

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO (RECOPE)  
PLANTEL DE MOÍN



“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN RCM  
PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO DE OFF SITE”

INFORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, GRADO LICENCIATURA

JAIRO GODÍNEZ BENAVIDES

CARTAGO, JUNIO, 2015

Carrera acreditada por:  
Canadian Engineering Accreditation Board



**Profesor Guía**

*Ing. Luis Antonio Gómez Gutiérrez*

**Asesor Industrial**

*Ing. Erick Martínez Contreras*

**Tribunal Evaluador**

*Ing. Manuel Centeno*

*Ing. Juan Pablo Arias*

## **Información del estudiante, proyecto y empresa**

### ***Información del estudiante***

Nombre: Jairo Godínez Benavides.

Número de cédula: 1 1521 0049.

Carnet ITCR: 201017287.

Dirección de residencia en tiempo lectivo: Residencias estudiantiles del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Dirección de residencia en tiempo no lectivo: 200 metros al Oeste del salón comunal San Agustín Pérez Zeledón.

Teléfono celular: 87854159

Correo electrónico: theogb1092@gmail.com

### ***Información del proyecto***

Nombre del proyecto: “Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en RCM para los equipos de bombeo de *Off Site*”

Profesor asesor: Luis Antonio Gómez Gutiérrez.

Horario de trabajo del estudiante: lunes a viernes de 7:00 am a 3:00 pm

### ***Información de la empresa***

Nombre: Refinería Costarricense de Petróleo, RECOPE.

Zona: Limón.

Dirección: Moín, Limón.

Teléfono: 27992144.

Actividad principal: Comercialización de productos derivados del petróleo.

## **Dedicatoria**

***A mi padre Geovanny y mi madre Alix.***

*Por haberme apoyado incondicionalmente en cada etapa de mi vida.*

***A mi pequeño Theo***

*Por ser motivación para avanzar.*

## **Agradecimientos**

*Primeramente a Dios por darme salud, oportunidad de vivir y aprender de cada día algo distinto, por estar a mi lado en todo momento y en cada prueba de mi vida.*

*A mis padres y mi hermana por su apoyo.*

*Al Ing. Luis Gómez por su colaboración, disposición y tiempo dedicado al desarrollo del proyecto.*

## Índice

1	Resumen.....	1
2	Introducción.....	5
3	Definición del problema .....	6
3.1	Justificación del proyecto .....	6
3.2	Objetivos .....	9
3.2.1	Objetivo general.....	9
3.2.2	Objetivos específicos .....	9
3.2.3	Metodología de trabajo.....	9
4	Información de la empresa .....	11
4.1	Marco estratégico de la empresa .....	11
4.1.1	Misión .....	11
4.1.2	Visión .....	11
4.1.3	Valores empresariales.....	11
4.2	Ubicación .....	11
4.3	Reseña histórica de RECOPE.....	12
4.4	Estructura organizativa.....	14
4.5	Departamento de mantenimiento .....	14
4.5.1	Objetivos .....	15
4.5.2	Funciones del departamento.....	16
4.5.3	Relaciones de coordinación interna.....	16
4.5.4	Relaciones externas.....	17
5	Marco teórico .....	18
5.1	Control de calidad de los productos .....	18
5.1.1	Controles en el puerto de carga .....	18
5.1.2	Controles en puerto de descarga .....	18
5.1.3	Control en poliducto .....	19
5.1.4	Controles en planteles.....	19
5.2	Productos.....	19
5.2.1	Combustibles para uso de transporte.....	19
5.2.2	Combustibles de uso Industrial .....	20
5.2.3	Combustibles de aviación .....	22
5.2.4	CEMENTOS ASFÁLTICOS.....	23
5.3	Descripción de <i>Off Site</i> (Unidad de tanquería) .....	24
5.4	Labores del <i>Off Site</i> .....	25
5.4.1	Recirculación de productos.....	25
5.4.2	Transferencia de productos.....	27
5.5	Equipos de <i>Off Site</i> .....	28

5.6	Bombas hidráulicas.....	28
5.6.1	Tipos de bombas.....	28
5.6.2	Dispositivos de sellado de equipos rotatorios.....	37
5.7	Motores eléctricos.....	44
5.7.1	Motores de corriente directa.....	45
5.7.2	Motores de corriente alterna.....	45
5.8	Motores de combustión interna.....	49
5.8.1	Funcionamiento de un motor diésel cuatro tiempos.....	50
5.8.2	Sistemas auxiliares del motor de combustión de diésel.....	52
5.9	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	56
5.9.1	Equipo de trabajo.....	56
5.9.2	Pasos para la aplicación del RCM.....	57
5.10	Indicadores de clase mundial en mantenimiento.....	63
5.10.1	Indicadores para la gestión de equipos.....	63
5.11	Análisis de criticidad.....	65
5.11.1	Análisis de criticidad en el ámbito del mantenimiento.....	66
6	Desarrollo del manual de mantenimiento preventivo basado en RCM.....	68
6.1	Selección de los equipos a analizar.....	68
6.2	Codificación de los equipos.....	69
6.3	Cálculo de la disponibilidad operacional.....	72
6.4	Aplicación de la metodología RCM.....	73
6.4.1	Mejoras o rediseños a los equipos.....	74
6.4.2	Capacitación.....	75
6.5	Manual de mantenimiento preventivo.....	76
6.5.1	Tipo de orientación.....	76
6.5.2	Ciclo de mantenimiento.....	77
6.5.3	Personal requerido para realizar las inspecciones:.....	78
6.5.4	Tiempo requerido para realizar las inspecciones.....	79
6.5.5	Materiales y repuestos.....	80
6.6	Análisis económico del proyecto.....	84
6.7	Cronograma para el desarrollo del programa de mantenimiento preventivo.....	87
7	Análisis del cálculo de los indicadores de mantenimiento.....	87
7.1	Situación actual.....	87
7.2	Mejoras planteadas para el cálculo de los índices de mantenimiento mediante Tricom.....	95
8	Conclusiones.....	99
9	Recomendaciones.....	100
10	Referencias bibliográficas.....	101

11 Anexos.....	102
Anexo1. Estructura organizativa .....	102
Anexo2. Formato de hoja de trabajo RCM.....	103
Anexo 3. Análisis de criticidad en equipos de <i>Off Site</i> .....	104
Anexo 4. Cálculo de la disponibilidad en el Software Tricom .....	107
.....	108
Anexo 5. Fotografías de codificación de subpartes de equipos.....	109
Anexo 6. Disponibilidad de los equipos (Parte 1) .....	111
Disponibilidad de los equipos (Parte 2) .....	112
Anexo 7. Hoja de Información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 1 de 8) .....	113
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 2 de 8).....	114
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 3 de 8).....	115
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 4 de 8).....	116
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 5 de 8).....	117
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 6 de 8).....	118
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 7 de 8).....	119
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 8 de 8).....	120
Anexo 8. Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 1 de 8) .....	121
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 2 de 8).....	122
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 3 de 8).....	123
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 4 de 8).....	124
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 5 de 8).....	125
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 6 de 8).....	126
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 7 de 8).....	127
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 8 de 8).....	128
Anexo 9. Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 1 de 9) .....	129
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 2 de 9).....	130
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 3 de 9).....	131
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 4 de 9).....	132
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 5 de 9).....	133
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 6 de 9).....	134
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 7 de 9).....	135
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 8 de 9).....	136
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 9 de 9).....	137
Anexo 10. Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 1 de 8) .....	138
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 2 de 8).....	139
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 3 de 8).....	140

Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 4 de 8).....	141
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 5 de 8).....	142
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 6 de 8).....	143
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 7 de 8).....	144
Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 8 de 8).....	145
Anexo 11. Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 1 de 9).....	146
Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 2 de 9).....	147
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 3 de 9).....	148
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 4 de 9).....	149
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 5 de 9).....	150
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 6 de 9).....	151
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 7 de 9).....	152
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 8 de 9).....	153
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 9 de 9).....	154
Anexo 12. Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 1 de 4).....	155
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 2 de 4).....	156
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 3 de 4).....	157
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 4 de 4).....	158
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte reductor de velocidad RE-0061 (Hoja 1 de 2).....	159
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte reductor de velocidad RE-0061 (Hoja 2 de 2).....	160
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte motor de combustión MC-0027 (Hoja 1 de 5).....	161
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte motor de combustión MC-0027 (Hoja 2 de 5).....	162
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte motor de combustión MC-0027 (Hoja 3 de 5).....	163
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte motor de combustión MC-0027 (Hoja 4 de 5).....	164
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte motor de combustión MC-0027 (Hoja 5 de 5).....	165
Anexo 13. Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 1 de 8).....	166
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 2 de 8).....	167
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 3 de 8).....	168
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 4 de 8).....	169

Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 5 de 8) .....	170
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 6 de 8) .....	171
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 7 de 8) .....	172
Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 8 de 8) .....	173
Anexo 14. Hoja de información RCM – Bomba de búnker YP-791, subparte bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 1 de 5).....	174
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 2 de 5).....	175
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 3 de 5).....	176
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 4 de 5).....	177
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 5 de 5).....	178
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte reductor de velocidad RE-0062 (Hoja 1 de 2) .....	179
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte reductor de velocidad RE-0062 (Hoja 2 de 2) .....	180
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte motor de combustión MC-0028 (Hoja 1 de 5).....	181
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte motor de combustión MC-0028 (Hoja 2 de 5).....	182
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte motor de combustión MC-0028 (Hoja 3 de 5).....	183
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte motor de combustión MC-0028 (Hoja 4 de 5).....	184
Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte motor de combustión MC-0028 (Hoja 5 de 5).....	185
Anexo 15. Manual de mantenimiento preventivo.....	186
Ficha técnica bomba de LPG YP-781-A.....	187
Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-A .....	188
Ficha técnica bomba de LPG YP-781-B.....	191
Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-B .....	192
Ficha técnica bomba de LPG YP-781-C.....	195
Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-C.....	197
Ficha técnica bomba de LPG YP-781-D.....	200
Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-D .....	202
Ficha técnica bomba de asfalto YP-754 .....	205
Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-754 .....	207
Ficha técnica bomba de asfalto YP-952-B.....	210
Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-952-B.....	212

Ficha técnica bomba de asfalto YP-952-C .....	218
Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-952-C.....	219
Ficha técnica bomba de asfalto YP-791 .....	222
Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-791 .....	225
Anexo 16. Formulario generado por Tricom para las inspecciones del equipo YP-754...232	
Inspecciones para la bomba de engranajes (Hoja 1 de 2) .....	232
Inspecciones para la bomba de engranajes (Hoja 2 de 2) .....	233
Inspecciones para el motor eléctrico (Hoja 1 de 2) .....	234
Inspecciones para el motor eléctrico (Hoja 2 de 2) .....	235
Inspecciones para válvulas y tuberías .....	236
Inspecciones para instrumentación .....	237
Anexo 17. Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 1 de 4) .....	238
Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 2 de 4).....	239
Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 3 de 4).....	240
Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 4 de 4).....	241

## Índice de tablas

Tabla 1. Actividades a seguir para desarrollar el proyecto.....	10
Tabla 2. Las siete preguntas básicas del RCM.....	58
Tabla 3. Tipos de modos de falla.....	60
Tabla 4. Tipos de consecuencias del modo de fallo .....	61
Tabla 5. Tipos de acciones proactivas.....	62
Tabla 6. Criterios de evaluación de criticidades.....	67
Tabla 7. Equipos más críticos en <i>Off Site</i> .....	69
Tabla 8. Nomenclatura utilizada en Tricom para subpartes de equipos.....	70
Tabla 9. Nomenclatura para tipos de equipo .....	71
Tabla 10. Tiempo disponible para operar .....	72
Tabla 11. Resumen de anexos de las hojas RCM .....	74
Tabla 12. Nomenclatura utilizada para definir el periodo de las inspecciones .....	77
Tabla 13. Nomenclatura utilizada para identificar el personal requerido para las inspecciones .....	78
Tabla 14. Tiempo (en minutos) requerido por el personal para realizar las inspecciones de mantenimiento preventivo .....	80
Tabla 15. Resumen del costo de mano de obra para la implementación del programa de mantenimiento preventivo .....	80
Tabla 16. Lista de materiales y repuestos del área mecánica.....	81
Tabla 17. Lista de materiales y repuestos del área eléctrica .....	83
Tabla 18. Resumen de los costos del programa de mantenimiento preventivo .....	84
Tabla 19. Valor de ventas aproximadas por hora .....	84
Tabla 20. Estimación de tiempos perdidos por fallas en equipos de <i>Off Site</i> .....	85
Tabla 21. Resumen de costos de mantenimiento correctivo en el año 2014 .....	86
Tabla 22. Calculo de la disponibilidad del equipo YP-781-A.....	90
Tabla 23. Datos para el análisis de criticidad.....	105

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Vista satelital de RECOPE, Moín. ....	12
Ilustración 2. Organigrama del departamento de Mantenimiento .....	15
Ilustración 3. Intercambiador de calor para elevar temperatura del asfalto .....	26
Ilustración 4. Tanques de colorante para gasolinas.....	27
Ilustración 5. Tuberías de asfalto.....	27
Ilustración 6. Clasificación de los tipos de bombas.....	29
Ilustración 7. Bomba de engranes. ....	31
Ilustración 8. Bombas de tornillo en corte.....	31
Ilustración 9. Bomba de lóbulos.....	32
Ilustración 10. Bombas de pistón para transferencia de fluidos .....	33
Ilustración 11. Impulsores para bombas cinéticas .....	34
Ilustración 12. Curva de rendimiento de una bomba centrífuga. Carga total <i>versus</i> capacidad .....	36
Ilustración 13. Curvas de rendimiento de una bomba centrífuga .....	36
Ilustración 14. Construcción básica de las empaquetaduras mecánicas .....	37
Ilustración 15. Instalación de empaquetadura en bomba centrífuga .....	38
Ilustración 16. Sello mecánico .....	38
Ilustración 17. Componentes básicos de un sello mecánico.....	39
Ilustración 18. Reservorio de un sistema de lubricación o enfriamiento de sellos mecánicos .....	41
Ilustración 19. Líquido amortiguador en un sello mecánico con arreglo 2, orientación cara– espalda .....	43
Ilustración 20. Plan API 52. ....	43
Ilustración 21. Plan API 53C.....	44
Ilustración 22. Clasificación de los motores eléctricos .....	44
Ilustración 23. Sección de motor eléctrico de inducción con rotor de jaula de ardilla .....	47
Ilustración 24. Despiece de motor eléctrico de inducción con rotor bobinado .....	48
Ilustración 25. Cotas del cilindro.....	50
Ilustración 26. Equipo natural de trabajo .....	57
Ilustración 27. Llenando funciones en la hoja de información RCM.....	58
Ilustración 28. Llenando fallas funcionales en la hoja de información RCM.....	59
Ilustración 29. Llenando modos de falla en la hoja de información RCM .....	60
Ilustración 30. Llenando los efectos en la hoja de información RCM .....	61
Ilustración 31. Llenando las acciones proactivas en la hoja de información RCM.....	62
Ilustración 32. Codificación de equipos .....	69
Ilustración 33. Ejemplo de codificación de equipos.....	70

Ilustración 34 Codificación de partes o componentes de un equipo.....	70
Ilustración 35. Codificación individual de equipos.....	71
Ilustración 36. Instalación de un sistema de enfriamiento de aceite para un reductor de velocidad .....	75
Ilustración 37. Tiempo medio entre dallas según Tricom para el equipo YP-781-A .....	89
Ilustración 38. Disponibilidad según Tricom para el equipo YP-781-A .....	90
Ilustración 39. Órdenes de trabajo del equipo YP-952-B .....	92
Ilustración 40. Órdenes de trabajo del equipo YP-781-A (Parte 1) .....	93
Ilustración 41. Tipo de mantenimiento en las órdenes de trabajo. ....	96
Ilustración 42. Cálculo de disponibilidad en Tricom .....	97
Ilustración 43. Formato actual de una orden de trabajo en Tricom .....	98
Ilustración 44. Gráfico de criticidad en equipos de <i>Off Site</i> .....	104
Ilustración 45. Pasos para el cálculo de la disponibilidad en Tricom.....	107
Ilustración 46. Etiquetas realizadas para la codificación de equipos.....	109
Ilustración 47. Etiquetas colocadas en bombas .....	109
Ilustración 48. Etiquetas colocadas en motores eléctricos.....	110
Ilustración 49. Etiquetas colocadas en motores de combustión y reductores de velocidad.	110

## 1 Resumen

El presente trabajo, se realizó en la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE), específicamente en el departamento de Programación y Control de Mantenimiento, se basa en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés), para definir manuales de mantenimiento preventivo para los equipos de bombeo del área de *Off Site*, con el objetivo principal de mejorar la confiabilidad operacional y disponibilidad de estos equipos.

El área de *Off Site*, tiene como función principal realizar todos los movimientos de los productos derivados del petróleo, para el departamento de ventas, recirculación entre tanques, descarga de asfalto, y dosificación de colorantes.

Productos como el asfalto son recirculados constantemente, ya que por su composición química y física, no se debe almacenar sin movimiento, ni a temperatura ambiente, las bombas encargadas de estos movimientos, están dentro del área *Off Site*, así como las bombas de gasolina, diésel, búnker, nafta, gas licuado de petróleo, colorantes, IFO's y gasolinas de avión.

En el área de *Off Site*, actualmente se cuenta con alrededor de 80 equipos de bombes, entre las cuales se encuentra bombas centrífugas y de desplazamiento positivo, motores eléctricos, motores de combustión interna, reductores de velocidad y turbinas de vapor.

Inicialmente, se realizó un análisis de órdenes de trabajo, del primer semestre del año 2014, con el fin de conocer cuáles equipos presentaron mayores problemas y requirieron más mantenimiento; posteriormente, se realiza un análisis de criticidad para determinar los equipos deben ser incluidos primeramente en el análisis.

La selección de los equipos a estudiar fue hecha con base en el análisis de criticidad; sin embargo, posteriormente los planes de mantenimiento obtenidos para dichos equipos, se evaluaron y aplicaron al resto de equipos de *Off Site*.

Como lo requiere la metodología RCM, este análisis debe ser revisado y discutido con los miembros del grupo de trabajo, para ello se discutió con personal de los talleres de mantenimiento, la probabilidad de ocurrencia de cada modo de falla, así

como las acciones proactivas generadas y sus respectivas frecuencias de aplicación.

El trabajo incluye fichas técnicas para los equipos críticos y un plan de mantenimiento preventivo, con detalle de las inspecciones a realizar por el personal de mantenimiento, además del detalle de áreas para mejorar incluyendo capacitación de los técnicos.

**Palabras clave:** Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mantenimiento preventivo, acciones proactivas, disponibilidad, *Off Site* (Unidad de tanquería).

## **Abstract**

This work was realized in Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE), specifically in the department of “Programación y Control de mantenimiento” it is based on the Reliability Centered Maintenance (RCM) this methodology is used to define preventive maintenance manuals for the pumping equipment of Off Site area, with the main objective to improve the operational reliability and availability of these equipment.

Off Site area has a main function to perform all the movements of petroleum products to the sales department, circulation between tanks, asphalt discharge, and dosage of dyes.

Products like asphalt are constantly recirculated, since their chemical and physical composition should not be stored without movement or at room temperature, the pumps responsible for these movements are within the area Off Site as well as petrol pumps, diesel, bunker, naphtha, liquefied petroleum gas, dyes, IFO's and gasoline plane.

In the area of Off Site, currently there are about 80 pumping equipment, including centrifugal and positive displacement pumps, electric motors, combustion engines, speed reducers and steam turbines.

Initially work orders of the first half of 2014 were analyzed in order to know which equipment had more problems and required more maintenance later criticality analysis is performed to determine the equipment they must first be included in the analysis.

The selection of equipment to study was made based on the criticality analysis, however subsequently obtained maintenance plans for such equipment were evaluated and applied to other equipment Off Site

As it's required by RCM methodology this analysis was reviewed and discussed with members of the working group, for it was discussed with staff maintenance workshops the probability of occurrence of each failure mode and proactive actions generated and their respective application frequencies.

The work includes technical specifications for critical equipment and preventive maintenance plan, with details of the inspections carried out by maintenance personnel also detail areas for improvement including training of technicians.

**Keywords:** Reliability Centered Maintenance (RCM), preventive maintenance, proactive actions, availability, Off Site (Unidad de tanquería).

## 2 Introducción

La Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE), se encuentra en Moín, en la provincia de Limón, esta es una empresa estatal dedicada a la compra, almacenamiento, distribución y venta de productos derivados del petróleo, ya que actualmente no se está refinando.

Entre una de las áreas que conforman RECOPE, se encuentra *Off Site*, área en el cual están todos los equipos utilizados para almacenar y distribuir los productos, como es el caso de tanques, recipientes, esferas, intercambiadores de calor; además, se encuentran las bombas utilizadas para transferir productos entre tanques y hacia el departamento de ventas, donde se cargan las cisternas.

Los equipos de bombeo son de gran importancia para llevar a cabo y con éxito la actividad principal de la empresa. Bombas como las de asfalto, presentan un trabajo desgastante, tanto por las características del fluido como por las horas de trabajo, ya que funcionan las 24 horas del día, todos los días del año; además, en el caso de las bombas de LPG, estas presentan gran responsabilidad por la peligrosidad del fluido bombeado. Por lo tanto, se requiere realizar rutinas de mantenimiento que permitan mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, reduciendo horas de parada por fallas.

El presente proyecto busca definir acciones proactivas que permitan disminuir las fallas funcionales, disminuir el mantenimiento correctivo y dar a la empresa una herramienta, útil y capaz de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las bombas *Off Site*.

### **3 Definición del problema**

#### **3.1 Justificación del proyecto**

El área de *Off Site*, juega un papel primordial en el correcto funcionamiento de la empresa como tal, esta área tiene bajo su responsabilidad la preparación de los productos previo a su venta y distribución, como es el caso de adición de colorantes a las gasolinas, adición de productos al diesel para mejorar la lubricidad y la adición de temperatura en el búnker y asfalto.

Los equipos existentes se utilizan principalmente para almacenar y mover los productos derivados de petróleo, algunos de estos equipos están expuestos a largas jornadas de trabajo y operan en un contexto muy delicado en el que cada parámetro debe ser claramente controlado, entre ellos: tiempo de llenado y descarga de tanques, tiempo de llenado de cisternas, temperaturas y presiones de trabajo.

Productos como el asfalto deben ser recirculados constantemente, para mantener sus propiedades físicas, esto implica tener bombas trabajando diariamente, durante las 24 horas del día, además de ser un producto viscoso y bombeado a altas temperaturas, razones por las cuales el desgaste en los equipos es mayor.

El Gas Licuado de Petróleo (LPG, por sus siglas en inglés) debe ser recirculado constantemente para mantener su composición en condiciones óptimas para su venta, además presenta una naturaleza de alto riesgo al ser altamente inflamable y volátil debido a esto cada equipo relacionado con este producto debe ser monitoreado, asegurando correctos funcionamientos y la mínima cantidad de problemas. Para transferir LPG al departamento de ventas y cargar los tanques cisternas, se cuenta básicamente con 4 bombas, las cuales deben estar en perfecto funcionamiento, sin fugas y con alta disponibilidad.

Actualmente el mantenimiento es de carácter correctivo, el cual genera altos costos en mano de obra, afecta la disponibilidad de los equipos al tener largos periodos de paradas y reparaciones para las cuales no se cuenta de manera inmediata con los repuestos y materiales necesarios

En el sistema utilizado para la gestión del mantenimiento, existen planes de mantenimiento preventivo generales para todos los equipos de *Off Site*, los cuales

fueron creados hace gran cantidad de tiempo, nunca han sido revisados, evaluados, actualizados ni se están implementando.

A raíz de estas situaciones, nace la necesidad de crear programas de mantenimiento preventivo, detallados y adecuados al contexto operacional, además de asegurar su adecuada implementación, ya que el proyecto se debe dejar funcionando.

Con el desarrollo de estos programas de mantenimiento preventivo, se pretende crear acciones proactivas que permitan minimizar las fallas y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos. Además, es preciso profundizar en aquellos equipos con mayor criticidad y los cuales generen mayor riesgo tanto para la producción como para la seguridad y medioambiente.

Los equipos de la Refinería están inmersos en un contexto operacional muy delicado, en el cual una falla de un equipo podría resultar en grandes daños e incluso podría ser catastrófica; así, con la implementación del presente programa de mantenimiento preventivo se busca mantener bajo control los modos de falla de los equipos y prevenir los efectos que podrían ocurrir.

Está claro que cada falla de un equipo genera gastos para la recuperación y puesta en marcha del equipo, gastos extra en mano de obra para poner en funcionamiento equipos de respaldo, atrasos en la venta de productos, afectación en la calidad de los productos lo que provoca que no estén en condiciones aptas para la venta y distribución; además, de generar riesgo para el medioambiente, para la seguridad de los trabajadores y población en general, razones por las cuales un programa de mantenimiento preventivo es gran aprovechamiento para esta área.

El programa de mantenimiento preventivo se basa en la metodología RCM, ya que esta permite analizar los modos de fallas que puede presentar cada subparte del equipo en análisis, analiza los efectos y consecuencias de estos; a partir de esto, se obtienen acciones proactivas que reducen las consecuencias del modo de falla, esto está relacionado con los costos tanto directos como indirectos de mantenimiento; además, de un mayor costo-eficacia del mantenimiento, al disminuir tiempos de paradas no previstas y agilizar procesos de reparaciones.

Como parte del proyecto, se debe realizar una revisión del cálculo de los indicadores de clase mundial para el mantenimiento, en el sistema Tricom, ya que actualmente se presentan algunos inconvenientes a la hora de generar un reporte con los índices de gestión de equipos, estos reportes tienen errores inducidos que generan información no confiable sobre la cual se pueden tomar decisiones fundamentadas en información no completamente real.

## **3.2 Objetivos**

### **3.2.1 Objetivo general**

Incrementar la confiabilidad operacional y disponibilidad de los equipos de bombeo de *Off Site*, mediante la implementación de un programa de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM.

### **3.2.2 Objetivos específicos**

- Definir acciones proactivas mínimas necesarias de mantenimiento que permitan disminuir las fallas funcionales de los equipos de bombeo de *Off Site* de la Refinería.
- Definir el inventario de repuestos y materiales requeridos para el programa de mantenimiento PM-RCM.
- Aumentar la vida útil de los equipos de bombeo de la sección *Off Site* por medio de la aplicación de actividades de mantenimiento preventivo.
- Optimizar los costos de mantenimiento por reducción de trabajos de mantenimiento correctivo.

### **3.2.3 Metodología de trabajo**

En la tabla 1, se muestra de manera general y resumida los diferentes pasos generales a realizar para llevar a cabo este proyecto.

**Tabla 1. Actividades a seguir para desarrollar el proyecto**

Metodología			
No	Etapa	Actividades	Duración aprox. (Sem)
1	Actualización de la información técnica de los equipos	Revisar información contenida en el software Tricom	3
		Recopilar información técnica de los equipos	
		Actualizar en el software la información recopilada	
2	Obtención de parámetros de funcionamiento de los equipos	Recopilar información sobre parámetros de funcionamiento de los equipos	2
		Revisar en forma teórica, en placas de datos y manuales capacidades de los equipos	
		Medir capacidades de los equipos	
3	Grupo de trabajo	Realizar reuniones con personal de mantenimiento	1
		Definir los integrantes del grupo de trabajo	
		Definir responsables de aplicar rutinas	
4	Ejecutar los pasos del RCM	Realizar reuniones y consultas al personal técnico encargado de los equipos	4
		Realizar entrevistas a operadores de los equipos	
5	Acciones proactivas de mantenimiento	Reuniones con el grupo de trabajo	2
		Revisión de acciones proactivas	
6	Manual de mantenimiento preventivo	Determinar recursos necesarios para su implementación	1
		Detallar información de los equipos	
		Definir rutinas de inspección	
7	Análisis del cálculo de indicadores de clase mundial, según el Software	Revisión del software en cuanto a cálculo de indicadores de mantenimiento	1
		Revisión de las órdenes de trabajo	
8	Conclusiones		1

Fuente: Elaboración propia

Como parte de la metodología RCM, es necesario el trabajo en conjunto con el personal tanto de mantenimiento como de operación, esto es de gran ayuda, ya que permite compartir información obtenida con la experiencia, y poder aplicarla en el desarrollo del proyecto, además de poder motivar a los encargados de aplicar el programa de mantenimiento preventivo.

## **4 Información de la empresa**

### **4.1 Marco estratégico de la empresa**

#### **4.1.1 Misión**

Abastecer los combustibles requeridos por el país, mediante la administración del monopolio del Estado de la importación, refinación y distribución al mayoreo de combustibles, asfalto y naftas; para promover el desarrollo del país.

#### **4.1.2 Visión**

Ser un pilar de la competitividad de Costa Rica.

#### **4.1.3 Valores empresariales**

Los siguientes valores serán los orientadores de la conducta y de todas nuestras acciones y decisiones en el quehacer de la Empresa:

Integridad

El cliente es lo primero

Rapidez, calidad y eficiencia

Protección de la naturaleza y responsabilidad social

RECOPE somos todos

### **4.2 Ubicación**

La refinería, se ubica en Moín, en la provincia de Limón, Costa Rica.

### Ilustración 1. Vista Satelital de RECOPE, Moín.



Fuente: Google Maps.

### 4.3 Reseña histórica de RECOPE<sup>1</sup>

En 1961, un grupo privado funda la Refinadora Costarricense de Petróleo Sociedad Anónima (RECOPE S.A.) e inicia gestiones para obtener los permisos del Ministerio de Industrias, con el fin de construir una refinería al amparo de la Ley 2426 de Protección y Desarrollo Industrial.

