90

Rango de Temperaturas de operación	Unidad ° C
Temperatura mínima	-10
Temperatura normal	60
Temperatura máxima	100

Fuente (Company S. d., 2007) (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 3 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - I. A. 3

Sobrepresión de operación.

La sobrepresión de operación es una condición que se es muy común en una bomba hidráulica, porque no se instala un manómetro en el sistema, que es el elemento de medición que se utiliza para verificar la presión de operación.

El sistema hidráulico no tiene manómetro para medir la presión de operación, no hay forma de saber con certeza cuál es la máxima presión a la está trabajando la bomba. Cuando una bomba trabaja con una presión más alta de lo permitido por el fabricante las averías más frecuentes se presentan en los cilindros y el cuerpo de la bomba.

La sobrepresión no es una condición que se le pueda atribuir a la bomba. Las consecuencias se perciben claramente en su operación probablemente la falla está relacionada con la válvula de alivio principal (Hidraulicapractica@, 2013).

Parágrafo 4 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - I. A. 4

Fuga de aceite alrededor de la bomba.

Las fugas de aceite en las bombas de pistón son generadas por una ligera presión detrás del sello del eje. A medida que el sello se desgasta, pueden aparecer fugas externas. Esto generalmente será más pronunciado mientras la bomba está funcionando, y puede desaparecer mientras la bomba está detenida. Otras bombas, como las de engranaje y de tipo paleta, generalmente funcionan con una ligera aspiración detrás del sello, la fuga solo puede ocurrir después de que la bomba ha sido detenida.

Los sellos del eje se desgastan prematuramente por causa de una temperatura excesiva de 200 ° F en el aceite de la bomba; los celos y las juntas de goma tienen una vida útil muy corta. Los aceites pueden desgastar los sellos rápidamente, y también producirán marcas circunferenciales en el eje en el área donde se encuentra el sello. (Womackmachine@, 2018).

Parágrafo 5 del Elemento 1 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección - 1. A. 5

Restricción de succión en la bomba.

La restricción de succión aparece en la línea de succión a medida que la bomba está en funcionamiento creando un vacío parcial, que succiona aire. Esto creará un efecto similar a la cavitación y con los mismos resultados. Otra fuente de aire en la línea de succión es la línea de retorno en el tanque cuando la bomba recircula el fluido a través del sistema. La presencia de aire en la línea de succión causa problemas en la bomba, que interfieren con el correcto funcionamiento de la bomba (SubmittedbyValinCorporation@, 2008).

Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Pruebas de validez causas

básicas 2. B.

La prueba de validez se centra en la causa inmediata 2. B el fluido hidráulico no cumple con las especificaciones del fabricante, las causas básicas se describen en la Tabla 7 - Función 2. B causas básicas. Se definen cada una de las funciones de las causas básicas para validar las posibles causas de la falla en el sistema hidráulico (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 7 - Función 2. B causas básicas.

Función causas básicas	Código de causas básicas	ítem causas básicas	Descripción de causas básicas
2	B	1	Bajo nivel de fluido hidráulico en el tanque.
2	B	2	El aceite no cumple con las características del fabricante.
2	B	3	Temperatura del fluido hidráulico.
2	B	4	Cavitación.
2	B	5	Degradación del aceite.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 1 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B.

1 Bajo nivel de fluido hidráulico en el tanque.

La principal función del tanque es almacenar el aceite hidráulico, aunque no es la única. El tanque también debe eliminar el calor y separar el aire del aceite. Los tanques deben tener resistencia y capacidad adecuadas, y no deben dejar entrar la suciedad externa.

Los tanques hidráulicos generalmente son herméticos. El nivel de fluido hidráulico en el tanque se encuentra en niveles bajos produce aireación, es cuando ingresa aire externo al fluido del sistema hidráulico. Cuando estas burbujas de aire ingresan a la zona de presión no desaparecen, solo se comprimen generando ruidos, fallas de lubricación, desgaste e inestabilidad en el caudal y presión entregados (Sistemashidraulicos@, 2018).

Parágrafo 2 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B.

2 El aceite no cumple con las características del fabricante.

Al analizar las características del aceite que el equipo utiliza en el sistema hidráulico se observa que el aceite no cumple con los estándares mínimos que sugiere el fabricante.

El equipo debe de operar con fluidos hidráulicos de primera calidad que contienen excelentes inhibidores de oxidación, moho y espuma. Estos fluidos deben tener una buena estabilidad térmica e hidrolítica para evitar el desgaste, la erosión y la corrosión de los componentes internos.

Los fluidos que contienen aditivos anti desgaste no son necesariamente para el rendimiento satisfactorio de las unidades de pistón estos generalmente se requieren para los equipos afines.

Las condiciones de operación del sistema hidráulico la viscosidad de los fluidos debe ser mayor de 9cst continuamente y nunca menor de 6.4 cst (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Parágrafo 3 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B.

3 Temperatura del fluido hidráulico.

La temperatura de operación del sistema no debe superar los 70 ° C. El sistema hidráulico es el encargado de mantener la temperatura del fluido a niveles apropiados. Si el mismo se enfría mucho, se vuelve muy viscoso, lo que aumentaría la caída de presión en las líneas y eventualmente podría desencadenar en cavitación en la bomba. Por otro lado, un fluido sobrecalentado perdería mucha viscosidad, que compromete su capacidad de lubricación de la bomba (Company S. d., 2007).

Parágrafo 4 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B.

4 Cavitación.

La cavitación es la formación de pequeñas burbujas de aire en el aceite por causa de una reducción de presión. La cavitación es causada cuando en el conducto de aspiración del fluido

tiene dificultad para ingresar provocando un descenso en la presión. Si luego de este descenso de presión, la presión llega a ser menor que la presión de operación el aire en el aceite dará lugar a la formación de burbujas provocando la cavitación. Al pasar estas burbujas a la bomba explotan debido a las altas presiones, ocasionando desprendimiento de micropartículas del cuerpo de la bomba y disminuyendo la vida útil de la misma (AlfonsoSabbatini@, 2018).

Parágrafo 5 del Elemento 2 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 2. B.

5 Degradación del aceite.

Debido a que existen muchas variables para determinar la tasa en que se degrada el aceite y se consumen los aditivos, cambiar aceite hidráulico basándose sólo en las horas de operación, sin tener una referencia de la condición del aceite. La operación del sistema hidráulico con aceite degradado o con los aditivos agotados, pondrá en riesgo la vida en servicio de cada componente del sistema hidráulico (Noria.mx@, 2013).

Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - Pruebas de validez causas

básicas 3. C.

Las pruebas de validez que se va a definir en relación con la causa inmediata 3. C Filtros hidráulicos saturados de impurezas derivando la causa básica las cuales se definen a continuación (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 8 - Función 3. C causas básicas

Función causas básicas	Código de causas básicas	ítem causas básicas	Descripción de causas básicas
3	C	1	Filtros hidráulicos no cumplen con las especificaciones del fabricante.
3	C	2	Sellos de los acoples cristalizados.
3	C	3	Fatiga en mangueras del circuito hidráulico.
3	C	4	Filtro hidráulico que ya cumplió su ciclo de vida útil.
3	C	5	Montaje del filtro hidráulico en forma incorrecta.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 1 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C.

1 Filtros hidráulicos no cumplen con las especificaciones del fabricante.

La selección de un filtro depende de una serie de factores, incluida la tasa de ingreso de contaminantes, la generación de contaminantes en el sistema, la limpieza requerida del fluido y el intervalo de mantenimiento deseado. Los filtros se seleccionan para cumplir con los requisitos anteriores utilizando parámetros de calificación de eficiencia y capacidad.

El filtro en algunos casos tiene un sensor de derivación para indicar al operador de la máquina cuándo es necesario cambiar el filtro. Estrategias de filtración incluye filtración de succión o presión (Company S. d., 2007).

Parágrafo 2 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C.

2 Sellos de los acoples cristalizados.

La cristalización de los sellos es una de las causas más comunes en los acoples de las bombas, especialmente en los arranques en frío de la bomba hidráulica o sistemas donde el fluido está contaminado con diferentes sustancias, o productos contaminantes corrosivos.

La selección de materiales o diseños no apropiados, para las presiones, temperaturas, velocidad angular y productos químicos en una aplicación dada. El ataque químico al sellado primario o secundario y el excesivo desgaste de las caras son las causas de fallas más frecuentes. Las fallas por extrusión del sellado secundario ocurren cuando los límites de presión, temperatura o ambos son excedidos (Areamecanica@, 2012).

Parágrafo 3 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C.

3 Fatiga en las mangueras del circuito hidráulico.

Las arterias y las venas de los sistemas hidráulicos son las mangueras a través de las cuales el fluido hidráulico pasa. Estas mangueras especialmente construidas son sometidas a altas presiones y temperaturas extremas. Estas condiciones conducen a la fatiga y la insuficiencia de las mangueras hidráulicas.

La fatiga aparece cuando se flexiona la manguera, con el tiempo hace que colapse la integridad del refuerzo de alambre de la manguera hidráulica. La manguera, a su vez, pierde su integridad y falla (Ehowenespanol@, 2017).

Parágrafo 4 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 1. C.

4 Filtro hidráulico que ya cumplió su ciclo de vida útil.

Al realizar una inspección al sistema hidráulico, se procede a revisar los filtros del circuito de alimentación de la bomba hidráulica serie 90, en la inspección se observa que los filtros del sistema hidráulico se encuentran saturados por partículas contaminantes, teniendo en cuenta que el fluido hidráulico es la fuente de energía en el sistema, los filtros del sistema hidráulico de la bomba serie 90 por fabricante estipula que su cambio se debe de realizar cada 1000 horas de trabajo del equipo (ElaboracionPropia, 2018).

Los filtros se cambian antes de tiempo, antes de alcanzar su límite de retención de suciedad, estará desperdiciando dinero innecesariamente. Si los cambia muy tarde, después de que el filtro haya cumplido con su vida útil, el incremento en partículas en el aceite aumentara drásticamente. La solución es cambiar sus filtros cuando se llegue al límite de capacidad de retención de suciedad, pero antes de que la válvula de derivación se abra. Esto requiere un mecanismo para monitorear la restricción de flujo del elemento filtrante y alertarle cuando se llegue a este punto (Noria.mx@, 2013).

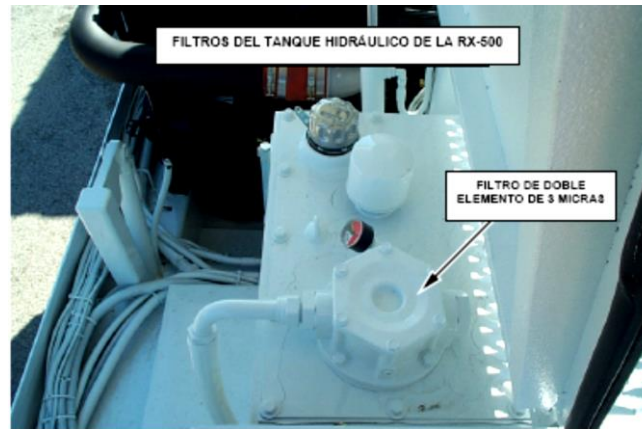


Figura 31 - Filtros aceite hidráulico

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Parágrafo 5 del Elemento 3 del Artículo 10 del Aparte 4 - Sección 3 - 3. C.

5 - Montaje del filtro hidráulico en forma incorrecta.

El objetivo del filtro hidráulico es extraer los contaminantes perjudiciales de la corriente de fluido hidráulico que pueden causar daños a los componentes internos del sistema. Es esencial que el filtro esté instalado correctamente para que funcione bien.

El filtro hidráulico de conexión roscada Baldwin incluye diagramas para identificar el procedimiento correcto de instalación de ese filtro específico.

Tabla 9 - Secuencia para instalar un filtro indican como de debe instalar correctamente un filtro de aceite hidráulico de conexión roscada típico (Baldwinfilter@, 2013).

Tabla 9 - Secuencia para instalar un filtro.

Secuencia para instalar correctamente un filtro de aceite hidráulico

1. Cierre la válvula del sistema hidráulico antes de quitar el filtro usado.
 2. Quite todas las empaquetaduras viejas que puedan estar adheridas a la base.
 3. Limpie la superficie de sellado de la base de montaje con un paño limpio.
 4. Aplique una película delgada de fluido limpio a las empaquetaduras del filtro nuevo.
 5. Enrosque el filtro nuevo hasta que la empaquetadura haga contacto con la base de montaje.
 6. Apriete el filtro la cantidad de vueltas requeridas mostradas en el diagrama después de que la empaquetadura haga contacto. Para este ejemplo, enrosque el filtro nuevo 1 vuelta después de que la empaquetadura haga contacto con la base.
 7. Esto no significa apretar a mano. Por ejemplo, apretar a mano para el instalador A podría significar 1 vuelta después de que la empaquetadura haga contacto, mientras que apretar a mano para el instalador B podría significar ½ vuelta después de que la empaquetadura haga contacto.
 8. Abra la válvula de cierre del sistema hidráulico.
 9. Arranque el motor y verifique que no haya fugas.
 10. Nunca utilice un filtro abollado.
-

Fuente (Baldwinfilter@, 2013) (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Selección causa planteada y probada.

La causa planteada y aprobada es 1. B. 2 El aceite no cumple con las características del fabricante. Las características del aceite hidráulico que sugiere el fabricante de la bomba SAUER DANFOSS serie 90 se contrasta con el aceite que se está utilizando en el sistema hidráulico del equipo aceite CATERPILLAR TO-4, se verifica que el aceite hidráulico no cumple con las siguientes especificaciones ya que pierde sus propiedades prematuramente, se vuelve inestable y causa desgaste en los componentes internos de la bomba, produce una reacción química cuando

entra en contacto con partículas de aluminio producidas por el desgaste interno de la bomba (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Operación a altas temperaturas y presiones.

Las altas temperaturas y presiones que ejercen sobre el aceite CATERPILLAR TO-4 presenta un envejecimiento acelerado del fluido y puede requerirse un cambio de fluido más temprano lo que implica costos adicionales, si las cargas de presión en el fluido son más bajas es posibles que los intervalos de cambio del fluido sean más prolongados.

La recomendación en este caso es tomar una muestra del fluido al menos una vez cada 250 horas de trabajo, preferiblemente antes de realizar el cambio de fluido programado. Esta muestra de fluido hidráulico puede enviarse a un laboratorio de análisis de aceites para determinar el estado de los componentes internos y su idoneidad para su aplicación en el sistema hidráulico del equipo (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Resistencia a la contaminación del fluido.

Las partículas sólidas puede provocar la falla en todo el sistema hidráulico al bloquear los cilindros o bloquear las válvulas. Los diferentes sistemas tienen diferente sensibilidad a la contaminación sólida del fluido, por lo que ISO 4406 determina diferentes niveles de limpieza del fluido. La determinación del nivel de limpieza se realiza distinguiendo el tamaño de partícula (Danfoss, 2016).

**Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Especificación técnica
aceite fabricante.**

La descripción del aceite hidráulico dada por fabricante de la bomba serie 90 de pistón axial SAUER DANFOSS entrega las siguientes especificaciones:

Tabla 10 - Especificación fluido hidráulico SAUER DANFOSS.

Rangos del fluido hidráulico		Unidad			
Viscosidad	1. Intermitente			5	[42]
	2. Mínimo			7	[49]
	3. Rango recomendado	mm ² /s	[SUS]	12 - 80	[66-370]
	4. Máximo			1600	[7500]
Rango temperatura	1. Mínimo (arranque en frío)			-40	[-40]
	2. Rango recomendado	° C	[° F]	60 - 85	[140-185]
	3. Clasificado			104	[220]
	4. Máximo intermitente			115	[240]
Filtración (recomendado mínimo)	1. Limpieza según ISO 4406-1999			18 – 13	
	2. Eficiencia (filtración de presión de carga)			$\beta_{15-20} = 75$ ($\beta_{10} \geq 10$)	
	3. Eficiencia (filtración de línea de succión y retorno)		Relación β	$\beta_{35-45} = 75$ ($\beta_{10} \geq 2$)	
	4. Tamaño de malla de la pantalla de entrada recomendado		μm	100 – 125	

Fuente (Company S. d., 2007) (ElaboracionPropia, 2018)

El aceite frío generalmente no afectará la durabilidad de los componentes de la bomba, pero puede afectar la capacidad del aceite para fluir y transmitir potencia; por lo tanto las temperaturas deberían permanecer a 16 ° C por encima del punto de fluidez del fluido hidráulico. La temperatura mínima se relaciona con las propiedades físicas de los materiales componentes. Cambie los intercambiadores de calor para mantener el fluido dentro de estos límites. SAUER DANFOSS recomienda pruebas termográficas para verificar que estos límites de temperatura no sean excedidos.

La viscosidad mínima debe encontrarse solo durante breves ocasiones de temperatura ambiente máxima y operación severa del ciclo de trabajo. La viscosidad máxima debe encontrarse solo en el arranque en frío, asegúrese de que la viscosidad del fluido permanezca en el rango recomendado.

Las clasificaciones y los datos de rendimiento se basan en operar con fluidos hidráulicos que contienen inhibidores de oxidación y espuma. Estos fluidos deben poseer buena temperatura y estabilidad hidrolítica para evitar el desgaste, la erosión y la corrosión de los componentes de la bomba, nunca mezcle fluidos hidráulicos de diferentes tipos (Danfoss, 2016).

***Elemento 4 del Artículo 11 del Aparte 4 - Sección 3 - Descripción del aceite
hidráulico CATERPILLAR TO-04.***

El aceite CATERPILLAR TO-4 se usa en dispositivos de fricción hidrostáticas, convertidores de par y para otros componentes del tren de impulsión (mandos finales, diferenciales). Aceite con excelente protección anti desgaste, vital para los componentes móviles del sistema; permite

aumentar la duración de las bombas, de sistemas hidráulicos. Buena fluidez del aceite a bajas temperaturas. Alta protección contra el desgaste, la oxidación y la corrosión incluso en condiciones severas (alta carga y alta temperatura de trabajo). Totalmente compatible con todo tipo de juntas y retenes normalmente utilizados en este tipo de sistemas (Iada, 2014).

Tabla 11 - Características aceite CATERPILLAR TO-4

Características aceite CATERPILLAR TO-04	
1. Aceite mineral para sistema hidráulico	SAE 10W
2. Aspecto Visual	Fluido claro y brillante
3. Viscosidad	100°C - ASTM D-445 5.5 – 7.0 cSt
4. Índice de viscosidad	ASTM D2270 105
5. Densidad	20°C - ASTM-1298 0.875-0.885 g/ml

Fuente (Iada, 2014) (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Análisis causa raíz.

El *RCFA* es una secuencia lógica de pasos que define los hechos que rodean un evento o falla. Una vez que el problema ha sido completamente definido, el análisis determina sistemáticamente la mejor acción para resolver el evento y asegurar que no se repita (Keith , 1999).

Elemento 1 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Análisis de aceite.

El monitoreo de los aceites es una de las herramientas más valiosas que el ingeniero de mantenimiento tiene a su disposición con la finalidad de preservar la vida útil de los equipos mecánicos. Las diferentes técnicas para el monitoreo periódico de los aceites usados como el análisis físico-químico, la espectrofotometría por emisión atómica, el conteo de partículas y la

ferrografía permiten evaluar el estado del aceite para su cambio oportuno y el grado de desgaste de los diferentes mecanismos del equipo, el cual si es anormal permitirá implementar correctivos que eviten la parada no programada o en caso contrario trabajar con confiabilidad y cuantificar la vida real de servicio del equipo que debe estar de acuerdo con lo especificado por el fabricante.

Los resultados finales se reflejarán en una reducción significativa de los costos de mantenimiento. Un programa moderno de análisis de aceite debe ser considerado como una cadena donde la integridad y la fortaleza de cada eslabón (selección de la localización óptima del puerto de muestra, frecuencia adecuada, selección de las pruebas a realizar, adecuado análisis y la interpretación realizada por personal especializado) es idéntica, es la herramienta efectiva para incrementar la confiabilidad de la maquinaria (Saldivia , 2013).

Elemento 2 de Artículo 12 de Aparte 4 - Sección 3 - Informe análisis de aceite

Al realizar la toma de muestra de aceite hidráulico ala perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 se encuentra suciedad en el sistema hidráulico, para que la prueba sea exitosa el sistema se debe encontrarse limpio, la muestra de aceite no debe ser tomada de la corriente del drenaje de aceite, de un recipiente de aceite de desecho ni de un filtro usado siempre se extrae la muestra con una sonda de los tanques de almacenamiento para evitar la contaminación de la muestra. La recomendación para la toma de muestras de aceite es realizar el análisis cada 250 horas de trabajo del equipo. A continuación se describe en la tabla los resultados obtenidos de un análisis de aceite (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 12 - Informe análisis de aceite

Informe análisis de aceite perfiladora ROADTEC RX 500			
Número de la Cuenta	211662	Descripción	PERFILADORA
Nombre de la Cuenta	SONACOL S.A.S	Aplicación	SIST HIDRAULICO
Fecha	23/11/2017	Fabricante	ROADTEC
Numero Signum	30709051	Modelo	RX 500
		Lubricante Registrado	CAT TO-4
Datos para toma de la muestra de aceite			
TI	1171778312		
Fecha de Toma de Muestra	23/11/2017		
Fecha del Informe	02/12/2017		
Marca	CATERPILLAR		
Lubricante Analizado	TO-4		
Equipo Horas	3382		
Edad del Aceite Horas	1250		
Tempe. Del Dep.	25 ° C		
Relleno	NO		
Cambio Aceite	SI		
Cambio Filtro	SI		
Datos del lubricante			
Ev. De Contamin.	*Alerta	*Alerta	Normal
Evaluación Equipo	*Alerta	+Precaución	Normal
Ev. del Aceite	Normal	Normal	Normal
Viscosidad @ 100C	13.3	14.1	13.5
Viscosidad SAE	68	68	68
Ind. de Refrigerante	No Detectado	No Detectado	No Detectado
Oxidación (Ab/cm)	11	6	5
Hollín (%p/p)	No Detectado	No Detectado	No Detectado
Agua (%vol)	0.15	0.12	0.10
ID de la Muestra	1171778312	314371340	9126407324
Fecha de Toma de Muestra	23/11/2017		

Elementos Del Desgaste- ppm (mg/kg)			
Ag (Plata)	0	0	0
Al (Aluminio)	*24	20	3
Cr (Cromo)	1	1	0
Cu (Cobre)	5	3	1
Fe (Hierro)	57	63	22
Mo (Molibdeno)	13	16	7
Ni (Níquel)	1	2	1
Pb (Plomo)	5	1	1
Sn (Estaño)	1	3	0
Elementos contaminantes- ppm (mg/kg)			
B (Boro)	7	1	2
K (Potasio)	0	0	1
Na (Sodio)	7	3	1
Si (Silicio)	*47	*42	3
V (Vanadio)	0	1	0
Elementos aditivos- ppm (mg/kg)			
Ba (Bario)	0	0	0
Ca (Calcio)	2598	3037	2560
Mg (Magnesio)	333	367	302
P (Fósforo)	1388	1536	1250
Zn (Zinc)	1380	1570	1397
Normal		+Precaución	*Alerta

Fuente (Cat, 2017) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 3 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Resultado del análisis de aceite.

Al analizar el resultado en el muestreo se determine la causa principal del problema, el análisis del aceite arroja un alto porcentaje de partes por millón de aluminio y hierro, las partículas se generan por desgaste en componentes internos de la bomba serie 90. Estas fallas se producen por la mala coordinación de los tiempos de cambio de aceite hidráulico como acción preventiva. El

aceite implementado en la bomba no cumple con las especificaciones del fabricante es un aceite de baja viscosidad (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 4 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Falla bomba serie 90 por desgaste abrasivo.

El desgaste abrasivo substraer material y cambia la apariencia física de las piezas, caracterizada por el tamaño de las partículas abrasivas. Las partículas abrasivas muy finas pulen las superficies de metal y las dejan lustrosas. Las partículas más grandes dejan un acabado de color gris opaco y ligeramente esmerilado, que se denomina, por lo general, acabado mate o satinado. Las partículas aún más grandes producen rayaduras que tornan ásperas las superficies y exponen el metal.

El desgaste por abrasión, se deben encontrar e identificar las partículas abrasivas. Se debe recordar no limpiar las piezas antes de inspeccionarlas porque se pueden remover las partículas. Con frecuencia, las partículas más pequeñas quedan atrapadas en aberturas pequeñas o incrustadas en el material más blando de la bomba, en donde se pueden ver con una lupa. Se debe obtener una muestra del fluido, ya que un análisis puede identificar el material de las partículas (Soto, 2005).

Parágrafo 1 del Elemento 4 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 -

Microscopía de fuerza de fricción

La fricción es crucial complementar el contraste de fricción lateral con las mediciones locales de adhesión para dilucidar si la adhesión y el tamaño de contacto o los diferentes canales de disipación dominan el contraste. Se debe tener cuidado con respecto a los artefactos topográficos,

ya que a menudo se encuentran materiales diferentes en superficies heterogéneas a diferentes alturas topográficas. Curiosamente, el contraste de fricción también se encuentra entre dominios de capas moleculares idénticas con orientación lateral anisotrópica. La anisotropía de fricción en una superficie dada debe distinguirse claramente de la anisotropía de fricción para diferentes orientaciones en la superficie.

La función del material en superficies no homogéneas, la Microscopía de Fuerza de Fricción puede crear imágenes de contrastes entre materiales diferentes con alta resolución lateral. Se ha encontrado que este contraste surge de una diferencia en las interacciones químicas entre diferentes parches moleculares en la superficie (Gnecco, 2007).

Parágrafo 2 del Elemento 4 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 -

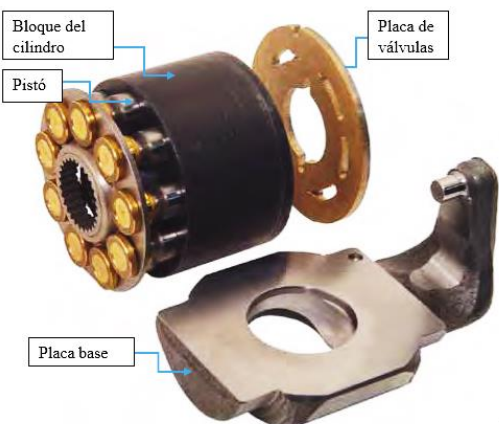
Microscopía y microestructura.


El examen de microestructura se aplica en las secciones frontal y lateral de los componentes de la bomba donde se produce el mayor desgaste por abrasión, se efectuó mediante el escaneo de electrones llamado microscopía, en un microscopio electrónico de barrido. La microcomposición en varias de las zonas se determinó mediante un espectrómetro de rayos X de energía dispersiva. La micro dureza en los perfiles a lo largo de la dirección radial se llevó a cabo en las superficies desgastadas se analizaron por medio visual para estudiar el mecanismo de falla por abrasión (Zhiwei Yu, 2005).

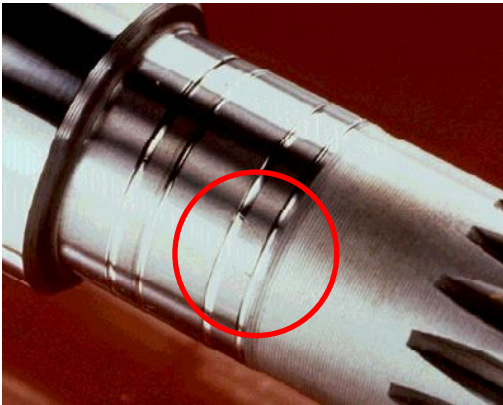
Elemento 5 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Análisis de por desgaste abrasivo bomba SAUER DANFOSS.

La Tabla a continuación, se presentan los resultados de la Inspección realizada a las secciones donde se presenta el desgaste abrasivo, provocado por contaminantes abrasivos en fluido hidráulico (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 13 - Análisis componentes bomba SAUER DANFOSS

Componentes bomba SAUER DANFOSS	Descripción
	<p>Las partes internas que requieren evaluación se describen en la imagen. Las superficies críticas están diseñadas para acoplar los componentes con tolerancias necesarias para una operación adecuada. Las superficies no críticas pueden tener un acabado rugoso, marcas por desgaste y todavía son aceptables para la operación de la bomba.</p>

1. Plancha de flexión	Descripción
	<p>Las partículas abrasivas más grandes que entran en las bombas de pistón crean rayaduras profundas y causan más fugas entre las piezas desgastadas. Esta plancha de flexión muestra el resultado de contaminación por partícula de arena en una bomba de paletas.</p>

2. Eje impulsor**Descripción**

La abrasión en el ranurado del eje la causan son los sellos, esto indica que el fluido hidráulico del sistema ha sido contaminado por partículas abrasivas, el objetivo es determinar el tipo de materia abrasiva y cómo entró en el sistema. Pueden facilitar la identificación de los contaminantes una inspección visual minuciosa y un análisis del fluido.

3. Caja de la bomba**Descripción**

La caja de aluminio de la bomba de pistón es suficientemente blanda para que los abrasivos las rayen y se incrusten en el metal. Los abrasivos quedan atrapados entre las puntas del engranaje y las cajas, rayando el área próxima a la lumbrera de admisión. Algunas veces, las partículas abrasivas se incrustan en el aluminio blando al final de la ranura.

4. Patín**Descripción**

Los conjuntos de pistones y patines mostrarán un leve pulido en el área de contacto entre la placa de retracción y el patín. Por lo general, el desgaste de los patines muestra una superficie pulida brillante con algunas rayaduras fina.

5. Lumbreras del cilindro

Descripción



La superficie de la lumbrera del cilindro puede tener rayaduras leves, en donde las bandas de sellado de la plancha de la lumbrera toca la superficie del cilindro. Esto se debe a las minúsculas partículas abrasivas que, por lo general, están presentes en los fluidos hidráulicos.

Las planchas de desgaste pueden tener también rayaduras finas, pero no deben tener desgaste por adherencia, fisuras ni manchas térmicas

6. Placas de retención

Descripción



Las placas de retracción sufren un pulido ligero alrededor de los agujeros, causado por el desgaste entre los patines y la plancha de retracción


La placa de la válvula está rayada indicando contaminantes suspendidos en el fluido hidráulico.

7. Vástagos

Descripción



El vástago, fabricados de la misma aleación de acero con bajo contenido de carbono, templado y endurecido en la superficie a una dureza Rockwell de aproximadamente Rc60. El otro extremo del vástago va unido a un inserto de aleación de acero, con alto contenido de carbono, endurecido también a una dureza Rockwell de Rc60 (Soto, 2005).

9. Pistón	Descripción
	<p>El desgaste en los pistones es causado por la pérdida de lubricación. La pérdida de lubricación puede ser causada por la baja viscosidad del aceite o por sobrecalentamiento. El pistón se mueve tan rápido hacia adelante y hacia atrás en su en el cilindro que pierde su película de lubricación.</p>

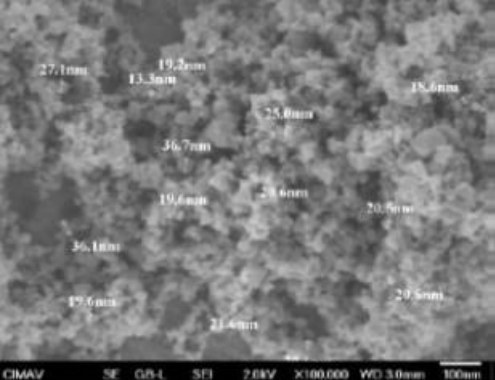
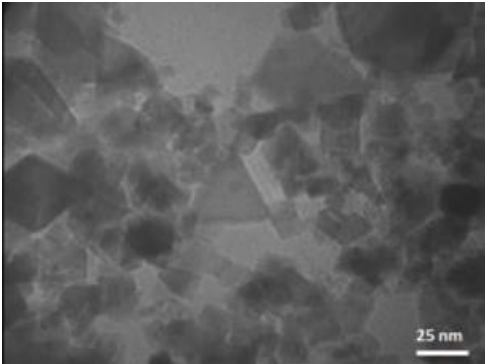
Fuente (Soto, 2005) (Danfoss, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

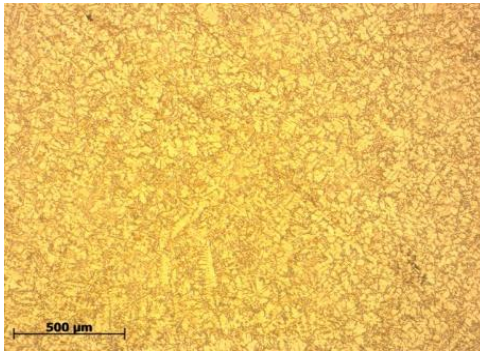
***Elemento 6 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Resultado prueba
microscopía.***

La prueba de microscopia se aplica al pistón de la bomba SAUER DANFOSS que se describe en la Tabla 13 - Análisis componentes bomba SAUER DANFOSS en la figura número 9. Los resultados de la prueba en la superficie del pistón, se puede apreciar que le silicio y el aluminio se presentan en forma de distribución en un gran porcentaje de partículas por millón, Se realizó un análisis químico a la superficie del elemento y los resultados son comparables a los obtenidos en el análisis de aceite

Tabla 12 - Informe análisis de aceite la cual confirman la presencia principal de elementos como: Al (52.615%), Cu (1.286%), Mg (1.032%), Mn (0.338%), Fe (0.152%), Si (55.49%) (Madrid, 2017).

Tabla 14 - Análisis de microscopia

Muestra 1.	Descripción
	<p>Al analizar mediante microscopia electrónica de barrido en el modo de electrones secundarios a diferentes aumentos se encontró partículas de AL y SI Al que exhiben una morfología y tamaño muy variado, que van desde partículas irregulares hasta triangulares, equiaxiales, rectangulares.</p>
Muestra 2.	Descripción
	<p>La micrografía obtenida en la muestra 1. Se contrasta con las imágenes obtenidas en este caso depende del espesor y la densidad de las distintas zonas observadas, ya que se puede ver mayor o menor brillo en función de la aglomeración de las partículas.</p>
Muestra 3.	Descripción



La solución homogénea, se observar aparentemente dos fases con un desarrollo posible de precipitados de silicio en forma cuboidal y acicular, con buena distribución en una matriz de Al-Sí. Esto es debido a que en cada solución eutéctica solidifica en primer lugar el constituyente con mayor punto de fusión.

Fuente (Madrid, 2017) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 4 - Sección 3 - Políticas de control

Planificación y previsión de mantenimiento se ocupa de dos aspectos importantes del mantenimiento. El primer aspecto es el énfasis en la planificación de mantenimiento que es un resultado de un programa de mantenimiento planificado. El segundo aspecto se trata de pronosticando la carga de mantenimiento.