El 28 de junio de 1963, la Asamblea Legislativa aprueba el contrato de Protección y Desarrollo Industrial y RECOPE se establece como la primera industria nacional dedicada a la refinación y producción de combustibles derivados del petróleo. Ese año comienza la construcción de la refinería en Moín, Limón, que concluye en 1967; año en que arranca la instalación de la primera línea del poliducto y finaliza el primer plantel de distribución ubicado en El Alto de Ochomogo, Cartago. Hasta ese momento el transporte de combustibles hacia la Meseta Central se realizaba a través del ferrocarril. Durante los años posteriores a la década de los 60, una comisión especial de la Asamblea Legislativa inicia una investigación sobre el

<sup>1</sup> Información tomada del sitio web de la empresa: <https://www.recope.go.cr/>

funcionamiento de las distribuidoras privadas y en 1971 dicta un informe final donde se evidencia serios incumplimientos de los contratos otorgados por el gobierno.

En 1972, El Ministerio de Economía emprende gestiones para comprar las acciones de la Refinería, que en aquel momento pertenecen mayoritariamente a la compañía transnacional *Allied Chemical*. La participación estatal en la Refinería era del 15% de las acciones y en el primer avalúo se determinó un costo total de USD 16 millones.

En 1974, una delegación viaja a Houston, Estados Unidos, para negociar con *Allied Chemical*. Sorpresivamente, el precio de la Refinería se establece en USD 1 (un dólar estadounidense); además, se le condona al país, la deuda por CRC 4 millones que tenía con Venezuela por la compra de petróleo. Un año más tarde, Por Decreto Ejecutivo, se decide la nacionalización de la distribución de combustibles. Además, por ley, se le prohíbe a RECOPE operar expendios de combustible al detalle, por lo que las estaciones de servicio se trasladan a manos privadas.

En 1977, RECOPE financia una cuantiosa inversión para realizar trabajos de infraestructura: inicia la construcción de la primera fase del complejo portuario de Moín, empieza a instalar un poliducto paralelo al que funcionaba entre Moín y El Alto de Ochomogo, construye el edificio para las oficinas centrales de la empresa y concluye una Terminal de distribución en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

Desde entonces y hasta la actualidad se han ido creando una serie cambios y mejoras tanto en infraestructura como en la calidad de los productos, se han creado nuevos planteles, nuevos laboratorios, investigaciones, ampliaciones, decretos de protección ambiental.

En el año 2013, se pone en marcha un proyecto denominado *Petroweb*, el cual nace del requerimiento de la Dirección de Servicio al Cliente y Comercialización de RECOPE, que estableció como necesidad prioritaria el desarrollo de un sitio Web transaccional. Con este desarrollo RECOPE ingresa al comercio electrónico y promueve su alineamiento con las directrices gubernamentales de disminuir el uso del papel, promover nuevos servicios digitales a los clientes, e ingresar al Gobierno Digital. El proyecto completó su fase de desarrollo y pruebas para su pase a producción y este año e inició el piloto, con una selección de clientes, que ya

realizan la prefacturación, el pago correspondiente (utilizando los servicios de SINPE) y la programación de su despacho, registrándose en tiempo real las transacciones ejecutadas en el sitio.

#### **4.4 Estructura organizativa**

En el Anexo 1, se muestra el organigrama general de RECOPE.

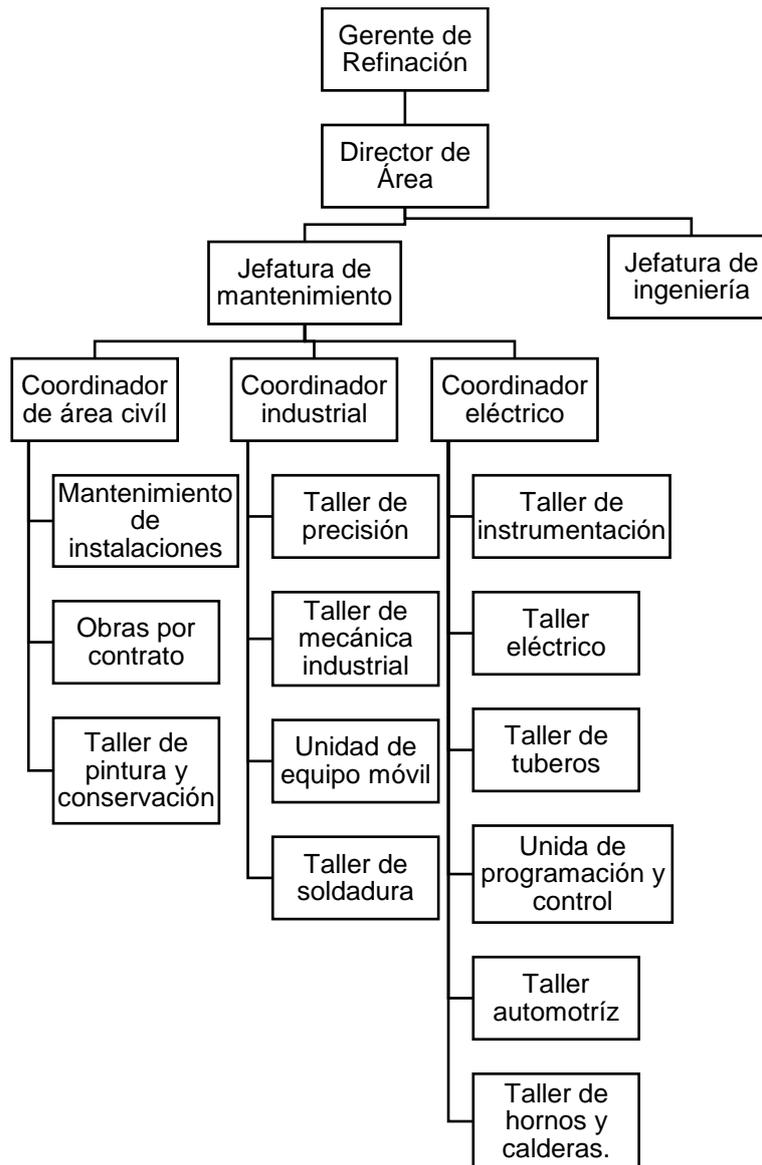
#### **4.5 Departamento de Mantenimiento**

El Departamento de Mantenimiento es una dependencia directa de la Dirección de Ingeniería y Mantenimiento, posee las características propias de un órgano operativo.

En la siguiente ilustración se muestra el organigrama para la gestión del Departamento de Mantenimiento. Es importante recalcar que los talleres son independientes entre sí y están claramente limitados en cuanto a sus funciones. Cada taller cuenta con operarios 1, operarios 2, auxiliar de obras y misceláneos, el grado de operario depende de la experiencia del trabajador, en la unidad de equipo móvil existe un operario 3. Los operarios de los talleres son en su mayoría técnicos en su campo respectivo, sin embargo a nivel interno se les conoce como operarios 1 y operarios 2.

En el organigrama de la ilustración 2, se muestra el Departamento de Ingeniería, el cual no es dependiente del Departamento de Mantenimiento; sin embargo, realizan algunas funciones en común como las tareas predictivas.

**Ilustración 2. Organigrama del departamento de Mantenimiento**



Fuente: Unidad de programación y control, RECOPE.

#### **4.5.1 Objetivos**

Asegurar el mantenimiento preventivo y correctivo al sistema de almacenamiento, equipos, maquinaria, vehículos, instrumentación e instalaciones bajo la responsabilidad de la Gerencia de Refinación, para garantizar el funcionamiento bajo condiciones óptimas y reducir la probabilidad de accidentes.

#### **4.5.2 Funciones del Departamento**

1. Diseñar y ejecutar el plan de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de las áreas mecánica, civil y eléctrica de las instalaciones e infraestructura a cargo de la Gerencia de Refinación.
2. Mantener en óptimas condiciones de funcionamiento la maquinaria, equipo y vehículos utilizados por la Gerencia.
3. Brindar colaboración o atender situaciones de riesgo y siniestro que se presenten en la empresa.
4. Cumplir con los procedimientos y regulaciones establecidas por la Dirección de Aseguramiento de Calidad.
5. Definir especificaciones técnicas de equipos, materiales, servicios, construcción de obras y otros, en la materia de su competencia.
6. Realizar la calibración y registro de los instrumentos utilizados en la operación de las distintas unidades de la Refinería.
7. Diseñar, ejecutar, evaluar proyectos del área de su especialidad.
8. Brindar asesoría y atender consultas en materias de su campo de trabajo a otras dependencias y entes externos.
9. Asegurar el suministro de insumos para brindar el mantenimiento de los equipos e instalaciones para operación segura de la Refinería.

#### **4.5.3 Relaciones de coordinación interna**

- ✓ Departamento de Operaciones Portuarias
- ✓ Departamento de Procesos de Refinación
- ✓ Departamento de Ingeniería (Refinación)
- ✓ Departamento de Mantenimiento (Distribución y ventas)
- ✓ Departamento de Salud, Ambiente y seguridad (Refinación)
- ✓ Gerencia de Administración y Finanzas
- ✓ Dirección Jurídica

#### **4.5.4 Relaciones externas**

- ✓ Ministerio de Obras Públicas y Transportes
- ✓ Instituto Nacional de Seguros
- ✓ Municipalidades
- ✓ ICE
- ✓ Acueductos y Alcantarillados
- ✓ SETENA
- ✓ Proveedores de bienes y servicios

## **5 Marco teórico**

### **5.1 Control de calidad de los productos**

A RECOPE le corresponde asegurar que los diferentes productos cumplan con las normas establecidas, aplicando mecanismos de control a lo largo de toda la cadena de importación - desembarque - almacenamiento - proceso o mezcla - transporte - almacenamiento y distribución de los combustibles, asfaltos y naftas.

#### **5.1.1 Controles en el puerto de carga**

En cada puerto de carga se supervisan los análisis de los productos, los cuales se efectúan en las refinerías o terminales suplidoras, mediante inspectores independientes, pagados en forma parcial por RECOPE quienes testifican los análisis y los resultados comparando los mismos contra las especificaciones de compra que se han establecido, de antemano, entre RECOPE y el vendedor.

#### **5.1.2 Controles en puerto de descarga**

Al llegar al país, los productos que se importan son nuevamente analizados por el personal de los laboratorios de RECOPE realizando el muestreo y el análisis, los cuales son certificados por parte de los inspectores independientes.

Antes de autorizar la descarga de los productos, estos se analizan en los tanques del barco, luego durante el bombeo desde el barco hasta los tanques de Refinería y se corroboran las características más importantes (densidad, punto de inflamación, agua y sedimento).

Una vez que se ha recibido el producto en los tanques de Refinería, se realiza un análisis de certificación de los productos, donde se verifica todos los parámetros regulados por las normas establecidas.

### **5.1.3 Control en poliducto**

Una vez que se comprueba que el producto de un tanque en particular cumple con las especificaciones técnicas establecidas, se autoriza el bombeo a través del poliducto. Durante esta operación se toma muestras y se verifica que los principales parámetros para asegurar que no se ha presentado contaminación.

### **5.1.4 Controles en planteles**

A la llegada del combustible a las terminales de distribución, se recibe el producto en diferentes tanques y se realiza las pruebas de recertificación por parte de los Laboratorios de Control de Calidad en planteles, donde se comprueba que el producto no ha variado sus características.

## **5.2 Productos**

A continuación se hace una breve descripción de los productos importados y distribuidos por RECOPE.

### **5.2.1 Combustibles para uso de transporte**

#### **5.2.1.1 Gasolinas**

Las gasolinas son una mezcla de hidrocarburos con propiedades de volatilidad e índice de octano que proporcionan al motor del vehículo un fácil arranque en frío y máxima potencia durante la aceleración.

En Costa Rica, se distribuye dos tipos de gasolina: la Súper y la Plus 91, ambas pertenecen a la nueva generación de combustibles, no contienen plomo y utilizan el componente de mezcla MTBE (Metil Terbutil Éter).

La gasolina Súper es una gasolina con un índice mínimo de octano de 95 y la gasolina Plus 91 con un índice mínimo de octano de 91.

### **5.2.1.2 Diésel**

Es una mezcla de hidrocarburos que se obtiene de la destilación fraccionada del petróleo a una temperatura entre 250°C y 350°C a presión atmosférica. Es más sencillo de refinar que la gasolina, tiene mayores cantidades de componentes minerales y de azufre.

Además, tiene un 18% más de energía por unidad de volumen que la gasolina, lo cual sumado a la mayor eficiencia de los motores Diésel contribuye a que su rendimiento sea mayor.

Las propiedades del combustible, tales como temperatura de ignición, volatilidad, estabilidad a la oxidación; la potencia, el desgaste, la formación de depósitos y la emisión de gases, dependen directamente de la composición del mismo.

RECOPE distribuye el Diésel 50 Automotriz que es el combustible que mayormente se utiliza para el transporte y el Diésel de Generación Térmica que consume el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

## **5.2.2 Combustibles de uso industrial**

### **5.2.2.1 Diésel (Generación Térmica)**

El Diésel para generación térmica se establece en el Reglamento Técnico RTCA 75.02-17:06 según Decreto No. 33664 COMEX-MINAE, y se basa en la norma ASTM D-2880 para un Diésel 2-GT. Sus principales características son: presenta un nivel de azufre superior al Automotriz, establecido en fracción de masa de azufre 0,50%, tiene una viscosidad más alta y se compone de fracciones más pesadas. Por ser un combustible más pesado que el Diésel automotriz brinda un mayor contenido energético.

### **5.2.2.2 Queroseno**

Es una mezcla de hidrocarburos proveniente de la refinación del petróleo con una volatilidad intermedia entre el Diésel y la gasolina.

Este producto se utiliza principalmente a nivel industrial en hornos de panaderías y empresas manufactureras, también en algunas zonas rurales para el alumbrado en linternas y fuentes de energía en la cocción de alimentos.

#### **5.2.2.3 Búnker C (*Fuel oil*)**

El búnker es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación (destilación atmosférica), viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y para las plantas de generación eléctrica.

El búnker se clasifica con números del 1 al 6, para tal clasificación se considera su punto de ebullición, su composición y su viscosidad. De acuerdo con su número, entre más alto sea este, mayor será su viscosidad.

Para los procesos industriales, generalmente necesita un precalentamiento antes de ser inyectado a la caldera u horno, esta temperatura se recomienda entre 90°C y 96°C, esto con el fin de evitar que los hidrocarburos livianos sean evaporizados y lograr de esta manera mantener el poder calórico original.

#### **5.2.2.4 IFO - 380 (*Fuel oil* intermedios)**

Combustibles marinos residuales provenientes de la mezcla física de: Búnker C (*Fuel Oil*), Gasóleo, y Diésel. Se utilizan en los motores o calderas. Existen varios grados clasificándose de acuerdo con su viscosidad y su escogencia o uso es especificado, según el tipo de motor y sus requerimientos. Los grados conocidos internacionalmente son IFO 180, 240 y 380. En Costa Rica, RECOPE distribuye el 380 siendo sus clientes más comunes los barcos bananeros que llegan a cargar en el puerto de Moín, Limón.

#### **5.2.2.5 Gas Licuado de Petróleo GLP (LPG)**

El Gas Licuado de Petróleo (LPG) es la mezcla de gases condensables provenientes del proceso de refinación del petróleo, este es inodoro e incoloro, pero se le adiciona un odorizante (un metil mercaptano) que le otorga un olor pestilente para posibilitar su identificación en caso de fugas.

Los tipos de LPG dependen de los componentes, puede ser solo propano, solo butano o una mezcla de ambos y en menor proporción también están presentes etileno, propileno, butileno y pentano. El estado del LPG, a presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera de presión y a temperatura de 20°C), se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C. Así, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al LPG a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas.

#### **5.2.2.6 Gasóleo (Diésel pesado)**

Es un combustible con características intermedias de volatilidad entre el diésel y el búnker. Se utiliza en algunos equipos en la industria, como quemadores y hornos, que requieren un combustible menos pesado que el búnker, con mayor volatilidad y menor viscosidad. Su uso a nivel nacional es limitado.

#### **5.2.2.7 Nafta Pesada**

Es una mezcla de hidrocarburos parcialmente refinada que se obtiene de la destilación del crudo en la parte alta de la torre atmosférica, después de la extracción del Gas Licuado del Petróleo (LPG) y la Nafta Liviana. Su principal uso es como solvente de algunos productos agrícolas (aerosol, etc.). También, es utilizada en como materia prima en la producción de solventes utilizados en la industria de pinturas. Es sumamente inflamable, por lo tanto, se recomienda tener especial cuidado en su manipulación y almacenamiento.

### **5.2.3 Combustibles de aviación**

#### **5.2.3.1 JET A-1**

Es un combustible con buenas características de combustión y alto contenido energético y se utiliza principalmente en motores de turbina utilizados por el transporte aéreo. Es una mezcla de hidrocarburos donde predominan las parafinas y

compuestos nafténicos; además, contiene pequeñas cantidades de olefinas y un contenido de aromáticos restringido.

### **5.2.3.2 Av-Gas (100LL)**

Es una mezcla de hidrocarburos principalmente de isoparafinas y una pequeña cantidad de aromáticos, a la cual se le adicionan ciertos aditivos como tetraetilo de plomo para elevar el octanaje, antioxidante y anticongelantes.

## **5.2.4 CEMENTOS ASFALTICOS**

### **5.2.4.1 ASFALTO AC-30**

Actualmente, el asfalto que vende RECOPE es el AC-30 ya que es el asfalto que más se ajusta a las necesidades de los clientes según acuerdo entre los constructores, CONAVI, MOPT y RECOPE

El asfalto es un material cementante sólido o semisólido generalmente negro, compuesto principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular.

Se puede obtener en forma natural o por medio de procesos de refinación del petróleo. Tiene gran valor desde el punto de vista de ingeniería porque es fuerte, adhesivo, durable, altamente resistente a la reacción con ácidos, bases, sales y además provee una apropiada flexibilidad a sus mezclas con agregado mineral. Por su naturaleza visco-elástica su comportamiento depende de la temperatura y el tiempo de aplicación de carga.

Su principal uso es en la construcción y conservación de las carreteras; también, se usa en láminas para techo y adoquines. El asfalto debe ser seleccionado en función de las características climáticas de la zona y las condiciones de operación de la vía a pavimentar.

### **5.2.4.2 Emulsiones asfálticas (CRS-1)**

Las emulsiones asfálticas están constituidas por una dispersión muy fina de asfalto en agua, estabilizada por acción de un emulsificante. Son muy usadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. El uso de emulsiones asfálticas origina

una menor contaminación al ambiente al no usar solventes orgánicos que se evaporan a la atmósfera, pues esta utiliza el agua como solvente.

### **5.3 Descripción de *Off Site* (Unidad de tanquería)**

El área de *Off Site* también conocida como unidad de tanquería tiene como una función primordial realizar una preparación a los productos antes de ser distribuidos o comercializados. Esta etapa de preparación consiste principalmente en:

Adición de colorantes a las gasolinas, estas llegan incoloras al plantel donde se les agrega la cantidad de colorante necesaria y se recirculan para homogenizar la mezcla.

Al diésel se le adiciona un producto para mejorar la lubricidad producto del bajo contenido de azufre.

El asfalto debe ser recirculado a través de un intercambiador de calor que permita elevar la temperatura hasta un punto óptimo para fluir y poder ser enviado al departamento de ventas sin solidificarse en las tuberías.

En esta área se debe anotar la medida del movimiento al inicio y final de cada transferencia, se anota en una hoja de control, que facilite la incorporación de los datos requeridos por el SAP.

En esta área se realiza las mediciones de tanques manualmente para determinar el nivel de agua, sedimentos, nivel del producto y temperatura, para compararlo con el sistema de medición automática y drenajes de tanques, especialmente en los siguientes casos: importación de crudo y sus derivados (antes y después), exportación de hidrocarburos (antes y después), inventario, recibo y entrega a ventas y a oleoducto, a los inspectores independientes, calibración, control y cisternas.

Se alinea y controla los sistemas de agua de servicio y enfriamiento que se suministran en las calderas y la planta. Además, velan que el sistema de calentamiento interno de los tanques funcione de acuerdo con el requerimiento del producto.

## **5.4 Labores del *Off Site***

A continuación se enlista algunas de las labores básicas de los equipos de *Off Site*.

- Operar y ajustar las válvulas de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados para realizar las operaciones de recibo y alimentación de la planta y las calderas.
- Exportación e importación, entregas a ventas y a oleoducto.
- Transferencia, preparación, recirculación, almacenaje y obtención de muestras.
- Alinear, controlar y distribuir los distintos productos que traen los barcos a los tanques de almacenamiento y viceversa.
- Controlar los programas de bombeo de hidrocarburos que se deban ejecutar a los barcos. Asimismo, los programas de importación y exportación de los diversos derivados del petróleo.
- Alinear, medir entregar y recibir los hidrocarburos almacenados en los tanques que se utiliza para ventas en Refinería y el oleoducto.
- Llevar a cabo las operaciones de recepción y entrega de productos almacenados en los tanques que han sido aprobados por el laboratorio, debidamente alineados, medidos y con los marchamados respectivos.
- Controlar permanentemente el inventario de los tanques (3 veces diarias por turno) que se encuentran en su área de trabajo por medio de la indicación automática, medidores manuales u otra herramienta disponible, prevista para ese fin.
- Revisar permanentemente el buen estado de las válvulas de transferencia de todos los tanques y dar mantenimiento a dispositivos.

### **5.4.1 Recirculación de productos**

Los operadores de *Off Site* laboran en tres turnos para garantizar que en todo momento los productos estén en las condiciones requeridas para vender, estos operadores son los encargados de hacer las configuraciones de las válvulas y encender los equipos para transferir o recircular productos.

El asfalto debe permanecer a una temperatura alrededor de 140 °C, para poder ser transferido hacia el departamento de ventas; por esta razón, se bombea de los tanques hacia intercambiadores de calor, los cuales con vapor aumentan su temperatura, para luego regresar al tanque de almacenamiento, de igual forma ocurre con el asfalto.

Las gasolinas llegan a la Refinería incoloras, debido a esta razón se debe preparar agregándoles colorante, y se debe recircular para homogenizar sus constituyentes antes de su comercialización, las bombas y operarios que realizan este procedimiento pertenecen a *Off Site*.

El gas LPG llega al plantel inodoro, razón por la cual se le debe adicionar metilmercaptano que se utiliza para agregar el olor característico, luego de la adición se debe recircular para homogenizar la mezcla.

**Ilustración 3. Intercambiador de calor para elevar temperatura del asfalto**



Fuente: RECOPE, 2015

#### Ilustración 4. Tanques de colorante para gasolinas



Fuente: RECOPE, 2015

#### 5.4.2 Transferencia de productos

*Off Site* también tiene bajo su responsabilidad, la transferencia de productos entre tanques, esto se realiza de acuerdo con el nivel de producto entre cada tanque, o esfera en el caso del gas LPG, los operadores de esta área realizan el alineamiento de válvulas y encendido de equipos para mover los productos.

En la ilustración 5, se muestra algunas de las tuberías de las bombas de asfalto, en las cuales las válvulas deben ser alineadas, dependiendo del tanque del cual se requiera succionar y dependiendo de la bomba que se quiera trabajar.

#### Ilustración 5. Tuberías de asfalto



Fuente: RECOPE, 2015

## **5.5 Equipos de *Off Site***

Entre los principales equipos comprendidos en esta área, están:

- Bombas centrifugas
- Bombas de desplazamiento positivo
- Motores eléctricos
- Motores de combustión interna
- Reductores de velocidad
- Válvulas
- Tuberías
- Turbinas de vapor
- Intercambiadores de calor
- Tanques
- Esferas

En la siguiente sección, se describe en forma general información para bombas hidráulicas, motores eléctricos, motores de combustión interna y reductores de velocidad, ya que estos equipos fueron estudiados en el presente proyecto.

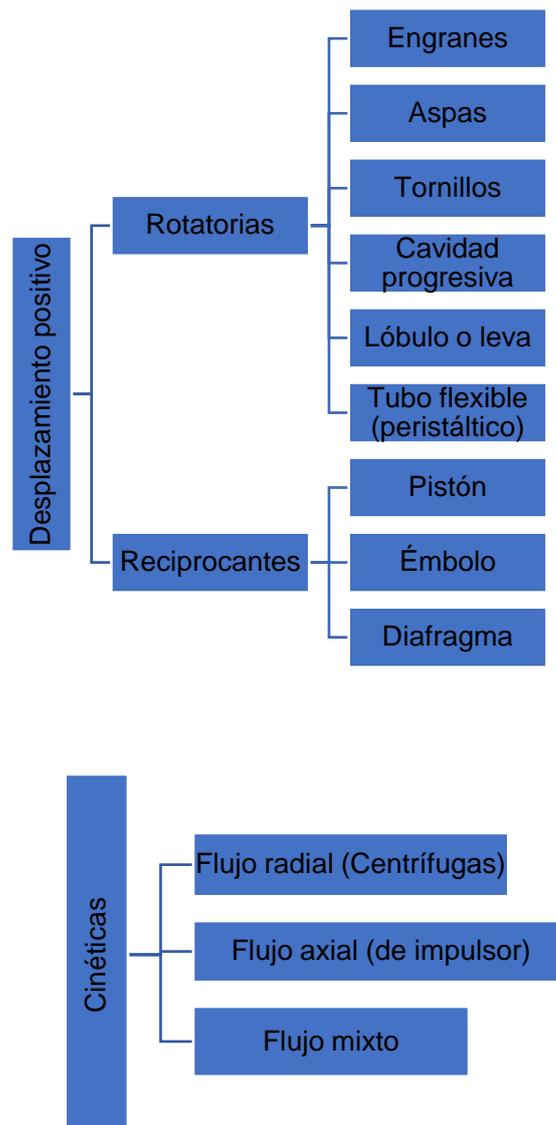
## **5.6 Bombas hidráulicas**

Una bomba hidráulica es una máquina que transforma la energía que recibe (generalmente mecánica) en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve, al incrementar la energía del fluido se incrementa su presión, posición o velocidad. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el concreto.

### **5.6.1 Tipos de bombas**

Una clasificación típica es de acuerdo con el principio de funcionamiento en el cual se basa. En la ilustración 6, se muestra de manera resumida una clasificación de los tipos de bombas.

**Ilustración 6. Clasificación de los tipos de bombas**



Fuente: (Mott, 2006)

### **5.6.1.1 Bombas de desplazamiento positivo**

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa o un tornillo y la carcasa o el cilindro. El movimiento del desplazamiento positivo, consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene

necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

Las máquinas de desplazamiento positivo también se les conocen como volumétricas, ya que siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) u otra que disminuye de volumen (descarga). Las bombas de desplazamiento positivo se clasifican en dos grupos, entre las cuales se encuentran las rotatorias y las recíprocas.

#### **5.6.1.1.1 Bombas rotatorias**

Son máquinas de desplazamiento positivo, provistas de movimiento rotatorio, estas bombas tienen muchas aplicaciones según el elemento impulsor. El fluido sale de la bomba en forma constante, puede manejar líquidos que contengan aire o vapor y líquidos altamente viscosos.

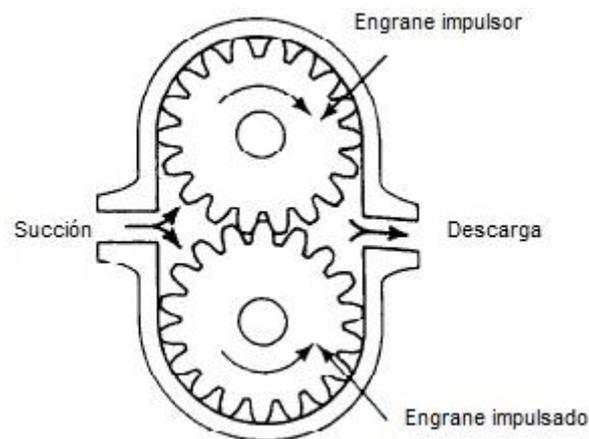
A continuación, se describe los tipos de bombas rotatorias:

##### **✓ Bomba de engranes**

En la ilustración 7, se muestra la configuración más común de una bomba de engranes, utilizada principalmente para aplicaciones de potencia en fluidos. Se compone de dos engranes que giran dentro de una carcasa, en sentido contrario y muy ajustados el uno con el otro. La periferia exterior de los dientes del engrane se ajusta muy bien con la superficie interior de la carcasa. El fluido se conduce entre los dientes, desde el puerto de succión hasta el puerto de descarga donde se envía a alta presión al sistema.

La presión de descarga depende de la resistencia del sistema, y el flujo entregado depende del tamaño de los engranes y de su velocidad de rotación.

### Ilustración 7. Bomba de engranes



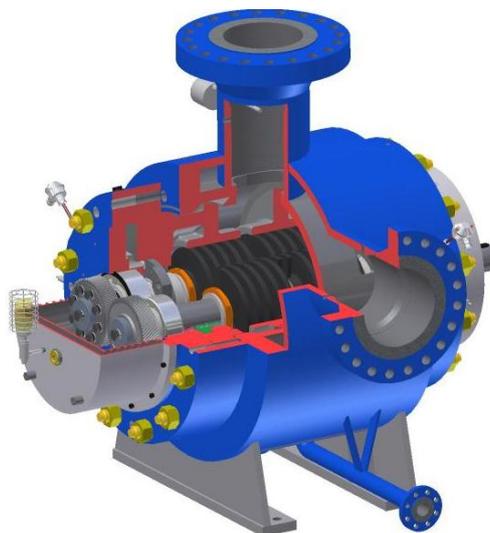
Fuente: (Mott, 2006)

### ✓ Bombas de tornillo

En este tipo de bombas, un rotor de impulso semejante a una espiral, se acopla al rotor impulsado, con lo que se crea un confinamiento dentro de la carcasa, que se mueve en forma axial de la succión a la descarga proporcionando un flujo uniforme y continuo. En la ilustración 8, se muestra una configuración típica de bombas de tornillo.

Este tipo de bombas se utiliza principalmente para mover fluidos altamente viscosos o con gran cantidad de sólidos, sus aplicaciones principales se centran en la industria petrolera.