Las funciones de planificación y previsión (predicción) de mantenimiento son requisitos previos para un mantenimiento de control efectivo. Sin embargo, es importante mencionar que la mejor forma de predecir los imprevistos de mantenimiento es tener una gran parte de los planes de mantenimiento planificada.

Esto requiere un planeamiento eficaz programa de mantenimiento que garantiza que al menos el 80% del mantenimiento sea planificado y es preferible tener el 90% de mantenimiento ya sea ejecutado. No planeado el trabajo de mantenimiento es un factor importante en la falta de control a diferencia de lo planeado trabajos de mantenimiento que reducen las actividades de trabajo en la planificación de los requisitos recursos y la coordinación para llevar a cabo el trabajo de

mantenimiento y, por tanto, ayuda en el control de mantenimiento efectivo (Ahmed E. Haroun, 2009).

*Parágrafo 1 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 -
Planificación y programación.*

Las funciones de planificación de órdenes de trabajo y programar el trato con la planificación de los recursos para el mantenimiento requerido trabajos y asignando los recursos disponibles. Los recursos incluyen mano de obra, material, repuestos y herramientas. Por lo general, esto requiere un trabajo de un planificador que es capacitación en métodos de productividad, estándares de tiempo, materiales, computadoras y tiene buenas habilidades de comunicación. La programación se ocupa de la asignación de los recursos disponibles en puntos específicos en el tiempo. La planificación de la orden de trabajo requiere la existencia de un sistema de orden de trabajo bien diseñado (Ahmed E. Haroun, 2009).

*Parágrafo 2 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Ensayos
no destructivo.*

La clasifican en esta categoría de instrumentos avanzados de mantenimiento la gammagrafía, rayos X, radiografías, las fibras ópticas para exámenes de profundidad, el ultrasonido, los procedimientos ópticos, los tratamientos de imagen, la Termografía infrarroja, ensayos bajo control, pruebas de aceleración de vida útil (Mora, 2015)

Parágrafo 3 Elemento 7 del Artículo 13 del Aparte 3 - Sección 3 - Control de fallas bomba hidráulica serie 90.

La falla presentada en la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 es que el rotor de corte de asfalto no gira dado que la falla evidenciada se encuentra en bomba hidráulica serie 90, la cual su función principal es de transformar la energía mecánica en hidráulica transmitiendo movimientos por medio de un fluido hidráulico en condiciones de funcionamiento adecuadas.

La cual activa el embrague del rotor de giro. La bomba presenta presiones bajas e y temperatura alta en el sistema necesita una presión constante y que se mantenga en los intervalos de presión nominal dada por el fabricante, de esta manera el embrague se acople al rotor generando el movimiento de giro al rotor de corte de asfalto.

Luego de analizar las potenciales causas que generaron la baja presión y la alta temperatura en la bomba hidráulica serie 90, deducimos que el problema está centrado en las características del aceite hidráulico ya que el lubricante no cumple con las especificaciones del fabricante.

Lo que genera baja presión en la bomba y rompe la película de lubricación lo cual genera mayor fricción ente los componentes internos generando una ficción directa entre los componentes internos de la bomba que produce la alta temperatura y ocasiono desgaste por abrasión (ElaboracionPropia, 2018).

*Parágrafo 4 Elemento 7 de Artículo 12 de Aparte 3 - Sección 3 - Fluido**Hidráulico*

La mala lubricación en las bombas hidráulicas genera desgaste en sus elementos como en el pistón que se encuentra en constante contacto deslizante. Este desgaste por deslizamiento afecta el rendimiento del plato y del eje del pistón.

Desgaste en esta superficie puede facilitar las fugas, que aumentarán con fluidos menos viscosos. Este desgaste también impacta en gran medida el rendimiento de la bomba en general, se debe realizar las siguientes actividades para una ejecución exitosa de mantenimiento (Company S. d., 2007).

Tabla 15 - Actividades para cambio de fluido hidráulico

Actividades para cambio de fluido hidráulico

1. Limpie la suciedad y grasa de las áreas del tapón y de la tapa del tanque hidráulico.
2. Abra la puerta inferior de acceso al motor y la válvula de drenaje del tanque hidráulico para dejar vaciar el aceite hidráulico. Cerciórese de vaciar el aceite en un recipiente adecuado. Al deshacerse del aceite usado, acate todas las leyes medioambientales para su disposición final.
3. Retire la tapa del tanque y limpie cuidadosamente el interior del tanque.
4. Limpie con una aspiradora industrial cualquier partícula en el fondo del tanque.
5. Elimine toda suciedad y resto de grasa de los filtros del tanque antes de limpiarlos o reemplazarlos. Retire, limpie y reinstale los filtros del tanque hidráulico
6. Reemplace todos los filtros hidráulicos. Consulte lo discutido anteriormente en esta sección acerca de los filtros de aceite hidráulico.

7. Reinstale la tapa del tanque hidráulico y cerciórese de que esté totalmente cerrada la válvula de drenaje del tanque.

Fuente (Company S. d., 2007) (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 5 Elemento 7 de Artículo 12 de Aparte 3 - Sección 3 -

Lubricación

El buen funcionamiento del sistema hidráulico depende de la limpieza y calidad del aceite hidráulico. Es por ello que resulta tan importante un buen mantenimiento. Para asegurar un desempeño máximo, debe drenarse, limpiarse y rellenarse el sistema hidráulico cada 1,000 horas de funcionamiento. Cumplir con este requisito de mantenimiento aumenta la vida útil de las bombas, los motores, las válvulas y los cilindros, y mantiene eficiente el sistema hidráulico (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Parágrafo 6 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 - Análisis

de aceite.

El Análisis de aceite es un conjunto de procedimientos y mediciones aplicadas al aceite usado en el sistema hidráulico del equipo, que facilitan el control tanto del estado del lubricante, como de manera indirecta permiten establecer el estado de los componentes internos de la bomba.

La presión de retorno del fluido hidráulico es muy elevada, se debe de regular el bypass para reducir presión y disminuir la temperatura del aceite.

Al utilizar un aceite de alta viscosidad en un sistema hidráulico disminuye el rendimiento de la bomba, se debe de utilizar un aceite más fluido.

Los fluidos hidráulicos forman ácidos debido a la oxidación. Esto es acelerado por la operación extendida a altas temperaturas (Danfoss, 2016).

Parágrafo 7 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 -

Manómetros de presión de carga.

Las presiones de carga del sistema se pueden monitorizar mediante manómetros de presión de carga instalados en la parte trasera de la estación del operador (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

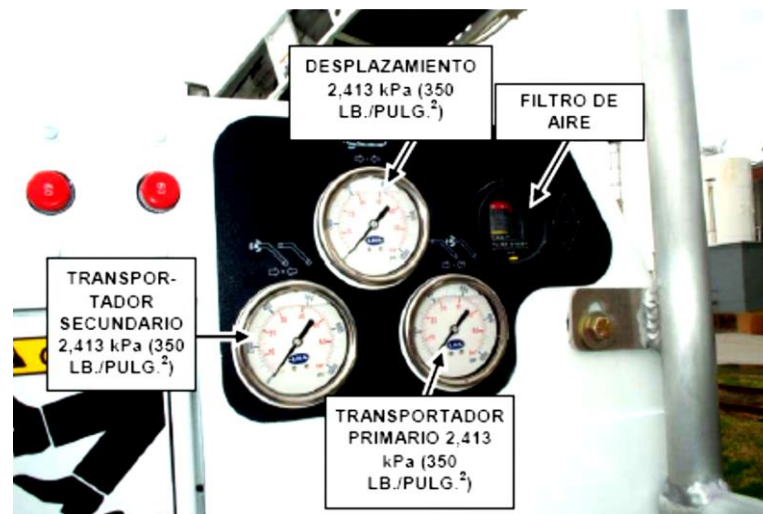


Figura 32 - Manómetros de presión de carga

Fuente (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013)

Parágrafo 8 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 -

Implementación de controles.

Las condiciones y especificaciones del lubricante se deben controlar con los requerimientos que exige el fabricante para el buen funcionamiento del sistema hidráulico. Se debe de realizar el

control para tomar muestras de lubricante cada servicio de 250 horas, la implementación del control debe ser inmediata y de alta prioridad.

El procedimiento de lubricación se debe estandarizar, acogiendo a las actividades y rutinas de mantenimiento estipuladas. Realizar el control de procedimiento oficial de lubricación para este tipo de bombas hidráulicas. Difundir su aplicación y capacitar al personal técnico encargado de estas labores en campo (ElaboracionPropia, 2018).

Parágrafo 9 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 -

Seguimiento a los diferentes controles.

La entrega de reporte semanal se debe realizar por parte del encargado de lubricación de los equipos en campo al ingeniero de mantenimiento encargado para su valoración (ElaboracionPropia, 2018).

Parágrafo 10 Elemento 7 del Artículo 12 del Aparte 3 - Sección 3 -

Beneficios técnicos y económicos.

Los principales logros económicos se destaca la reducción del lucro cesante por la parada no planeada de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500, así mismo se tiene un ahorro en el mantenimiento no programado, se mantiene en óptimas condiciones la bomba, siendo este un activo que representa un alto valor para la compañía y en la actividad que realiza (ElaboracionPropia, 2018).

Aparte 5 - Sección 3 - Análisis de falla sistema de corte de asfalto

El análisis de falla en el sistema de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto RODTEC RX 500 se orienta en identificar la causa de falla que provoca el desgaste excesivo de sus elementos de corte de asfalto. En la siguiente Tabla 16 - Información sistema de asfalto a analizar. Se describe la información del equipo y el sistema al que se realiza el análisis de falla (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 16 - Información sistema de asfalto a analizar.

Información del sistema corte de asfalto a analizar	
1. Equipo.	Perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.
2. Sistema de corte de asfalto.	Caja de corte de asfalto, base portaherramientas, portaherramientas, punta y expulsores de fresado.
3. Falla que presenta.	Desgaste excesivo en las herramientas de corte.
4. Localización perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.	Yopal - Casanare vereda el charte, proyecto de mantenimiento y rehabilitación vial Agazul - Yopal - Hato corozal.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 1 del Aparte 5 - Sección 3 - Identificar el problema.

La perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 sale de operación el 10 de diciembre del 2017 siendo las 6:00 pm. Al realizar la inspección de los elementos de desgaste corte de fresado, para realizar el cambio se evidencia que las base portaherramientas, portaherramientas y punta presentan un desgaste excesivo que no es normal en la actividad que desarrolla durante el día.

El sistema de corte de asfaltoFigura 33 - Caja de corte de asfalto. Es el encargado de Fresar el asfalto irregular antes de asfaltar facilita las tareas de aplicación de material nuevo y garantiza las mejores condiciones para lograr una superficie uniforme (ElaboracionPropia, 2018).



Figura 33 - Caja de corte de asfalto.

Fuente (Company R. a., 2013) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 1 de Artículo 1 de Aparte 5 - Sección 3 - Características operativas

El tiempo de Operación del equipo se encuentra entre 6 a 8 horas por día de trabajo de lunes a sábado y en ocasiones domingos, a una temperatura ambiente entre 25 y 30 °C promedio, Presión atmosférica (1 bar) Yopal - Casanare, humedad relativa 72 a 77%, altura sobre nivel del mar es de 350 metros, presencia de partículas de polvo en el ambiente, buena disposición para cambio de elementos de desgaste de la caja de corte de asfalto (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 2 del Aparte 5 - Sección 3 - Beneficios económicos.

Al realizar oportunamente el cambio de los elementos de desgaste y conocer las causas principales de la falla por desgaste que se presenten en los elementos, se garantizara que se

prolongue la vida útil de los elementos de corte de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500, reduciendo costos en acciones correctivas.

El lucro cesante aproximado por la parada de equipo no programado es de 265.000 mil pesos por hora de trabajo y 65.000 mil pesos por m³ de fresado, estos precios se establecen por el trabajo de la máquina por hora, el combustible, elementos de desgaste y mantenimientos programados, preventivos y correctivos los asume el contratista (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 3 del Aparte 5 - Sección 3 - Desviación subestándar.

Los costos que genera la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 cuando se encuentra, no operativa por acciones correctivas en la caja de fresado, genera sobre costos por reparaciones y por parada de maquina no programada, su costo equivale a 265.000 mil pesos por hora que en promedio realiza trabajos durante 6 horas diarias y 65.000 mil pesos por m³, costos por compra de repuestos, traslado de técnico a campo, lubricantes misceláneos entre otros (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 4 del Aparte 5 - Sección 3 - Descripción técnica elementos de la caja de corte de asfalto.

La caja y el rotor de corte son completamente modulares Figura 34 - Caja y componentes de corte de asfalto. Esto permite intercambiarlos fácilmente con rotores y cajas de distinto ancho para maximizar su productividad. Las paredes interiores de la caja de corte están totalmente revestidas con placas antidesgaste cubiertas de carburo cromado reemplazables que permiten que la caja resista el desgaste típico de las tareas de fresado

La tecnología de corte de asfalto está provista del rotor de corte, secciones de ataque puntuales continuas durante el avance de la maquina mediante su conjunto de orugas.

Las barras rociadoras dobles Las dos barras rociadoras independientes colocadas en la parte delantera y trasera de la caja de corte prolongan la vida útil de la herramienta y controlan las emisiones de polvo. Cada una de las barras rociadoras puede controlarse en forma individual o en conjunto desde el control maestro. El sistema rociador puede conectarse sin problemas a un sistema de aire para agilizar la purga y el acondicionamiento invernal.

Las vertederas traseras en ángulo pueden posicionarse fijas o en modo de flotación. La flotación permite que la vertedera se ajuste hacia arriba o hacia abajo siguiendo la elevación del corte. La altura de la vertedera trasera es totalmente regulable. Cuando la vertedera está completamente elevada, el motor se apaga por seguridad. Tanto la vertedera trasera como la delantera del modelo RX-500 están en ángulo respecto del rotor. Esto permite que se acumule menos material alrededor del rotor, lo que se traduce en una vida útil más prolongada de los componentes, mejores tasas de producción y mayor eficiencia. (Company R. a., 2013).

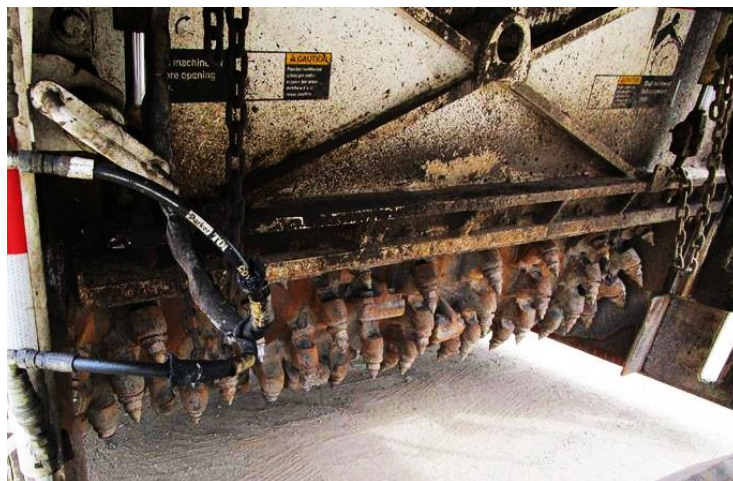


Figura 34 - Caja y componentes de corte de asfalto.
 Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 5 de Aparte 5 - Sección 3 - Componentes de caja de corte de asfalto

La caja de corte de asfalto está compuesta principalmente por el rotor de fresado, el cual está conformado por la base porta herramienta, portaherramientas, puntas y expulsor de fresado Figura 35 - Componentes caja de corte de asfalto. La caja de corte posee un diseño que optimiza el flujo de materiales, reduce el desgaste de la caja y mejora la capacidad de corte (ElaboracionPropia, 2018).

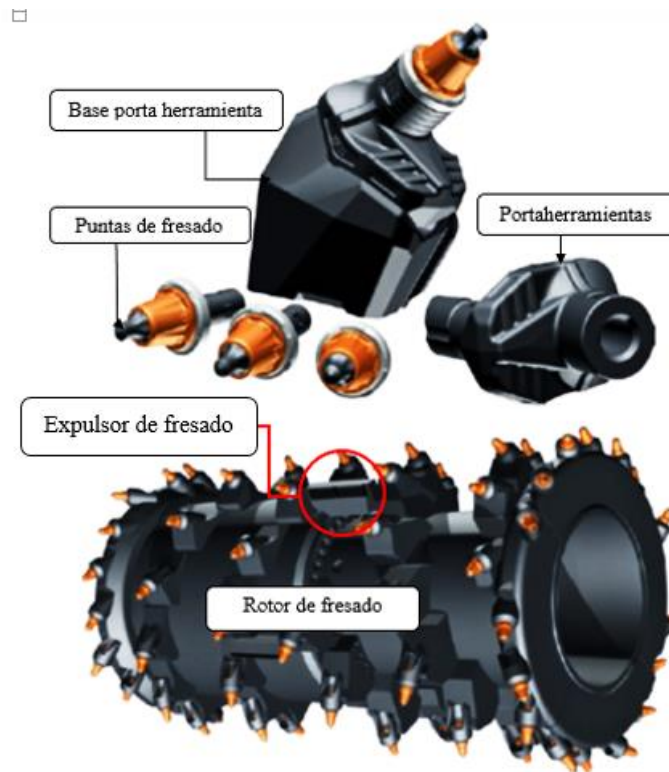


Figura 35 - Componentes caja de corte de asfalto.
 Fuente - (Group, Milling system, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 1 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Principio de funcionamiento del sistema de fresado.

El rotor de fresado es accionado mecánicamente por el sistema de transmisión a través de transmisión (correas trapezoidales) directamente a través de un embrague mecánico en el lado del volante de la motor diésel. Una caja de engranajes entre el rotor de corte y la transmisión reducirán adecuadamente las RPM del rotor (Satyanarayana, 2012).

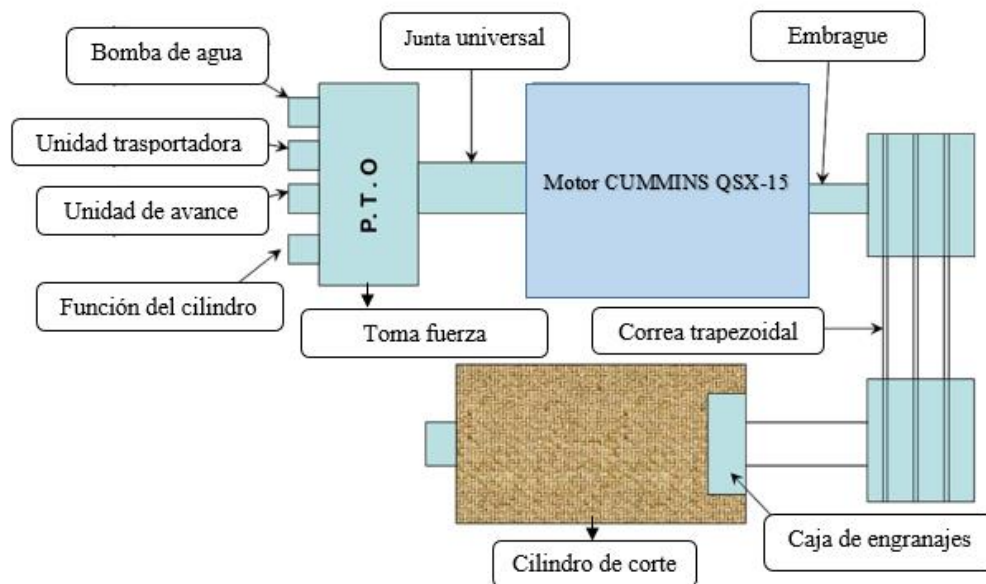


Figura 36 - Esquema de trasmisión de potencia al rotor de corte de asfalto.
Fuente (Satyanarayana, 2012) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 2 del Artículo 6 del Aparte 4 - Sección 3 - Función y estructura del Rotor de corte de asfalto.

La estructura del rotor en espiral Figura 37 - Rotor de corte de asfalto en espiral. Transporta el material fresado al área de evacuación de forma eficiente. Además, la disposición en espiral

optimiza las secciones individuales sin afecta el patrón de fresado. Los rotores de fresado poseen varias posiciones de portaherramientas, el diseño y fabricación tienen un procesos de producción que se lleva a cabo como se muestra en la Tabla 17 - Proceso de producción de rotor. (Group, Milling system, 2016)

Tabla 17 - Proceso de producción de rotor.

Proceso de producción de rotor de fresado
1. Los datos para la producción de rotores de fresado con un posicionamiento óptimo de los portaherramientas individuales se generan utilizando los programas informáticos patentados por el fabricante.
2. Los datos se leen en los dispositivos de configuración del titular de la herramienta controlado por la computadora.
3. El dispositivo de ajuste del portaherramientas coloca las herramientas individuales en la posición deseada.
4. Se verifica por completo el posicionamiento del portaherramientas en el rotor de fresado.
5. El rotor de fresado está soldado completamente por robots de soldadura.
6. El control de calidad se lleva a cabo y cada rotor de fresado tiene su propio registro de prueba.
7. En el paso de ensamblaje final, los picos son golpeados en el portaherramientas.

Fuente (Group, Milling system, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

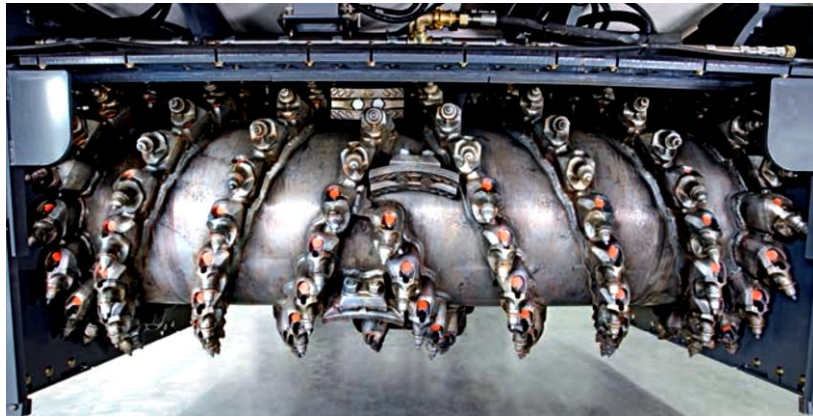


Figura 37 - Rotor de corte de asfalto en espiral.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Rotor de corte de asfalto.

Los rotores de corte están equilibrados y mecanizados concéntricamente, para operación suave de la máquina Figura 38 - Rotor de corte de asfalto. Puedes elegir el espacio entre dientes, patrón según sus necesidades, incluidos los patrones de creación de perfiles. El alojamiento de corte de montaje único y resistente, está construido de acero *T-1*¹² y forrado con reemplazable, acero resistente a la abrasión, están fabricado para resistir el abuso. Las cajas de cuchillas autocontenidas se adhieren al marco con pernos autoalineables. Cuando se cambie el rotor, la carcasa del cortador sale en una pieza y vuelve a instalarse fácilmente.

Las tareas principales que realiza el rotor es, cortar y romper partículas de asfalto y enviar las partículas de asfalto a la banda transportadora.

¹² Acero *T - 1* - Alta velocidad al tungsteno para usos generales en elementos de desgaste.

Los rotores de corte se encuentran de distintos diseños especializados, desde modelos con espacios para excavar hasta modelos de microfresado con espacios delgados o rotores de doble impacto para mejorar la producción sin sacrificar la calidad de los cortes.

El esfuerzo en el diseño de los rotores de las máquinas ROADTEC es brindar el mejor nivel de rendimiento posible en cada aplicación. Cada rotor de corte tiene varios modelos de enlace para obtener la textura deseada en todas las superficies, como el sistema VCS¹³ que permite que las máquinas hagan cortes de distinto grosor con un mínimo esfuerzo (Company R. a., 2013).

Tabla 18 - Estilos de rotores de fresado.

Estilo de rotores de fresado	Descripción
1. Estándar de 5/8" (16 mm), impacto simple, triple envoltura	El rotor más versátil del mercado. Excelente rendimiento con distinta profundidad. Este rotor está diseñado con una profundidad de corte típica para superficies reforzadas. Este tipo de rotores prolonga la vida útil de los dientes y mejora la velocidad de avance de la máquina sin sacrificar la textura de las superficies.
2. Impacto doble, envoltura cuádruple	Para eliminar hasta 4" de material a una velocidad normal de 40 a 50 <i>FPM</i> ¹⁴ .
3. Perfilación de impacto simple	Fresado fino, para eliminar hasta 2" de material a baja velocidad (de 20 a 25 <i>FPM</i> para lograr líneas rectas).
4. Microfresado de impacto simple	Fresado fino, para eliminar hasta 2" de material a velocidades más altas (de 40 a 50 <i>FPM</i> para lograr líneas rectas).
5. Microfresado de impacto doble	

Fuente (Company R. a., 2013) (ElaboracionPropia, 2018)

¹³ Sistema VCS - Canal de aspiración mejorado para trabajos mínimos de limpieza.

¹⁴ *FPM* - Pies por minuto.



Figura 38 - Rotor de corte de asfalto.
Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

*Parágrafo 1 Elemento 3 de Artículo 5 Aparte 4 - Sección 3 - Rotor
bidireccional*

El rotor bidireccional puede hacer más con la opción bidireccional, puede usar la máquina como un pulverizador de corte hacia abajo y hacia arriba, además de los tradicionales trabajos de fresado. Se puede agregar un paquete de reciclaje de frío en el lugar. La vertedera frontal se puede conformar para flotar con la elevación, o en una posición fija. La altura de la vertedera trasera está completamente ajustable. Levante la tabla trasera por completo para acceder fácilmente al rotor y los dientes cortadores (Company R. a., 2013).

*Parágrafo 2 Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Rotor de
fresado estándar.*

Los rotores de fresado estándar son ideales para fresar una o varias capas generando una superficie fresada de buena estructura dentada.

El trabajo que realiza el rotor estándar Figura 39 - Rotor de corte de asfalto estándar. Consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante el fresado en frío parcial o total de las capas asfálticas, de acuerdo con los alineamientos, cotas y espesores indicados (Group, Milling system, 2016).

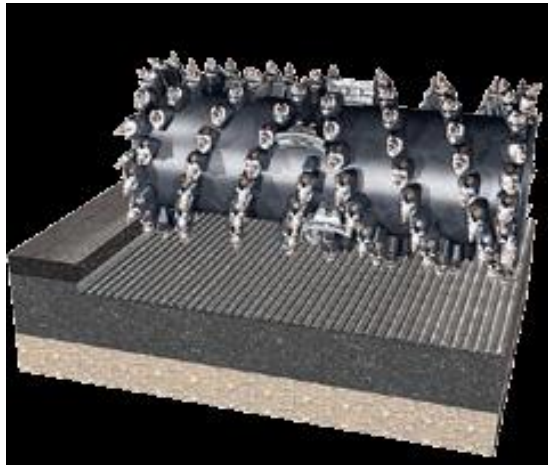


Figura 39 - Rotor de corte de asfalto estándar.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Tabla 19 - Rotor de corte de asfalto estándar

Tipo de rotores de fresado	Distancia entre líneas	Profundidad de fresado máx.	Posibilidades de uso
Rotor de fresado estándar	12 mm		Rotores de fresado universal para uso versátil
	15 mm	hasta 35 cm	1. Retirada de capa intermedia y de cubierta
	18 mm		2. Desmontaje completo de calzadas 3. Trabajos de fresado en hormigón o asfalto

Fuente (Group, Milling system, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 3 Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Rotor de microfresado.

Los rotores de microfresado generan una superficie fresada de estructura fina, perfectamente apropiada para extender asfalto en capas delgadas.

La introducción del microfresado es una innovación relativamente reciente al fresado. Por ejemplo, el diseño del rotor ROADRUNNER de ROADTEC tiene como fin ahorrar herramientas consumibles, por ejemplo, los dientes cortantes. La compañía asegura que los contratistas pueden fresar regularmente todo el día sin la necesidad de cambiar las herramientas y que pueden terminar el turno con el carburo con muy poco o nada de desgaste. Además, se dice que las velocidades de trabajo de 30.48 por minuto y más, con los rotores que producen patrones de línea recta que no se desvían, son comunes con la ROADRUNNER.

El beneficio del microfresado que está cambiando el futuro del fresado de carreteras es que la superficie microfresada es lo suficientemente suave como para que los usuarios de carreteras viajen relativamente rápido en la superficie durante la construcción. Los contratistas pueden abrir la superficie fresada al tráfico y regresar en otro momento para hacer una capa (Company R. a., 2013).

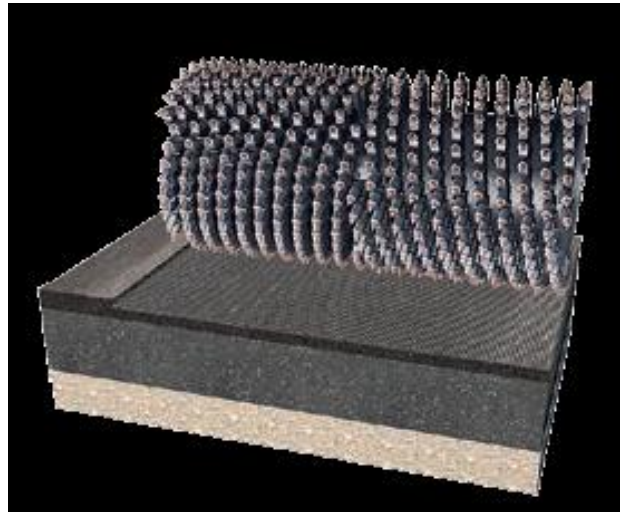


Figura 40 - Rotor de microfresado.

Fuente (Group, Milling system, 2016)

Tabla 20 - Rotor de microfresado.

Tipo de rotor de fresado	Distancia entre líneas	Profundidad de fresado máx.	Posibilidades de uso
rotores de fresado estándar	3 mm	hasta 3 cm	Para la máxima demanda de microfresado
	5 mm		1. Aumento de la adherencia por lijado de recubrimientos de carretera en el proceso de fresado microfresado
	6 mm		2. Aumento de la planicidad en calzadas de hormigón
			3. Fresado de preparación para tratamiento de superficie, pavimentado en frío de finas capas y otro pavimentado de capa fina
			4. Retirada de recubrimientos en superficies de tráfico o suelos de naves
			5. Retirada de señalizaciones de carretera
			6. Fresado de señalizaciones de carretera

Fuente (Group, Milling system, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 4 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Puntas de fresado.

La geometría de las puntas de metal duro y el diseño del disco de desgaste de las pica se diseñan con el fin de reducir los costos de explotación y de aumentar la duración de servicio de los portaherramientas.

El fresado de carreteras, produce el desplazamiento del carburo de la punta de la pica permite el máximo aprovechamiento del material compuesto de tungsteno-cobalto, los discos de desgaste reforzados en el borde y el cono claramente ampliado en la parte inferior del disco garantizan una protección mejorada del portaherramientas y una mayor durabilidad de los sistemas de sujeción.

El trabajo en carreteras, las picas penetran bajo la capa de base e incluso pueden llegar a mayor profundidad en el suelo. En función de la estructura del carril y de los materiales o aditivos empleados, debe considerarse el procesamiento de roca abrasiva con tamaño de grano pequeño y de proporciones de ligante parcialmente tenaces. Cuando se cortan estas capas, predominan elevadas fuerzas de corte que se ven favorecidas por una punta de metal duro de corte sencillo. Con mayor abrasión, debería ajustarse también el tamaño de la punta de metal duro (Group, Milling system, 2016).



Figura 41 - Elementos de la punta
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Parágrafo 1 de Elemento 4 de Artículo 5 de Aparte 4 - Sección 3 - Proceso de corte

Las puntas en el proceso de corte giran con un movimiento alrededor de su eje longitudinal, por lo que la rotación se produce principalmente en el anillo libre bajo una carga de presión y no en la fase de corte sin una carga de presión. Esta rotación no se ejecuta completamente centrada verticalmente, sino más bien provoca ligeros movimientos de balanceo con precesión dentro de la manga de sujeción y también se ve reforzada por las vibraciones en el portaherramientas.

El movimiento numérico hace que la selección gire aprox. 10 grados por rotación del rotor de fresado. Una rotación completa de la selección requiere por lo tanto múltiples rotaciones del rotor de fresado. Esto causa en las superficies de contacto picos para usar uniformemente y Cónico. Esto

no solo da como resultado un evento muy regular y patrón de desgaste óptimo, pero también tiene el efecto de auto afilado extremadamente importante que asegura un alto rendimiento de fresado (Company W. g., 2013).



Figura 42 - Dirección de giro de punta.
Furente (Company W. g., 2013)

Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Portaherramienta.

La portaherramientas parte de la idea de cambiar las puntas que presenta desgaste en el menor tiempo posible directamente en el trabajo en obra, reduciendo así notablemente los períodos de inactividad de la máquina, se desarrolla desde 1990 los llamados sistemas de cambio rápido para portaherramientas, conocidos como sistemas portaherramientas intercambiables. Dichos sistemas constan básicamente de dos piezas: una pieza de apoyo (parte inferior de la punta), que va soldada en el rotor de fresado, y un portaherramientas (parte superior), que va unido a la pieza apoyada mediante una unión atornillada que puede desenroscarse con rapidez (Group, Milling system, 2016).



Figura 43 - Portaherramientas.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 1 del Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 -

Portaherramienta recambiable.

El sistema de portaherramientas recambiables se caracteriza principalmente por su elevada resistencia al desgaste. La duración de vida útil especialmente es larga de este sistema se hace notar en la obra, pues reduce considerablemente los intervalos de cambio. Destaca también por la superficie de contacto dispuesta en forma de prisma. El aislamiento entre la parte inferior y la superior facilita el desmontaje.

La superficie de contacto incrementada en la parte superior, que cubre completamente la superficie de contacto de la parte inferior, se garantiza un asiento perfecto de la parte superior sobre la inferior. Un aislamiento impide que durante el proceso de fresado se incrusten entre las piezas pequeñas partículas de asfalto.

La ranura ubicada en la zona posterior de la parte superior permite eliminar del portaherramientas las finas partículas de material fresado. Esto impide casi por completo que las puntas se adhieran al portaherramientas, con lo que la punta puede utilizarse mucho más tiempo gracias a un mejor comportamiento de giro (Group, Milling system, 2016).



Figura 44 - Portaherramienta recargable.
Fuente (Group, Milling system, 2016).

*Parágrafo 2 del Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 -
Portaherramienta soldada.*

Los sistemas de rotores de fresado se utilizan donde las dimensiones de montaje son extremadamente reducidas. En los sistemas de portaherramientas, los portaherramientas están

soldados de forma permanente al rotor de fresado. Se utilizan preferentemente en rodillos fresadores con círculos de corte de diámetro pequeño.