### Ilustración 8. Bombas de tornillo en corte

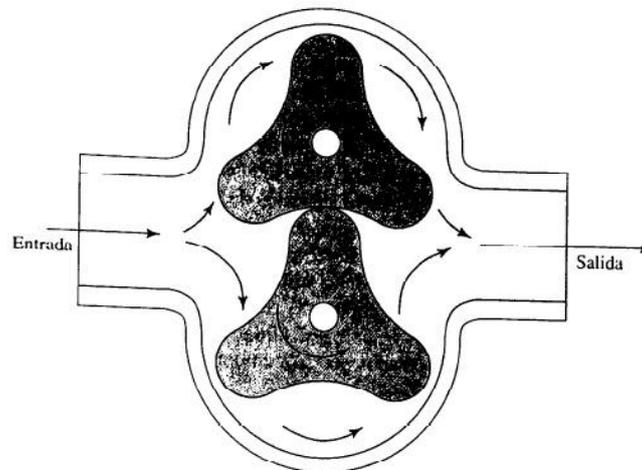


Fuente: (Direct Industry)

### ✓ Bombas de lóbulos

Las bombas de lóbulos también se les conoce como bombas de levas, su funcionamiento es similar a las bombas de engranes, en la ilustración 9 se muestra una bomba de lóbulos, los dos rotores que giran en sentido contrario tienen, dos, tres o más lóbulos que coinciden uno con el otro y se ajustan muy bien en su contenedor, el fluido se mueve alrededor de la cavidad formada entre los lóbulos contiguos.

**Ilustración 9. Bomba de lóbulos**



Fuente: (Mott, 2006)

### 5.6.1.1.2 Bombas recíprocas

En su forma más sencilla, la bomba recíproca emplea un pistón que mueve el fluido hacia un cilindro, a través de una válvula de entrada conforme el pistón se aleja de esta. Después, cuando el pistón es empujado hacia adelante, la válvula de entrada se cierra y el fluido es empujado por una válvula de descarga, una bomba así se denomina *simplex*. Si el pistón es de acción doble o *dúplex*, uno de sus lados impulsa el fluido mientras el otro lo recibe.

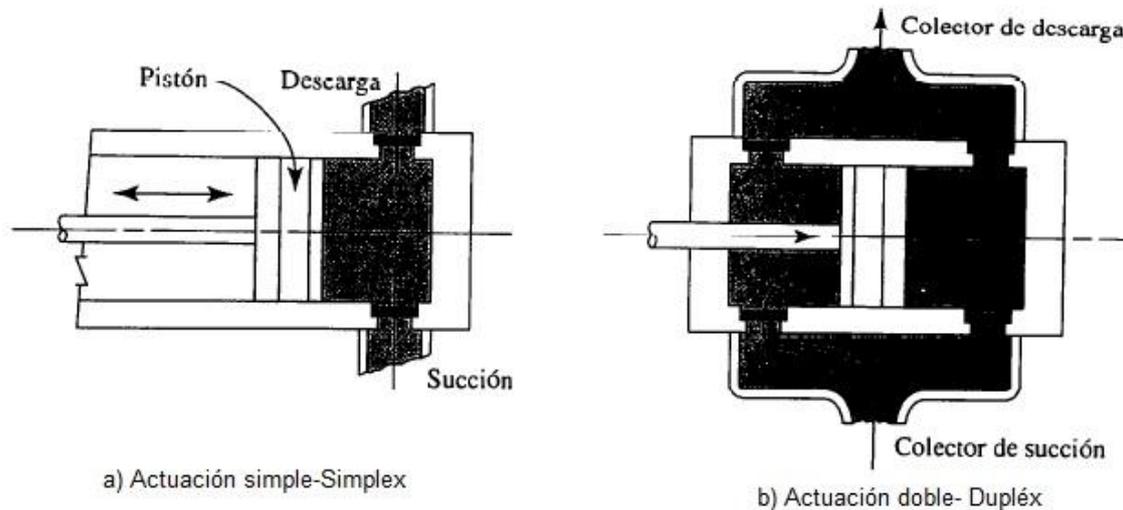
A continuación, se describe los tipos más comunes de bombas recíprocas:

### ✓ Bombas de pistón para transferencia de fluidos

Las bombas de pistón para transferencia de fluidos se clasifican como *simplex* (actuación simple) y *dúplex* (actuación doble). En principio son similares a las bombas de pistón de potencia de fluido, pero es común que tengan una

capacidad de flujo mayor y operen a presiones bajas. Por lo general, operan a través de un impulsor tipo cigüeñal, en vez de la placa de derrame descrita anteriormente. (Mott, 2006)

#### Ilustración 10. Bombas de pistón para transferencia de fluidos



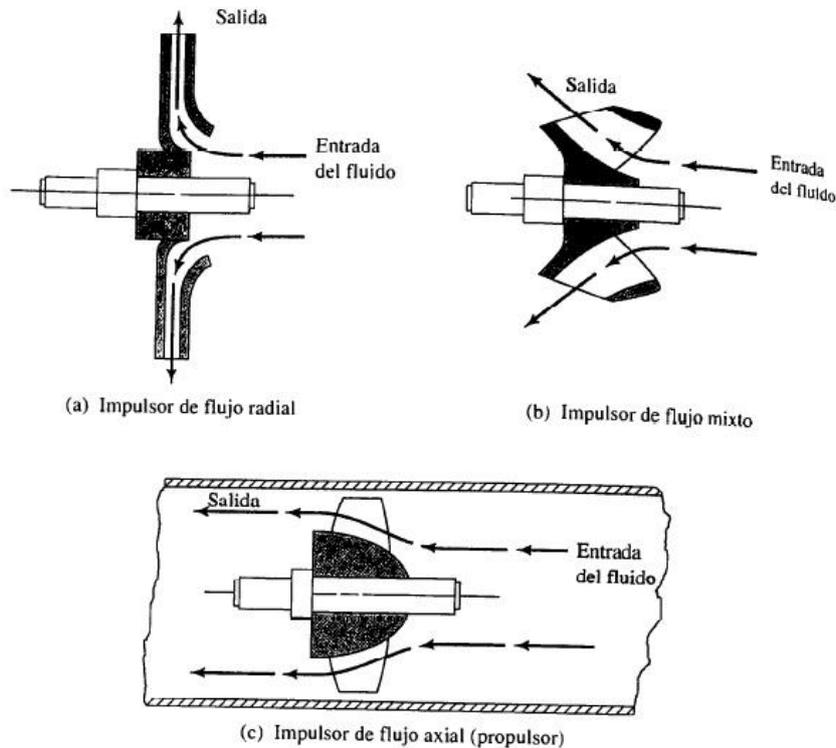
Fuente: (Mott, 2006)

#### 5.6.1.2 Bombas cinéticas

Las bombas cinéticas agregan energía al fluido cuando lo aceleran con la rotación de un impulsor, el fluido es conducido al centro del impulsor y expulsado por las aspas hacia afuera. Al salir de las aspas el fluido pasa por una voluta en forma de espiral, donde baja en forma gradual y ocasiona que parte de la energía cinética se convierta en presión de fluido.

La ilustración 11, muestra el diseño básico de impulsores de flujo radial, axial y mixto. El tipo de impulsor que la bomba tenga (flujo axial) depende de la acción hidrodinámica de las aspas del impulsor para elevar y acelerar el fluido en forma axial, a lo largo de una trayectoria paralela al eje de éste. La bomba de flujo mixto incorpora ciertas acciones tanto del tipo centrífugo axial como del impulsor. (Mott, 2006)

## Ilustración 11. Impulsores para bombas cinéticas



Fuente: (Mott, 2006)

### 5.6.1.2.1 Clasificación de las bombas cinéticas

Existen diversas formas de clasificar las bombas centrífugas, entre las principales se destaca las siguientes:

#### A. De acuerdo con el número de etapas

- ✓ Bombas de una etapa o solo un paso: son aquellas en las cuales la carga dinámica total es desarrollada por un solo impulsor.
- ✓ Bombas de varias etapas o pasos: son aquellas en las cuales la carga dinámica total es desarrollada por más de un impulsor.

#### B. Tipo de succión

#### C. Posición de la flecha

- ✓ Bombas horizontales
- ✓ Bombas verticales

#### **D. Tipo de impulsor**

- ✓ Flujo radial
- ✓ Flujo axial
- ✓ Flujo mixto

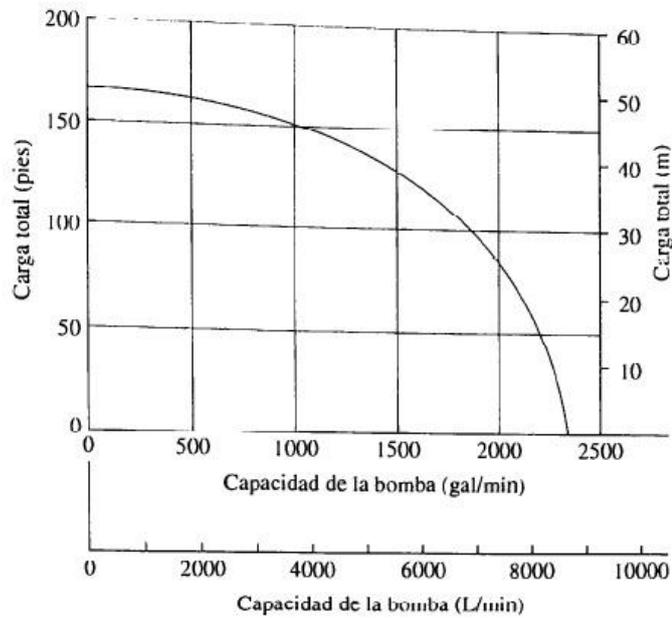
#### **E. Tipo de carcasa**

- ✓ Bombas con carcasa bipartida: la carcasa de la bomba puede estar bipartida horizontal o verticalmente sobre la línea de centros de la bomba, o en cualquier otra dirección radial.
- ✓ Bombas de voluta: son aquellas cuya carcasa está construida en forma de espiral o de voluta.
- ✓ Bombas de carcasa circular: son aquellas cuya carcasa está construida de sección transversal constante, concéntrica con el impulsor.
- ✓ Bombas de difusor: son aquellas provistas de un difusor.

#### **Datos de rendimiento de una bomba centrífuga**

La curva de rendimiento común, grafica la carga total sobre la bomba *versus* la capacidad o descarga, como se observa en la ilustración 12. La carga total representa la cantidad de energía que se agrega a una unidad de peso del fluido conforme pasa por la bomba.

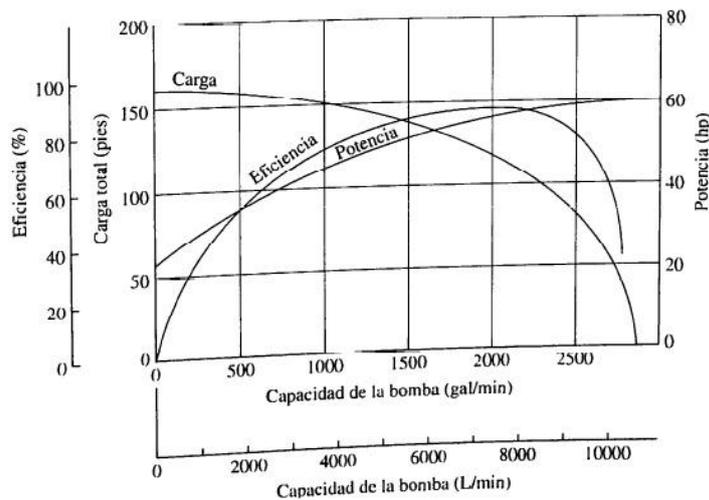
**Ilustración 12. Curva de rendimiento de una bomba centrífuga. Carga total versus capacidad**



Fuente: (Mott, 2006)

Para operar con éxito una bomba centrífuga también son importantes la eficiencia y la potencia requeridas, en la ilustración 13, se presenta una medición más completa del rendimiento de una bomba, en la que se superpone las curvas de carga, eficiencia y potencia y se grafican estas tres versus la capacidad.

**Ilustración 13. Curvas de rendimiento de una bomba centrífuga**



Fuente: (Mott, 2006)

## 5.6.2 Dispositivos de sellado de equipos rotatorios

Los dispositivos de sellado son elementos cuya finalidad es evitar la fuga de un fluido que se puede producir entre dos o más partes de un recipiente que contiene el fluido a presión, mientras este recipiente es atravesado por un eje en movimiento.

A continuación, se describe los tipos más comunes de dispositivos de sellado.

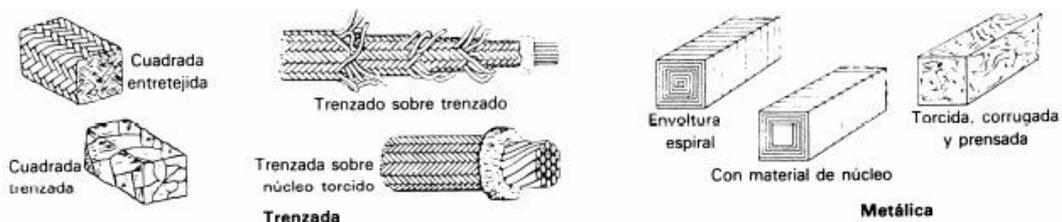
### 5.6.2.1 Empaquetadura

Las empaquetaduras están compuestas por un material fibroso el cual primeramente se trenza, retuerce o mezcla en tiras para luego conformarse como anillos o espirales. Los materiales mayormente utilizados son fibras minerales como asbesto, vidrio, cerámica y metal, también pueden ser sintéticas como el carbón y el teflón.

Anteriormente fueron los dispositivos más utilizados para sellar ejes, sin embargo actualmente se han ido sustituyendo por sellos mecánicos.

En la ilustración 14 se muestra algunos tipos y construcción de las empaquetaduras.

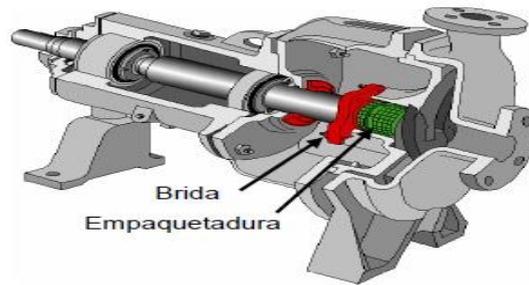
**Ilustración 14. Construcción básica de las empaquetaduras mecánicas**



Fuente: (Arias Caceres, 2008)

En las bombas centrífugas el sellado se realiza mediante anillos de empaquetadura, seguidos uno tras otro separados por un anillo linterna o jaula de sello por el cual se inyecta líquido lubricante, mientras una brida externa sostiene y da empuje a la empaquetadura.

### Ilustración 15. Instalación de empaquetadura en bomba centrífuga



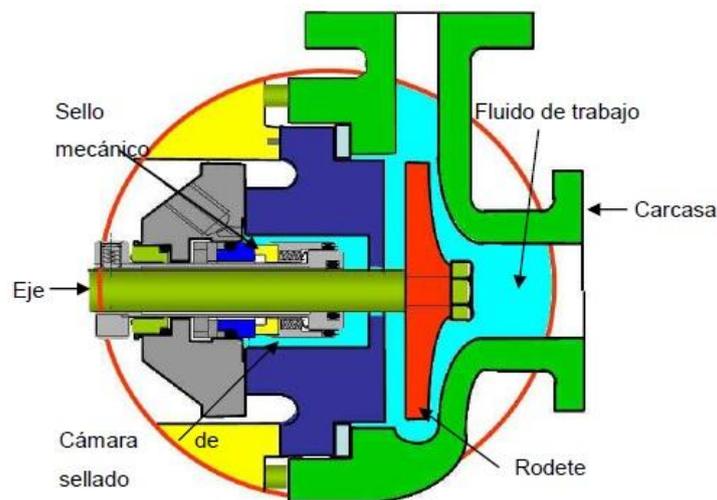
Fuente: (Arias Caceres, 2008)

### 5.6.2.2 Sello mecánico

El sello mecánico es un dispositivo utilizado para sellar ejes rotatorios, y evitar la fuga de un fluido contenido dentro de un recipiente presurizado, mediante el contacto axial de dos superficies perpendiculares al eje, con un movimiento relativo entre sí.

La fuga de fluido por el espacio libre entre el eje de rotación y la abertura en la pared de la cámara de sellado, se evita mediante el contacto axial de las dos superficies llamadas cámaras de sellado.

### Ilustración 16. Sello mecánico



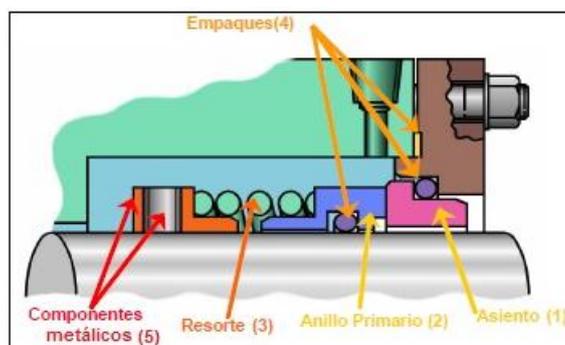
Fuente: (Arias Caceres, 2008)

#### 5.6.2.2.1 Componentes básicos de un sello mecánico

1. Anillo de desgaste fijo (asiento, pista, anillo compañero)
2. Anillo de desgaste móvil (anillo primario, *washer*)

3. Sistema de compensación de desgaste (resorte, fuelle metálico)
4. Elemento sellante secundario (*o'ring*, cuña)
5. Sistema de arrastre o componentes auxiliares para transmitir el movimiento (retenedor, disco, banda de arrastre)

**Ilustración 17. Componentes básicos de un sello mecánico**



Fuente: (Arias Caceres, 2008)

#### 5.6.2.2 Categorías, arreglos y tipos de sellos mecánicos según la norma API 682

##### Norma API 682<sup>2</sup>

Esta norma especifica los requisitos y da recomendaciones para los sistemas de sellado de bombas centrífugas y rotativas utilizadas en los sectores del petróleo, gas natural, y las industrias químicas. Es aplicable principalmente para servicios peligrosos, inflamables y/o tóxicos que se requiere un mayor grado de fiabilidad para la mejora de la disponibilidad de los equipos y la reducción de las emisiones a la atmósfera y los costos de cierre del ciclo de vida. Se proporciona un sistema de clasificación para las configuraciones de sello objeto de esta norma en categorías, tipos, arreglos y orientaciones.

##### Categorías de sellos mecánicos según la norma API 682:

Sello mecánico categoría 1

Sello mecánico categoría 2

Sello mecánico categoría 3

<sup>2</sup> Información tomada del sitio web: <http://www.api.org>

### **Tipos de sellos mecánicos según la norma API 682:**

Sello mecánico tipo A

Sello mecánico tipo B

Sello mecánico tipo C

### **Arreglos de los sellos mecánicos según la norma API 682:**

Arreglo 1

Arreglo 2

Arreglo 3

### **Orientación de los arreglos de sellos mecánicos según la norma API 682:**

Orientación cara-espalda

Orientación espalda-espalda

Orientación cara-cara

#### **5.6.2.2.3 Sistemas de lubricación y enfriamiento de los sellos mecánicos**

Se instala dispositivos auxiliares en los sellos mecánicos para refrigerar o lubricar las cámaras de sellado de los sellos y garantizar una operación más confiable, duradera y segura con el medioambiente. Estos dispositivos permiten separar sólidos, disminuir la temperatura del fluido bombeado antes que llegue a las cámaras de sellado primario, permiten disipar el calor generado por las cámaras de sellado y permiten contener o detener las fugas, para evitar que se liberen al ambiente.

#### **Elementos básicos de un sistema de lubricación o enfriamiento de sellos mecánicos**

A continuación, se describe los componentes principales de un sistema de enfriamiento o lubricación para sellos.

##### **Intercambiador de calor**

El intercambiador de calor se utiliza para disminuir la temperatura del fluido *flush* y evacuar el calor disipado en las cámaras de sellado, el intercambiador de calor puede utilizar agua o aire para su funcionamiento.

## Reservorio

Los reservorios son recipientes metálicos cerrados, pueden ser de acero AISI 304 o AISI 316, se utiliza para contener el fluido como el *flush* y las fugas del fluido bombeado dependiendo del tipo de plan API, puede contener o no el serpentín de enfriamiento del fluido que entra al sello. Los reservorios son utilizados en aplicaciones de sellos dobles con arreglos 2 y 3 donde el líquido que lubrica y enfría al sello circula desde la cámara de sellado hasta el reservorio, impulsado por un anillo de bombeo instalado en la camisa del sello, garantizando el ascenso del fluido desde la cámara de sellado al reservorio.

El fluido contenido en el reservorio puede actuar como fluido barrera o amortiguador que permite controlar una fuga del líquido bombeado impidiendo que este salga al ambiente, el reservorio posee instrumentos como sensores de nivel, sensores de presión, manómetros y válvulas, los cuales pueden observarse en la ilustración 18.

### **Ilustración 18. Reservorio de un sistema de lubricación o enfriamiento de sellos mecánicos**



Fuente: RECOPE, 2015.

#### **5.6.2.2.4 Planes de lubricación y planes auxiliares API**

API es la abreviatura de *American Petroleum Institute*. Básicamente, los planes API son sistemas que permiten modificar el ambiente del sello mecánico, con el objetivo de disminuir la posibilidad de falla del mismo, o bien, en caso de falla, contener al fluido bombeado, evitando contaminación y otros perjuicios.

La API brinda variedad de planes para distintas condiciones de fluidos, ya sea fluidos con abrasivos, fluidos limpios, fluidos a altas temperaturas o fluidos peligrosos, ácidos, tóxicos e inflamables además de distintos planes según la acción requerida: lubricación, enfriamiento, sofoque o seguridad.

A continuación, se describe los planes auxiliares API utilizados para líquidos peligrosos.

#### **Planes auxiliares API utilizados para líquidos peligrosos (ácidos y cáusticos, tóxicos, cancerígenos, explosivos e inflamables)**

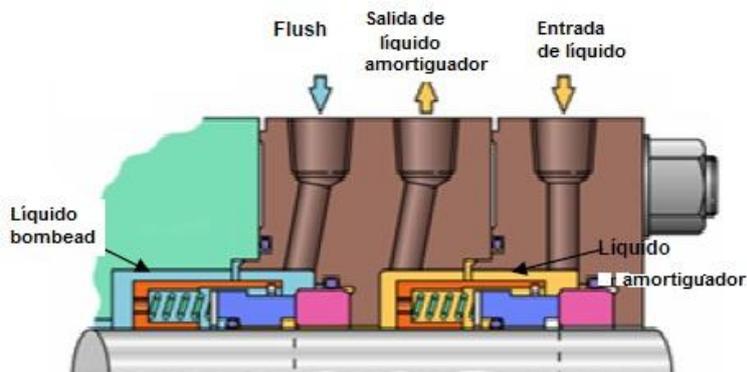
Líquidos peligrosos se considera todos aquellos que por su condición ofrecen riesgos materiales y/o humanos, varían su peligrosidad dependiendo de la dosis o concentración en que son manejados.

A continuación, se describe los planes de protección y lubricación se sellos mecánicos, más comunes.

#### **Plan API 52**

El plan API 52, consiste en una circulación forzada de un líquido amortiguador no presurizado, contenido en un reservorio, desde la cámara del sello al reservorio, impulsado por un anillo de bombeo instalado en la camisa del sello mecánico. El líquido amortiguador lubrica y enfría el sello mecánico externo mientras el sello mecánico interno es lubricado por un plan API que dependerá de las características del fluido bombeado, como se observa en la ilustración 19.

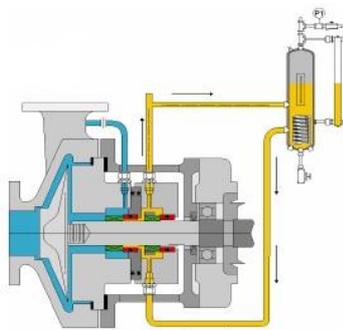
### Ilustración 19. Líquido amortiguador en un sello mecánico con arreglo 2, orientación cara–espalda



Fuente: (Arias Caceres, 2008)

La función del plan API 52, es evitar que el fluido bombeado salga al ambiente, si la fuga se produce por una falla en el sello interno como se muestra en la ilustración 20, el fluido bombeado se mezcla con el líquido amortiguador y se almacenan en el reservorio, como la presión en el reservorio es igual a la atmosférica, la fuga hace que la presión y el nivel de líquido dentro del reservorio aumente, dando una alarma al usuario para poder controlar la fuga.

### Ilustración 20. Plan API 52

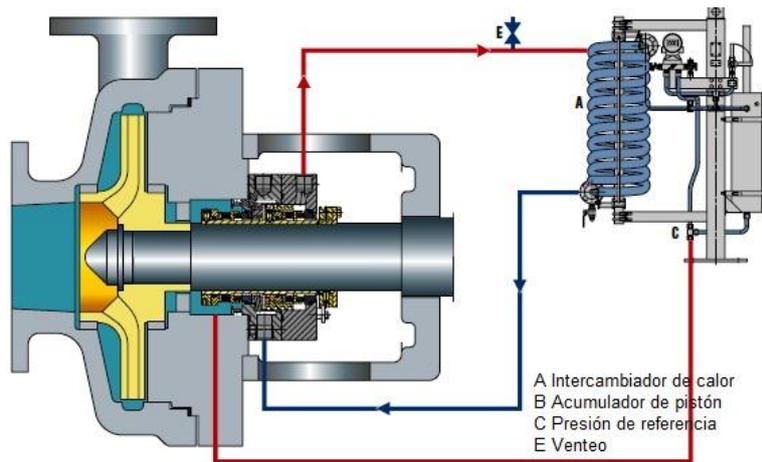


Fuente: (Arias Caceres, 2008)

### Plan 53C

El plan 53C contiene piezas móviles que regulan la presión de barrera como una función de la presión del producto de la bomba. La parte móvil es un pistón de sellado a presión con el medio bombeado. En el otro lado del pistón, el fluido de barrera se presuriza en un cilindro hidráulico a una presión que es mayor que la presión de referencia o de la bomba.

**Ilustración 21. Plan API 53C**

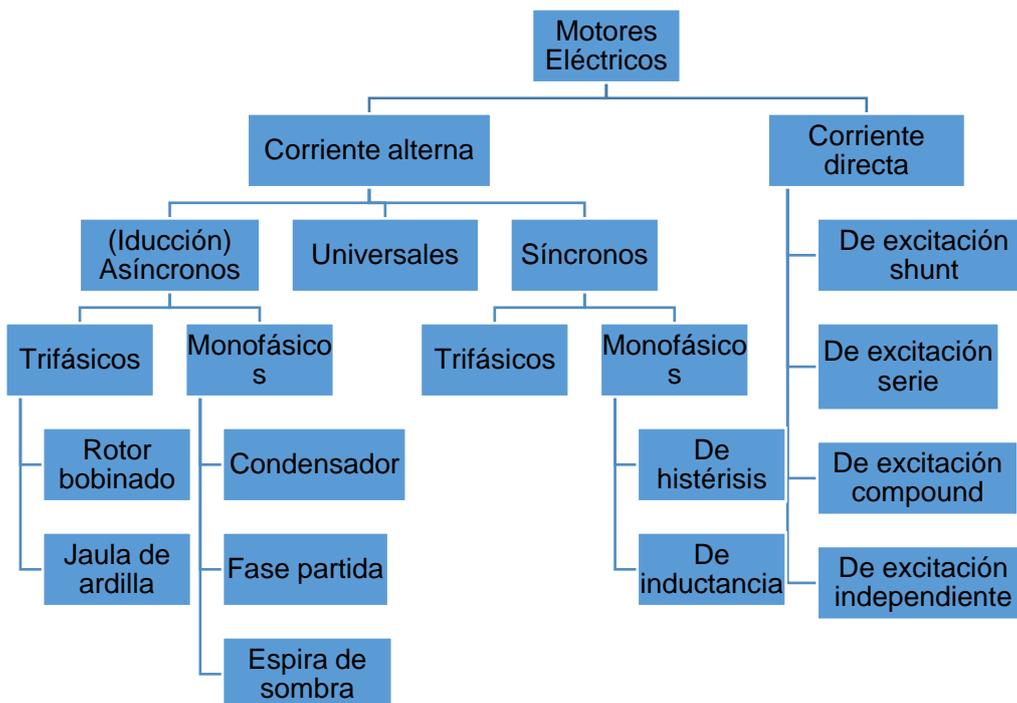


Fuente: (EagleBurgmann)

## 5.7 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas transformadoras de energía, reciben energía eléctrica y la transforman en energía mecánica. A continuación, se muestra una forma de clasificarlos según el tipo de corriente eléctrica de alimentación.

**Ilustración 22. Clasificación de los motores eléctricos**



Fuente: Material didáctico del curso, Máquinas Eléctricas.

### 5.7.1 Motores de corriente directa

Un motor de corriente directa (dc) se compone principalmente de dos partes: El estator da soporte mecánico al aparato y contiene los devanados principales de la máquina, conocidos también, como polos que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa mediante escobillas fijas (conocidas también como carbones).

### 5.7.2 Motores de corriente alterna

Como lo muestra la ilustración 22, los motores de corriente alterna se dividen en tres subgrupos, motores universales, motores de inducción o asíncronos y motores síncronos. Los motores síncronos debido a sus características constructivas y a su costo de construcción y mantenimiento, tienen aplicaciones reducidas, los motores asíncronos tanto monofásicos como trifásicos tienen una aplicación más amplia en la industria. Cada uno de estos tipos de motores de corriente alterna, se describe a continuación.

La velocidad de sincronismo de los motores eléctricos de corriente alterna, está definida por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{60 f}{P}$$

Dónde:

$n$  = Número de revoluciones por minuto

$f$  = Frecuencia eléctrica

$P$  = Número de pares de polos de la máquina

#### 5.7.2.1 Motores síncronos

Los motores síncronos o sincrónicos son máquinas eléctricas cuya corriente de campo magnético es suministrada por una fuente de corriente directa (dc) separada,

puede ser motores trifásicos o motores monofásicos. Su característica principal es que trabajan a una velocidad constante que depende solamente de la frecuencia de la red eléctrica, y de otros aspectos constructivos de la máquina. Tienen la particularidad que al operar sobrecargados consumen potencia reactiva lo que mejora el factor de potencia.

### **5.7.2.2 Motores de inducción o asíncronos**

Una máquina que solo tiene los devanados de amortiguación es llamada máquina de inducción porque el voltaje del rotor (que produce la corriente y el campo magnético del rotor) es inducido en los devanados del motor, en lugar de estar físicamente conectado a través de alambres la característica distintiva de un motor de inducción es que no se requiere corriente de campo dc para operar la máquina. (Chapman, p. 387)

#### **Principio de funcionamiento**

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estatórico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estatórico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

Los motores de inducción se dividen dos tipos, los cuales se describen a continuación:

- Motores de inducción trifásicos

- Motores de inducción monofásicos

### 5.7.2.2.1 Motores de inducción trifásicos

En este tipo de motores, el bobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes desplazados  $120^\circ$  eléctricos entre si y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna, se encuentran de dos tipos:

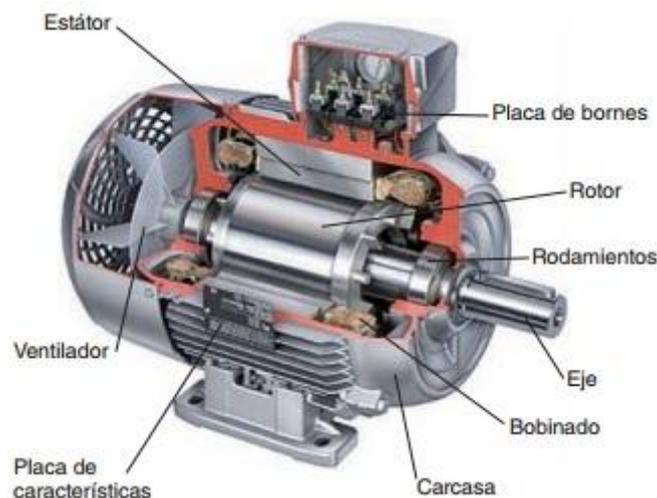
- Rotor en corto circuito (jaula de ardilla)
- Rotor bobinado

#### **Motor con rotor en cortocircuito (jaula de ardilla)**

Este tipo de rotor consiste en una serie de barras conductoras dispuestas entre ranuras labradas en la cara del rotor y cortocircuitadas en cada extremo por anillos de cortocircuitado.

En la ilustración 23, se muestra una sección de un motor eléctrico con rotor de jaula de ardilla.

**Ilustración 23. Sección de motor eléctrico de inducción con rotor de jaula de ardilla**



Fuente: (McGraw-Hill)

Este tipo de motores presentan el inconveniente de absorber una elevada intensidad en el momento de arranque a la tensión de funcionamiento, el momento de rotación es de 1,8 a 2 veces el de régimen y la intensidad absorbida toma valores de entre 5

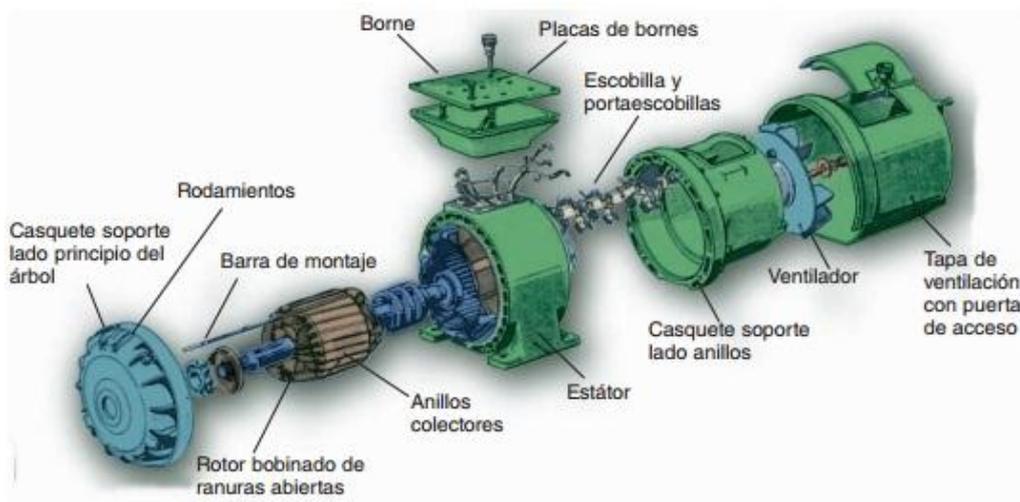
y 7 veces la nominal. Estos aumentos en la intensidad de corriente al momento del arranque presentan ciertos inconvenientes ya que pueden disparar las protecciones o perjudicar las líneas que los alimentan, por estas razones se utilizan métodos para reducir la corriente en el momento de arranque, los cuales son:

- Arranque estrella triángulo
- Arranque mediante autotransformador
- Arranque con resistencias en serie con el bobinado del estator

### Motor con rotor bobinado

En este tipo de motores el rotor es ranurado igual que el estator y en él se coloca un bobinado normalmente trifásico similar al del estator, conectado en estrella y los extremos libres se conecta a tres anillos de cobre, aislados y solidarios con el eje del rotor, sobre los anillos se colocan los portaescobillas los cuales están conectados a la placa de bornes del moto. En la ilustración 24, se muestra el despiece de un motor de inducción con rotor bobinado.

**Ilustración 24. Despiece de motor eléctrico de inducción con rotor bobinado**



Fuente: (McGraw-Hill)

Estos motores presentan la ventaja que el par de arranque puede alcanzar hasta 2,5 veces el par nominal, mientras que la intensidad en el arranque es similar a la nominal. Sin embargo, este tipo de motores tienen aplicaciones muy específicas ya

que debido a su constitución necesita un mantenimiento mucho mayor debido al desgaste asociado a sus escobillas y a sus anillos rozantes.

#### **5.7.2.2.2 Motores de inducción monofásicos**

Los motores de inducción monofásicos presentan la gran desventaja de que el campo magnético no rota debido a que solo hay una fase en el devanado del estator. El campo magnético rotacional nulo implica que tampoco hay par de arranque en un motor monofásico de inducción.

Al no haber par de arranque en un motor monofásico de inducción, se debe utilizar métodos que permitan el arranque de estos motores. Las técnicas de arranque difieren en el costo y en la cantidad de par producido. Existen tres métodos diferentes utilizados en el arranque de motores monofásicos de inducción, los cuales se menciona a continuación:

- Devanados de fase partida
- Devanados con capacitor
- Polos estáticos sombreados

### **5.8 Motores de combustión interna**

Un motor de combustión interna es una máquina capaz de convertir la energía química de un combustible, en energía mecánica, mediante un combustible que se quema en una cámara de combustión.

Actualmente, existen diversos combustibles que pueden ser utilizados por un motor de combustión, siendo la gasolina y el diésel los más utilizados durante décadas.

Los motores de combustión interna se pueden clasificar de diferentes formas, entre ellas están: según la posición de los cilindros ya sea en línea o en "v", según el tipo de combustible, diésel, gasolina o gas y también piden ser clasificados según su funcionamiento en dos o en cuatro tiempos, en el presente trabajo se hará referencia a los motores diésel de cuatro tiempos con cilindros en línea.

### 5.8.1 Funcionamiento de un motor diésel cuatro tiempos

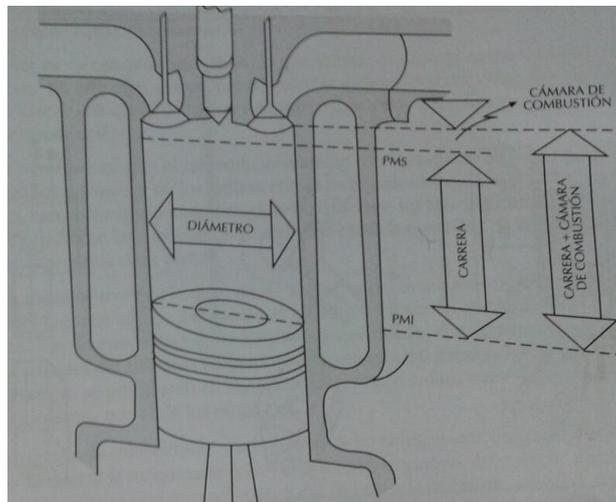
El funcionamiento del motor de combustión interna depende de la frecuencia sucesiva y repetitiva de cuatro etapas o carreras, las cuales constituyen un ciclo, el cual se describe a continuación:

- El cilindro debe ser llenado con mezcla aire-combustible (motor a gasolina), o con aire (motor diésel).
- El aire debe comprimirse.
- Después de comprimido el aire, debe ocurrir la combustión, que genera potencia debido a la expansión de los gases quemados.
- Los gases quemados después de la expansión deben ser evacuados al exterior del cilindro.

A esas cuatro etapas, descritas anteriormente, se les llama técnicamente tiempos o carreras del motor, el pistón es el encargado de ejecutarlas con la ayuda de la biela y del volante.

En la ilustración 25, se muestra el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI) en un cilindro.

**Ilustración 25. Cotas del cilindro**



Fuente: (Alvarado Chávez, 2004)

### **5.8.1.1 Carrera de admisión**

En esta carrera el pistón inicia su recorrido en el PMS y termina en el PMI, la válvula de admisión se encuentra abierta permitiendo el ingreso de aire, mientras que la válvula de escape permanece cerrada.

Las válvulas son operadas por el árbol de levas, la carrera de admisión termina cuando la válvula de admisión se cierra.

### **5.8.1.2 Carrera de compresión**

En esta carrera el pistón se desplaza desde el PMI al PMS, ambas válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas, el aire que entró al cilindro en la carrera anterior, es comprimido a una relación de compresión que puede ser hasta de 1:21 y más dependiendo del diseño del motor.

### **5.8.1.3 Carrera de trabajo o potencia**

Una vez terminada la carrera de compresión, poco antes que el pistón alcance el PMS, mediante inyectores ingresa diésel pulverizado al cilindro, el cual al estar en contacto con el aire a presión y alta temperatura, se enciende sin necesidad de chispa.

La combustión del diésel en presencia del oxígeno aumenta considerablemente la temperatura y la presión dentro de la cámara de combustión o cilindro, esta presión hace que los gases se expandan con fuerza dando al pistón impulso y gran potencia desde el PMS hasta el PMI, con ambas válvulas cerradas.

### **5.8.1.4 Carrera de escape.**

Al terminar la combustión el pistón inicia la carrera desde el PMI al PMS, barriendo con los gases expulsados, en esta carrera la válvula de escape está abierta permitiendo a los gases ser expulsados hacia el exterior, la válvula de admisión permanece cerrada hasta que termine la carrera de escape, en ese momento la válvula de admisión se abre e inicia otro ciclo.

## **5.8.2 Sistemas auxiliares del motor de combustión de diésel**

### **5.8.2.1 Sistema de lubricación**

Las superficies por más pulidas que sean siempre presentan cierta rugosidad, en los motores de combustión interna existen piezas metálicas que se mueven y giran rozando metal con metal, esto provoca un aumento en la temperatura, de tal modo que si no se lubrica o enfría pueden llegar inclusive a fundirse. El rozamiento además de aumentar la temperatura provoca un desgaste de las superficies en contacto.

El sistema de lubricación del motor tiene como función principal enviar lubricante a todas las piezas del motor que lo requieran además de enfriarlo y filtrarlo para su recirculación, con el fin de reducir la fricción entre superficies metálicas para disminuir su temperatura y su desgaste.

#### **5.8.2.1.1 Funciones del sistema de lubricación**

El lubricante empleado también tiene funciones adicionales que se listan a continuación:

- Disminuir el rozamiento y desgaste entre piezas con movimiento relativo.
- Mantener fuera del sistema la suciedad producto de la combustión.
- Sellar espacio entre anillos y cilindro.
- Colaborar en la disminución de la temperatura del motor.
- Evitar la corrosión.

#### **5.8.2.1.2 Partes principales de un sistema de lubricación**

El sistema de lubricación está compuesto por las siguientes partes:

- Carter
- Bomba de aceite
- Filtro en la entrada de la bomba de aceite
- Válvula de descarga

- Filtro de aceite
- Enfriador de aceite
- Control de presión

### **5.8.2.2 Sistema de enfriamiento**

Producto de la combustión interna se genera gran cantidad de calor, suficiente para fundir las piezas del motor que están en contacto directo con los gases de combustión; además, de producir una degradación y hasta carbonización del aceite de lubricación lo cual afectaría las piezas lubricadas. Por estas razones, se emplea un sistema de enfriamiento o refrigeración del motor que ayuda a evacuar el calor producido por el motor y evitar sobrecalentamiento.

#### **5.8.2.2.1 Funciones del sistema de enfriamiento**

- Ayudar al motor a alcanzar la temperatura normal de trabajo después del arranque.
- Evacuar el exceso de calor producido en la combustión.
- Mantener la temperatura óptima de funcionamiento.

El sistema de enfriamiento puede ser de dos tipos:

- Por aire
- Por líquido

#### **5.8.2.2.2 Partes principales de un sistema de enfriamiento por líquido**

- Bomba de refrigerante
- Radiador con tapón
- Ventilador
- Termostato

### **5.8.2.3 Sistema de alimentación de combustible**

El sistema de alimentación de combustible es el encargado de inyectar en los cilindros la cantidad de diésel correcta para la combustión, en el momento oportuno. El tiempo de inyección es controlado por una computadora o unidad de control

electrónico, la cual para su funcionamiento recibe información de una serie de sensores, a partir de esta información realiza los cálculos sobre la cantidad de diésel que necesita el motor y el tiempo de inyección.

En los motores de diésel la inyección puede ser de dos tipos:

- Inyección directa: El diésel es inyectado sobre la cabeza del pistón.
- Inyección indirecta. El diésel se inyecta en cavidades llamadas precámaras.

#### **5.8.2.3.1 Partes principales de un sistema de inyección de diésel**

- Tanque de almacenamiento de combustible
- Filtros
- Bomba de transferencia
- Bomba de inyección
- Inyectores
- cámara de inyección

#### **5.8.2.4 Sistema de admisión de aire**

El sistema de admisión de aire es el encargado de proveer al motor la cantidad correcta de aire y oxígeno limpio, necesario para ser comprimido y para su posterior combustión al inyectar el combustible.

Muchos motores traen sistemas de sobrealimentación de aire, los cuales se les conoce como turbocargadores.

##### **5.8.2.4.1 Turbocargadores**

El turbocargador es un compresor centrífugo, accionado por una turbina que es impulsada por los gases de escape del motor, este compresor tiene la misión de comprimir el aire y forzarlo a entrar en los cilindros durante la carrera de admisión, para introducir la mayor cantidad posible de aire para aumentar la eficiencia volumétrica y rendimiento del motor.

### **5.8.2.5 Sistema de escape**

El sistema de escape es el encargado de evacuar y tratar adecuadamente los gases producto de la combustión interna.

Este conjunto de elementos va desde el motor hasta el exterior y libera los gases al ambiente.

#### **5.8.2.5.1 Funciones del sistema de escape**

Canalizar y evacuar los gases de la combustión del diésel.

Asegurar la descontaminación y reducción de humos.

Reducir la temperatura de los gases de combustión.

Disminuir el nivel sonoro.

#### **5.8.2.5.2 Partes principales de un sistema de escape.**

- Conducto de escape
- Silenciador
- Catalizador

## **5.9 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

El RCM o *Reliability Centered Maintenance*, fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como la Boeing (constructora de aviones). Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el RCM como la filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El éxito del RCM en el sector de aviación ha permitido que otros sectores, tales como el de generación de energía (plantas nucleares y centrales termoeléctricas), petroleros, químicos, gas, refinación y la industria de manufactura, se interesen en implementar esta filosofía de gestión del mantenimiento, adecuándolas a sus necesidades operacionales. (Amendola, 2010)

Entre los impulsores más reconocidos del RCM se encuentra John M. Moubray, quien define RCM como un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

El RCM sirve como guía para la elaboración de un plan de mantenimiento, permite identificar las actividades de mantenimiento y sus respectivas frecuencias, a los activos más importantes dentro de un contexto operacional.

### **5.9.1 Equipo de trabajo**

El análisis RCM debe ser realizado por un grupo de trabajo formado por personal de mantenimiento y de operaciones, que permite responder y analizar todas las preguntas generadas dentro del análisis y referentes al funcionamiento de los equipos, además de permitir la experiencia y conocimiento de los miembros del equipo.

En la ilustración 26, se muestra un equipo típico de trabajo en donde al menos debe haber una persona de mantenimiento y otra de operaciones.

## Ilustración 26. Equipo natural de trabajo



Fuente: (Amendola, 2010)

El facilitador es una persona entrenada en RCM, quien se encarga del entrenamiento del grupo de trabajo, tiene las siguientes funciones:

- Asegurar que el RCM se aplique correctamente, realizando las preguntas de forma correcta y en el orden previsto asegurando que todos los miembros comprendan.
- Asegurar que las reuniones progresen razonablemente sin ignorar equipos o componentes críticos.
- Asegurar que todo el personal involucrado llegue a un consenso general cuando existan diferencias de criterios.
- Asegurar que la información generada sea recopilada y debidamente documentada.

### 5.9.2 Pasos para la aplicación del RCM

La metodología RCM propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, se propone siete preguntas básicas que deben ser analizadas y contestadas por el equipo de trabajo, la información generada se recopila y almacena en hojas de información.

En la tabla 2, se muestran las 7 preguntas básicas del RCM.

**Tabla 2. Las siete preguntas básicas del RCM**

No.	Descripción	Paso
1	¿Cuáles son las funciones?	Funciones y criterios de funcionamiento
2	¿De qué forma falló?	Fallos funcionales
3	¿Qué causa el fallo?	Modos de fallo
4	¿Qué sucede cuando hay fallo?	Efectos de los fallos
5	¿Qué ocurre si falla?	Consecuencias de los fallos
6	¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?	Tareas preventivas
7	¿Qué sucede si no pueden prevenirse los fallos?	Tareas a “falta de”

Fuente: (Amendola, 2010)

La estructura o formato que se utiliza en el presente proyecto es una variación a la hoja de información tradicional, este formato elaborado por el Ingeniero Jorge Valverde Vega, Profesor de la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se muestra en el Anexo 2.

En los próximos apartados, se realizará una explicación sobre la manera como se deben contestar las preguntas vistas en la tabla anterior, además de la forma de llenar el formato de la hoja de información a utilizar.

### 5.9.2.1 Funciones

Para redactar una función de manera completa se debe procurar hacerlo manteniendo la siguiente estructura: “Una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.” (Moubray, 2004). Las respuestas a esta primera pregunta se deben colocar en la segunda columna, dejando la primera columna para una numeración consecutiva de las funciones.

**Ilustración 27. Llenando funciones en la hoja de información RCM**

FUNCION	
1	

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

### 5.9.2.2 Fallas funcionales

“Se define “falla” como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.” (Moubray, 2004, p. 49).

Una falla funcional puede ser de carácter total cuando abarque la pérdida de la función en forma total o puede ser una falla funcional parcial cuando el activo puede cumplir con la función, pero fuera de los estándares de funcionamiento deseados.

Las fallas funcionales se deben anotar en la segunda columna de la hoja de información, dejando una primera columna para anotar un código alfabético correspondiente a cada falla.

**Ilustración 28. Llenando fallas funcionales en la hoja de información RCM**

FALLA FUNCIONAL	
A	

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

### 5.9.2.3 Modos de falla

“Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.” (Moubray, 2004, p. 56). Se debe prestar especial atención en los verbos utilizados para redactar modos de falla, de manera que permitan identificar una forma de manejar la falla.

Antes de redactar los modos de falla para cada falla funcional, se debe definir las subpartes de la máquina donde se presenta cada modo de falla, en la ilustración 49 se muestra parte del formato de la hoja RCM utilizada, donde se debe completar la información para este paso.

### Ilustración 29. Llenando modos de falla en la hoja de información RCM

SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA		
	1	I			
	2	E			

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

Dentro de la columna de los modos de falla, se coloca una primera columna donde se anota una numeración consecutiva correspondiente a cada modo de falla, en la segunda columna se indica si el modo de falla es interno o externo al sistema de análisis.

En la tabla 3, se resume el tipo de modo de falla.

**Tabla 3. Tipos de modos de falla**

Tipo de modo de falla		
I	Interno	El modo de falla ocurre dentro de los límites del sistema en análisis
E	Externo	El modo de falla ocurre fuera de los límites del sistema en análisis

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

Junto a los modos de falla se ubica una columna llamada causas la cual se puede dividir en dos, tres o más subcolumnas dependiendo del nivel de profundidad necesario para poder llegar a la causa raíz que origina la falla y así poder controlarla. “Cuando se listan modos de falla, no debe tratarse de listar todos y cada uno de ellos ignorando la probabilidad de ocurrir que tiene cada uno.” (Moubray, 2004).

#### 5.9.2.4 Efecto de los fallos

“Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla.” (Moubray, 2004). Los efectos de los fallos se deben registrar cuando se analice cada modo de falla, este paso permite identificar qué pasaría si ocurre cada modo de falla, este paso permite determinar la importancia de cada fallo y determinar qué nivel de mantenimiento sería necesario.

La columna de los efectos de los fallos está dividida en tres subcolumnas, la primera corresponde a una numeración consecutiva de los efectos, mientras que la segunda se utiliza para indicar el tipo de consecuencias, las cuales se describen en el siguiente apartado. En la tercera columna se describe el efecto, en el cual se debe hacer constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido la falla.
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medioambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.

**Ilustración 30. Llenando los efectos en la hoja de información RCM**

EFECTO		
1	3	
2	5	

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

### 5.9.2.5 Consecuencias de los fallos

Las consecuencias de los fallos se anotan en la segunda columna de los efectos, para obtener las consecuencias se puede preguntar: ¿Cómo y cuánto importa cada fallo? esto con el fin de determinar si se debe prevenir cada falla y con qué nivel de esfuerzo. En la tabla 4, se muestra el tipo de efecto con su numeración correspondiente.

**Tabla 4. Tipos de consecuencias del modo de fallo**

Tipos de efecto	
1	La seguridad de las personas
2	El medioambiente
3	La eficiencia de la producción
4	Las pérdidas del producto
5	La calidad del producto
6	La propia máquina

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

### 5.9.2.6 Acciones proactivas y reactivas

Como producto del análisis RCM, se obtienen acciones que permitan manejar los modos de falla, estas acciones se deben ajustar según sea el grado de impacto del modo de falla, se dividen en las siguientes categorías:

Tareas proactivas: estas tareas se llevan a cabo antes que ocurra una falla, con el fin de prevenir que el componente llegue a un estado de falla, abarcan técnicas predictivas (mantenimiento basado en condición), preventivas (inspecciones, sustituciones cíclicas y reacondicionamientos cíclicos).

Acciones a falta de: estas tareas son elegidas cuando no es posible encontrar una tarea proactiva efectiva, tratan con el estado de falla en vez de prevenirse. Estas acciones incluyen rediseños y acciones reactivas basadas en mantenimiento correctivo.

Las acciones proactivas se anotan en la última columna de izquierda a derecha de la hoja RCM, esta columna se divide en tres subcolumnas, la primera corresponde a una numeración consecutiva de las acciones y la segunda se refiere al tipo de acción proactiva (ver tabla).

**Ilustración 31. Llenando las acciones proactivas en la hoja de información RCM**

ACCION PROACTIVA		
1	3	
2	1	

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

**Tabla 5. Tipos de acciones proactivas**

Tipos de acción proactiva	
1	Inspección mantenimiento predictivo
2	Inspección mantenimiento preventivo
3	Procedimiento de operación
4	Trabajo de rediseño
5	Mantenimiento correctivo, ninguna acción proactiva de mantenimiento. Dejar fallar.

Fuente: Formato Ing. Jorge Valverde V.

## 5.10 Indicadores de clase mundial en mantenimiento

Indicadores de mantenimiento son parámetros numéricos que permiten medir la gestión del mantenimiento, desde el punto de vista de gestión de equipos y gestión de costos.

Los indicadores de clase mundial para mantenimiento se dividen en dos subgrupos, para gestión de equipos y gestión de costos.

### 5.10.1 Indicadores para la gestión de equipos

#### 5.10.1.1 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Sus letras provienen de *Meantime Between Failure*, se refiere al tiempo promedio entre dos fallas de un elemento en un contexto de funcionamiento dado.

Para un solo ítem puede expresarse de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{Cf}$$

Fuente: (Pistarelli, 2010)

Si se requiere analizar un conjunto de equipos independientes puede aplicarse la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{(T_o * n) - \sum_{i=1}^n T_{np(i)}}{\sum_{i=1}^n Cf_i}$$

Fuente: (Pistarelli, 2010)

Dónde:

To = Tiempo establecido para operar.

Tnp = Tiempo por paradas no programadas.

Cf = Número total de fallas durante el tiempo de operación.

n = Cantidad de equipos.

### 5.10.1.2 Tiempo medio para la falla (MTTF)

Sus letras provienen de *Meantime to Failure*, se refiere al tiempo promedio para la falla, el MTTF de una población estadística de unidades en funcionamiento (con reposición luego de cada falla), se calcula de la siguiente forma:

$$MTTF = \frac{T_o * n}{\sum_{i=1}^n Cf_i}$$

Fuente: (Pistarelli, 2010)

Dónde:

To = Tiempo establecido para operar.

Cf = Número total de fallas durante el tiempo To.

n = Cantidad de unidades activas.

### 5.10.1.3 Tiempo medio para reparar (MTTR)

Sus letras provienen de *Meantime to Repair*, corresponde a la relación entre el tiempo total de intervenciones por restauración y la cantidad total de reparaciones, matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{T_{tr}}{C_r}$$

Fuente: (Pistarelli, 2010)

Dónde:

Ttr = Tiempo de intervenciones por restauración.

Cr = Número total de reparaciones.

### 5.10.1.4 Disponibilidad operacional

Se define disponibilidad operacional de un equipo, conjunto de equipos o línea de producción, al porcentaje del tiempo en que estuvo disponible para el proceso de operación en las condiciones de seguridad y calidad establecidas. (Pistarelli, 2010)

La disponibilidad operacional queda definida por:

$$D_o = \frac{(T_o - T_{np})}{T_o} \times 100$$

Fuente: (Pistarelli, 2010)

El  $T_o$  no tiene en cuenta el tiempo para mantenimiento programado o cualquier otro aspecto productivo como cambio de marca, calibre, etc.

### 5.11 Análisis de criticidad

Un análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

El análisis de criticidad puede ser utilizado en diferentes campos ya sea en inspección, materiales, personales, disponibilidad de la planta mantenimiento.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

#### ***Criticidad: Frecuencia X Consecuencia***

Fuente: (Amendola, 2010)

La frecuencia está relacionada con el número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado mientras que la consecuencia está relacionada con el impacto y flexibilidad operacional, los costes de reparación, impactos en la seguridad y ambiente.

Los criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad son los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costes (reparación y mantenimiento)
- Tiempo medio para reparar
- Frecuencia de falla

### **5.11.1 Análisis de criticidad en el ámbito del mantenimiento**

Permite de manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento ya sean de tipo preventivo, correctivo, predictivo e incluso rediseños, esto al establecer cuáles sistemas son más críticos.

En la tabla 6, se muestran los criterios de evaluación, utilizados para el análisis de criticidad.

El modelo estándar de encuesta utilizado en la industria de la energía se muestra en el anexo 3.

**Tabla 6. Criterios de evaluación de criticidades**

		Programación y control de mantenimiento Confiabilidad operacional Tabla de valores de criticidad	
Guía de criticidad			
<b>1. FRECUENCIA DE FALLA</b>			<b>Puntaje</b>
No más de uno por			1
Entre 2 y 12 por			3
Entre 13 y 52 por			4
Más de 52 por año (más de una interrupción semanal)			6
<b>2. IMPACTO OPERACIONAL</b>			
<b>2.1 NIVEL DE PRODUCCIÓN (de la instalación)</b>			<b>Puntaje</b>
CRUDO	GAS	GABARRAS'OTR	
0-100 bbl/día	0-0,2 MMPCN/día	Menos de 10	1
101-1000 bbl/día	0,2-20 MMPCN/día	11-23	2
1001-5000 bbl/día	20-100 MMPCN/día	23-40	4
5001-10000 bbl/día	100-200 MMPCN/día	40-60	6
10001-20000 bbl/día	200-400 MMPCN/día	60-80	9
Más de 20000 bbl/día	Más de 400 MMPCN/día	80-100	12
<b>2.2 TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)</b>			<b>Puntaje</b>
Menos de 4			1
Entre 4 y 8			2
Entre 9 y 24			4
Más de 24 horas			6
<b>2.3 IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN (por falla)</b>			<b>Puntaje</b>
No afecta			0,05
25% de			0,3
50% de			0,5
75% de			0,8
La impacta totalmente			1
<b>2.4 COSTO DE REPARACIÓN</b>			<b>Puntaje</b>
Menos de 25 MMBs			3
Entre 25 y 50 MMBs			5
Entre 51 y 100 MMBs			10
Más de 100 MMBs			25
<b>2.5 IMPACTO EN LA SEGURIDAD PERSONAL (cualquier tipo de daños, heridas, fatalidad)</b>			<b>Puntaje</b>
SI			35
NO			0
<b>2.6 IMPACTO AMBIENTAL</b>			<b>Puntaje</b>
SI			30
NO			0

Ecuación de criticidad

$[(\text{Nivel Prod.} \times \text{TPPR} \times \text{Imp. Prod.}) + \text{Costo Rep.} + \text{Imp. Seg.} + \text{Imp. Amb}] \times \text{Frec. Falla}$

Fuente: (Amendola, 2010)

## **6 Desarrollo del manual de mantenimiento preventivo basado en RCM**

### **6.1 Selección de los equipos a analizar**

El presente trabajo se realiza a solicitud del departamento de mantenimiento, para los equipos de bombeo del área de *Off Site*, cabe mencionar que en el presente trabajo los equipos de *Off Site* hacen referencia únicamente a los equipos de bombeo de *Off Site* ya que en esta área hay más equipos que cumplen otras funciones y no son contemplados en el análisis.