El diseño y la distribución de materiales ofrecen una alta resistencia de los componentes y una vida útil un 75 % más larga. Las puntas son más fáciles de cambiar, el sistema ha sido diseñado para el cambio de puntas con el extractor hidráulico de puntas. En condiciones de campo normales, esto tiene como consecuencia una clara reducción de los tiempos de parada de equipo (Group, Milling system, 2016).

- 1 **La distribución inteligente de material** aumenta la vida útil prevista hasta un 75 % (en comparación con el sistema HT01).

- 2 **Los cilindros de posicionamiento reforzados** permiten una mayor capacidad de reposicionamiento.

- 3 **La altura del portapicas** permite utilizar un extractor automático de picas sea cual sea el grado de desgaste, reduciendo así el tiempo necesario para cambiar la pica.

- 4 **La geometría del soporte** permite una integración con poco desgaste del cordón de soldadura en el borde del rodillo fresador durante toda la vida útil.

- 5 Gracias a **la geometría adaptada del soporte** y a la **correspondiente cajera** en el tubo del rodillo fresador se obtiene una costura de soldadura perfecta.



Figura 45 - Portaherramientas soldada.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Elemento 6 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Base

Portaherramienta.

El sistema de bases portaherramientas cuenta con un uso intensivo que resiste las condiciones difíciles para prolongar el rendimiento de fresado. La gran base portaherramientas implica un área de soldadura mayor para obtener así una mayor resistencia. El cambio porta herramientas atornilladas se realiza fácil no requiere soldadura y las herramientas son fáciles de retirar, es un sistema de cambio rápido y económico.

El Portaherramientas atornillado cuenta con longitudes de extracción más cortas que los portaherramientas soldados. Esto significa que es más fácil retirar el portaherramientas de la base (Group, Milling system, 2016).



Figura 46 - Base portaherramientas.
Fuente (Inc, 2015)

***Elemento 7 del Artículo 5 del Aparte 4 - Sección 3 - Expulsores de
fresado.***

El material fresado debe ser retirado de forma rápida y efectiva de la caja del rotor. La evacuación eficiente del material fresado reduce el desgaste en el rotor de fresado y en los componentes de corte (punta y sistema portaherramientas).

Los expulsores en el rotor de fresado, en su programa de diseño incluye dos tipos de eyectores, uno de 150 mm de ancho y otro de 250 mm (Group, Milling system, 2016).

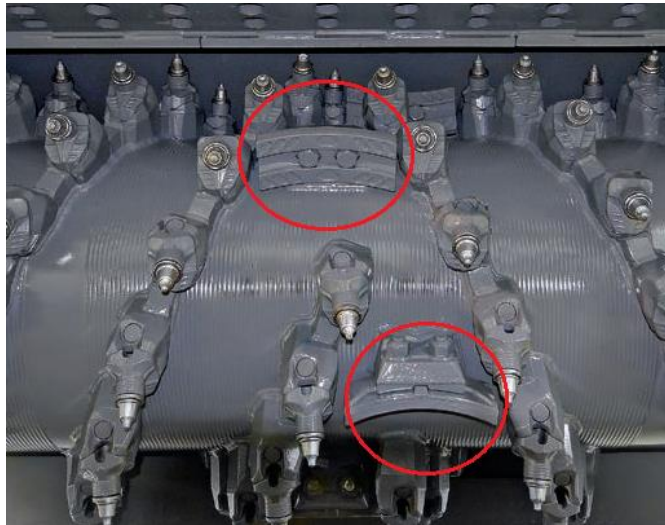


Figura 47 - Expulsores de material fresado.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Parágrafo 1 Elemento 7 Artículo 5 Aparte 4 - Sección 3 - Expulsor

tipo 1

La regleta de los expulsores debería presentar siempre una capa de desgaste suficiente para que el proceso de fresado y el transporte de material se desarrollen sin problema. De lo contrario, los expulsores del rotor de fresado deben cambiarse (Group, Milling system, 2016).



Figura 48 - Expulsor tipo 1.

Fuente (Group, Milling system, 2016)

Parágrafo 2 Elemento 7 Artículo 5 Aparte 4 - Sección 3 - Expulsor

tipo 2

La geometría optimizada de los expulsores de tipo 2, el transporte del material fresado mejora notablemente. Como los expulsores están dispuestos simétricamente, disponiendo así de dos cantos de desgaste idénticos, estos pueden girarse una vez desgastados. La gran superficie de contacto con la parte inferior absorbe todas las fuerzas que actúan y las desvía adecuadamente. El montaje resulta mucho más sencillo y el tiempo de cambio más breve gracias al troquelado hexagonal de la zona frontal (Group, Milling system, 2016).



Figura 49 - Expulsor tipo 2.

Fuente (Group, Milling system, 2016)

Artículo 6 del Aparte 5 - Sección 3 - Síntoma de falla.

El síntoma de falla presentado en las herramientas de corte de asfalto del cilindro de fresado es el aumento de cambio de puntas durante el ciclo de trabajo diario de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Las herramientas de corte de asfalto tienen como función principal remover el asfalto que se encuentra en malas condiciones para dar paso a un asfalto nuevo. El síntoma de falla fue evidente ya que genera mayor consumo de puntas durante las horas de trabajo realizando durante día promediando que se realiza 400 metros lineales, con una profundidad de 30 cm se cambian entre 45 a 50 puntas; el incremento de cambio de puntas es de 15 a 20 puntas realizando la misma actividad (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 7 del Aparte 5 - Sección 3 - Causa de falla.

Al realizar una inspección visual a las puntas de fresado, se evidencia que en algunas puntas hay un desgaste mayor al normal por fricción y en un porcentaje mínimo de puntas presentan

deformación por contacto con el asfalto, esto se debe a que el asfalto que se está fresando tiene características de resistencia alta por la densidad de los agregados que conforman este asfalto influye también la profundidad de fresado que es de 30 cm para remover en su totalidad las capas de asfalto (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 8 del Aparte 5 - Sección 3 - Modo de falla.

Las puntas del rotor de fresado es una parte de las herramientas de corte principal en la actividad de corte de asfalto, ya que entra en contacto directo con el asfalto para removerlo, el desgaste producido por el contacto que se tiene en la actividad de fresado entre la punta y el asfalto en este caso depende de las características del asfalto que en este caso es de alta resistencia, lo que provoca que el equipo trabaje a mayores revoluciones y que las herramientas de corte del rotor de fraseado presenten mayor desgaste y deformación del normal.

Las puntas sufren mayor desgaste en contacto con el asfalto, ya sea porque el asfalto al envejecer presenta un asentamiento normal con el tiempo lo que produce que se vuelva más resistente. La otra variable es que este asfalto este compuesto por agregados de alta densidad los cuales generan una alta resistencia y por ende su remoción es más tediosa generando mayor desgaste en las puntas regularmente se realizan fresados de menor profundidad para mejorar el rendimiento del equipo y de sus herramientas de desgaste (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 9 del Aparte 5 - Sección 3 - Efecto de falla.

Los efectos de falla que se producen en las herramientas de corte del cilindro de fresado es que se genere el desgaste en la Portaherramienta y lo más crítico que se desgaste la base

portaherramientas; esto genera un efecto dominó el cual si se desgata una Portaherramienta y no se toma accione correctivas inmediatas la hilera de esta porta herramientas comienza a desgatare una por una (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 10 del Aparte 5 - Sección 3 - Causa inmediata.

Las causas inmediatas evidenciadas en el sistema de fresado se presentan en la siguiente Tabla 21 - Causas inmediatas sistema de corte de asfalto. Al definir las tres funciones de las causas inmediatas numeradas 1, 2 y 3, se codifican con las letras A, B y C para diferenciar la descripción de cada una la causa básica que resultó de la inspección del sistema de fresado del equipo (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 21 - Causas inmediatas sistema de corte de asfalto

Ítem causas inmediatas	Código de causas inmediatas	Descripción de causas inmediatas
1	A	Desgaste excesivo de puntas de fresado.
2	B	Deficiencia en el sistema de refrigeración del rotor de fresado.
3	C	Baja velocidad en las bandas trasportadoras de evacuación de material.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Causa básicas.

Las causas básicas las describimos posteriormente luego de determinar las causas inmediatas evidenciadas en el sistema de corte de asfalto. Se desarrollan tres funciones de causas Básicas numeradas 1, 2 y 3, por cada una de las funciones sé codificadas con las letras A, B y C, con un

ítem consecutivo numerado del 1 al 5 que es la cantidad de causa encontradas para la funciones de las causa inmediatas y finaliza describiendo la causa básica que resultaron de en la inspección realizada al sistema de corte de asfalto del equipo ROADTEC RX 500 en la Tabla 22 - Causas básicas función 1. A. se describen las causas básicas a analizar (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 1. A.

Las pruebas de validez de las causas básica, se desarrollan luego de realizar el análisis de las causas inmediatas. Se describe cada una de las causas básicas para justificar el porqué del desgaste excesivo en las puntas del rotor de fresado (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 22 - Causas básicas función 1. A.

Función causas básicas	Código de causas básicas	ítem causas básicas	Descripción de causas básicas
1	A	1	Desgaste prematuro de las puntas.
1	A	2	Características de resistencia del asfalto muy altas.
1	A	3	Característica de la punta no es la idónea para trabajo de corte de asfalto.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 1. A.

1 Desgaste prematuro de las puntas.

El desgaste prematuro es la remoción acelerada de partículas de la superficie de una pieza metálica por acción de fuerzas de fricción, combinada algunas veces con fuerzas de impacto que

se traduce en la colisión de partículas sobre la superficie metálica que origina un debilitamiento de sus propiedades mecánicas, por alteración de la estructura cristalina superficial, los problemas de desgaste existen en cualquier parte donde exista movimiento, casi todas las industrias encuentran problemas de desgaste prematuro.

Excesivos desgastes causan grandes pérdidas de dinero en reemplazos repetitivos de partes costosas y por pérdida de producción por mantenimientos no programados (Contreras, 2010).

Parágrafo 2 del Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 1. A.

2. Características de resistencia del asfalto muy altas.

Los asfaltos se clasifican en grado según su dureza o consistencia por medio de la penetración, así por ejemplo los asfaltos 200-300 son los más blandos, son usados en regiones frías donde la temperatura desciende por debajo de los 0°C, por el contrario, los asfaltos más duros como el 40-50 son usados para regiones donde las temperaturas son superiores a los 30°C; el asfalto más usado en Colombia es el 60-70.

Las principales características físicas que debe cumplir un asfalto para su uso en pavimentos asfálticos se describe en la siguiente Tabla 23 - Propiedades físicas del asfalto. (Villamizar, 2017)

Tabla 23 - Propiedades físicas del asfalto.

Propiedades	Descripción
1. Durabilidad	Es la capacidad que posee el asfalto para conservar durante el tiempo sus características originales.
2. Adhesión	Es la facilidad que tiene el asfalto para adherirse a los agregados pétreos.
3. Cohesión	Es la fuerza que permite mantener firme o en su puesto las partículas en los agregados.
4. Susceptibilidad a la temperatura	Los asfaltos son termosensibles, es decir que se vuelven más duros a medida que disminuye su temperatura y más blandos a medida que ésta aumenta.
5. Endurecimiento	Es el aumento en la rigidez de un pavimento causado por el proceso de oxidación; los cuales ocurren con mayor facilidad a altas temperaturas y cuando las películas son delgadas, ésta es la situación que se da durante la fabricación de las mezclas asfálticas; y continúa aun después de la construcción del pavimento asfáltico.

Fuente (Villamizar, 2017) (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 3 del Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 1. A.

3. Característica de la punta no es la idónea para trabajo de corte de asfalto.

El trabajo en carreteras, las puntas penetran bajo la capa base de asfalto e incluso pueden llegar a mayor profundidad en el suelo. En función de la estructura del carril y de los materiales o aditivos empleados, debe considerarse el procesamiento de roca abrasiva con tamaño de grano pequeño y de proporciones de aditivos asfálticos parcialmente tenaces.

Cuando se cortan estas capas, predominan elevadas fuerzas de corte que se ven favorecidas por una punta de metal duro de corte sencillo, con mayor abrasión, debería ajustarse también el tamaño de la punta de metal duro. Para bloques o fragmentos de roca de mayor tamaño, se recomienda utilizar una variante cilíndrica de metal duro la punta recomendada para corte de

asfalto se muestra en la siguiente Figura 50 - Características de punta para corte de asfalto. (Group, Milling system, 2016)



Figura 50 - Características de punta para corte de asfalto.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 2. B.

La prueba de validez se direcciona en la causa inmediata 2. B Deficiencia en el sistema de refrigeración del rotor de fresado, las causas básicas se describen en la Tabla 24 - Causas básicas sección 2. B. Se definen cada una de las funciones de las causas básicas para validar las posibles causas de la falla en el sistema de corte de asfalto (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 24 - Causas básicas sección 2. B.

Función causas básicas	Código de causas básicas	ítem causas básicas	Descripción de causas básicas
2	B	1	Bajo caudal de agua en la bomba.
2	B	2	Fuga de agua en tubos del sistema de refrigeración.
2	B	3	Obstrucción en línea de aspersores de agua.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018).

Parágrafo 1 del Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 2. B.

1. Bajo caudal de agua en la bomba.

El bajo caudal de la bomba de agua del sistema de aspersión es causado por que el impulsor de la bomba se encuentra tapado. El impulsor está formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la actividad a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión

en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación (Díez, 2009).

Parágrafo 2 del Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 2. B.

2. Fuga de agua en tubos del sistema de refrigeración.

Los diferentes factores que producen la fuga de agua en el sistema principalmente se puede mencionar el efecto de las altas presiones pues al aumentar la presión aumenta la velocidad de salida a través del orificio por el que se causa la fuga y con ello el caudal de la misma. El efecto del orificio a un orificio circular, en el que existe una relación entre el caudal de fuga y la presión en la tubería se presenta una pérdida del caudal por causa de la fuga, que presenta una relación de tipo potencial para presiones continuas en el sistema y diferentes tipos de falla (Montoya, 2013).

Parágrafo 3 del Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - 2. B.

3. Obstrucción en línea de aspersores de agua.

La instalación de rociado con agua accionada de forma hidráulica y ubicada en la unidad de fresado evita casi por completo que se levanten nubes de polvo y, al mismo tiempo, refrigera las puntas de rotor, lo que contribuye a un aumento significativo de su vida útil. A su vez, los vertederos se pueden extraer fácilmente para su limpieza. Si los aspersores se encuentran obstruidos el rociado se agua será deficiente provocando recalentamiento en el rotor de fresado (GmbH, 2011).

Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Pruebas de validez causas básicas 3. C.

Las pruebas de validez que se define en relación con la causa inmediata 3. C Baja velocidad en las bandas transportadoras de evacuación de material. Derivando la causa básica las cuales se definen a continuación (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 25 - Causas básicas sección 3. C.

Función causas básicas	Código de causas básicas	ítem causas básicas	Descripción de causas básicas
3	C	1	Baja tensión en la banda transportadora.
3	C	2	Perdida de función rodillos transportadores.
3	C	3	Desalineación de la banda transportadora.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Parágrafo 1 del Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 - Baja tensión en la banda transportadora.

Los ajustes de tensión de la banda se realizan en la polea motriz. Afloje la contratuerca en el ajuste del cojinete ajustable y apriete la tuerca de ajuste del cojinete ajustable para eliminar la holgura de la correa superior y después apriete ½ pulgada adicional. Equipare ambos tornillos de ajuste del cojinete ajustable. Este procedimiento es para los transportadores primario y secundario.

El alineamiento de la banda en la polea motriz se puede corregir ajustando los tornillos de ajuste del cojinete ajustable, izquierdo y derecho, de la polea motriz). Al apretar el tornillo de

ajuste del cojinete ajustable derecho se corrige el alineamiento a la izquierda. Al apretar el tornillo de ajuste del cojinete ajustable izquierdo se corrige el alineamiento a la derecha, si la banda no se encuentra tensionada tiende a perder velocidad (Company R. a., Service and maintenance operation, 2013).

Parágrafo 2 del Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 -

Perdida de función rodillos trasportadores.

Los componentes estructurales, tales como los rodillos, son los primeros que se deben verificar cuando se trata de identificar el causante de la falta de velocidad en la banda. Todas las poleas, los rodillos de carga y retorno, y las poleas de doblez, deben estar alineadas con la estructura (perpendicular a la línea central de la banda), paralelas a sí mismas, y niveladas.

Los factores de falla en los rodillos trasportadores son por falta de limpieza de la banda y la tensión de la banda. En general, estos tienden a ser más frecuentes en los rodillos del lado de retorno de la banda, causando varios tipos de problemas: fricción y daños en los bordes de la banda contra la estructura o los soportes de los rodillos (Perdomo, 2015).

Parágrafo 3 del Elemento 3 del Artículo 11 del Aparte 5 - Sección 3 -

Desalineación de la banda trasportadora.

La eficiencia, seguridad y productividad de una banda trasportadora son elementos críticos en cualquier operación minera. Por consiguiente, la desalineación de las bandas en un sistema trasportador tiende a causar un gran problema en la operación, siendo esta la causa más común de paradas no planeadas, derrames y desgaste prematuro de los componentes del trasportador.