La selección de los equipos a contemplar en el estudio, se hace con base en un análisis de criticidad realizado a los equipos que presentaron fallas en el periodo comprendido del 01 de enero del 2014 al 30 de junio del 2014, este periodo se escoge por recomendación técnica del personal de mantenimiento, debido a que es el más reciente para el cual se tienen todos los datos almacenados en el sistema, estos datos de órdenes de trabajo se cargan al software, en este caso Tricom y para el segundo semestre del año 2014 aún no han sido cargados en su totalidad.

El análisis de criticidad se basó en el método expuesto en el libro *Gestión de proyectos y activos industriales* de Luis José Amendola, se eligió esta metodología porque plantea un modelo de criticidad estándar utilizado en industrias de energía, el cual se ajusta muy bien a la industria a la cual pertenece RECOPE, además de permitir relacionar siete criterios diferentes que permiten asignar un puntaje de criticidad a cada equipo y poder identificar cuales equipos tienen un mayor impacto en el proceso productivo.

Como parte de la metodología seleccionada a partir de la encuesta de criticidad se asigna un puntaje de criticidad a cada equipo, el cual permite generar un gráfico de barras que resume y muestra los equipos con sus respectivos puntajes.

La metodología seleccionada sugiere subdividir el gráfico de criticidad en tres zonas: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. En el Anexo 3, se muestra un gráfico con los resultados del análisis de criticidad realizado, en este se identifica cual es la zona de alta criticidad y a partir de ahí se seleccionan los equipos que entran en el análisis RCM, estos equipos se listan en la tabla 7.

Para este análisis se entrevistó a personal del departamento de *Off Site*, quienes están directamente relacionados con el funcionamiento de los equipos.

Los criterios utilizados para realizar el análisis de criticidad fueron los mostrados en la tabla 6 de la sección 5.11.1.

**Tabla 7. Equipos más críticos en *Off Site***

Equipos más críticos	Puntaje de criticidad
YP-791	288
YP-754	288
YP-952-C	288
YP-781-A	275,4
YP-781-B	273,6
YP-781-D	273,6
YP-952-B	244,8
YP-781-C	230,4

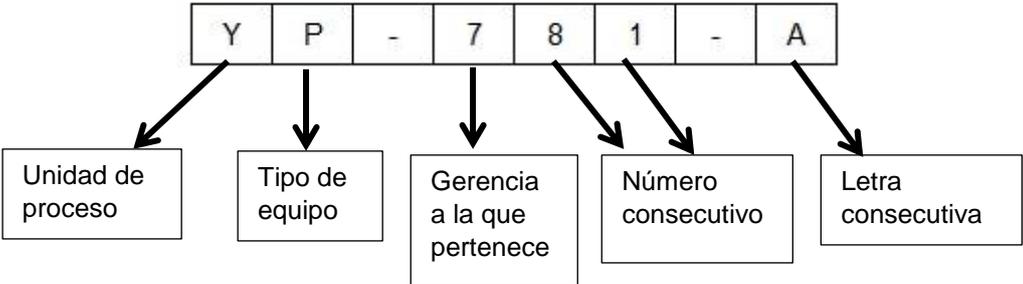
Fuente: Elaboración propia.

Los equipos más críticos se analizaron mediante la metodología RCM con el objetivo de crear planes de mantenimiento que posteriormente se puedan aplicar también a equipos similares y que operan en un contexto operativo similar.

**6.2 Codificación de los equipos**

La empresa tiene un sistema de codificación el cual se respetara en el presente proyecto, la codificación para todo el equipo (conjunto motor, bomba, reductor) se detalla a continuación.

**Ilustración 32. Codificación de quipos**



Fuente: Elaboración propia

Para el equipo anterior se tiene:

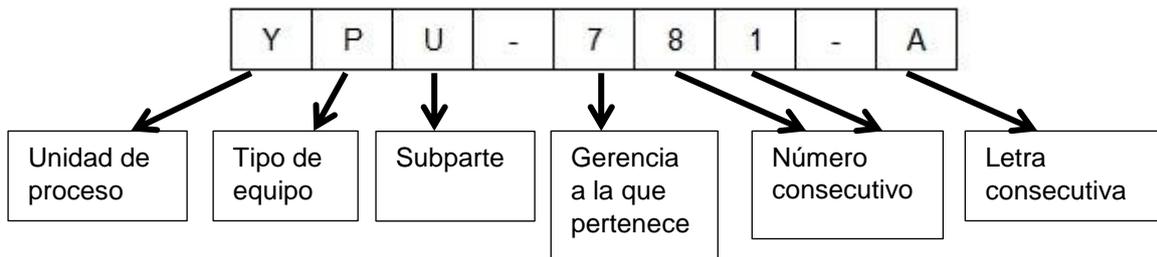
**Ilustración 33. Ejemplo de codificación de equipos**

Código	Significado
Y	Patio ( <i>Off Site</i> )
P	Bomba
7	Gerencia de Refinación
81	Número Consecutivo
A	Letra consecutiva para equipos paralelos

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, existe una codificación para las partes o componentes de un equipo, este código se utiliza en el sistema Tricom para diferenciar a cual parte del equipo se le da mantenimiento o se le asignan los planes de mantenimiento creados, esta codificación es igual a la descrita anteriormente solamente que se le adiciona una letra para identificar de cual parte se trata, en la siguiente ilustración se muestra un ejemplo con el mismo equipo anterior con la diferencia que se adiciona la letra “U” esta significa válvulas y tuberías.

**Ilustración 34 Codificación de partes o componentes de un equipo**



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se muestra los códigos utilizados para cada parte de un equipo:

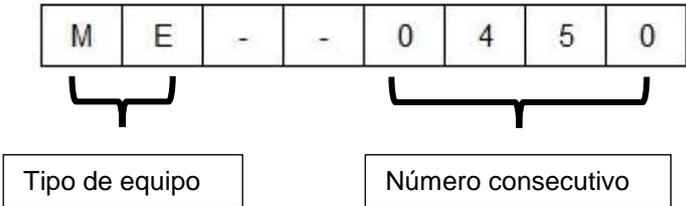
**Tabla 8. Nomenclatura utilizada en Tricom para subpartes de equipos**

Subparte	Código
Motores eléctricos	M
Motores de combustión	I
Bombas	P
Reductores de velocidad	R
Válvulas y tuberías	U
Instrumentación	X

Fuente: Elaboración propia.

También, se utiliza otro sistema de codificación individual para cada equipo que conforma el conjunto, es decir, se tiene una codificación para motores eléctricos, motores de combustión, bombas y reductores. Primero, se utilizan dos letras para identificar el tipo de equipo seguido de un guión medio y de un número consecutivo. En la ilustración 35, se muestra un ejemplo de dicha codificación.

**Ilustración 35. Codificación individual de equipos**



Fuente: Elaboración propia.

El tipo de equipo en este caso se refiere a motores eléctricos, en la siguiente ilustración se muestran los tipos de equipos y su respectivo código.

**Tabla 9. Nomenclatura para tipos de equipo**

Tipos de equipo	Código
Motores eléctricos	ME
Motores de combustión	MC
Bombas	BO
Reductores de velocidad	RE

Fuente: Elaboración propia.

Como parte del proyecto se revisó en el sistema que el código asociado a cada equipo coincidiera con el equipo que actualmente está en el campo, ya que se han realizado modificaciones o sustituciones de equipos y no se actualizan en el sistema.

Los equipos presentes en el campo que no coincidieron con los equipos registrados en el sistema, se codificaron y se agregaron en el software de mantenimiento, además se realizaron etiquetas con el código de cada equipo. En el anexo 5 se muestran fotografías de las etiquetas realizadas y puestas en cada equipo.

### 6.3 Cálculo de la disponibilidad operacional

Tricom tiene la opción de hacer el cálculo de la disponibilidad de los equipos que tiene registrados, para realizar este cálculo se basa en la información contenida en las órdenes de trabajo asociadas a cada equipo, sin embargo se presentan algunos inconvenientes que son identificados y analizados en la sección 7, por esta razón los datos de disponibilidad que se presentan, tienen errores inducidos.

En el anexo 4, se presenta información sobre el cálculo de la disponibilidad en el sistema Tricom.

La ecuación utilizada para el cálculo de la disponibilidad operacional, se presentó en la sección 5.10.1.4.

En el anexo 6 se muestra la disponibilidad de cada equipo del área *Off Site* además del promedio para toda el área el cual corresponde un 87,41%.

El tiempo para operar corresponde al periodo comprendido del 01 de enero al 30 de junio del año 2014, contemplando 24 horas funcionamiento al día.

En la tabla 10, se resume el tiempo disponible para operar ( $T_o$ ). Sobre el tiempo de paros no programados no existe información, ya que actualmente no se tienen datos de cual mantenimiento ha sido correctivo o correctivo programado, este problema se amplía con más detalle en la sección 7.

**Tabla 10. Tiempo disponible para operar**

<b>Mes</b>	<b>Horas</b>
Enero	744
Febrero	672
Marzo	744
Abril	720
Mayo	744
Junio	720
<b>Subtotal</b>	4344
Paros programados	0
<b>Total (menos paros programados)</b>	4344

Fuente: Elaboración propia.

Este valor de disponibilidad promedio de 87,41 % representa la probabilidad que tiene el departamento de *Off Site* de operar satisfactoriamente sin interrupciones.

En el presente proyecto se desarrolla un manual de mantenimiento preventivo con acciones proactivas para prevenir las fallas funcionales y mejorar este indicador.

En la etapa de diseño de un programa de mantenimiento preventivo no es posible calcular cuál será la disponibilidad que alcanzará un equipo o un departamento, esto solamente es posible en una etapa posterior a la implementación de dicho programa donde se evalúa cual ha sido el beneficio real de aplicar el mantenimiento preventivo. Sin embargo de antemano se espera que la disponibilidad de los equipos mejore, esto porque el plan de mantenimiento preventivo está diseñado para reducir el mantenimiento correctivo, y poder realizar reparaciones o sustituciones de manera programada en el momento que en coordinación con el departamento de producción, se considere oportuno.

El estudio se inició con los ocho equipos más críticos de *Off Site*, de manera hipotética se puede plantear que si estos ocho equipos con la implementación del programa de mantenimiento preventivo pueden operar libres de fallas estarían mejorando la disponibilidad promedio de *Off Site* hasta un valor de 92,72 %.

Teniendo presente que como parte del proyecto se busca expandir los planes de mantenimiento preventivo a todos los equipos de bombeo de *Off Site*, se espera que la disponibilidad de este departamento mejore aún más.

#### **6.4 Aplicación de la metodología RCM**

En la sección 5.9.2 se describió los pasos básicos para la realización de un análisis basado en la metodología RCM, en la tabla 2 se resumen las siete preguntas básicas que permiten realizar las hojas de información, de las cuales se extraen las acciones proactivas para el manual de mantenimiento preventivo.

En los anexos, se muestran las hojas de información RCM de los ocho equipos seleccionados, estas hojas debido a su gran tamaño se subdividen en varias hojas, de manera que se permite mostrar toda la información.

En la siguiente tabla, se resume el número de anexo que contiene las hojas de información RCM para cada uno de los equipos contemplados en el análisis.

**Tabla 11. Resumen de Anexos de las hojas RCM**

<b>Equipo</b>	<b>Anexo</b>
Bomba LPG YP-781-A	7
Bomba LPG YP-781-B	8
Bomba LPG YP-781-C	9
Bomba LPG YP-781-D	10
Bomba de asfalto YP-754	11
Bomba de asfalto YP-952-B	12
Bomba de asfalto YP-952-C	13
Bomba de búnker YP-791	14

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis RCM se obtienen productos de gran importancia para la adecuada gestión del mantenimiento, entre ellos se proponen las inspecciones y rutinas de mantenimiento y los procedimientos necesarios para la realización de las tareas preventivas que se detallan en el manual de mantenimiento preventivo descrito posteriormente, las mejoras o rediseños a los equipo, la capacitación del personal de mantenimiento y operaciones en distintas áreas.

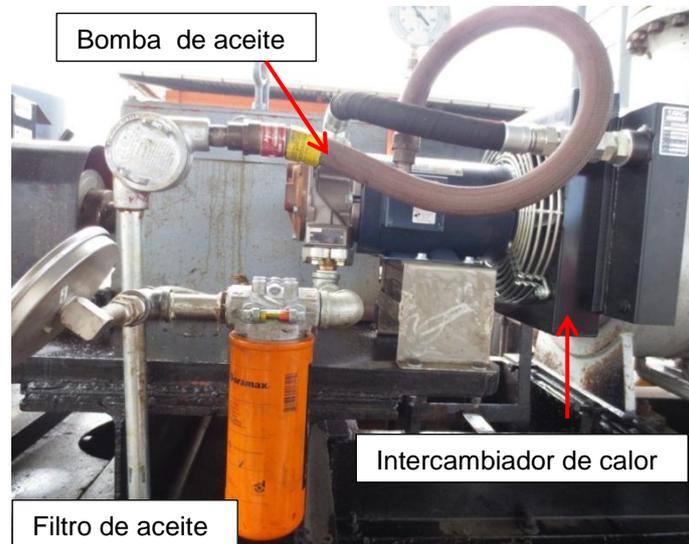
#### **6.4.1 Mejoras o rediseños a los equipos**

Como resultado del análisis RCM surgen mejoras o rediseños que se pueden realizar a los equipos para prevenir las fallas funcionales y/o consecuencias de estos. A continuación, se listan mejoras planteadas por el mismo personal de la empresa:

- Colocar filtros para agua en la entrada a los intercambiadores de calor de los planes API utilizados para lubricación y seguridad en los sellos mecánicos.
- Colocar sistemas de protección de fugas en el sello mecánico al menos en todas las bombas de LPG.
- Colocar alemite para engrasar los retenedores de los reductores de velocidad.
- Instalar sistemas de enfriamiento y filtrado para el aceite del reductor de velocidad de la bomba YP-790-B.
- Instalar guías en las bases de las bombas de asfalto para evitar movimiento de la máquina al momento de tensar tuberías y mejorar alineamiento.

- En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de la instalación de un sistema de enfriamiento de aceite en un reductor de velocidad.

**Ilustración 36. Instalación de un sistema de enfriamiento de aceite para un reductor de velocidad**



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.4.2 Capacitación

Dentro de las hojas de información RCM se plantea capacitaciones del personal para atacar modos de falla y disminuir fallas funcionales de los equipos. A continuación, se lista capacitaciones que permiten mejorar el funcionamiento de los componentes y por ende la función del equipo como un conjunto.

- Mejorar la capacitación en lubricación, adoptando técnicas de lubricación de clase mundial.
- Mejorar la capacitación en el uso de herramientas para el alineamiento de equipos.
- Mejorar la capacitación en procedimientos de operación, donde se incluyen temas como: aplicación de vapor en las bombas de asfalto y búnker, encendido de motores de combustión interna y adecuado embrague con bombas o reductores.

## 6.5 Manual de mantenimiento preventivo

En el manual de mantenimiento preventivo desarrollado se incluye una ficha técnica de cada equipo y la lista de inspecciones preventivas para cada equipo, en estas se especifica, el tipo de orientación, el período, la frecuencia, el tiempo de duración y el personal que realiza cada inspección, este manual es presentado en el anexo 15. Los formularios para las inspecciones no se realizan, ya que el sistema utilizado para la gestión del mantenimiento (Tricom) elabora automáticamente dicho formulario, en el anexo 16 se muestra un ejemplo de como Tricom genera los formularios para las inspecciones. Estos formularios presentan la opción de indicar si el estado del componente o de la máquina que se inspecciona es bueno, malo, razonable o si la inspección no aplica para ese componente o equipo, también tiene espacio para indicar observaciones encontradas y permite recopilar información sobre el operario que realizó la inspección, la estructura de estos formularios se ajusta al manual de mantenimiento preventivo.

A continuación, se describe cada uno de los aspectos presentes en el manual de mantenimiento preventivo.

### 6.5.1 Tipo de orientación

El tipo de orientación puedes ser básicamente de tres tipos:

- **Informar:** este se utiliza cuando se requiere hacer un trabajo mayor, el personal encargado de la inspección no realiza la corrección solamente verifica e informa al supervisor del taller correspondiente, para realizar una corrección programada la cual será vía orden de trabajo.
- **Corregir si es necesario:** mediante valoración técnica, se corrige inmediatamente, dentro de la misma inspección, la corrección se basa en el criterio técnico preventivo.
- **Cambiar:** el trabajo se limita a cambiar el componente sin mayor análisis, solamente se ejecuta el trabajo.

## 6.5.2 Ciclo de mantenimiento

El programa de mantenimiento preventivo es diseñado para un horizonte de un año el cual traducido en semanas corresponde a 52 semanas calendario.

### Periodo de las inspecciones:

El periodo corresponde al tiempo transcurrido entre una inspección y otra, es decir, cada cuanto se realiza la inspección.

En el presente trabajo el periodo se basa únicamente en semanas calendario. Las inspecciones en ciertos equipos como es el caso de motores de combustión, se sugieren realizar por horas de funcionamiento; sin embargo, por el contexto operacional de estos equipos el tiempo de funcionamiento es variable y actualmente no se cuenta con horímetros que permitan conocer el tiempo exacto de funcionamiento, por esta razón todas las inspecciones son planteadas en semanas y no en horas.

En la siguiente tabla, se muestra la nomenclatura utilizada para identificar el periodo de cada inspección:

**Tabla 12. Nomenclatura utilizada para definir el periodo de las inspecciones**

Periodo	Nomenclatura
Semanal	S
Quincenal	Q
Mensual	M
Trimestral	TR
Semestral	E
Anual	A

Fuente: Elaboración propia

### Frecuencia de las inspecciones

En el manual de mantenimiento además del periodo también se define la frecuencia de cada inspección, esta corresponde a cuantas veces se repite cada inspección en el horizonte planteado, el cual corresponde a 52 semanas; por ejemplo, si una inspección es mensual (cada cuatro semanas) la frecuencia será  $52/4 = 13$ , esto quiere decir que se realizará 13 veces al año.

### 6.5.3 Personal requerido para realizar las inspecciones:

RECOPE cuenta con diferentes talleres en los cuales hay técnicos que en esta empresa se conocen como operarios los cuales pueden ser operario 1 u operario 2, esto dependiendo del nivel académico y de la experiencia, en la siguiente tabla se resume la nomenclatura utilizada en el manual de mantenimiento preventivo para referirse a cada operario.

**Tabla 13. Nomenclatura utilizada para identificar el personal requerido para las inspecciones**

<b>Personal</b>	<b>Nomenclatura</b>
Mecánico industrial	M
Tubero	T
Eléctrico	EL
Personal de Ingeniería	IN
Mecánico Automotriz	MA
Lubricador	L
Misceláneo	MI
Ayudante	AY

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se resume los diferentes técnicos requeridos para realizar las inspecciones, a continuación se describen los responsables de realizar cada tipo de inspecciones:

Los mecánicos industriales son encargados de realizar las inspecciones de las bombas, de los reductores de velocidad, y de realizar las labores de alineamiento de los equipos.

Los tuberos se refieren a personal del taller nombrado tuberos quienes tienen a su cargo el mantenimiento de las válvulas y tuberías.

Los técnicos eléctricos se encargan de las inspecciones de los motores eléctricos, y cualquier instalación eléctrica.

El personal de ingeniería es requerido para realizar las inspecciones predictivas como es el caso de las inspecciones mediante termografía que se plantean en el manual.

Los mecánicos automotrices realizarán las inspecciones de los dos motores de combustión contemplados en el proyecto.

Los operarios lubricadores pertenecen al taller de mecánica industrial y actualmente se cuenta con cuatro personas para estas tareas.

En cada taller hay personal llamado auxiliar de obras quienes son los ayudantes además de tener personas encargadas de la limpieza.

#### **6.5.4 Tiempo requerido para realizar las inspecciones**

En la lista de inspecciones se muestra el tiempo para realizar cada inspección, este tiempo es aproximado y se asigna dependiendo de la complejidad de la tarea a realizar, debido a la distancia que existe entre los talleres y los diferentes equipos, el tiempo de ir al campo y regresar a los lugares de trabajo se distribuyó en las inspecciones que se realizan el mismo día, a la misma máquina y por el mismo personal, por ejemplo, si se requiere un mecánico industrial para realizar 10 inspecciones a un equipo un día miércoles de la semana 30, el tiempo aproximado de ir al campo y volver a su lugar de trabajo, se divide entre las 10 inspecciones.

Los tiempos de las inspecciones se deben revisar luego de la implementación del programa de mantenimiento preventivo, para hacer los ajustes necesarios, ya que como se mencionó anteriormente son aproximados.

Una vez identificado el personal requerido y la duración de las inspecciones, se contabiliza el total de tiempo requerido para la implementación del programa, en la tabla 14, se resume el tiempo requerido en minutos de cada técnico para las inspecciones según el periodo establecido.

**Tabla 14. Tiempo (en minutos) requerido por el personal para realizar las inspecciones de mantenimiento preventivo**

Personal	Semanal	Quincenal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Eléctrico	120	30	-	210	545	250
Mecánico industrial	250	-	1145	-	-	-
Mecánico automotriz	270	-	120	110	120	550
Tubero	380	-	180	-	-	-
Personal de ingeniería	240	-	-	-	-	-
Ayudante	1135	280	1835	475	985	810
Misceláneo	-	-	180	-	-	-
Lubricador	20	10	15	140	260	80

Fuente: Elaboración propia

Al multiplicar estos valores por la frecuencia de cada inspección se obtiene la cantidad total de minutos requeridos por el personal de mantenimiento, estos minutos se convierten a horas y se multiplica por el valor promedio del salario por hora de cada operario, con esto se obtiene una estimación del valor de la mano de obra necesaria para realizar el programa de mantenimiento preventivo. En la tabla 15 se resume el costo por cada operario así como el costo total.

**Tabla 15. Resumen del costo de mano de obra para la implementación del programa de mantenimiento preventivo**

Personal	Total de horas	Costo promedio hora (₡)	Costo total (₡)
Eléctrico	153,33	2143,39	328653,6791
Mecánico industrial	464,75	2143,39	996142,1566
Mecánico automotriz	280,5	2143,39	601221,8933
Tubero	368,33	2143,39	789483,2942
Ayudante	1580,58	1583,41	2502706,791
Misceláneo	39	1583,41	61752,8749
Personal de ingeniería	208	2523,09	524802,70
Lubricador	44,25	2143,39	94845,16499
<b>Total</b>			<b>5899608,55</b>

Fuente: Elaboración propia

### 6.5.5 Materiales y repuestos

A continuación, se hace un listado de los materiales y repuestos, que la empresa debe mantener en *stock* con el propósito de poner en funcionamiento el plan de mantenimiento preventivo, también se indica el valor de cada repuesto o material, además del total del costo de los materiales. Para esto se dividen en dos áreas, mecánica y eléctrica.

**Tabla 16. Lista de materiales y repuestos del Área Mecánica**

<b>Lista de repuestos y materiales Área Mecánica</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario(₡)</b>	<b>Precio total (₡)</b>
Anillo de desgaste del impulsor y olla 5,5"X4" *	34	Unid.	59094,47	2009211,98
Sello mecánico John Crane T8B1XF51 1-1/2"	2	Unid.	328871,55	657743,1
Kit sello mecánico doble Tipo OH 75/60	1	Unid.	2126105,19	2126105,19
Kit Sello mecánico John Crane 2648-2 DE2,25"	1	Unid.	2517443,56	2517443,56
Sello mecánico John Crane T5610VQ 3,375"	2	Unid.	3853229,94	7706459,88
Cartucho de Sello mecánico Garlok 06-R51-G060	1	Unid.	1507500	1507500
Repuesto Sello Burgmann M7-G13/SF 80 mm	1	Unid.	1263162	1263162
Buje de carbón 1-3/8" X 1-3/4" X 5" *	20	Unid.	52608,36	1052167,2
Buje de carbón 1-1/2 X 2" X 5" *	20	Unid.	52609,36	1052187,2
Bujes de bronce 3-1/4" X 4" X 4" *	6	Unid.	100436,24	602617,44
Rejilla Acople Falk 1070T10	3	Unid.	67668,5	203005,5
Rejilla Acople Falk 1080T10	2	Unid.	79164,4	158328,8
Rejilla Acople 1090T10	2	Unid.	100570	201140
Masa dentada para acople 1070T10	3	Unid.	42280	126840
Masa dentada para acople 1080T10 Falk	2	Unid.	72500	145000
Masa dentada para acople 1090T10	2	Unid.	130936,5	261873
Acople Flexibox	1	Unid.	1950000	1950000
Rodamiento 6315 2RS1	2	Unid.	57939,48	115878,96
Rodamiento 6315-ZZ-C3	1	Unid.	45586,46	45586,46
Rodamientos 5314	2	Unid.	41098	82196
Rodamientos NU2314	2	Unid.	83286,65	166573,3
Rodamiento 6211-J/C3	2	Unid.	14007	28014
Rodamiento 2-7312BECBP	2	Unid.	68786,31143	137572,6229
Rodamiento 6212-J/C3	1	Unid.	13891,07	13891,07
Rodamiento 6212-ZZ-C3	1	Unid.	18420	18420
Rodamiento 235A2522AC01 (7217BECBM)	1	Unid.	134146	134146
Rodamiento 7312-BEP	1	Unid.	68786,31	68786,31
Rodamiento 60BC03 (6312 ZZ/C3)	1	Unid.	33895,32	33895,32
Rodamiento 50BC03 (6310 ZZ/C3)	1	Unid.	19941	19941
Rodamiento 6312-J/C3	1	Unid.	13891,07	13891,0675
Rodamiento 6311-J/C3	1	Unid.	20841,95	20841,95
Faja V alternador Cummins QSB4.5	1	Unid.	34724,85	34724,85
Juego de cables de alimentación eléctrica Cummins QSB4.5	1	Unid.	248022,91	248022,91
Juego de tuberías de combustible Cummins QSB4.5	1	Unid.	94778,38	94778,38
Hose flexible Cummins QSB4.5	1	Unid.	38436,61	38436,61
Tubería para retorno de aceite del turbo Cummins QSB4.5	1	Unid.	63286,76	63286,76
Termostato Cummins QSB4.5	1	Unid.	16119,22	16119,22

Fuente: Elaboración propia

<b>Lista de repuestos y materiales Área Mecánica</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario (₡)</b>	<b>Precio total (₡)</b>
Alternador Cummins QSB 4.5	1	Unid.	261084,12	261084,12
Motor de arranque Cummins QSB4.5	1	Unid.	233666,08	233666,08
Bomba de inyección Cummins QSB4.5	1	Unid.	1083181,62	1083181,62
Bomba de refrigerante Cummins QSB4.5	1	Unid.	111808,15	111808,15
Bomba de aceite Cummins QSB4.5	1	Unid.	82849,38	82849,38
Correa trapezoidal John Deere 6090HF485	1	Unid.	41989,41	41989,41
Juego de cables de alimentación eléctrica John Deere 6090HF485	1	Unid.	613986,9	613986,9
Juego de tuberías de combustible John Deere 6090HF485	1	Unid.	212599,55	212599,55
Tubería para Refrigerante John Deere 6090HF485	1	Unid.	8201,18	8201,18
Tubería para aire John Deere 6090HF485	1	Unid.	57220,17	57220,17
Filtro de aire primario P613334	1	Unid.	25210,94	25210,94
Filtro de aire secundario P613335	1	Unid.	11773,44	11773,44
Filtro de combustible Donaldson P 550880	1	Unid.	8265,62	8265,62
Filtro de combustible Fleetguard FS 19732	1	Unid.	14218,75	14218,75
Filtro de aceite Donaldson P 550428	1	Unid.	5675,96	5675,96
Filtro de aire P533930	1	Unid.	29171,88	29171,88
Filtro de aceite LF 16043	1	Unid.	10265,5	10265,5
Filtros de combustible Baldwin BF 1210	2	Unid.	30645	61290
Kit Filtros Diésel RE525523	1	Unid.	91925	91925
Termostato John Deere 6090HF485	1	Unid.	12973,56	12973,56
Alternador John Deere 6090HF485	1	Unid.	413799,6	413799,6
Motor de arranque John Deere 6090HF485	1	Unid.	691000,62	691000,62
Bomba de inyección John Deere 6090HF485	1	Unid.	1634464,36	1634464,36
Bomba de refrigerante John Deere 6090HF485	1	Unid.	244863,86	244863,86
Bomba de aceite John Deere 6090HF485	1	Unid.	539391,62	539391,62
Agua destilada para baterías	7,5	L.	1333,34	10000,05
Refrigerante Coolant	37,85	L.	2497,45	94528,48
Baterías 12V N70	4	Unid.	65000	260000
Esmalte Fast Dry Negro	1	Gal.	12339,1	12339,1
Esmalte Fast Dry Blanco	1	Gal.	11642,66	11642,66
Esmalte Fast Dry Azul Fordson	1	Gal.	12513,21	12513,21
Anticorrosivo Industrial Marrón	2	Gal.	9208,9	18417,8
Aceite 15W40	208	L.	1733,27	360520,16
Aceite ISO 68	208	L.	1486,47	309185,76
Aceite ISO 220	208	L.	1832,67	381195,36
Grasa para rodamientos Grado 3	16	Kg.	9605	153680
Grasa alta presión y temperatura Grado 2, Omega 57	16	Kg.	36508,94	584143,04
Grasa dieléctrica Permatex	1	Unid.	100000	100000
<b>Total</b>				<b>33744830,54</b>

Fuente: Elaboración propia.

\* Costo aproximado de fabricarlo en el taller de mecánica de precisión en Recope.