Para poder resolver los problemas de alineación, existen varios tipos de equipos. Estos funcionan en algunos casos, pero presentan varios problemas, tales como ser causantes de daños en los bordes y cobertores de la banda, o no ser funcionales en aplicaciones húmedas y en bandas reversibles, provocando el atascamiento del pivote central por acumulación de material (Perdomo, 2015).

Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Selección causa planteada y probada.

La causa planteada y aprobada es 1. A. 2. Características de resistencia del asfalto muy altas, lo cual provoca que las puntas del rotor de fresado se desgasten con mayor rapidez. Las características del asfalto dependen de su densidad de los agregados que lo conforman. Las mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo con su composición y homogeneidad de los agregados pétreos, la relación de espacios vacíos y la temperatura de aplicación en campo (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 1 del Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas están constituidas por agregados pétreos y un ligante (asfalto), de tal forma que este cree una película sobre los agregados. Generalmente las mezclas son fabricadas en centrales fijas o móviles, desde donde se transportan hasta la obra, allí se deben extender y compactar a temperaturas y viscosidades óptimas, por lo que para garantizar estas condiciones, en algunos casos se utilizan aditivos químicos o modificadores como zeolitas, caucho o incluso diferentes tipos de aceites (kraemer, 2004).

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente en un 90 % por agregados pétreos gruesos y finos Figura 51 - Estructura de mezclas asfálticas.; los gruesos deben proceder de la

trituration y clasificación de la roca y/o grava, con fragmentos limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, y los finos que están constituidos por arena de trituración y una mezcla de ella con arena natural, con granos duros, de superficie rugosa y angular, deben estar limpios para evitar cualquier sustancia que impida la adhesión con el asfalto.

También tienen un año consumo 5% en material para relleno o polvo mineral el cual puede provenir de proceso de trituración y clasificación de agregados pétreos o ser aportado por cal hidratada o cemento hidráulico. Por último, está el ligante asfáltico, que ocupa el 5% restante, que puede en algunos casos estar mezclado con aditivos químicos (zeolitas, caucho o aceite usado) (Villamizar, 2017).



Figura 51 - Estructura de mezclas asfálticas.
Fuente (García, 2009)

Elemento 2 del Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Características del asfalto en Colombia.

La composición elemental del asfalto de Barrancabermeja, tanto para asfaltos frescos como para asfaltos envejecidos, se muestra en la Tabla 26 - Análisis de asfalto, identificando en su composición cinco elementos químicos principales: Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno, Azufre y Oxígeno; este último representa el estado de oxidación del asfalto, por lo que en un asfalto envejecido tiene una mayor composición de oxígeno (Romero, 2002).

Tabla 26 - Análisis de asfalto

Muestra	Carbono (% p/p)	Hidrógeno (% p/p)	Nitrógeno (% p/p)	Azufre (% p/p)	Oxígeno (% p/p)
Asfalto fresco CIB	87,03	10,24	1,6	1,13	≈ 0
Asfalto envejecido	77,47	7,48	0,96	0,77	13,32

Fuente (Romero, 2002) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 3 del Artículo 12 del Aparte 5 - Sección 3 - Propiedades de las mezclas asfálticas.

Las propiedades requeridas para las mezclas asfálticas y agregados pétreos de diferentes tipos y aditivación que se diseñan para las distintas necesidades técnicas en los proyectos de carreteras a nivel nacional se numeran en la siguiente

Tabla 27 - Propiedades mezcla asfáltica. (ElaboracionPropia, 2018)

Tabla 27 - Propiedades mezcla asfáltica.

Propiedades de mezcla asfáltica	Descripción
1. Contenido de asfalto en la mezcla	Tiene como fin garantizar la integración y estabilidad de la mezcla.
2. Contenido de vacíos	Es una variable crítica en el diseño de la mezcla, ya que estos proveen el espacio que necesita el cemento asfáltico para expandirse, ante los cambios de temperatura del ambiente.
3. Estabilidad	Capacidad de un pavimento para resistirse a la deformación ante las cargas de tráfico.
4. Durabilidad	Habilidad de la mezcla a resistirse a la desintegración por efecto del desgaste y las cargas de tráfico.
5. Flexibilidad	Capacidad de la mezcla para ajustar su densidad en la carpeta asfáltica sin quebrarse ante las cargas del tráfico
6. Resistencia a la fatiga	Habilidad del pavimento para resistir flexiones, ligeras dislocaciones o fracturas causadas por las cargas del tráfico.
7. Resistencia al deslizamiento	Capacidad de la mezcla compactada para permitir el agarre de los neumáticos a la superficie del pavimento, evitando los deslizamientos especialmente cuando la superficie está húmeda
8. Impermeabilidad	Resistencia que presenta la mezcla asfáltica compactada a ser infiltrada por el agua o el aire.
9. Maniobrabilidad	Facilidad para esparcir y compactar la mezcla en la vía.
10. Economía	La calidad de los materiales para producir la mezcla debe estar en equilibrio con el costo de los mismos.

Fuente (Villamizar, 2017) (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Análisis causa raíz.

El análisis causa raíz se enfoca en el desgaste de las puntas del rotor de fresado de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. La herramienta de corte muestra signos de un excesivo desgaste lo cual tendrá un efecto negativo en el conjunto de corte de asfalto su rendimiento es deficiente y la herramienta debería sustituirse inmediatamente (ElaboracionPropia, 2018).

Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Material con el que se fabrican las punta de fresado.

El carburo de tungsteno y cobalto en una conexión fuerte, el carburo de tungsteno ofrece una dureza extremadamente alta y resistencia al desgaste garantiza un corte relativamente suave el carburo de tungsteno asegura la más alta resistencia a la rotura incluso bajo las cargas más fuertes.

La mezcla equilibrada de diferentes tamaños del carburo de tungsteno determina significativamente el desgaste. Los componentes de partículas finas aseguran una alta resistencia a la pieza de desgaste, las partículas gruesas son necesarias para la resistencia a altas temperaturas. Una relación de mezcla desfavorable de granos gruesos y finos causas el desgaste acelerado en el corte a altas temperaturas que conduce a una falla prematura.

Los estrictos controles de calidad en BETEK son permanentes para la correcta relación de mezcla del carburo de tungsteno que determina la vida útil de la punta y, posteriormente, la disponibilidad de la máquina, por lo tanto, su rendimiento y calidad de fresado (Group, Attack cutting tools, 2016).

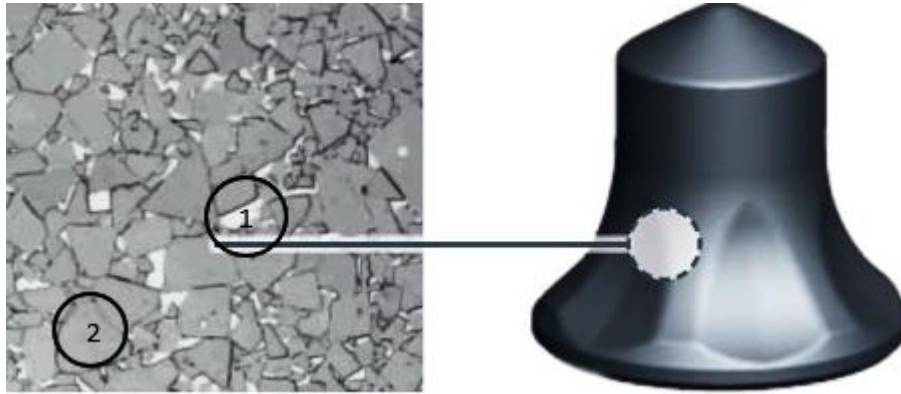


Figura 52 - Carburo de tungsteno bajo el microscopio
Fuente (Group, Attack cutting tools, 2016).

Carburo de tungsteno bajo el microscopio.

1. El cobalto (gris claro) se une a los granos de carburo de tungsteno y asegura la resistencia al impacto.
2. Carburo de tungsteno (gris oscuro) es muy duro y proporciona resistencia al desgaste

Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Progresión óptima de desgaste.

Al conocer la progresión adecuada del desgaste de las herramientas, puede mantener un rendimiento óptimo. El uso continuado de la herramienta más allá de su ciclo de vida útil puede tener efectos adversos, como productividad marginal, fallo catastrófico de la máquina o costosas reparaciones.

Esta progresión adecuada del desgaste puede ayudarle a la herramienta a aumentar su utilización, evitar fallos catastróficos y a maximizar el rendimiento de corte (Inc, 2015).

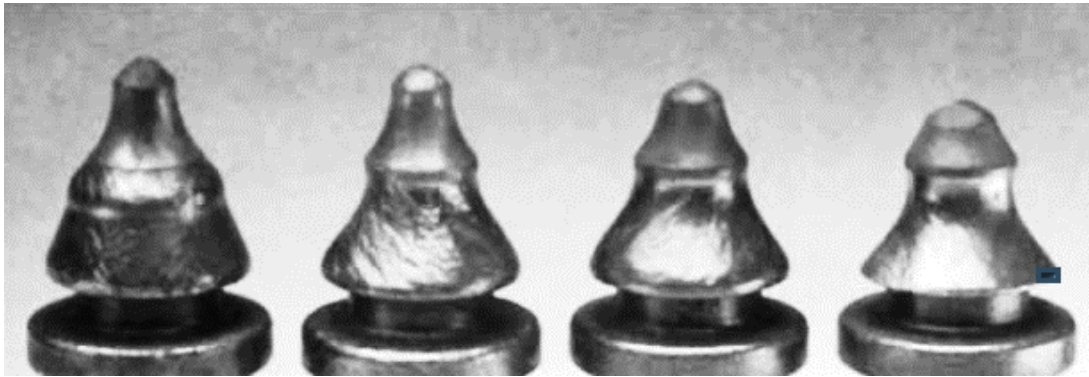


Figura 53 - Progresión óptima de desgaste.
Fuente (Inc, 2015).

Parágrafo 1 del Elemento 1 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 -

Posición de la punta en el rotor de fresado.

La posición de la punta en el rotor de fresado es definido por tres coordenadas y dos ángulos espaciales. Ellos determinan el diámetro del círculo de corte, el espaciado entre herramientas y la distribución uniforme de todos otras selecciones en el rotor de fresado en el compuesto Fuente (Company W. g., 2013).

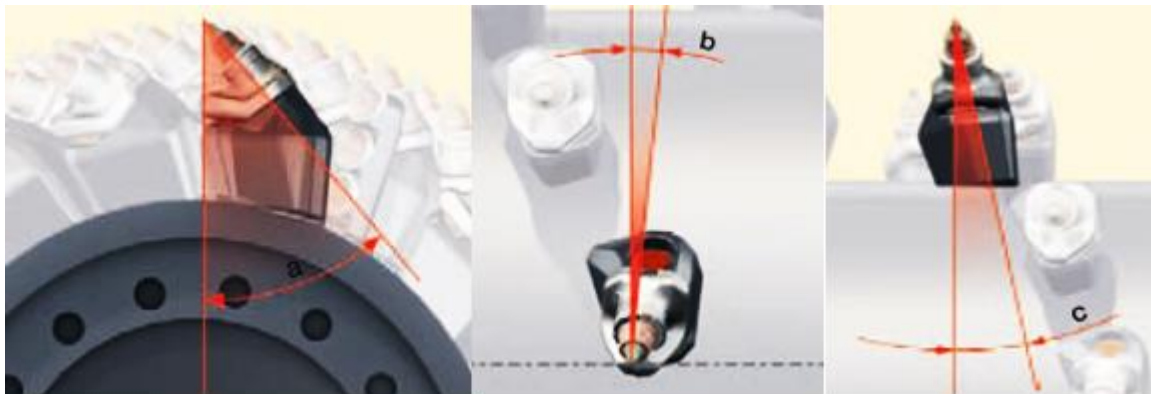


Figura 54 - Posición de puntas de fresado.
Fuente (Company W. g., 2013)

El posicionamiento óptimo de corte asegura una selección mínima desgaste y comportamiento de corte óptimo.

- a) Ángulo de contacto en la cruz de coordenadas.
- b) Ángulo de rotación en la cruz de coordenadas.
- c) Ángulo de inclinación en la cruz de coordenadas

Elemento 2 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Análisis de desgaste de la punta de fresado.

La forma de la punta es sinónimo de aprovechamiento máximo del metal duro y de una vida útil de la punta lo más larga posible, el desgaste de la punta se mide tomando el peso teórico del elemento de desgaste de punta nueva contra el elemento de desgaste de una punta desgastada y se determina la pérdida de material por su peso (gramos).

El disco de desgaste de la punta produce un desgaste longitudinal más lento y una mayor protección de la superficie de contacto del portaherramientas (ElaboracionPropia, 2018).

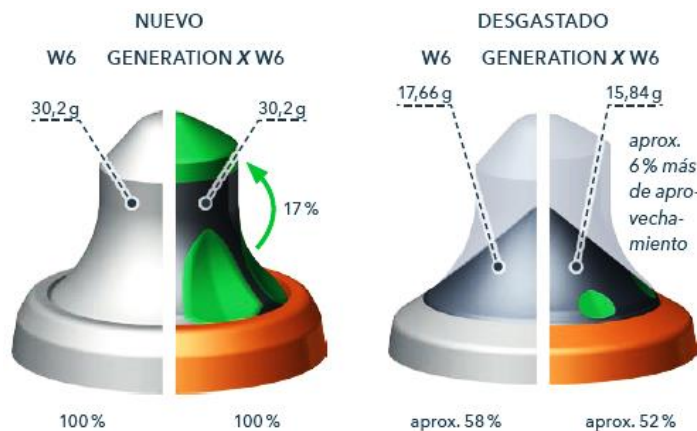




Figura 55 - Desgaste de la punta de corte de asfalto.
Fuente (Group, Milling system, 2016)

Tabla 28 - Análisis de desgaste de la punta de fresado.

Desgaste óptimo	Desgaste óptimo	Desgaste óptimo
		
<p>La imagen muestra una sección redonda desgastada de manera uniforme con una rotación óptima, en su longitud. Pero aún no está completamente agotado el elemento de desgaste. La punta de carburo puede desgastarse hasta la muesca en la cabeza del portaherramientas. Al llegar a la marca el carburo se usa al máximo.</p>	<p>El la ilustración se muestra un ejemplo de una sección redonda perfectamente desgastada. Esto puede ser hasta un máximo desgaste radial y uniforme de la punta de carburo el desgaste se presenta directamente en la cabeza de la punta.</p>	<p>Este resultado es casi óptimo, porque aquí también está la punta en su superficie de contacto redonda, sin embargo, la punta de desgaste está en el borde exterior severamente estrangulada debido al Desgaste. El comportamiento de la punta depende del portaherramientas si el portaherramientas falla se debe de reemplazada inmediatamente.</p>

Desgaste deseado**Desgaste deseado****Desgaste indeseable**

La condición del cuerpo de punta de carburo y el acero muestra un desgaste es en gran medida, la superficie de la punta esta redonda lo que indica tiene una rotación óptima.

La causa y efecto es una posible razón para representar el desgaste de la punta. Las condiciones de corte de material generalmente conducen a un desgaste óptimo de la punta.

Básicamente hay dos formas en Minimiza el desgaste que el cuerpo de acero o los

El buen estado general de la punta se determina en que su superficie de desgaste se encuentre en forma redonda. Este desgaste es proporcional al diámetro de la punta y al desgaste que se tenga en el portaherramientas.

Al elegir una punta de carburo más pequeña se podrá aplicar en las actividades de fresado con la diferencia que el carburo de tungsteno, cuerpo de acero y disco de desgaste no dure el mismo tiempo.

Las figuras muestran una brecha en la punta de carburo producida por sobrecarga. La causa en principio puede surgir por una sobrecarga mecánica, la brecha en la punta también puede ser producida con objetos o materiales de alta densidad o duros que se encuentran en la superficie de corte.

diámetros de carburo sean más grandes y
reducir la velocidad de la máquina

Desgaste indeseado



Desgaste excesivo



Desgaste por rotación insuficiente



Básicamente los daño en las puntas son generadas por sobrecargas mecánicas y en otras ocasiones por rocas que son difíciles de detectar en el suelo antes del inicio del proceso de fresco para evitar la sobrecarga térmica el sistema de rociadores (bomba de agua, riel de riego y sus componentes tales. Como boquillas y filtros) deben de ser revisados.

La máquina determina la velocidad del rotor, la longitud de corte y cuanto más larga sea la Longitud de corte, mayor fricción.

La vida útil máxima de la punta fue excedida porque si se excede el desgaste de la punta genera desgaste en la superficie de contacto de la Portaherramienta.

El desgaste de la punta fue detectado demasiado tarde se debe de tener controles regulares en para evitar estos daños e interrupciones en el proceso de fresado.

La punta de carburo permite un fuerte desgaste de un solo lado en la parte superior. En este caso se describe un insuficiente comportamiento rotacional

La causa e falla puede ser la contaminación del orificio del portaherramientas esto ocurre si el suministro de agua no es lo suficientemente alto.

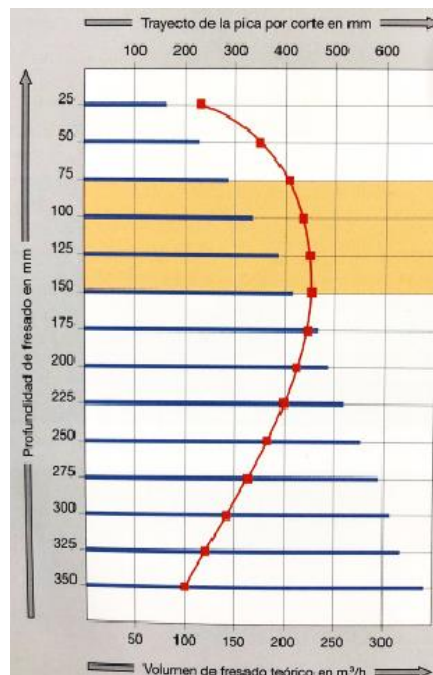
La razón del pobre comportamiento rotacional de la punta puede ser que un portaherramientas se encuentre desgastado.