**Tabla 17. Lista de materiales y repuestos del Área Eléctrica**

<b>Lista de repuestos Área eléctrica</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario (₡)</b>	<b>Precio total (₡)</b>
Breaker trifásico 100A 277/480 V	6	Unid.	142340,55	854043,3
Arrancador contactor NEMA 3	6	Unid.	162915,7	977494,2
Guardamotor GV3P65 48-65A	6	Unid.	134202,38	805214,28
Botoneras Arr/Pare 9001-BW	6	Unid.	59202,3	355213,8
Tubo BX sin forro 1-1/2"	2	m	2526,18	5052,36
Tubo BX sin forro 2"	2	m	2999,84	5999,68
Unión BX sin forro 1-1/2"	3	Unid.	2971,14	8913,42
Unión BX sin forro 2"	3	Unid.	6334,37	19003,11
conector BX curvo 1-1/2"	3	Unid.	1255,98	3767,94
Tape 3M #33	5	Unid.	2407	12035
<b>Total</b>				<b>3046737,09</b>

Fuente: Elaboración propia

## 6.6 Análisis económico del proyecto

En las secciones anteriores, se describió el tiempo requerido por el personal de mantenimiento para realizar las inspecciones, así como su costo aproximado y la lista con los materiales mínimos necesarios para el programa de mantenimiento preventivo, en la siguiente tabla se resumen estos costos a manera de contabilizar el costo total aproximado para su implementación.

**Tabla 18. Resumen de los costos del programa de mantenimiento preventivo**

<b>Detalle</b>	<b>Costo aproximado (₺)</b>
Salarios de personal	5899608,55
Materiales área mecánica	33744830,54
Materiales área eléctrica	3046737,09
<b>Total</b>	<b>42691176,18</b>

Fuente: Elaboración propia

El área en la cual se desarrolla el proyecto es de vital importancia para llevar a cabo la actividad productiva de RECOPE, en *Off Site* se preparan los productos previo a la venta y a la distribución hacia los demás planteles, asegurando que la composición y la calidad de los productos sea óptima para su comercialización.

Los equipos incluidos en el análisis son utilizados para transferir, recircular y vender el asfalto, el búnker y el gas LPG. Se realizó una estimación basada en estadísticas sobre la cantidad y el valor que representa la venta de los productos anteriormente mencionados, estos datos se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19. Valor de ventas aproximadas por hora**

<b>Producto</b>	<b>Litros por hora</b>	<b>Costo del litro (₺)</b>	<b>Ventas por hora (₺)</b>
ASFALTO	29866,67	253,426	7568989,9
LPG	89779,82	140,651	12627621
BÚNKER	42419,84	218,613	9273528,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, se muestra cual es el costo aproximado de ventas por hora en los productos trasegados por los equipos analizados. Si un equipo de asfalto deja de

recircular el producto, la temperatura disminuye esto provoca que el producto se solidifique, sature las tuberías y no se pueda vender, en promedio las ventas de asfalto rondan los ₡7 568 989,9 por hora de igual forma ocurre con el búnker el cual tiene una venta en promedio de ₡9 273 528,5 por hora.

Adicionalmente, las bombas de asfalto son utilizadas para descargar el producto que llega a la Refinería en camiones cisternas, provenientes del barco que se ubica en puerto Moín, si estas bombas no están en la capacidad de funcionar o funcionan de manera deficiente RECOPE debe asumir el costo que se genera por cada hora de atraso que el barco tenga que esperar en el muelle, este costo se aproxima a \$ 2.000,00 (dólares estadounidenses).

En el caso del LPG si no se recircula, el producto no obtiene una composición homogénea ni una presión adecuada que permita ser bombeado hacia el departamento de ventas, este producto presenta ventas promedio por hora de ₡12 627 621.

En la tabla 20, se muestra una lista de la cantidad de fallas que presentaron los equipos analizados. En el área de *Off Site* existen diferentes equipos que pueden realizar las mismas funciones; sin embargo, cada falla implica demoras en el proceso productivo al tener que enviar personal al campo para alinear válvulas de succiones y descargas de bombas que permitan recuperar el proceso, estimando una duración de 10 minutos de atrasos por cada falla, se puede calcular el tiempo perdido por los equipos de *Off Site*, durante el primer semestre del año 2014.

Los datos utilizados en la siguiente tabla son tomados de Tricom y tienen errores inducidos que son expuestos en la sección 7.

**Tabla 20. Estimación de tiempos perdidos por fallas en equipos de *Off Site***

Producto	Ventas por hora (₡)	Cantidad de fallas	Tiempo perdido por falla (min)	Tiempo total perdido (hr)	Costo de fallas (₡)
ASFALTO	7568989,87	36	10	6	45413939,2
LPG	12627621	28	10	4,67	58928897,87
BÚNKER	9273528,48	4	10	0,67	6182352,321
Total					110525189,39

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha mencionado anteriormente, las fallas en los equipos de *Off Site* afectan el producto de tal manera que no se puede vender, además de generar gastos extra en el personal y gastos adicionales como el mantener un barco en el muelle esperando para ser descargado.

El costo total del programa de mantenimiento preventivo ronda los ¢42 700 000 comparado con un costo por fallas de equipos de ¢110 525 189,39 da un balance muy positivo a favor del plan de mantenimiento preventivo.

Adicionalmente, con la implementación del programa de mantenimiento preventivo se espera disminuir el costo del mantenimiento correctivo, en la tabla 21, se muestra un resumen de los costos de mantenimiento de los equipos analizados, esto para el año 2014, periodo en el cual el mantenimiento correctivo tuvo un costo de poco más de ¢23 000 000 únicamente por mano de obra mientras que el programa de mantenimiento preventivo propuesto tiene un costo aproximado que ronda los ¢6 000 000. No se puede afirmar que el mantenimiento correctivo se eliminará completamente, pero si se espera que se reduzca en gran cantidad.

**Tabla 21. Resumen de costos de mantenimiento correctivo en el año 2014**

sección	dsección	área	Dárea	Equipo	dequipo	repuestos	personal
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781-A	LPG TRANSFERENCIA	8730759,57	3428789,04
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781-B	LPG TRANSFERENCIA	726837,62	2054792,62
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781-C	LPG TRANSFERENCIA	21814,12	142431,5
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781-D	LPG TRANSFERENCIA	4292105,35	4144329,75
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-754	ASFALTO BLANDO	14800196,23	8331231,04
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO	110318,77	984166,3
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-C	ASFALTO	382811,93	756326,3
Y	UNIDAD TANQUERÍA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-791	EXPORTACIÓN	2855881,62	3198038,59
<b>Total</b>						31920725,21	23040105,14

Fuente: Tricom

En una etapa posterior a la implementación, se realizará una evaluación y medición de indicadores para conocer el beneficio real obtenido con el presente proyecto

Un aspecto muy importante y ajeno al económico es el riesgo industrial y el contexto operacional de los equipos al estar en presencia de productos altamente inflamables y volátiles, en esta empresa una falla en un equipo puede ser catastrófico resultando en graves perjuicios para los trabajadores, para el ambiente y para la población en general.

Es por estas razones que un programa de mantenimiento preventivo resulta muy oportuno y de gran beneficio para la empresa tanto en la parte económica al reducir tiempos de paradas no previstas, reducir gastos en horas hombre y de mayor importancia prevenir o controlar fallas que representan riesgo para la seguridad.

## **6.7 Cronograma para el desarrollo del programa de mantenimiento preventivo**

El software de mantenimiento Tricom tiene la opción de incluir los planes de mantenimiento preventivo con su periodo correspondiente y a partir de estas, el sistema automáticamente genera la lista y formulario con las inspecciones, además de permitir al usuario definir con cuanto tiempo de anticipación avisar las inspecciones que se aproximan; sin embargo, se elabora un diagrama de Gantt que muestra de manera ordenada las inspecciones clasificadas de acuerdo con su periodo (semanal, mensual, etc.) y la fecha en que deben ser ejecutadas. En el anexo 17 se muestra el Gantt anual.

## **7 Análisis del cálculo de los indicadores de mantenimiento**

### **7.1 Situación actual**

En RECOPE se utiliza el software Tricom para la gestión del mantenimiento, este trae la opción de calcular y generar un reporte sobre los indicadores de mantenimiento más utilizados en la industria tanto nacional como mundial, los datos que utiliza el sistema para el cálculo de los indicadores, son tomados de las órdenes de trabajo que se registran.

Para este trabajo se analizaron órdenes de trabajo del año 2014, del 01 de enero al 30 junio, se decidió analizar este semestre debido a que es el más reciente y del cual se tiene la información completa dentro de Tricom ya que las órdenes de trabajo del segundo semestre del 2014 y del año 2015, aún no han sido cargadas al sistema en su totalidad.

En el análisis se obtuvieron ciertos problemas que afectan el cálculo correcto de los indicadores, a continuación se listan y describen:

Tricom utiliza todos los códigos de órdenes de trabajo como fallas, es decir, cada orden de trabajo se toma como una falla, esto altera el resultado de los indicadores como: tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparación, tiempo medio para la falla y la disponibilidad también es afectada, ya que toma todos los tiempos de trabajo de cada orden, como tiempos de no producción.

En muchos casos, una orden de trabajo se genera para realizar una reparación, de la cual se derivan otras órdenes de trabajo por ejemplo para solicitar trabajos al taller de mecánica de precisión o al taller de soldadura, todos los tiempos de trabajos de esas órdenes derivadas, se toman como tiempos de no producción, esto representa un error ya que en la primera orden se contemplan.

Debido a la estructura que presenta el departamento de mantenimiento, los talleres están separados y funcionan de manera independiente, esto implica que para solicitar algún trabajo a cualquiera de los talleres se debe realizar una orden de trabajo con dicha solicitud. Al momento de realizar trabajos que requieran desmontaje del equipo y transporte hacia el taller, se genera gran cantidad de órdenes de trabajo con diferentes códigos, por ejemplo: una orden para el taller de tuberos para desacoplar tuberías, una orden de trabajo al taller eléctrico para desconectar el motor, una orden de trabajo al taller de mecánica industrial para desacoplar la bomba del motor y finalmente una orden de trabajo para solicitar el transporte del equipo hacia al taller, todo este procedimiento, además de consumir tiempo, induce errores ya que como se mencionó anteriormente, Tricom suma todas las órdenes de trabajo como fallas diferentes.

En la ilustración 39, se presenta un ejemplo del problema descrito anteriormente, la primer elipse roja (de arriba hacia abajo) se señala una orden de trabajo con el código 369961, la cual corresponde al trabajo de desmontar y reparar la bomba YP-

952-B, a partir de este trabajo se requiere la medición de los bujes de bronce para la bomba, razón por la cual se solicita al taller de precisión la orden 370141 medir bujes y confeccionar en bronce de ser necesario para la reparación de la bomba YP-952-B, la cual se señala en la segunda elipse roja.

En la ilustración 37, se muestra un informe generado por Tricom, del tiempo para reparar de la misma bomba analizada, en este caso YP-952-B, se señala con una elipse de color verde la cantidad de fallas que el sistema cuenta, en este caso son ocho fallas valor que corresponde a la cantidad de órdenes de trabajo para este equipo (elipse color verde en la ilustración 39), lo cual es erróneo, como se vio anteriormente, la orden 370141 no es una falla, es un trabajo solicitado a partir del trabajo realizado en otra orden.

**Ilustración 37. Tiempo medio entre dallas según Tricom para el equipo YP-781-A**

*Tiempo Promedio entre Fallas*  
Del 01/01/2014 Al 30/06/2014

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	
Area: P	BOMBAS	
Equipo	# de Fallas	Tiempo Medio (Min.)
YP-952-B	8.00	32400.00

Fuente: Tricom.

El cálculo de la disponibilidad también se ve afectado porque Tricom toma el tiempo que se tarda en realizar las ocho órdenes de trabajo, como tiempo de no producción lo cual es incorrecto porque el tiempo que se tardó en atender la orden 370141, ya se contempla dentro del tiempo de la orden 369961.

Para el cálculo de la disponibilidad Tricom no filtra el tiempo que se tarda en realizar órdenes de trabajo que no requieren paro del equipo, en la ilustración 40 parte 2, se muestra un ejemplo de lo anteriormente mencionado. Esta ilustración corresponde a la información registrada en el sistema, del mantenimiento realizado a la bomba YP-781-A, en el primer semestre del año 2014.

En la orden de trabajo número 8, código 372579 se señala con una elipse de color rojo, el trabajo solicitado, el cual corresponde al montaje de un sistema de vibraciones en línea para monitorear bombas de LPG y una turbina de una caldera, esta orden representa 267 horas de mantenimiento, para un total de 1422,33 horas

de mantenimiento, dato que Tricom utiliza como tiempo de no producción del equipo, para esta afirmación se calcula de forma manual la disponibilidad de este equipo y se compara con la disponibilidad generada por el software.

En la tabla 20, se realiza el cálculo de la disponibilidad utilizando la ecuación descrita en la sección 5.10.1.4 y el tiempo de no producción señalado en la ilustración 60, para el tiempo de operación se toman las 24 horas de todos los días desde el 01 de enero al 30 de junio del 2014.

En la ilustración 38, se muestra un informe generado por Tricom sobre la disponibilidad del equipo YP-781-A, durante el mismo periodo utilizado en la tabla 20.

**Tabla 22. Cálculo de la disponibilidad del equipo YP-781-A**

Equipo	Tiempo de no producción (hr)	Disponibilidad (%)
YP-781-A	1422,33	67,26
Tiempo de operación (hr)	4344	

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 38. Disponibilidad según Tricom para el equipo YP-781-A**

*Disponibilidad de los Equipos*  
Del 01/01/2014 Al 30/06/2014

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)
Area: P	BOMBAS
<b>Equipo</b>	<b>Disponibilidad %</b>
YP-781-A	67.08

Fuente: Tricom

En la ilustración 38, se muestra la disponibilidad generada por Tricom de 67, 08 % y en la tabla 20 corresponde a un valor de 67,26 %, ambos valores son prácticamente iguales.

Este cálculo de disponibilidad tiene un error asociado al contemplar el tiempo de la orden de trabajo 372579 (Ilustración 40 parte 2), la cual no corresponde a una falla ni a un paro no programado del equipo.

Tricom no discrimina cuando una orden es de carácter correctivo o cuando es de carácter correctivo programado por ejemplo cuando se deriva de una inspección de mantenimiento preventivo, esto afecta nuevamente el cálculo de la disponibilidad de los equipos al no contemplar el tiempo por paros programados.

### Ilustración 39. Órdenes de trabajo del equipo YP-952-B

N	SECCION	DSECCION	AREA	DAREA	EQUIPO	DEQUIPO	PARTE	DPARTE	DEPARTA	DDEPARTA	FECHA	TIE_MTO	F_INICIO	F_APERTURA	F_FINAL	ORDEN	COMENTA
1	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO			1	TALLER AUTOMOTRIZ	16/01/2014	3	16/01/2014 10:00	16/01/2014 10:00	16/01/2014 13:00	368375	REISAR MOTOR DE COMBUSTIÓN YP-952-B, PRESENTA RUIDO FUERTE CUANDO SE ENCUENTRA ENCENDIDO. ***** REVISO LA UNIDAD, PRESENTO PROBLEMAS EN EL ALTERNADOR. ESTA EN PERIODO DE GARANTIA
2	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO			1	TALLER AUTOMOTRIZ	06/02/2014	26,88	5/02/2014 08:07	5/02/2014 08:07	6/02/2014 11:00	369017	DESACOPLAR ALTERNADOR DE LA BOMBA YP-952-B Y INSTALARLO EN LA YP-755-B. ***** DESINSTALO E INSTALO EN YP-755-B
3	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO			4	TALLER INDUSTRIAL	14/03/2014	-42,63	8/03/2014 09:00	6/03/2014 14:22	14/03/2014 14:22	369961	DESMONTE Y REPARAR LA BOMBA YP-952-B ***** DESMONTO Y REPARO
4	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO	YPP-952-B	BOMBA	9	TALLER PRECISION	14/03/2014	6	13/03/2014 08:50	13/03/2014 08:50	14/03/2014 10:00	370111	MEDIR BUJES Y CONFECCIONAR EN BRONCE DE SER NECESARIO PARA LA REPARACION DE LA BOMBA YP-952-B. ***** VERIFICO Y CHEQUEO EJES, BUJES Y SUS TOLERANCIAS
5	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO	N		1	TALLER AUTOMOTRIZ	21/04/2014	6	21/04/2014 07:00	10/04/2014 08:53	21/04/2014 13:00	371108	LLENAR EL TK DE DIESEL DE LAS BOMBA DE ASFALTO ***** RELLENO CON DIESEL TANQUES DE LOS MOTORES DE ASFALTO
6	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO	YPM-952-B	MOTOR ELÉCTRICO	2	TALLER ELECTRICO	06/05/2014	3	6/05/2014 07:00	5/05/2014 08:14	6/05/2014 10:00	371611	REVISAR ELECTRICAMENTE MOTOR DE LA YP-952-B ***** REVISO SISTEMA DE ARRANQUE
7	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO	YPM-952-B	MOTOR ELÉCTRICO	2	TALLER ELECTRICO	04/05/2014	0,01	4/05/2014 08:16	4/05/2014 08:16	4/05/2014 08:17	371613	FAVOR DE REVISAR ELECTRICAMENTE MOTOR DE LA YP-952-B ***** ESTE TRABAJO SE REALIZO CON LA ORDEN #371611
8		UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-952-B	ASFALTO			4	TALLER INDUSTRIAL	11/05/2014	0	11/05/2014 08:20	11/05/2014 08:20	11/05/2014 12:00	371788	AJUSTAR CAJA DE BALINERA EN LA YP-952 B. ***** AJUSTO EL NIVEL DE ACEITE EN BOMBA

Fuente: Tricom.

### Ilustración 40. Órdenes de trabajo del equipo YP-781-A (Parte 1)

N	SECCION	DSECCION	AREA	DAREA	EQUIPO	DEQUIPO	PARTE	DPARTE	DEPARTA	DDEPARTA	FECHA	TIE_MTO	F_INICIO	F_APERTURA	F_FINAL	ORDEN	COMENTA
1	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	N		11	TALLER DE TUBEROS	05/01/2014	6,43	5/01/2014 07:34	5/01/2014 07:34	5/01/2014 14:00	368009	INSTALAR CIEGOS EN LA SUCCION Y DESCARGA DE LA YP 781C. ***** INSTALO CIEGOS.
2	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPU-781A	VÁLVULAS Y TUBERÍAS	10	TALLER SOLDADURA	24/02/2014	676,13	27/01/2014 06:27	27/01/2014 06:27	24/02/2014 10:35	368752	HACER CACHERA DE SUSCION Y DESCARGA Y RECIRCULACION PARA LA BOMBA YP 781. ***** SOLDO CACHERAS, FALTA INTERVENIR LINEA.
3	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA			4	TALLER INDUSTRIAL	26/02/2014	6,92	26/02/2014 07:05	26/02/2014 07:05	26/02/2014 14:00	369620	REVISAR Y REPARAR FUGA EN LA BASE DE LA BOMBA YP-781D EN FRENTE DE LA ESFERA 7710. ***** RESOCO TORNILLOS PARA TRATAR DE DETENER FUGA NO SE DETUBO SE VA A REPARAR CUANDO SE SAQUE BOMBA.
4	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPP-781A	BOMBA	11	TALLER DE TUBEROS	19/03/2014	2162	18/03/2014 10:22	18/03/2014 10:22	19/03/2014 08:00	370262	QUITAR VALVULA EN LA DESCARGA DE LA BOMBA Y FLEGER CIEGO Y DAR MANTENIMIENTO A LA VALVULA Y GUARDARLO. ***** QUITO VALVULA Y COLOCO CIEGO.
5	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPP-781A	BOMBA	11	TALLER DE TUBEROS	20/03/2014	24,23	19/03/2014 07:46	19/03/2014 07:46	20/03/2014 08:00	370287	DESCONECTAR SUCCION, DESCARGA LINEAS DE ENFRIAMIENTO Y COLOCAR CIEGOS A LA BOMBA YP 781B. ***** DESCONECTO SUCCION Y DESCARGA DE LINEAS E INSTALO CIEGOS.

## Órdenes de trabajo del equipo YP-781-A (Parte 2)

N	SECCION	DSECCION	AREA	DAREA	EQUIPO	DEQUIPO	PARTE	DPARTE	DEPARTA	DDEPARTA	FECHA	TIE_MTO	F_INICIO	F_APERTURA	F_FINAL	ORDEN	COMENTA													
6	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPU-781-A	VÁLVULAS Y TUBERÍAS	10	TALLER SOLDADURA	04/04/2014	4	4/04/2014 07:00	3/04/2014 09:08	4/04/2014 11:00	370924	SOLDAR SOPORTE PARA SOSTENER TUBERIA DE LPG EN LAS CALCATAS ***** SOLDO ANGULAR													
7	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPX-781-A	INSTRUMENTACIÓN	5	TALLER INSTRUMENTOS	09/05/2014	4	9/05/2014 07:00	7/05/2014 07:34	9/05/2014 11:00	371726	REVISAR SISTEMA DE CONTROL DE INSTRUMENTACION DE LA YP-781-D. YA QUE QUE ESTA NO PERMITE EL ARRANQUE NORMAL DEL MOTOR. ***** REVISO SISTEMA DE CONTROL													
8	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA			2	TALLER ELECTRICO	01/09/2014	267	9/06/2014 07:00	3/06/2014 10:44	1/09/2014 09:00	372579	REALIZAR MONTAJE DE SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES EN ZONA DE BOMBAS DE LPG (YP-781A/B/C/D, YP-772-A/B/C) Y TURBINA DE CALDERA UB-505. REALIZAR MONTAJE DE GABINETES, CONEXIONES Y CABLEADOS DE ACUERDO A PLANOS. ***** INICIO CON EL MONTAJE DE SISTEMA DE MONITOREO													
9	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPU-781-A	VÁLVULAS Y TUBERÍAS	10	TALLER SOLDADURA	25/06/2014	362	10/06/2014 07:00	4/06/2014 13:12	25/06/2014 09:00	372755	REALIZAR SOPORTERIA PARA LÍNEA DE TUBERÍA PROTECCIÓN A CABLES DE ALIMENTACIÓN Y COMUNICACIÓN PARA BOMBA LPG (YP-781, A, B, C, D, YP-772, A, B, C), Y TURBINAS 505 CALDERAS. ESTE TRABAJO ES PARA SISTEMA MONITOREO DE LÍNEAS DE VIBRACIONES. ***** FABRICO PEDESTALES EN HIERRO PARA MONTAJE DE BOMBAS DE LPG													
10	Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)	P	BOMBAS	YP-781A	LPG TRANSFERENCIA	YPU-781-A	VÁLVULAS Y TUBERÍAS	11	TALLER DE TUBEROS	25/06/2014	50	23/06/2014 07:00	20/06/2014 07:52	25/06/2014 09:00	373122	INSTALAR TUBERIA PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS BOMBAS YP-781-A - B y C ***** INSTALO TUBERIA PARA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO													
Total en horas																														1422,33

Fuente: Tricom.

## **7.2 Mejoras planteadas para el cálculo de los índices de mantenimiento mediante Tricom**

Las órdenes de trabajo están predeterminadas dentro del software, en el cual simplemente se completan con la información contenida en el mismo. La norma Europea EN 15341:2007 plantea los indicadores claves del mantenimiento, tanto indicadores clave económicos, como indicadores clave técnicos y organizacionales. En el presente trabajo se evaluaron únicamente los indicadores de gestión de equipos los cuales corresponden a los indicadores técnicos según la norma anterior.

El software Tricom tiene la posibilidad de calcular los índices T1, T6 y T17 con niveles 1, 2 y 3 respectivamente, según los indicadores expuestos en la norma Europea. Para poder tomar como referencia esta norma y calcular otros indicadores técnicos, económicos y de costos, Tricom no tiene la información suficiente ya que para esto se requiere información sobre tiempos de mantenimiento preventivo, tiempos de mantenimiento programado, tiempos de mantenimiento predictivo, fallas que pueden causar lesiones, etc.

Con base en el análisis efectuado al sistema Tricom, se plantea las siguientes modificaciones, que ayudarían a evitar los problemas descritos en la sección anterior (7.1). Las modificaciones al sistema son las siguientes:

Actualmente, el sistema cuenta con una pestaña nombrada tipo de mantenimiento la cual despliega las opciones de mantenimiento eléctrico, instrumentación, lubricación mecánico, preventivo, servicios y tuberos (ver ilustración 41), esta opción podría omitirse ya que cuando se especifica a cual taller corresponde la orden de trabajo, se conoce si es mantenimiento de bombas, motores, instalaciones o algún otro, dentro de esta pestaña se puede incluir la opción de mantenimiento correctivo programado y la opción de solamente mantenimiento correctivo, para poder filtrar cuáles son las fallas que requieren mantenimiento sin ninguna planeación, y cuáles son las fallas que requieren un mantenimiento que ha sido programado previamente.

Si no fuese posible omitir esta pestaña de: tipo de mantenimiento, se sugiere agregar una nueva pestaña donde se pueda diferenciar entre mantenimiento correctivo y mantenimiento correctivo programado.

### Ilustración 41. Tipo de mantenimiento en las Órdenes de trabajo

ORTRA / Orden de Trabajo - Mantenimiento Correctivo Programado

# de Orden: 2009122705002 Fecha Inicio: 20/04/2015 Hora Inicio: 07:46 OT Referencia: 0  
Duración: 0.00 Hrs Fecha Final: 20/04/2015 Hora Final: 07:46

Unidad: Y UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)  
Tipo de Equipo: P BOMBAS  
Equipo: YP-952-B ASFALTO  
Parte: YPP-952-B BOMBA  
Sub-Parte:

Solicitado por:  
Aprobado por:  
Supervisor Mto.:  
Tipo de Mto.: **MANTENIMIENTO SERVICIO**

Grupo de Fallas:  
Falla Reportada:  
Taller:

Condición de Riesgo: SVR MANTENIMIENTO SERVICIO

Condición Eléctrica: Detenido / Operación  
Equipo Conectado: Si / No  
Gabinete Afuera: Si / No

Condición Mecánica: Aislado, Lavado, Purgado, N.A. (Si / No)

Permiso: Frio, Caliente, Excavación, Espacio Confinado, Entrada Veh. y Maquinaria, Manejo de Desechos, N.A.

Descripción del Trabajo a Realizar:  
Normas de Seguridad:  
Coordinar Con:  
Precauciones y Recomendaciones:

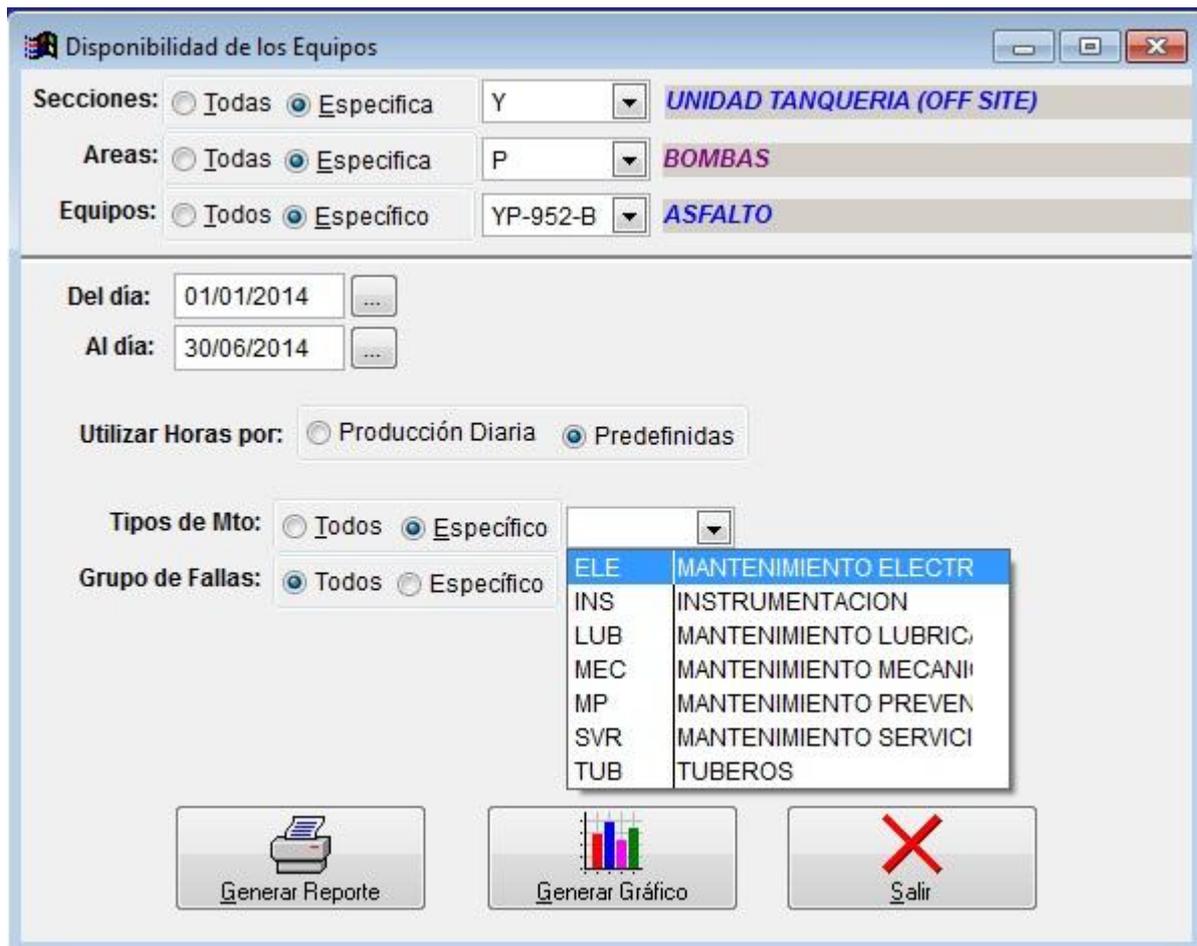
Incluir, Imprimir, Personal, Repuestos, Servicios, Herramientas, Nueva Orden, Asociar Orden, Salir

Fuente: Tricom.

Si se hace este cambio, en el software se puede indicar cual mantenimiento utilizar en el cálculo de la disponibilidad, en este caso correctivo.

En la ilustración 42 se muestra como se filtran los tipos de mantenimiento.