Fuente (Group, Milling system, 2016) (ElaboracionPropia, 2018)

Elemento 3 del Artículo 13 del Aparte 5 - Sección 3 - Resultado del análisis desgaste de las puntas de fresado.

Las profundidades de fresado difieren en el perfil de corte, la punta del rotor al presentar mayor desgaste, afecta directamente el rendimiento de corte de asfalto. El material que se desea fresar es uno de los factores más influyentes en la actividad de fresado.

En algunas actividades de fresado, la profundidad requerida es más de 200 mm, en estos casos vale la pena hacer varias pasadas a la capa de asfalto, así evitar el desgaste excesivo por m³ de las puntas a medida que aumenta el área de corte (ElaboracionPropia, 2018).



Fuente (Group, Milling system, 2016)

- Trayecto de la punta por corte en mm
- Volumen de fresado teórico en m³ /hora
- Rango máximo de volumen de material fresado




Artículo 14 del Aparte 5 - Sección 3 - Políticas de control.

Las categorías de falla de las puntas, son por desgaste abrasivo, fallo por calor y fallo mecánico, contribuye que el rendimiento de la punta no sea el óptimo. El desgaste y deterioro que puede observarse mediante grietas, aislamiento, deformación o fractura.

La forma de evitar el desgaste excesivo en las puntas de corte de asfalto, es realizar inspecciones visuales frecuentes cada 100 metros lineales de corte de asfalto, ya que el desgaste en este elemento es muy evidente. Ejecutar el cambio de las puntas desgastadas a tiempo, para evitar desgaste en el portaherramientas; delegando la responsabilidad al operario y personal técnico de mantenimiento del equipo el cual está capacitado para realizar esta función.

La siguiente tabla muestra los problemas que genera la pérdida acelerada de la vida útil de la punta, la posible causa y soluciones (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 29 - Políticas de control para puntas de fresado

Problema	Causa posible	Solución
Rotación deficiente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Portaherramientas desgastados 2. Acumulación excesiva de material en la punta. 3. Bases portaherramientas no alineados adecuadamente. 4. Velocidad excesiva de la máquina. 5. Corte demasiado profundo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sustituir portaherramientas. 2. Aumentar el flujo de agua en el rotor. 3. Retirar las bases portaherramientas y corregir la posición. 4. Bajar la velocidad de la máquina. 5. Reducir la profundidad de corte, realizar dos pasadas.
Desgaste excesivo del cuerpo de acero 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producido por un material muy abrasivo. 2. Alta velocidad de rotación de la punta. 3. Las puntas gastadas no retiran material. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar utilizar un diseño de punta con un mayor diámetro inicial. 2. Reducir la velocidad de rotación si es posible. 3. Comprobar y sustituir la punta gastada.
Desgaste extremo de la punta 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material duro (agregado) 2. Generación de calor en la punta de corte de asfalto. 3. Alta velocidad de rotación 4. Corte demasiado profundo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar utilizar una herramienta de punta de metal duro más grande 2. Aumentar la aspersion de agua al rotor de fresado. 3. Reducir la velocidad de rotación si es posible. 4. Reducir la profundidad de corte, realizar dos pasadas.

Fractura de la punta



- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Material extremadamente duro (agregado) 2. Generación de calor en la punta de corte de asfalto. 3. Rotación deficiente. 4. Velocidad excesiva de la máquina. 5. Utilización de objetos duros para instalar la punta, | <ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar utilizar una herramienta de punta de metal duro más grande 2. Aumentar la aspersion de agua al rotor de fresado. 3. Comprobar portaherramientas desgastados, acumulación excesiva de material en la portaherramienta y realizar un corte de calentamiento al iniciar. 4. Bajar la velocidad de la máquina. 5. Usar herramienta de instalación de martillo neumático, maso de goma o martillo de cobre. |
|---|--|

Fuente (Inc, 2015) (ElaboracionPropia, 2018)

Aparte 6 - Sección 3 - Conclusión del capítulo tres

La sección profundiza en las fallas más significativas que resultan de la actividad de fresado en el sistema hidráulico del embrague del rotor y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Es muy importante recolectar los datos e información obtenida durante el desarrollo del análisis de falla de los sistemas analizados, de esta forma obtener un pronóstico de falla confiable el cual direcciona a que acción de mantenimiento se debe de aplicar.

Sección 4 - Mantenimiento

Aparte 1 - Sección 4 - Objetivo

Desarrollar un plan de mantenimiento, con causas precisas para garantizar que las fallas que se presentan en el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 no se vuelvan a presentar.

Aparte 2 - Sección 4 - Introducción

Los planes de mantenimiento que se desarrollan en esta sección, se centran en corregir las fallas que presenta el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Describiendo el proceso de actividades de cómo se debe ejecutar los planes de mantenimiento preventivo y basado por condición de forma rápida y eficiente en el equipo.

Aparte 3 - Sección 4 - Desarrollo

Los planes de mantenimientos se definen a partir de los resultados obtenidos del análisis de falla realizado al sistema hidráulico del embrague de rotor de fresado y los elementos de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500. Los planes de mantenimiento se desarrollan en relación con las fallas presentadas en los sistemas analizados en la sección 3, estos planes de mantenimiento se realizan bajo las recomendaciones estipuladas por el fabricante; de esta forma mejorar la disponibilidad operacional del equipo.

Aparte 4 - Sección 4 - Control de mantenimiento

Los sistemas de mantenimiento se pueden ver como un sistema simple de entrada y salida. Las entradas al sistema son mano de obra, equipos, material y piezas de repuesto, herramientas, información, políticas y procedimientos. La salida es un equipo confiable y bien configurado para lograr la operación planificada de la obra.

Los sistemas tienen un conjunto de actividades que lo hacen funcional. Las actividades incluyen planificación, programación, ejecución y control. El control se logra en referencia a los objetivos del sistema de mantenimiento. Los objetivos generalmente están alineados con los objetivos de la organización e incluyen disponibilidad de equipos, costos y calidad (Ahmed E. Haroun, 2009).

Artículo 1 del Aparte 4 - Sección 4 - Función de control de mantenimiento

La función de control de mantenimiento se puede ver como una parte importante e integral de la función de gestión de mantenimiento (*MMF*)¹⁵. El *MMF* consiste en la planificación, organizar, liderar y controlar las actividades de mantenimiento

La función de planificación desarrolla objetivos y metas que deben alcanzarse. En el caso de mantenimiento los objetivos podrían ser medidos con respecto a la disponibilidad, las tasas de calidad y producción. La implementación de los planes es llevada a cabo para lograr los objetivos previstos. La función del mantenimiento es la gestión del control que se refiere a la supervisión,

¹⁵ *MMF - Función de gestión de mantenimiento*

medición del rendimiento, evaluar si se cumplen los objetivos y tomar las medidas correctivas necesarias si necesario, sus subfunciones y su Interacción (Ahmed E. Haroun, 2009).

Aparte 5 - Sección 4 - Mantenimiento preventivo sistema hidráulico

El mantenimiento preventivo se enfoca en el sistema hidráulico de la bomba SAUER DANFOSS serie 90, la cual se encarga de activar el embrague para que el rotor de fresado gire y realice la actividad de corte de asfalto. Las inspecciones de mantenimiento se deben realizar regularmente llevando un registro de la hora y la fecha de la inspección en el siguiente hipervínculo se desarrolla el plan de mantenimiento para el sistema hidráulico de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 (ElaboracionPropia, 2018).

Los sistemas hidráulicos pueden averiarse por velocidades y presiones excesivas, por fluido contaminación y por altas temperaturas de operación. Al usar un programa de mantenimiento preventivo para cuidar un sistema hidráulico, Los problemas pueden corregirse o evitarse antes de que ocurra una falla. Los siguientes son los problemas clave que comúnmente deben abordarse en el servicio de mantenimiento al sistema hidráulico (Guide, 2008).

Artículo 1 del Aparte 5 - Sección 4 - Actividad de mantenimiento por bajas presiones en la bomba.

Al observar la operación de la bomba y registrar las presiones de operación mínimas y máximas, la presión no debe variar significativamente durante la operación del equipo. Una fuerte caída de presión de 100 - 200 *PSI* durante un ciclo eso indica un problema de flujo. Los elementos

que verificar en este caso se muestran en la siguiente Tabla 30 - Actividades de mantenimiento baja presión de la bomba.

Las presiones en la bomba se deben tomar regularmente, especialmente cuando se encuentran problemas al realizar las inspecciones. Las presiones demasiado bajas darán lugar a paradas inesperadas del equipo (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 30 - Actividades de mantenimiento baja presión de la bomba

Elemento	Actividad
1. Flujo de drenaje del tanque	Mida el flujo del tanque para determinar si la bomba está desgastada
2. Válvula reguladora de presión de la bomba	Desmonte la válvula para asegurarse de que la válvula no esté atascada y el muelle no esté doblado o roto.
3. Ajuste el regulador de presión	El regulador de presión de la bomba debe ajustarse a 150 <i>PSI</i> por encima de la presión requerida para iniciar el sistema.
4. Sincronización de los controles de flujo en el sistema	Si uno o más de los controles de flujo del sistema están demasiado abiertos, su actuador asociado puede moverse demasiado rápido y disminuir el flujo de otros actuadores en el sistema.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Artículo 2 del Aparte 5 - Sección 4 - Actividad de mantenimiento por sobrepresión en la bomba.

Las presiones configuradas demasiado altas darán como resultado una sobrepresión en la bomba ya que los actuadores son inestables. Esto aumentará en gran medida la presión de flujo en el sistema y finalmente aparecen como fugas (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 31 - Proceso de configuración de presión

Proceso de configuración de presión
1. A medida que el rotor se mueva, reduzca la presión girando el regulador de presión de la bomba en sentido contrario a las agujas del reloj hasta que se detenga la carga.
2. Registre la presión a la que el sistema se detiene.
3. Apague la máquina.
4. Gire la válvula de alivio del sistema en sentido antihorario a una presión muy baja.
5. Gire el regulador de presión de la bomba en el sentido de las agujas del reloj a una presión muy alta.
6. Reinicie la máquina, el fluido ahora debe descargarse a través del sistema de alivio a una presión muy baja.
7. Gire la válvula de alivio del sistema en el sentido de las agujas del reloj hasta que esté descargando a una presión constante.
8. Gire el regulador de la bomba en el sentido contrario a las agujas del reloj para reducir la presión a 150 PSI.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018).

Artículo 3 del Aparte 5 - Sección 4 - Rutinas de mantenimiento preventivo de la bomba SAUER DANFOSS serie 90.

Las rutinas de mantenimiento preventivo se realizan por tiempo de servicio, aplicado para la bomba hidráulica SAUER DANFOSS serie 90 se describen en la Tabla 32 - Rutina de mantenimiento bomba hidráulica.

Las rutinas de inspección de mantenimiento elaboradas para la bomba hidráulica serie 90 describen el tiempo en días, semanas, meses y años, y las actividades que se deben realizar por parte de personal técnico para preservar la vida útil de la bomba y evitar las fallas a las cuales se encuentra expuesta por su operación normal y por el ambiente donde se encuentra (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 32 - Rutina de mantenimiento bomba hidráulica.

Intervalo de tiempo	Rutinas
Diario	1. Revise la bomba en busca de rodamientos ruidosos y cavitación.
Diario	2. Verifique diariamente que el aceite no contenga agua y decoloración.
Diario	3. Revisar los rangos de temperatura en el circuito hidráulico.
Diario	4. Inspeccione los rodamientos y los anillos de aceite a través de los puertos de llenado. Limpie las cubiertas de los cojinetes.
Diario	5. Verifique las fugas de aceite en las juntas.
Diario	6. verifique manualmente la temperatura de la línea hidráulica para determinar si hay flujo. Determine si el indicador de flujo y el ajuste de la válvula de aguja funcionan correctamente.
Diario	7. Determine si las condiciones del sello mecánico son normales.
Diario	8. Verifique la operatividad del sensor de calor.
Diario	9. Determine si hay fuga de aceite en los empaques y cellos mecánicos.
Diario	10. Verifique si hay fugas en la carcasa de presión y las juntas.
Mensual	1. Agregue aceite a los depósitos de cojinetes, si es necesario.
Mensual	2. lubricación y limpieza a boquillas y ventanas del eje según sea necesario
Mensual	3. Asegúrese de que el nivel de aceite esté a la distancia correcta de la línea central del eje. Ajústelo si es necesario.
Mensual	4. Limpie mensualmente la suciedad de los soportes del cojinete.
Mensual	5. Cambio de aceite en los reguladores hidráulicos.
Mensual	6. Determine si el gobernador hidráulico está funcionando.
Mensual	7. Verificación el nivel de aceite y las fugas en el regulador hidráulico.
Mensual	8. Verifique si hay fugas de aceite en las líneas, los accesorios y el pistón de potencia.
Mensual	9. Determine si la unidad de la bomba requiere limpieza general por parte de un servicio técnico.
6 meses	1. Máquina en funcionamiento: servicio de reserva: llene la carcasa del cojinete hasta la parte inferior del eje y gire varias vueltas con la mano para revestir el eje y el cojinete con aceite
6 meses	2. Aplique una capa ligera de producto antioxidante para exponer las superficies maquinadas para evitar la oxidación y la corrosión.
6 meses	3. Limpie y el vástago del regulador del aceite y los vástagos de la válvula.
Anual	1. Inspeccione minuciosamente el acoplamiento del disco para detectar signos de desgaste y grietas en las laminaciones.

Anual	2. Verifique la alineación del acoplamiento con el equipo acoplado. Utilice abrazaderas indicadoras de acoplamiento especiales cuando sea posible.
Anual	3. Usando un indicador de cuadrante, verifique la alineación del acoplamiento con el equipo acoplado. Utilice abrazaderas indicadoras de acoplamiento especiales cuando sea posible. Asegúrese de que el margen de crecimiento térmico sea correcto.
Anual	4. Usando un indicador fijado en el acoplamiento, presione y levante cada acoplamiento y observe el cambio del indicador del cuadrante. Determine si la deflexión es normal para esta máquina.
Anual	5. Usando un indicador, verifique el flotante axial de la bomba y el eje del impulsor de manera similar.
Anual	6. Inspeccione el desgaste y los vástagos de las válvulas de aceleración y disparo y sus conexiones. Verifique el mecanismo de sobre velocidad para el desgaste.
Anual	7. Retire la tapa mecánica del gobernador e inspeccione el asiento, el muelle, el cojinete y el émbolo para ver si están desgastados.

Fuente (Rizo, 1998) (ElaboracionPropia, 2018)

Aparte 6 - Sección 4 - Mantenimiento basado en condición sistema de corte de asfalto

El Mantenimiento Basado en la Condición (*CBM*¹⁶) es una estrategia de mantenimiento que tiene como objetivo extender la vida útil de los equipos y sus elementos, aumentar la productividad y reducir los costos de operación diarios. A diferencia del mantenimiento periódico (*PM*¹⁷), en el que los servicios se basan en intervalos programados, el *CBM* se basa en el estado de la máquina para determinar cuándo y qué tipo de mantenimiento se necesita.

Al considerar el entorno operativo, las temperaturas y la aplicación, el *CBM* brinda un mejor control sobre el estado del equipo.

¹⁶ *CBM - Mantenimiento basado en condición*

¹⁷ *PM - Mantenimiento periódico*

El *CBM* asegura el desempeño del equipo y sus elementos, Aunque se demostró que el *PM* evita algunas fallas, muchos equipos experimentan fallas prematuras o muy importantes. Las fallas inesperadas y las reparaciones de emergencia tienen un efecto negativo en el tiempo de actividad y no coinciden con la propuesta de productividad máxima, tiempo de Actividad Máximo y los costos de operación diarios más bajos

La realidad es que incluso la falla más pequeña puede conducir a una falla catastrófica si no se resuelve proactivamente. El monitoreo del estado del equipo y el control de la contaminación son clave para eliminar fallas. Además, la extensión de los intervalos de servicio para el aceite y el filtro mediante el uso de filtración de derivación contribuye a reducir el costo operativo de la máquina (Deere, 2013).

Artículo 1 del Aparte 6 - Sección 4 - Monitorización discontinua.

La monitorización discontinua, en el caso del desgaste de las puntas de corte de asfalto se realiza por inspecciones visuales. La inspección visual es la técnica más antigua entre los ensayos no destructivos, y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo. En ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición. Esta técnica es, y ha sido siempre un complemento para todos los demás ensayos no destructivos, ya que a menudo la evaluación final se hace por medio de una inspección visual (Alba, 2010).

Artículo 2 del Aparte 6 - Sección 4 - Planes de mantenimiento

De los procesos de análisis de fallas del proyecto, se derivan los siguientes planes especiales de mantenimiento aplicado a la máquina ROADTEC.

[Plan de mantenimiento del sistema de corte de asfalto RX 500.xlsx](#)

[Plan de mantenimiento del sistema hidráulico RX 500.xlsx](#)

Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 6 - Sección 4 - Inspección visual directa.

La inspección directa se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros y galgas para medir y clasificar las condiciones encontradas (Alba, 2010).