Ilustración 42. Cálculo de disponibilidad en Tricom



Disponibilidad de los Equipos

Secciones:  Todas  Especifica Y UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)

Areas:  Todas  Especifica P BOMBAS

Equipos:  Todos  Específico YP-952-B ASFALTO

Del día: 01/01/2014

Al día: 30/06/2014

Utilizar Horas por:  Producción Diaria  Predefinidas

Tipos de Mto:  Todos  Específico

Grupo de Fallas:  Todos  Específico

ELE	MANTENIMIENTO ELECTR
INS	INSTRUMENTACION
LUB	MANTENIMIENTO LUBRICO
MEC	MANTENIMIENTO MECANICO
MP	MANTENIMIENTO PREVEN
SVR	MANTENIMIENTO SERVICIO
TUB	TUBEROS

Generar Reporte

Generar Gráfico

Salir

Fuente: Tricom.

En la ilustración 43, se señala con una flecha y elipse de color rojo la opción que tiene el software la cual identifica cuales órdenes de trabajo requieren paro del equipo y cuales no lo requieren; sin embargo, para el cálculo de los indicadores como disponibilidad, no se discrimina cuáles son con paro o sin paro, la recomendación es escatimar en ambos tiempos.

Otra opción presente en Tricom es identificar cuáles órdenes de trabajo tienen otra orden de trabajo como referencia, para el correcto cálculo de los indicadores de mantenimiento no se deben incluir estas órdenes de trabajo como fallas. En la ilustración 43, se señala con una flecha y elipse color magenta donde indicar el código de la orden de referencia.

### Ilustración 43. Formato actual de una orden de trabajo en Tricom

ORTRA / Orden de Trabajo - Mantenimiento Correctivo Programado

# de Orden: 2009122705002 Fecha Inicio: 20/04/2015 Hora Inicio: 07:55 OT Referencia: 0  
 Duración: 0.00 Hrs Fecha Final: 20/04/2015 Hora Final: 07:55 OT Asociada: [Botón]

Unidad: Y UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)  
 Tipo de Equipo: P BOMBAS  
 Equipo: YP-952-B ASFALTO  
 Parte: YPP-952-B BOMBA  
 Sub-Parte: [Campo vacío]

Solicitado por: [Campo vacío] Tipo/Cód. Comp.: [Campo vacío]  
 Aprobado por: [Campo vacío] Con Paro:  Contacto c/Prod.   
 Supervisor Mto.: [Campo vacío] Hacerlo en: [Campo vacío]  
 Tipo de Mto.: [Campo vacío] Prioridad: [Campo vacío]  
 Grupo de Fallas: [Campo vacío] Tipo de Servicio: [Campo vacío]  
 Falla Reportada: [Campo vacío] Centro Costos: 322317  
 Taller: [Campo vacío]

Condición de Riesgo: Riesgo de Accidente  Sí  No Paro de la Producción  Sí  No

CONDICION DEL EQUIPO		PERMISO	
<input checked="" type="radio"/> Detenido	Condición Eléctrica	<input type="checkbox"/> Frio	<input type="checkbox"/> Manejo de Desechos
<input type="radio"/> Operación	Equipo Conectado <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No	<input type="checkbox"/> Caliente	<input type="checkbox"/> N.A.
	Gabinete Afuera <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No	<input type="checkbox"/> Excavación	
	Condición Mecánica	<input type="checkbox"/> Espacio Confinado	
	Aislado <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No	<input type="checkbox"/> Entrada Veh. y Maquinaria	
	Lavado <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No		
	Purgado <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No		
	N.A. <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No		

Descripción del Trabajo a Realizar: [Campo vacío] Normas de Seguridad: [Campo vacío] Coordinar Con: [Campo vacío]  
 Precauciones y Recomendaciones: [Campo vacío]

Incluir | Imprimir | Personal | Repuestos | Servicios | Herramientas | Nueva Orden | Asociar Orden | Salir

Fuente: Tricom.

Para un cálculo de indicadores de mantenimiento más real se puede realizar los ajustes anteriormente mencionados, para ello se debe modificar el software, y completar toda la información que se solicita en las órdenes de trabajo.

Un aspecto de suma importancia para el cálculo de indicadores de mantenimiento es la confiabilidad de las fuentes de información utilizadas para la solicitud de órdenes de trabajo, es de vital importancia concientizar al personal involucrado en mantenimiento, sobre la importancia de completar de manera correcta todos los datos que requieren las órdenes de trabajo.

Una forma de eliminar el problema que presenta Tricom con las órdenes de trabajo para un mismo mantenimiento sería hacer una reestructuración de los talleres de mantenimiento, donde se agrupen talleres o equipos de trabajo que contengan técnicos de diferentes áreas (mecánica, eléctrica, automotriz, tuberías, etc.); de esta forma, no sería necesario crear diferentes órdenes para un mismo trabajo, además de agilizar el procedimiento y mejorar tiempos de mantenimiento.

## 8 Conclusiones

Con el plan de mantenimiento preventivo propuesto a los equipos estudiados mediante la metodología RCM, se espera mejorar la disponibilidad promedio de *Off Site* hasta un valor de 92, 72 % esto mediante la mejora en la confiabilidad operacional y la mantenibilidad de los equipos al disminuir tiempos de paradas no programadas por fallas funcionales, al disminuir el tiempo medio entre fallas y disminuir los tiempos de reparaciones.

Con la ayuda del personal de mantenimiento se obtuvieron las acciones proactivas propuestas, para reducir las fallas funcionales de los equipos de *Off Site*. La participación del personal de mantenimiento y operaciones favorece el trabajo en equipo y mejora comunicación entre los mismos.

Se determina cuáles son los materiales y repuestos del área mecánica incluyendo lubricantes y del área eléctrica, mínimos necesarios para la ejecución de las inspecciones preventivas y para agilizar los procesos de mantenimiento.

Con las tareas de mantenimiento preventivo propuestas, se plantean inspecciones que permiten la detección y corrección temprana de fallas sin sufrir los efectos y consecuencias y así aumentar la vida útil de los equipos.

Con la implementación del programa de mantenimiento preventivo se busca optimizar los costos de mantenimiento al disminuir tiempos por mantenimiento correctivo y realizar trabajos programados de manera ágil y eficaz.

## 9 Recomendaciones

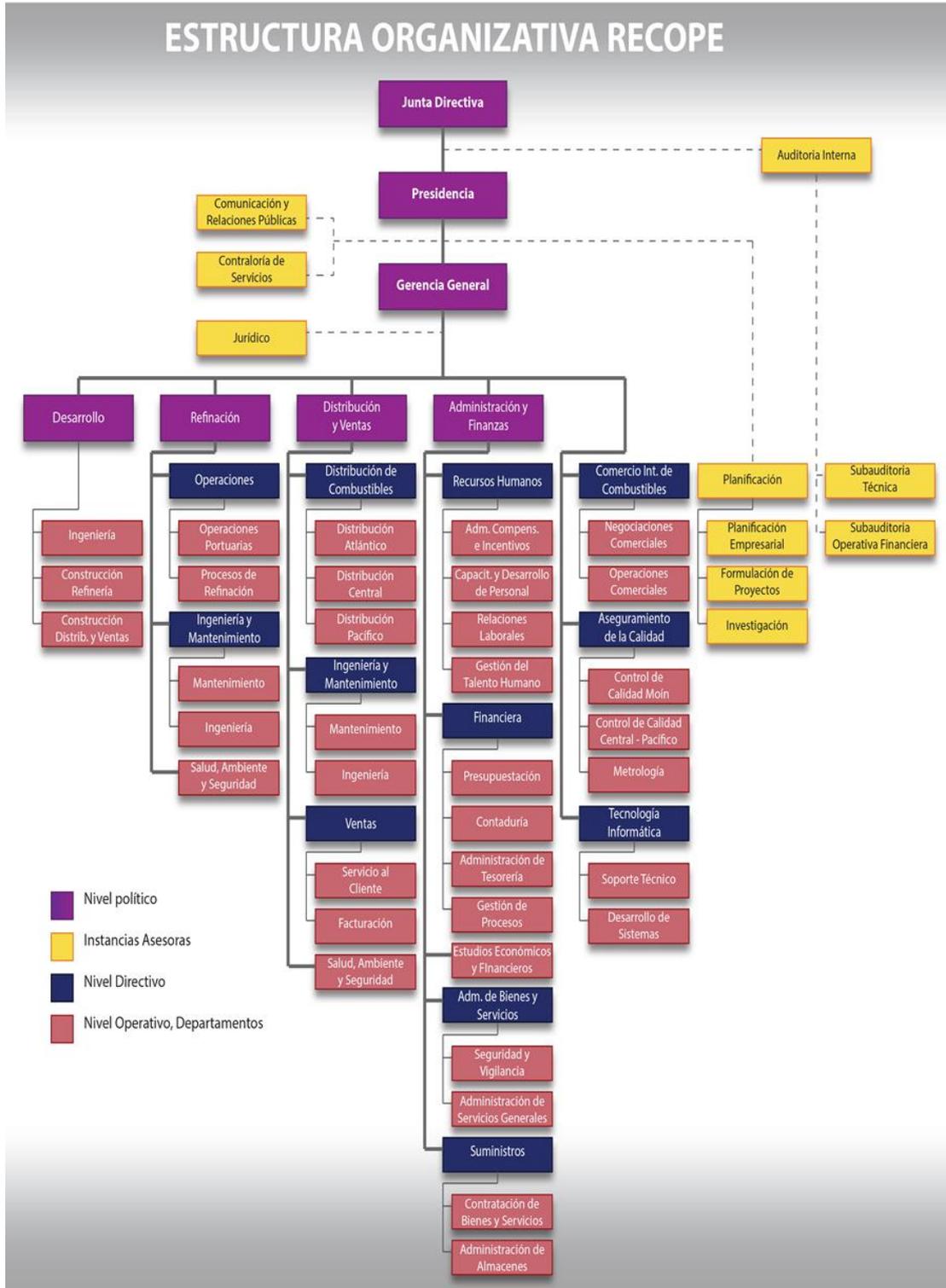
- Es necesario concientizar al personal involucrado en el mantenimiento sobre la necesidad de indicar y completar todos los datos requeridos por el sistema para esto, toda la información que recopila las órdenes de trabajo se debe llenar y se debe almacenar de manera correcta y eficaz además de seguir el procedimiento correcto.
- Se recomienda contactar con las personas encargadas de dar soporte al sistema Tricom, para hacer los ajustes necesarios y mejorar el cálculo de los indicadores de gestión de equipos.
- La capacitación constante es gran ayuda para adoptar nuevos criterios de mantenimiento, de manera que se permita evolucionar e ir avanzando hacia un cambio de cultura donde se conozca la importancia de tareas preventivas como mejores prácticas de lubricación, uso correcto de herramientas e instrumentos.
- Se recomienda incluir técnicas de lubricación de clase mundial en los equipos de *Off Site* y posteriormente en el resto de la refinería, es de gran importancia tener el control detallado y específico sobre la lubricación de cada equipo, principalmente en bombas, motores eléctricos y reductores de velocidad.
- Se recomienda utilizar horímetros en los equipos, de manera que se pueda controlar el tiempo real de funcionamiento y a partir de ahí poder programar tareas preventivas como reacondicionamientos y sustituciones cíclicas.
- Se recomienda mejorar la comunicación y coordinación entre el departamento de mantenimiento y el departamento de operaciones y de distribución y ventas para poder realizar una mejor gestión del mantenimiento.
- Se recomienda que el personal de operaciones se involucre con las actividades de mantenimiento e incluso en un futuro se puedan implementar programas de mantenimiento autónomo.

## 10 Referencias bibliográficas

- Alvarado Chávez, A. (2004). *Maquinaria y mecanización agrícola*. San José: EUNED.
- Amendola, L. J. (2010). *Gestión de proyectos de activos industriales*. València: Universidad Politécnica de València.
- Arias Caceres, L. E. (Febrero de 2008). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/987>
- Chapman, S. J. (s.f.). *Máquinas Eléctricas*. Mc Graw Hill.
- Direct Industry. (s.f.). *Direct Industry*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de <http://www.directindustry.es/prod/joh-heinr-bornemann-gmbh/bombas-tornillo-transferencia-manutencion-petroleo-94657-1183667.html>
- EagleBurgmann. (s.f.). *EagleBurgmann International*. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de <http://www.eagleburgmann.com/>
- Lifetime Reliability solutions*. (s.f.). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://www.lifetime-reliability.com/free-articles/maintenance-engineering-solutions/tip-013-helical-rotor-pump.html>
- McGraw-Hill. (s.f.). *Motores electricos*. Obtenido de <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centered Maintenance)*. Lillington, North Carolina.
- Noria Corporation. (s.f.). *Control de la presión al engrasar rodamientos*. Obtenido de Revista Machinery Lubrication: <http://www.machinerylubrication.com>
- Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de mantenimiento. Ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires.
- Recope. (s.f.). *Recope*. Recuperado el 02 de Marzo de 2015, de Refinadora Costarricense de Petróleo SA: <https://www.recope.go.cr/>
- Rexnord. (2014). Obtenido de <http://www.rexnord.com>
- SKF. (2014). *SKF Group*. Obtenido de <http://www.skf.com/group/index.html>

# 11 Anexos

## Anexo1. Estructura organizativa



Fuente: (Recope)

## Anexo2. Formato de hoja de trabajo RCM

Funciones		Fallas funcionales		Sub Parte	Modos de falla			Causas	Efectos			Acciones proactivas		
1		A			1	<b>I</b>			1	<b>3</b>		1	<b>2</b>	
					2	<b>E</b>			2	<b>6</b>		2	<b>1</b>	

Fuente: Formato elaborado por Ing. Jorge Valverde Vega, Profesor del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Significados de las abreviaturas en negrita.

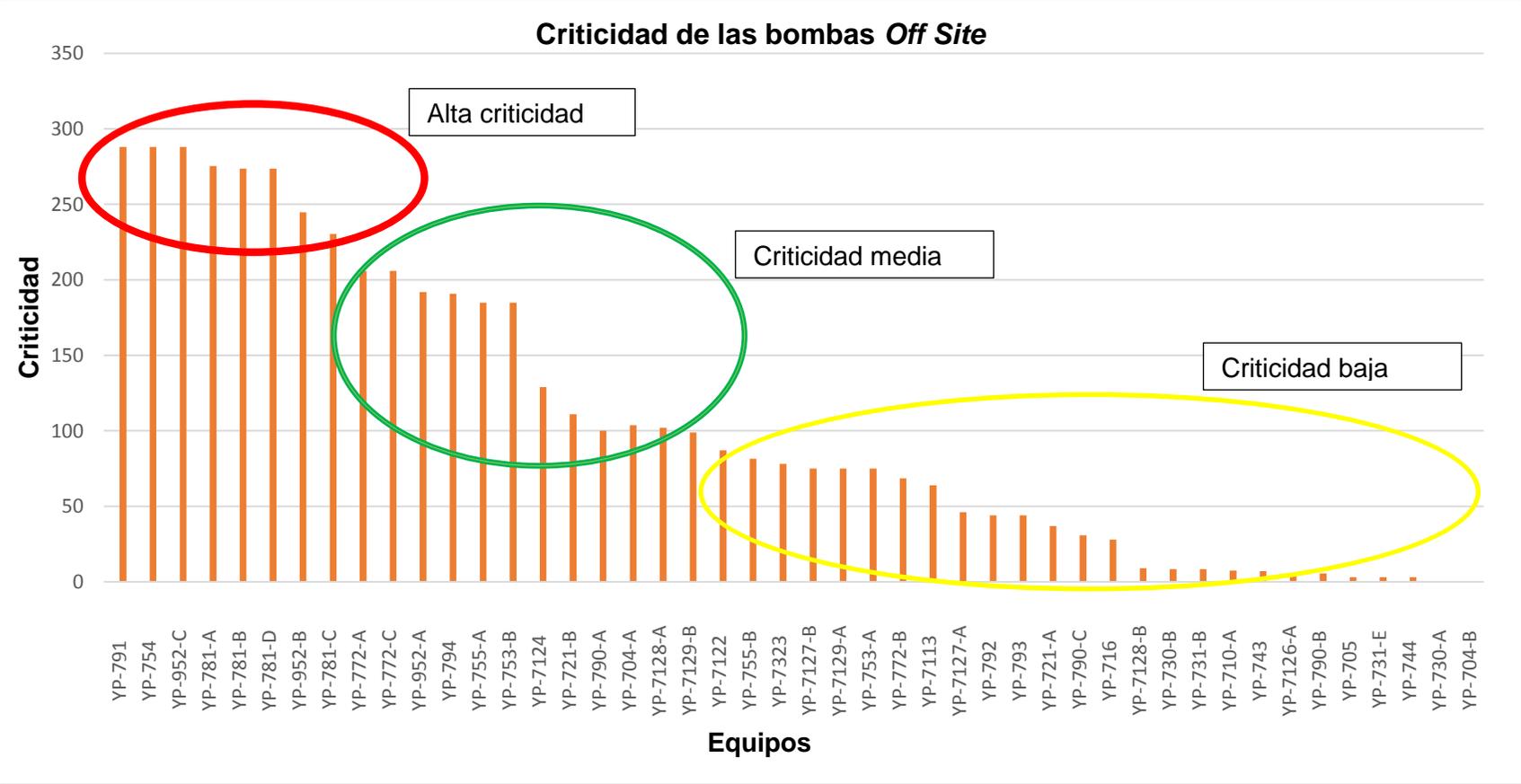
Tipo de modo de falla	
I	Interno
E	Externo

Tipos de efecto	
1	La seguridad de las personas
2	El medioambiente
3	La eficiencia de la producción
4	Las pérdidas del producto
5	La calidad del producto
6	La propia máquina

Tipos de acción proactiva	
1	Inspección de mantenimiento predictivo
2	Inspección de mantenimiento preventivo
3	Procedimiento de operación
4	Trabajo de rediseño
5	Dejar fallar. Trabajo de mto. Correctivo.

**Anexo 3. Análisis de criticidad en equipos de Off Site**

**Ilustración 44. Gráfico de criticidad en equipos de Off Site**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 23. Datos para el análisis de criticidad**

**Parte 1.**

		Programación y Control de Mantenimiento Confiabilidad operacional Encuesta de evaluación de criticidad						
Área: <i>Off Site</i>								
Persona entrevistada: Jose Luis García								
Fecha: 10/03/2014								
Equipos	Nivel de producción	Frecuencia de falla (Peso)	Impacto en producción (Peso)	TPPR (Peso)	Costo Reparación (Peso)	Impacto en la seguridad (Peso)	Impacto al ambiente (Peso)	Criticidad
YP-791	12	3	0,5	6	25	35	0	288
YP-754	12	4	0,5	2	25	35	0	288
YP-952-C	12	3	0,5	6	25	35	0	288
YP-781-A	1	3	0,3	6	25	35	30	275,4
YP-781-B		3	0,3	4	25	35	30	273,6
YP-781-D		3	0,3	4	25	35	30	273,6
YP-952-B	12	3	0,3	6	25	35	0	244,8
YP-781-C	1	3	0,3	6	10	35	30	230,4
YP-772-A	1	3	0,3	2	3	35	30	205,8
YP-772-C		3	0,3	2	3	35	30	205,8
YP-952-A	12	3	0,5	4	5	35	0	192
YP-794	2	3	0,3	6	25	35	0	190,8
YP-755-A	12	3	0,3	6	5	35	0	184,8
YP-753-B*		3	0,3	6	5	35	0	184,8
YP-7124	6	3	0,5	6	25	0	0	129
YP-721-B	4	3	0,5	6	25	0	0	111
YP-790-A*	1	4	0	6	25	0	0	100
YP-704-A	2	3	0,8	6	25	0	0	103,8
YP-7128-A	12	3	0,5	4	10	0	0	102
YP-7129-B	2	3	1	4	25	0	0	99
YP-7122	1	3	1	4	25	0	0	87
YP-755-B	12	1	0,3	6	25	35	0	81,6
YP-7323	1	3	1	1	25	0	0	78
YP-7127-B*	9	1	0,8	6	3	0	0	75

Fuente: Elaboración propia.

## Datos para el análisis de criticidad

### Parte 2.

		Programación y Control de Mantenimiento Confiabilidad operacional Encuesta de evaluación de criticidad						
Área: Off Site								
Persona entrevistada: Jose Luis García								
Fecha: 10/03/2014								
Equipos	Nivel de producción	Frecuencia de falla (Peso)	Impacto en producción (Peso)	TPPR (Peso)	Costo Reparación (Peso)	Impacto en la seguridad (Peso)	Impacto al ambiente (Peso)	Criticidad
YP-7129-A *	2	3	0	6	25	0	0	75
YP-753-A*	0	3	0	6	25	0	0	75
YP-772-B	1	1	0,3	2	3	35	30	68,6
YP-7113	9	1	1	6	10	0	0	64
YP-7127-A	9	1	0,8	6	17	0	0	46,2
YP-792	12	1	0,5	1	3	35	0	44
YP-793		1	0,5	1	3	35	0	44
YP-721-A	4	1	0,5	6	25	24	0	37
YP-790-C	1	3	0,3	1	10	0	0	30,9
YP-716	9	1	0,5	4	10	0	0	28
YP-7128-B	12	1	0,5	1	3	0	0	9
YP-730-B	9	1	0,3	2	3	0	0	8,4
YP-731-B		1	0,3	2	3	0	0	8,4
YP-710-A*	9	1	0,5	1	3	0	0	7,5
YP-743	4	1	0,5	2	3	0	0	7
YP-7126-A	9	1	0,3	1	3	0	0	5,7
YP-790-B	1	1	0,3	2	5	0	0	5,6
YP-705*	0	1	0	2	3	0	0	3
YP-731-E*	0	1	0	1	3	0	0	3
YP-744	4	1	0,5	1	3	0	0	3
YP-730-A	9	0	0,3	0	0	0	0	0
YP-704-B*	0	0	0	0	0	0	0	0

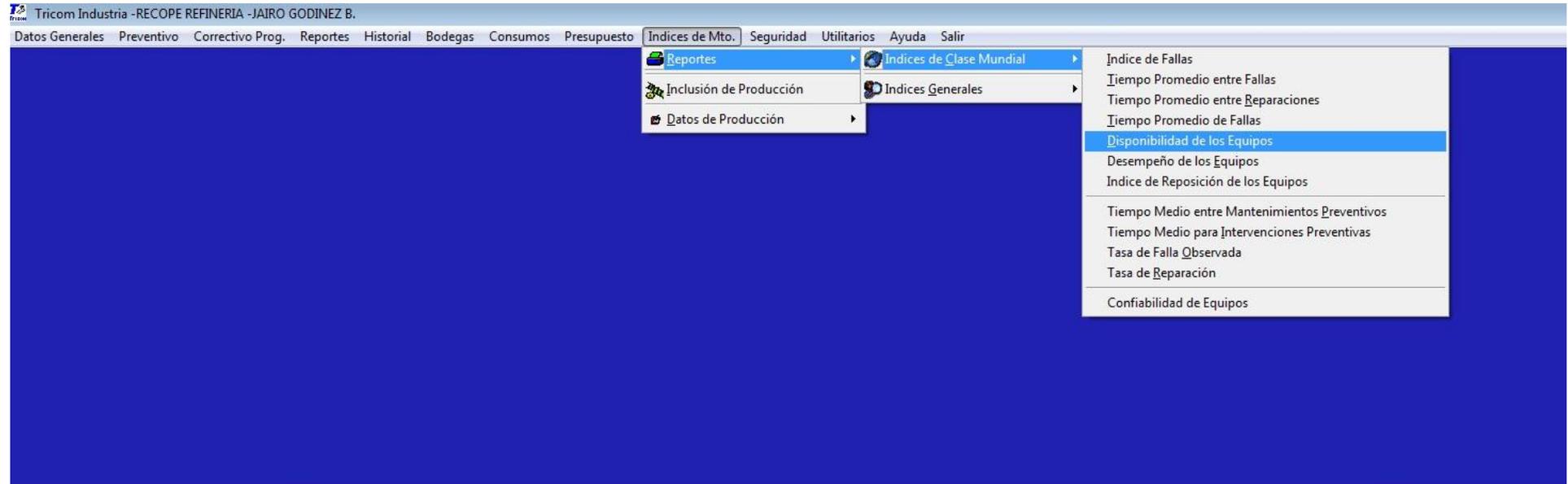
Fuente: Elaboración propia

\* Equipos que actualmente no se encuentran en el campo.

## Anexo 4. Cálculo de la disponibilidad en el Software Tricom

Ilustración 45. Pasos para el cálculo de la disponibilidad en Tricom

### Parte 1.



Fuente: Tricom.

## Pasos para el cálculo de la disponibilidad en Tricom Parte 2.

Indicar periodo para el cual se requiere el cálculo

Seleccionar una sección en específico

Seleccionar un área en específico

Seleccionar tipo de mantenimiento

Seleccionar grupo de fallas

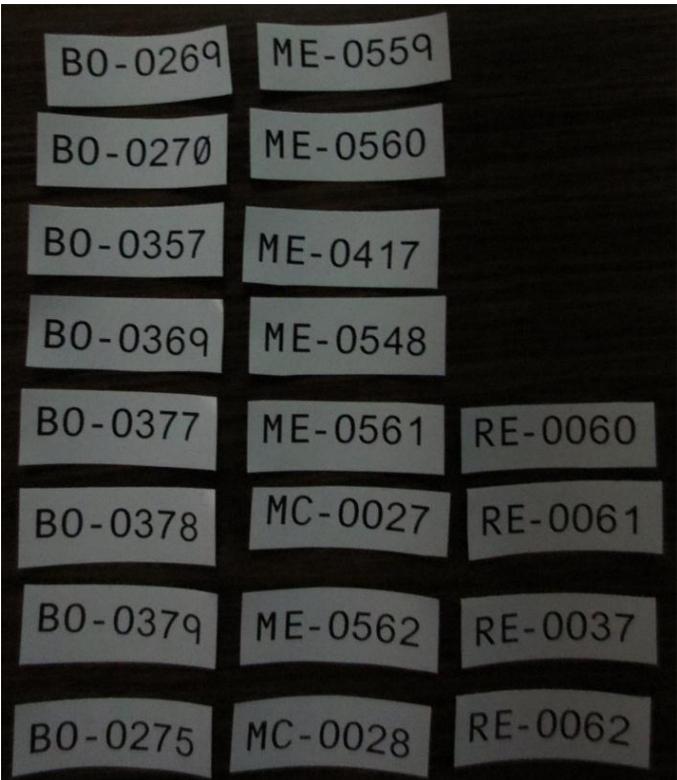
Generar reporte

Fuente: Tricom.

The screenshot shows the 'Disponibilidad de los Equipos' window. At the top, there are three filter sections: 'Secciones' with radio buttons for 'Todas' and 'Especifica', a dropdown menu showing 'Y' and 'UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)'; 'Areas' with radio buttons for 'Todas' and 'Especifica', a dropdown menu showing 'P' and 'BOMBAS'; and 'Equipos' with radio buttons for 'Todos' and 'Especifico'. Below these are date fields: 'Del día: 21/05/2015' and 'Al día: 21/05/2015'. Then, 'Utilizar Horas por:' with radio buttons for 'Producción Diaria' and 'Predefinidas'. The 'Tipos de Mto:' section has radio buttons for 'Todos' and 'Especifico', and a dropdown menu that is open, showing a list of maintenance types: ELE (MANTENIMIENTO ELECTR), INS (INSTRUMENTACION), LUB (MANTENIMIENTO LUBRICO), MEC (MANTENIMIENTO MECANICO), MP (MANTENIMIENTO PREVENTIVO), SVR (MANTENIMIENTO SERVICIO), and TUB (TUBEROS). The 'Grupo de Fallas:' section has radio buttons for 'Todos' and 'Especifico'. At the bottom, there are three buttons: 'Generar Reporte' (with a printer icon), 'Generar Gráfico' (with a bar chart icon), and 'Salir' (with a red X icon). Red arrows from external text boxes point to the 'Especifica' radio button in 'Secciones', the 'UNIDAD TANQUERIA' dropdown, the 'Especifica' radio button in 'Areas', the 'BOMBAS' dropdown, the 'Predefinidas' radio button in 'Utilizar Horas por:', the 'Especifico' radio button in 'Tipos de Mto:', the dropdown menu for 'Tipos de Mto:', the 'Especifico' radio button in 'Grupo de Fallas:', and the 'Generar Reporte' button.

**Anexo 5. Fotografías de codificación de subpartes de equipos**

**Ilustración 46. Etiquetas realizadas para la codificación de equipos**



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 47. Etiquetas colocadas en bombas**



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 48. Etiquetas colocadas en motores eléctricos**



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 49. Etiquetas colocadas en motores de combustión y reductores de velocidad**



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 6. Disponibilidad de los equipos (Parte 1)

<b>Equipo</b>	<b>Disponibilidad (%)</b>
YP-704-A	89,42
YP-704-B	99,47
YP-705	99,84
YP-710-A	99,94
YP-7113	98,45
YP-7122	97,15
YP-7124	105,53
YP-7126-A	99,96
YP-7127-A	98,35
YP-7127-B	81,59
YP-7128-A	99,47
YP-7128-B	99,84
YP-7129-A	91,81
YP-7129-B	98,85
YP-716	99,68
YP-721-A	98,84
YP-721-B	95,15
YP-730-A	98,29
YP-730-B	99,91
YP-731-B	99,86
YP-731-E	99,91
YP-7323	82,42
YP-735	99,23
YP-743	99,82
YP-744	99,91
YP-753-A	45,12
YP-753-B	89,41
YP-754	31,25
YP-755-A	41,06
YP-755-B	93
YP-772-A	82,13
YP-772-B	93,48
YP-772-C	98,19
YP-781-A	67,08
YP-781-B	96,27
YP-781-C	64,7
YP-781-D	90,4
YP-790-A	11,38
YP-790-B	81,79
YP-790-C	99,84

## Disponibilidad de los equipos (Parte 2)

<b>Equipo</b>	<b>Disponibilidad (%)</b>
YP-791	3,8
YP-792	96,59
YP-793	100
YP-794	96,5
YP-952-A	96,61
YP-952-B	99,95
YP-952-C	97,22
<b>Disponibilidad promedio</b>	<b>87,41</b>

Fuente: Tricom.