Elemento 2 de Artículo 2 de Aparte 6 - Sección 4 - Frecuencia de inspección

Las frecuencias de inspección se asignarán de acuerdo con la criticidad del equipo, en combinación o corregidas por el promedio de horas de utilización al día y la potencia del equipo. Las frecuencias inicialmente establecidas serán optimizadas en común acuerdo con el personal de soporte técnico.

Se propone realizar revisiones periódicas para ajustar las frecuencias una vez se tengan las tendencias de los valores críticos y se hayan establecido y evaluado el comportamiento mecánico de los equipos a través del tiempo (Ortega, 2011).

Artículo 3 del Aparte 6 - Sección 4 - Rutinas de mantenimiento basado en condición del sistema de corte de asfalto.

Las rutinas de mantenimiento basado en condición, se realizan por tiempo de trabajo y por inspección esporádicas durante el desarrollo de la actividad diaria del equipo, para medir el desgaste de la punta de corte de asfalto, las inspecciones a los elementos de desgaste del equipo se realizan con mayor frecuencia durante el tiempo de trabajo ya que el desgaste es mayor dependiendo de las

características de resistencia del asfalto, otra manera de medir el desgaste de las puntas para realizar las inspecciones es por metros lineales fresados (ElaboracionPropia, 2018).

Tabla 33 - Rutinas de mantenimiento sistema de corte de asfalto

Intervalo de tiempo	Rutinas
Diario	1. Revise el desgaste de la porta herramienta.
Diario	2. Verifique que la punta gire.
Diario	3. Revisar los rangos de desgaste de la punta y cambie si es necesario.
Diario	4. Inspeccione que el vertedero no esté atascado.
Diario	5. Verifique posibles fisuras entre la base y el portaherramientas.
Diario	6. Verifique la temperatura del rotor y las herramientas de corte de asfalto.
Diario	7. Determine las condiciones del área donde se va a realizar la actividad de fresado.
Diario	8. Verifique si presenta desgaste la base del rotor.
Diario	9. Determine si los rodamientos del rotor presentan ruido fuera de lo normal.
	10. Verificar el desgaste de los expulsores de material.
Diario	11. Verifique si el rotor presenta vibraciones fuera de lo normal.
Diario	12. Agregue grasa los rodamientos y cojinetes del eje del rotor.
Semanal	1. Verifique la atención de la correa trapezoidal del rotor.
Semanal	2. Verificar el estado de la polea del eje del rotor.
Semanal	3. Limpieza general al rodo el sistema de fresado.

Fuente (ElaboracionPropia, 2018)

Aparte 7 - Sección 4 - Conclusión de capítulo cuatro

La efectividad de los planes y rutinas de mantenimiento, dependen de la regularidad y la disciplina de los operadores y personal técnico de realizar las inspecciones en los tiempos estipulados para reducir los índices de mantenimientos correctivos, que provocan la parada de equipo y repercute en sobre costos por reparaciones.

Sección 5 - Conclusiones

Aparte 1 - Sección 5 - Objetivo

Concluir los resultados alcanzados en el desarrollo del proyecto en la fundamentación y aplicación de la metodología de análisis de fallas.

Aparte 2 - Sección 5 - Introducción

Las conclusiones en esta unidad, se refieren al desarrollo del proyecto que se basa en la metodología de análisis de falla aplicada a el sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y a las herramientas de corte de asfalto de la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500.

Aparte 3 - Sección 5 - Desarrollo

Las conclusiones se definen a partir del estudio y la información que se tiene acerca de la metodología de análisis de falla, la cual se aplica al sistema hidráulico y de corte de una perfiladora de asfalto que se expone en el proyecto.

Aparte 4 - Sección 5 - Conclusiones de capítulo cinco y del proyecto

1. La metodología de análisis de falla se fundamenta principalmente en identificar los problemas que afectan el funcionamiento de un equipo y la detección de la falla antes de que ocurra. Al manifestarse una falla y repararla lo principal es analizar el origen y dar una solución definitiva, las fallas pueden ocurrir por el mal diseño o desperfectos en la fabricación por tanto se

debe de identificar los síntomas, efectos, modos y las causas de falla. Las fallas se manifiestan cuando el equipo pierde su funcionalidad total o parcial

La causa raíz de las fallas el procedimiento que se aplica para dar solución a las fallas que presentan los elementos mecánicos e los equipos. Al análisis de causa raíz se integra los controles de mantenimiento para prevenir las fallas y optimizar los tiempos de trabajo del equipo.

2. La perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 es una máquina que se encuentra conformada por varios sistemas y subsistemas, su función principal es que por medio de sus herramientas de corte remover el asfalto que se encuentra en mal estado para remplazarlo y dar paso a uno nuevo, este equipo se caracteriza por sus dimensiones, peso y potencia, el equipo está diseñado con estas características para ser de la actividad de fresado más eficiente y confiable, el combustible se aprovecha al máximo en relación con la potencia del equipo.

Su diseño es muy versátil ya que las reparaciones se pueden realizar con mayor facilidad cuenta con sensores de profundidad para realizar un fresado suave y preciso.

3. El análisis de falla en la perfiladora de asfalto ROADTEC RX 500 se realiza para dos sistemas del equipo, sistema hidráulico del embrague del rotor de fresado y sistema de corte de asfalto, se identifica el problema mediante una inspección para evidenciar el síntoma de la falla de esta manera se deriva el modo de falla, el efecto de falla, causas inmediatas causas básicas la validación de las causas de falla, el análisis causa raíz para profundizar en el origen de la falla aplicando los coercitivos necesarios para que la falla no se vuelva a presentar rigiéndose a unas políticas de control de mantenimiento.

4. La función del mantenimiento preventivo y basado en condición en los sistemas analizados desempeña un papel muy importante ya que se encarga de planificar, liderar y las actividades y rutinas de mantenimiento. Se debe de programar la mano de obra, repuestos y suministros para la ejecución de mantenimientos de alta calidad con el objetivo de preservar la vida útil de los equipos y sus elementos mecánicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed E. Haroun, S. O. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (Primera ed.). (M. Ben-Daya, Ed.) London, Reino Unido: Springe. Recuperado el 29 de Abril de 2018
- Alba, O. D. (2010). *Nivel II en Inspección Visual*. Isotec, Ingeniero Aeronáutico, Bogotá D.C - Colombia. Recuperado el 22 de Mayo de 2018
- AlfonsoSabbatini@. (25 de Abril de 2018). *Solución a fallas frecuentes en los equipos*. Obtenido de www.sabbatini.com.ar/.../Solucion_a_fallas_frecuentes_en_los_equipos_oleohidraulic...
- AMEF@. (2005). *Análisis de Fallas*. Recuperado el 2008, de GestioPolis: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/amef.htm>
- Amendola, L. (2010). *Diagnostico de fallos por monitoreos de condiciones en elemento final de control en plantas de procesos quimicos*. Ingenieria, Universidad politécnica de valencia, Proyectos de ingeniería e innovación, Valencia. Recuperado el 18 de Abril de 2018
- Areamecanica@. (12 de Abril de 2012). *Ingeniería Mecánica*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <https://areamecanica.wordpress.com/2012/04/12/ingenieria-mecanica-bomba-de-caudal-variable-de-pistones-axiales/>
- Baldwinfilter@. (10 de Marzo de 2013). *Instalación del filtro hidráulico de conexión roscada - Baldwin Filters*. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de www.baldwinfilter.com/es/TechTips201303.html

Barret&Bloom@. (26 de Agosto de 2012). *Taxonomía de la Educación y delos Proyectos empresariales*, Simple. (Bloom Barret y Gagne) Recuperado el 18 de Abril de 2018, de Barrett, Dr. Frederick C.: <http://www.bnm.me.gov.ar/cgi-bin/wxis.exe/opac/?IsisScript=opac/opac.xis&dbn=BINAM&src=link&tb=tem&query=PLANIFICACION+DE+LA+CLASE>

Cat, G. (2017). *Mantenimiento preventivo*. Mantenimiento, CSA convenios y servicios, Mantenimiento, Yopal. Recuperado el 28 de Abril de 2018

Company, R. a. (2013). *Perfiladora en frío para medio carril*. Roadtec company, Fabricacion de equipos, Chattanooga - Tennessee. Recuperado el 15 de Mayo de 2018

Company, R. a. (2013). *Roacted RX-500 Milling Machine*. Roadtec company, Parts department, Chattanooga, Tennessee. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de <https://es.roadtec.com/products/milling-machines/rx-600elr1>

Company, R. a. (2013). *Roacted RX-500 Milling Machine*. Roadtec company, Parts department, Chattanooga, Tennessee. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de <https://es.roadtec.com/products/milling-machines/rx-600elr1>

Company, R. a. (2013). *Roacted RX-500 Milling Machine*. Roadtec company, Parts department, Chattanooga - Tennessee. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de <https://es.roadtec.com/products/milling-machines/rx-600elr1>

- Company, S. d. (2007). *RX-500 Cold planer shop manual*. Manual de taller, Roactec, Mantenimiento, Ames - Estados unidos. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de <https://assets.danfoss.com/documents/DOC152886483448/DOC152886483448.pdf>
- Company, W. g. (2013). *Technology and application*. Wirtgen group company, Desarrollo tecnologico, Windhagen - Alemania. Recuperado el 16 de Mayo de 2018
- Company, W. G. (2016). *El mundo de las fresadora en frío de wirtgen*. wirtgen group, Servicio, operacion y partes , Windhagen - Alemania. Recuperado el 16 de Mayo de 2018
- Contreras, J. p. (2010). *Caracterización de recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad y aportes de soldadura pta*. Tesis pregrado civil mecánicano, Universidad de chile, Ingenieria mecánica , Santiago de chile . Recuperado el 22 de Mayo de 2018
- Danfoss, S. (2016). *Technical Information*. Sauer danfoss, servicio de partes, Neumünster, Germany. Recuperado el 27 de Abril de 2018
- Deere, J. (2013). *Mantenimiento basado en condición*. John Deere, Manteniiento, Moline, Illinois, Estados Unidos. Recuperado el 22 de Mayo de 2018
- Díez, P. F. (2009). *Bombas centrífugas*. Universidad de cantrabria, Departamento de ingeniería electrónica y energética, Cantabria - España. Recuperado el 20 de Mayo de 2018
- Duke , O. (2009). *Root Cause Analysis: The Core of Problem Solving and Corrective Action*. Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos: ASQ Quality Press. Recuperado el 29 de Abril de 2018

Ehowenespanol@. (21 de Febrero de 2017). *Fatiga y falla de una manguera hidráulica*.

Recuperado el 25 de Abril de 2018, de http://www.ehowenespanol.com/fatiga-falla-manguera-hidraulica-info_295404/

ElaboracionPropia. (23 de Abril de 2018). Elaboracion propia. Medellín, Antioquia, Colombia.

García, O. (2009). *Determinación de la microestructura*. EAFIT, Ingeniería , Medellín.

Recuperado el 21 de Mayo de 2018

GmbH, W. (2011). *Recicladora en frío WR 4200*. Wirtgen GmbH, Datos tecnico , Windhagen -

Alemania. Recuperado el 20 de Mayo de 2018

Gnecco, E. (2007). *Fundamentals of Friction and Wear*. (A. B. Bhushan, Ed.) New York, Estados

Unidos : Springer Berlin Heidelberg. Recuperado el 29 de Abril de 2018

Group, W. (2016). *Parts and More 2017*. Parts manual, Wirtgen group, Parts and more company,

Windhagen - Alemania. Recuperado el 17 de Mayo de 2018

Group, W. (2016). *Parts and More Compact*. Wirtgen Group, Windhagen - Alemania.

Guide, L. (2008). *Maintain Hydraulic Systems*. Toronto, Canada: WestOne Services. Recuperado

el 22 de Mayo de 2018

Hidraulicapractica@. (26 de Julio de 2013). *Sobrepresion*. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de

www.hidraulicapractica.com/.../sobrepresion-fallas-comunes-en-bombas-hidraulicas-d...

- Iada. (2014). *Ficha datos técnicos*. Caterpillar, Mantenimiento, Barcelona - España. Recuperado el 2018 de Abril de 2018
- Inc, k. (2015). *Rehabilitación de carreteras*. kennametal inc, Frabricacion de partes de recambio, Canadá - Estados unidos. Recuperado el 17 de Mayo de 2018
- Jeffrey , V. (2006). *Basic Guide to System Safety* (Segunda edicion ed.). Titusville, Florida, Estados Unidos : john wiley & sons inc. Recuperado el 29 de Abril de 2018
- Keith , M. (1999). *Root Cause Failure Analysis* (Segunda ed.). (Butterworth-Heinemann, Ed.) Boston , Massachusetts, Estados Unidos : Newnes. Recuperado el 29 de Abril de 2018
- kraemer, C. (2004). *Ingenieria de carreteras*. Madrid, España : McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el 21 de Mayo de 2018
- Madrid, J. D. (2017). *Efecto de la ceria (ceo2) en la microestructura y propiedades mecánicas de una aleación de aluminio 2024*. Estudios de posgrado, Cimaui, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C., Chihuahua. Recuperado el Abril de 29 de 2018
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (Segunda ed.). (2. Elsevier, Ed.) Amsterdam, Nueva York, Estados unidos: Plant engineering. Recuperado el 29 de Abril de 2018
- Montoya, L. J. (2013). *Efecto de la presión sobre las fugas de agua*. Universidad de medellín , ingenieria , Medellín, Colombia. Recuperado el 20 de Mayo de 2018

Mora, A. -G. (2015). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (Edición 2015 ed.). Medellín, Antioquia, Colombia: COLDI LTDA. Recuperado el 17 de Abril de 2018

Moubray, J. M. (2004). *RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc* (Primera en castellano ed.). (G. a. Biddles Limited, Ed., & S. y.-A. Ellman, Trad.) Leicestershire, United Kingdom: Aladon Limited. Recuperado el 18 de Abril de 2018

Noria.mx@. (19 de Noviembre de 2013). *Errores Más Comunes en Equipo Hidráulico*. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de <http://noria.mx/lublearn/los-siete-errores-mas-comunes-en-equipo-hidraulico/>

Ortega, O. r. (2011). *Diseño de plan de mantenimiento predictivo en equipos rotativos*. Universidad tecnológica de bolívar , Ingeniería , Cartagena - Colombia. Recuperado el 22 de Mayo de 2018

Otegui, J. L. (2014). *Failure Analysis*. New York, Estados Unidos : Springer Cham Heidelberg. Recuperado el 29 de Abril de 2018

Perdomo, A. R. (2015). *Soluciones Completas para Bandas Transportadoras*. Asgco, Allentown - estados unidos . Recuperado el 20 de Mayo de 2018

Revillas, S. M. (2011). *Guía de la termografía infrarroja*. Madrid: Guía de la termografía infrarroja. Recuperado el 26 de Abril de 2018

Rizo, L. F. (1998). *Maintenance Guidelines, Machinery Reliability Programs*. Elfer Inc. , Waterford - New York . Recuperado el 22 de Mayo de 2018

- Romero, M. C. (2002). *Propiedades físicas y químicas de asfaltos colombianos tipo Barrancabermeja y sus respectivas fracciones*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Barrancabermeja .
- Saldivia , F. (2013). *Aplicación de mantenimiento predictivo*. Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology , Cancun - Mexico. Recuperado el 29 de Abril de 2018
- Satyanarayana. (2012). *Working of icc - bwe - rock breaker*. Minería, Ingeniería , Kothagudem - india. Recuperado el 14 de Mayo de 2018, de www.slideshare.net/isnindian
- Sistemashidraulicos@. (25 de Abril de 2018). *Introduccion a la hidraulica* . Obtenido de <https://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%201.pdf>
- Soto, E. (2005). *Bombas y Motores Hidraulicos - Fundamentos*. Lima - Perú. Recuperado el 28 de Abril de 2018
- Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution*. (I. BookCrafters, Ed.) Wisconsin, Milwaukee, USA: ASQC Quality Press.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode Effect Analysis* (Segunda ed.). Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos de: American Society for Quality. Recuperado el 17 de Abril de 2018
- SubmittedbyValinCorporation@. (08 de Mayo de 2008). *Rules to Follow to Avoid Pump Problems*. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de <https://www.valin.com/resources/blog/rules-follow-avoid-pump-problems>

Torres, L. D. (2005). *Mantenimiento su implemetacion y gestion* (Segunda ed.). Montería, Córdoba, Colombia: Universitas. Recuperado el 18 de Abril de 2018

Villamizar, D. C. (2017). *Evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaborado con asfalto modificado con aceites lubricantes usados*. Tesis de grado para maestría , Universidad Nacional de colombia , Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Maestría en Ingeniería Ambiental, Manizales Caldas, Colombia. Recuperado el 20 de Mayo de 2018

Volk, H.-J. (2016). *Wirtgen drives the development of surface mining*. Nueva York: Elsevier. Recuperado el 14 de Mayo de 2018

Womackmachine@. (26 de Abril de 2018). *Troubleshooting Tips for Hydraulic Pumps*. Obtenido de <http://www.womackmachine.com/>

Zapata, S. A. (07 de Abril de 2018). *Verbo Bloom & Gagné*, Simple. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/59828818/Verbo-Bloom-Gagne>

Zhiwei Yu, X. X. (2005). *Failure analysis*. Ingenieria , Institute of Metal and Technology, Dalian Maritime University, Ingenieria de analisis de fallas , Dalián - China. Recuperado el 29 de Abril de 2018