## Anexo 7. Hoja de Información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 1 de 8)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE	
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE	
<b>ÁREA</b>	BOMBAS	
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE LPG	
<b>CÓDIGO</b>	YP-781-A	

		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
1	A	Incapacidad total de bombear LPG	Tuberías de succión	1	I	Bomba no está cebada	Fugas en la succión	Juntas flojas o sueltas	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	1	3	No se realiza el bombeo de LPG hacia el departamento de ventas, se atrasa el llenado de cisternas	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.	
				2	I	Exceso de aire en el producto	Juntas flojas	Pernos sueltos o poco ajustados	Expansión térmica en las tuberías				2	2	Verificar apriete en pernos de juntas.	
			Acople	3	I	Falla en el acople.	Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	2	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba, se afecta la eficiencia de la producción	3	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople	
													4	3	Capacitar al personal	
			Impulsores	4	I	Impulsores sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	3	3	Impulsores sueltos no permiten el bombeo del gas.	5	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de la bomba		
												5		Inversión de giro	Fases del motor invertidas	Error humano

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 2 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA										
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 200 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	6	E	Falla en la alimentación eléctrica	Breaker principal en posición de disparo			4	6	Falta de alimentación eléctrica imposibilita el arranque del motor, y de la bomba	7	5	Ninguna acción proactiva.								
							7	I	Falla en la alimentación eléctrica	Cables dañados							Cortes en aislantes	Vejez de aislante	8	2	Inspeccionar el estado de los aislantes de cables de alimentación			
					8	I	Se disparan las protecciones	Cortocircuito	Degradación del aislamiento (barniz dieléctrico)	Humedad interna	5	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas, La afectación es al equipo, porque hay bombas de respaldo, Sin embargo se atrasan las ventas, mientras se prepara y conecta el otro equipo	9	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000								
									9	Falla a tierra							Contaminación interna del motor	10	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000				
									10	Rotura en los cables de alimentación.							Cortes en aislantes de cables	11	2	Inspeccionar en la caja de bornes el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica.				
								11	Sobrecarga	Bomba requiere mayor potencia							Desgaste en rodamientos	Envejecimiento normal	12	1	Monitorear el sistema de vibraciones online			
																	12	Congelamiento en partes internas				13	2	Verificar existencia de fugas en la línea de succión y descarga.
																	13	Sobrecalentamiento				Ventilación deficiente	Suciedad en la carcaza	15
					14																			
					15	I	Bobinas quemadas	Fallo en las protecciones	Mal montaje	Error humano	6	3	No se permiten al motor arrancar, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	16	3	Capacitar el personal en instalación de protecciones de motores eléctricos								

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 3 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA						
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 200 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	16	I	Botoneras en mal estado	Acumulación de polvo o suciedad			7	3	Botoneras en mal estado pueden dejar el motor fuera de servicio, afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	17	2	Verificar el estado físico de las botoneras				
																	17	I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente rodamiento lado del eje
					Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente	19	5	Dejar fallar, rodamiento sellado											
					No hay programa de lubricación	Mal seleccionado o insuficiente				20	5	Aplicar 10,5 gramos de grasa dos veces al año								
					Falla del lubricante			21	3				Capacitar personal en lubricación							
					20	I	Rodamientos trabados			Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico	Envejecimiento						22	1	Monitorear el sistema de vibraciones online	
21	I	Rodamientos trabados	Desgaste normal																	
					1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 200 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	B			Bombeea menos de 200 GPM de LPG y/o a menos de 145 PSI (1MPa)	Tubería de succión	22		I	Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Exceso de aire en la esfera o tanque.			9	
23	I	Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Solturas mecánicas	Expansión térmica																
											Válvulas de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	24		I	Válvula de succión y descarga parcialmente cerradas.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste por edad			

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 4 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA						
1		B		Impulsores	25	I	Anillo de desgaste del impulsor en mal estado	Desgaste por edad			11	3	El anillo de desgaste del impulsor en mal estado provoca disminución en la presión y caudal entregado por la bomba, se atrasa la producción mientras se prepara y alinea nuevo equipo	26	2	Verificar la presión de descarga			
					26			Falta de producto en la bomba						Falta de producto en la esfera	27	3	Monitorear el nivel de producto en esfera		
					27	I	Desgaste en el impulsor	Desgaste normal			12	3	Impulsor o impulsores trabados o dañados disminuyen las capacidades de la bomba, atrasando la producción y tiempo de llenado de cisternas	28	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba			
					28			Entrada de aire en la bomba						Fugas en la succión y/o descarga	29	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga		
					29			Desgaste o deterioro en válvulas						Desgaste por edad	30	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas		
					30	I	Motor trabajando en 2 fases	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano	13	3	El motor trabaja de forma irregular, afectante el funcionamiento de la bomba y la eficiencia de producción	31	4	Rotular las fases del motor y cables alimentadores			
					31			Cable de alimentación desconectado	Daño en un contactor						32	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.		
					32			Rotación muy lenta							Conexiones incorrectas	Error humano	33	2	Verificar el estado de los contactores
					33			Rotación muy lenta	Tensión insuficiente	Problemas en red eléctrica							34	3	Mejorar capacitación conexiones eléctricas de motores
					34			E	Rotación muy lenta	Tensión insuficiente							Problemas en red eléctrica	35	2

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 5 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
2	A	Sello mecánico	35	I	El sello mecánico presenta fugas	Pernos del sello sueltos o con poco ajuste	Fatiga		14	1	Se presentan fugas en la bomba o tuberías de succión provocan un desperdicio de producto además de peligro para la seguridad de las personas y el medioambiente ya que el gas podría reaccionar y causar una explosión.	36	2	Verificar el ajuste en los pernos del sello mecánico.
			36			Desgaste interno						Falta de lubricación	37	2
		Carcasa de la bomba	37	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Agua y/o suciedad en la superficie externa de la carcasa.					38	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.
		Tubería de succión y descarga	38	I	Tubería de succión o descarga con soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados	Expansión térmica en las tuberías				39	2	Verificar apriete en pernos de juntas
			39	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Envejecimiento					40	2	Verificar estado de uniones por soldadura
			40	I	Fugas en la cachera por empaques, o uniones,	Desgaste o deterioro de los empaques						41	2	Verificar la existencia de fugas en la cachera.
		Válvulas de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	41	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques						15	1	Se presentan fugas, en las válvulas ubicadas en el lado de succión y descarga, el gas no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en las tuberías, es peligroso porque puede reaccionar y causar explosión

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 6 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Base de la bomba	42	I	Base de la bomba suelta	Pernos sueltos o con poco apriete			16	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor	43	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba, soldadura o apriete en pernos.
				Tuberías de succión y descarga	43	I	Las tuberías de succión y/o descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas			17	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina	44	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes
					44	I	Bomba cavita	Entrada de aire en la bomba	Fugas en la succión y/o descarga			18	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	45	2
				Ejes de la bomba y motor	45	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga			19	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina	46	1	Monitorear el sistema de vibraciones online
					46	I	Tuerca de ajuste del eje de la bomba, suelta.	Fatiga						47	2	Verificar el apriete de la tuerca de ajuste del eje.
				Válvulas de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	47	I	Bomba cavita	Desgaste o deterioro en válvulas	Desgaste por edad			20	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	48	2

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 7 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA						
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Bujes de la bomba	48	I	Bujes desgastados	Desgaste interno			21	6	Se produce un aumento en la vibración del motor eléctrico, se afectan componentes internos de la máquina	49	1	Monitorear el sistema online de vibraciones				
					49	I	Instalación incorrecta de bujes	Error humano						50	3	Capacitar personal en montaje de componentes internos de la bomba				
					50	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano					51	3	Capacitar personal en conexiones del motor				
				Motor eléctrico	51	I	Base del motor suelta	Pernos sueltos o con poco apriete			52	2	Inspeccionar el estado físico de la base del motor, soltura o apriete en pernos							
					52	I	Rodamientos desgastados	Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación		22	6	Rodamientos desgastados aumentan la vibración del motor, afecta componentes internos de la máquina	53	5	Dejar fallar, rodamiento sellado				
									Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente				54	5	Dejar fallar, rodamiento sellado				
					54	I	Rodamientos desgastados	Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico	No hay programa de lubricación		22	6	Rodamientos desgastados aumentan la vibración del motor, afecta componentes internos de la máquina	55	5	Aplicar grasa una vez al año				
									Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente				56	3	Capacitar personal en lubricación				
					56			Desgaste normal	Envejecimiento			57	1	Monitorear el sistema de vibraciones online						
					3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	B	No cumple con estándares de temperatura	Motor eléctrico	57	E	Desbalance de tensiones	Problemas en la red de alimentación eléctrica			23	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	58	2
				58						I	Desgaste en rodamientos	Desgaste normal			24	6	Aumenta la temperatura de los rodamientos y con esto la temperatura superficial del motor	59	1	Monitorear el sistema online de vibraciones

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-A (Hoja 8 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	B	No cumple con estándares de temperatura	Motor eléctrico	59	I	Pérdida de fase del motor	Cable de alimentación desconectado			25	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	60	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.	
					60			Daño en un contactor	Golpes o exceso de suciedad					61			2
					61	I	Cables de alimentación en mal estado	Humedad en los cables	Conduletas rotas o uniones sueltas		26	6	Se aumenta la temperatura de los cables y con esto la temperatura del motor	62	2	Inspeccionar estado físico de las conduletas	
					62			Aislante de cable en mal estado						63			2
					63	I	Sobrecarga en el motor	Bomba requiere mayor potencia	Congelamiento en partes internas de la bomba	Ingreso de aire en la bomba		27	6	Sobrecarga del motor produce un aumento en la corriente y un aumento en la temperatura del motor, disminuyendo la vida útil del aislamiento	64	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga
					64				Operación en punto diferente al de diseño						65		
										66	2	Medir la temperatura externa del motor					
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa, base de la bomba y motor eléctrico.	A	Apariencia de la carcasa, base de la bomba y del motor eléctrico no cumplen los estándares	Carcasa de la bomba	65	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			28	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	67	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie de la bomba	
				Motor eléctrico	66	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			29	6	Deterioro de superficie del motor puede aumentar la humedad interna y provocar cortocircuito	68	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie del motor eléctrico	
				Base metálica y base de concreto de la bomba y del motor	67	I	Presencia de suciedad y agua en las bases de la bomba y motor eléctrico	Humedad en el ambiente			30	6	Presencia de suciedad y agua en la base de la bomba producen mal aspecto y corrosión en las superficies metálicas.	69	2	Verificar exceso de suciedad y agua en la superficies de las bases de metal y concreto	

### Anexo 8. Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 1 de 8)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE	
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE	
<b>ÁREA</b>	BOMBAS	
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE LPG	
<b>CÓDIGO</b>	YP-781-B	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 240 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1 MPa)	A	Incapacidad total de bombear LPG	Tuberías de succión	1	I	Bomba no está cebada	Fugas en la succión	Juntas flojas o sueltas	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	1	3	No se realiza el bombeo de LPG hacia el departamento de ventas, se atrasa el llenado de cisternas	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
					2	I	Exceso de aire en el producto	Juntas flojas	Pernos sueltos o poco ajustados	Expansión térmica en las tuberías				2	2	Verificar apriete en pernos de juntas.
				Acople	3	I	Falla en el acople.	Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	2	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba, se afecta la eficiencia de la producción	3	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople
														4	3	Capacitar el personal
				Impulsores	4	I	Impulsores sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	3	3	Impulsores sueltos no permiten el bombeo del gas, atrasa la producción mientras se alinea nuevo equipo	5	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de la bomba	
													5		Inversión de giro	Fases del motor invertidas

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 2 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 240 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1 MPa)	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	6	E	Falla en la alimentación eléctrica	Breaker principal en posición de disparo			4	6	Falta de alimentación eléctrica imposibilita el arranque del motor, y de la bomba	7	5	Ninguna acción proactiva.
					7	I	Falla en la alimentación eléctrica	Cables dañados	Cortes en aislantes	Vejez de aislante				8	2	Inspeccionar el estado de los aislantes de cables de alimentación
					8	I	Se disparan las protecciones	Cortocircuito	Degradación del aislamiento (barniz dieléctrico)	Humedad interna	5	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas, La afectación es al equipo, porque hay bombas de respaldo, Sin embargo se atrasan las ventas, mientras se prepara y conecta el otro equipo	9	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000
					9				Falla a tierra	Contaminación interna del motor				10	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000
					10				Rotura en los cables de alimentación.	Cortes en aislantes de cables				11	2	Inspeccionar en la caja de bornes el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica.
					11				Desgaste normal en rodamientos	Envejecimiento normal				12	1	Monitorear el sistema de vibraciones online
					12			Sobrecarga	Bomba requiere mayor potencia	Congelamiento en partes internas	13	1	Verificar existencia de fugas en la línea de succión y descarga.			
					13					Operación en punto diferente al de diseño				14	2	Verificar la presión de descarga
					14			Sobrecalentamiento	Ventilación deficiente	Suciedad en la carcasa	15	2	Limpiar con trapo seco la superficie del motor.			

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 3 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA					
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 240 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1 MPa)	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	15	I	Bobinas quemadas	Fallo en las protecciones	Mal montaje		6	3	Bobinas quemadas no permiten al motor arrancar, la bomba no puede girar, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	16	3	Capacitar el personal en instalación de protecciones de motores eléctricos
					16	I	Botoneras en mal estado	Acumulación de polvo o suciedad			7	3	Botoneras en mal estado pueden dejar el motor fuera de servicio, afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	17	2	Verificar el estado físico de las botoneras
					17		Rodamientos trabados	Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación		8	3	Rodamientos trabados pueden dejar el motor fuera de servicio, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	18	2	Aplicar 20,5 gramos de grasa 2 veces al año
					18			Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente	19				3	Capacitar el personal en lubricación	
					19	I		Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico	No hay programa de lubricación					20	5	Dejar fallar, rodamiento sellado
					20			Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente	21				5	Dejar fallar, rodamiento sellado	
		21		Desgaste normal	Envejecimiento			22	1	Monitorear el sistema de vibraciones online						
		22		Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Exceso de aire en la esfera o tanque.			9	3	La bomba no es capaz de funcionar de forma continua, o bombea un caudal menor al requerido, afectando el tiempo de llenado de los cisternas en el departamento de ventas.				23	3	Realizar la purga antes de arrancar la bomba.
		23	I		Juntas flojas o sueltas	Pernos sueltos o poco ajustados	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento				24	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.			

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 4 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA				
1	A	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 240 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1 MPa)	Bombee menos de 250 GPM de LPG y/o a menos de 145 PSI (1 MPa)	Válvula de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	24	I	Válvulas de succión y descarga parcialmente cerradas.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste normal	Envejecimiento	10	3	Válvula semi-abierta disminuye el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia de la producción	25	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre
				Impulsores	25	I	Anillo de desgaste del impulsor en mal estado	Desgaste por edad	Envejecimiento	11	3	El anillo de desgaste del impulsor en mal estado provoca disminución en la presión y caudal entregado por la bomba, se atrasa la producción mientras se prepara y alinea nuevo equipo	26	2	Verificar la presión de descarga	
					26			Falta de producto en la bomba	Falta de producto en la esfera				27	3	Monitorear el nivel de producto en esfera	
				Impulsores	27	I	Desgaste en el impulsor	Desgaste por edad	Cavitación	12	3	Impulsor o impulsores trabados o dañados disminuyen las capacidades de la bomba, atrasando la producción y tiempo de llenado de cisternas	28	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba	
					28			Entrada de aire en la bomba					Fugas en la succión y/o descarga	29	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga
					29			Desgaste o deterioro en válvulas					Desgaste por edad	30	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas
				Motor eléctrico	30	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano	13	3	El motor trabaja de forma irregular, afectando el funcionamiento de la bomba y la eficiencia en la producción	31	4	Rotular las fases del motor y cables alimentadores	
					31	I	Motor trabajando en 2 fases	Cable de alimentación desconectado	Golpe				32	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.	
					32			Daño en un contactor					33	2	Verificar el estado de los contactores	
					33	I	Rotación muy lenta	Conexiones incorrectas	Error humano				34	3	Mejorar capacitación conexiones eléctricas de motores	
					34	E	Rotación muy lenta	tensión insuficiente	Problemas en la red eléctrica				35	2	Medir tensión de alimentación del motor.	

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 5 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
2	Mantener hermeticidad de todo el volumen de LPG trasegado, dentro de la bomba.	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba, en forma parcial o total	Sello mecánico	35	El sello mecánico presenta fugas	Pernos del sello sueltos o con poco ajuste	Fatiga	14	1	Se presentan fugas en la bomba o tuberías de succión provocan un desperdicio de producto además de peligro para la seguridad de las personas y el medioambiente ya que el gas podría reaccionar y causar una explosión.	36	2	Verificar el ajuste en los pernos del sello mecánico.		
					36		Desgaste interno	Falta de lubricación				37	2	Verificar la existencia de fugas en el sello mecánico		
				Carcasa de la bomba	37	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.				Agua y/o suciedad en la superficie externa de la bomba.	38	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.	
				Tubería de succión y descarga	38	I	Tubería de succión con soldaduras	Solturas en las bridas				Pernos sueltos o poco ajustados	Expansión térmica en las tuberías	39	2	Verificar apriete en pernos de juntas
					39	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos				Envejecimiento	40	2	Verificar estado de uniones por soldadura	
					40	I	Fugas en la cachera por empaques, o uniones,	Desgaste o deterioro de los empaques				41	2	Verificar la existencia de fugas en la cachera.		
				Válvula de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	41	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques				Desgaste por edad	15	1	Se presentan fugas, en las válvulas ubicadas en el lado de succión y descarga, el gas no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en las tuberías, es peligroso porque puede reaccionar y causar explosión	42

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 6 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA					
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Base de la bomba	42	I	Base de la bomba suelta	Solturas mecánicas			16	6	Se produce un incremento en la vibración de la bomba, se dañan componentes de la bomba y del motor	43	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba, soldadura o apriete en pernos.			
				Tuberías de succión y descarga	43	I	Tuberías de succión y descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas			17	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina	44	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes			
					44	I	Bomba cavita	Entrada de aire en la bomba	Fugas en la succión y/o descarga			18	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	45	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga		
				Ejes de la bomba y motor	45	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga					19	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina	46	1	Monitorear el sistema de vibraciones online	
				Válvulas de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	46	I	Bomba cavita	Desgaste o deterioro en válvulas	Desgaste por edad					20	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	47	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas
				Bujes de la bomba	47	I	Bujes desgastados	Desgaste por edad						21	6	Se produce un aumento en la vibración del motor eléctrico, se afectan componentes internos de la máquina	48	1	Monitorear sistema de vibraciones online
					48	I	Instalación incorrecta de bujes	Error humano									49	3	Capacitar personal en montaje de componentes internos de la bomba

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 7 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
3	A	No cumple estándares de vibración	Motor eléctrico	49	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano		21	6	Se produce un aumento en la vibración del motor eléctrico, se afectan componentes internos de la máquina	50	3	Capacitar personal en conexiones del motor
				50	I	Base presenta movimiento	Pernos sueltos o con poco apriete						51	2	Inspeccionar el estado físico de la base del motor, soltura o apriete en pernos
				51	I	Rodamientos desgastados	Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación		22	6	Rodamientos desgastados aumentan la vibración del motor, afecta componentes internos de la máquina	52	2	Aplicar 20,5 gramos de grasa 2 veces al año
				Falla del lubricante				Mal seleccionado o insuficiente	53				3	Capacitar el personal en lubricación	
				Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico			No hay programa de lubricación		54				5	Dejar fallar, rodamiento sellado	
							Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente	55				5	Dejar fallar, rodamiento sellado	
	55		Desgaste normal	Envejecimiento			56	1	Monitorear el sistema de vibraciones online						
	B	No cumple con estándares de temperatura	Motor eléctrico	56	E	Desbalance de tensiones	Problemas en la red de alimentación eléctrica						23	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.
				57	I	Desgaste en rodamientos	Desgaste por edad			24	6	Aumenta la temperatura de los rodamientos y con esto la temperatura superficial del motor			
				58	I	Pérdida de fase del motor	Cable de alimentación desconectado			25	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	59	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
				59			Daño en un contactor						60	2	Verificar el estado de los contactores

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-B (Hoja 8 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	B	No cumple con estándares de temperatura	Motor eléctrico	60	I	Cables de alimentación en mal estado	Humedad en los cables			26	6	Se aumenta la temperatura de los cables y con esto la temperatura del motor	61	2	Inspeccionar estado interno de conductetas
					61			aislante de cable en mal estado						62	2	Inspeccionar aislantes en cables de alimentación
					62	I	Sobrecarga mecánica	Bomba requiere mayor potencia	Congelamiento en partes internas de la bomba	Ingreso de aire en la bomba	27	6	Sobrecarga del motor produce un aumento en la corriente y un aumento en la temperatura del motor, disminuyendo la vida útil del aislamiento	63	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga
					63				Operación en punto diferente al de diseño						64	2
													65	2	Medir la temperatura externa del motor	
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa, base de la bomba y motor eléctrico.	A	Apariencia de la carcasa, base de la bomba y motor eléctrico no cumplen los estándares	Carcasa de la bomba	64	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			28	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	66	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie de la bomba
				Motor eléctrico	65	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			29	6	Deterioro de superficie del motor puede aumentar la humedad interna y provocar cortocircuito	67	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie del motor eléctrico
				Base metálica y base de concreto	66	I	Presencia de suciedad y agua en las bases de la bomba y motor eléctrico	Humedad en el ambiente			30	6	Presencia de suciedad y agua en la base de la bomba producen mal aspecto y corrosión en las superficies metálicas.	68	2	Verificar exceso de suciedad y agua en la superficies de las bases de metal y concreto

## Anexo 9. Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 1 de 9)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE	
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE	
<b>ÁREA</b>	BOMBAS	
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE LPG	
<b>CÓDIGO</b>	YP-781-C	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 264 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPA).	A	Incapacidad total de bombear LPG	Tubería de succión	1	I	Bomba no está cebada	Fugas en la succión	Juntas flojas o sueltas, empaques deteriorados	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	1	3	No se realiza el bombeo de LPG hacia el departamento de ventas, se atrasa el llenado de cisternas	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
					2	I	Exceso de aire en el producto	Juntas flojas	Pernos sueltos o poco ajustados	Expansión térmica en las tuberías				2	2	Verificar apriete en pernos de juntas.
				Acople	3	I	Falla en el acople.	Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	2	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba, se afecta la eficiencia de la producción	3	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople
														4	3	Capacitar el personal
				Impulsores	4	I	Impulsores sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	3	3	Impulsores sueltos no permiten el bombeo del gas, se atrasa la producción mientras se alinea nuevo equipo	5	3	Mejorar capacitación	
													5	4	Rotular las fases del motor y cables alimentadores	

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 2 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA				
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 264 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPA).	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	6	E	Falla en la alimentación eléctrica	Breaker principal en posición de disparo			4	6	Falta de alimentación eléctrica imposibilita el arranque del motor, y de la bomba	7	5	Ninguna acción proactiva	
					7	I	Falla en la alimentación eléctrica	Cables dañados	Cortes en aislantes	Vejez de aislante				8	2	Inspeccionar el estado de los aislantes de cables de alimentación	
					8	I	Se disparan las protecciones	Cortocircuito	Degradación del aislamiento (barniz dieléctrico)	Humedad interna	5	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas, La afectación es al equipo, porque hay bombas de respaldo, Sin embargo se atrasan las ventas, mientras se prepara y conecta el otro equipo	9	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEEE 43-2000	
					9				Falla a tierra	Contaminación interna del motor				10	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEEE 43-2000	
					10				Rotura en los cables de alimentación.	Cortes en aislantes de cables				11	2	Inspeccionar en la caja de bornes el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica.	
					11				Desgaste normal en rodamientos	Envejecimiento normal				12	1	Monitorear el sistema de vibraciones online	
					12				Sobrecarga	Bomba requiere mayor potencia				Congelamiento en partes internas	13	1	Verificar existencia de fugas en la línea de succión y descarga.
					Operación en punto diferente al de diseño									14	2	Verificar la presión de descarga	
					13				Sobrecalentamiento	Ventilación deficiente				Suciedad en la carcasa	15	2	Limpiar con trapo seco la superficie del motor
					14												
					15	I	Bobinas quemadas	Fallo en las protecciones	Mal montaje		6	3	Bobinas quemadas no permiten al motor arrancar, la bomba no puede girar, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	16	3	Capacitar el personal en instalación de protecciones de motores eléctricos	

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 3 de 9)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA																	
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 264 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa).	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico			7	3	Botoneras en mal estado pueden dejar el motor fuera de servicio, afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	17	2	Verificar el estado físico de las botoneras														
																16	I	Botoneras en mal estado	Acumulación de polvo o suciedad										
																17			Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación						18	5	Dejar fallar, rodamiento sellado	
																18				Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente						19	5	Dejar fallar, rodamiento sellado
																19				Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite						20	2	Verificar el nivel de aceite en el visor
																20				Alto nivel de aceite	Error humano						21	2	Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito.
																21				Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente						22	3	Capacitar personal en lubricación
																22				Vida útil superada	No hay programa de lubricación						23	3	Mejorar capacitación en lubricación
		23				Desgaste normal	Envejecimiento						24	2	Sustitución programada del aceite 2 veces al año														
		24											25	1	Monitorear sistema de vibraciones online														
		25											26	2	Realizar la purga antes de arrancar la bomba														
		26											27	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.														
		27											28	2															

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 4 de 9)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA																																							
1	B	Bombee menos de 264 GPM de LPG a mínimo 145 PSI (1MPa).	Impulsores	I	Válvula de succión parcialmente cerrada.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste por edad			10	3	Válvula puede quedar semi-abierta, disminuyendo el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia de la producción	28	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre																																				
																27	I	Anillo de desgaste del impulsor en mal estado	Desgaste por edad			11	3	El anillo de desgaste del impulsor en mal estado provoca disminución en la presión y caudal entregado por la bomba, se atrasa la producción mientras se prepara y alinea nuevo equipo	29	2	Verificar la presión de descarga																								
																												28	I	Falta de producto en la bomba	Falta de producto en la esfera			30	3	Monitorear el nivel de producto en esfera															
																29	I	Desgaste en el impulsor	Desgaste normal			12	3	Impulsor o impulsores trabados o dañados disminuyen las capacidades de la bomba, atrasando la producción y tiempo de llenado de cisternas	31	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba																								
																												30	I	Cavitación	Entrada de aire en la bomba	Fugas en la succión y/o descarga			32	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga														
																																						31	I		Desgaste o deterioro en válvulas	Desgaste por edad			33	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas				
																32	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano				13	3	El motor trabaja de forma irregular, afectando el funcionamiento de la bomba y la eficiencia de producción	34	4	Rotular las fases del motor y cables alimentadores																						
																														33	I	Motor trabajando en 2 fases	Cable de alimentación desconectado					35	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.											
																																									34	I	Rotación muy lenta	Daño en un contactor	Golpe				36	2	Inspeccionar el estado de los contactores
																														35	I	Conexiones incorrectas	Error humano					37	3	Mejorar capacitación conexiones eléctricas de motores											

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 5 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
2	Mantener hermeticidad de todo el volumen de LPG trasegado, dentro de la bomba.	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba.	Sello mecánico	I	El sello mecánico presenta fugas	Desgaste de empaques	Desgaste por edad	14	6	Si se presentan fugas en el sello mecánico, el plan API 53C, contiene el LPG y evita que se libere al ambiente, la afectación es hacia la propia máquina	39	1	Verificar la posición del pistón acumulador		
							Falta de lubricación en el sello	Bajo nivel del fluido barrera en la bomba de diésel del plan API 53C				Fugas de líquido barrera en cualquier punto del sistema	40	2	Verificar el nivel del líquido en la bomba de diésel del plan 53C	
								Válvula del intercambiador de calor del plan API 53C, parcialmente cerrada				Error humano	41	2	Verificar la existencia de fugas en el reservorio	
								Serpentín del intercambiador de calor obstruido				Exceso de suciedad e impurezas en el agua	42	3	Verificar la posición de la válvula del intercambiador de calor	
							Fluido lubricante no lubrica todos los componentes del sello.	Baja presión en el acumulador				43	4	Colocar filtros en las tuberías de agua de alimentación a intercambiadores de calor		
												44	2	Verificar el libre flujo de agua en la salida del intercambiador de calor		
						45	2	Verificar la presión en cilindro del pistón acumulador.								
				Carcasa de la bomba	42	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Agua y/o suciedad en la superficie externa de la bomba.	15	1	Se presentan fugas en la carcasa o tuberías de succión provocan un desperdicio de producto además de peligro para la seguridad de las personas y el medioambiente ya que el gas podría reaccionar y causar una explosión.	46	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.	
				Tubería de succión y descarga	43	I	Tubería de succión con soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados				Expansión térmica en las tuberías	47	2	Verificar apriete en pernos de juntas
					44	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Envejecimiento					48	2	Verificar estado de uniones por soldadura
					45	I	Fugas en la cachera por empaques, o uniones,	Desgaste o deterioro de los empaques						49	2	Verificar la existencia de fugas en la cachera.

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 6 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
2	Mantener hermeticidad de todo el volumen de LPG trasegado, dentro de la bomba.	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba.	Válvula de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	46	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques				16	1	Se presentan fugas, en las válvulas ubicadas en el lado de succión y descarga, el gas no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en las tuberías, es peligroso porque puede reaccionar y causar explosión	50	2	Verificar la existencia de fugas por los empaques y uniones de la válvula.
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibraciones	Base de la bomba	47	I	Base de la bomba suelta	Solturas mecánicas				17	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor	51	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba, soltura o apriete en pernos
				Tuberías de succión y descarga	48	I	Tuberías de succión y descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas				18	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor	52	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes
					49	I	Bomba cavita	Entrada de aire en la bomba	Fugas en la succión y/o descarga				19	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	53	2
				Ejes de la bomba y motor	50	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga							20	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 7 de 9)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
3	A	No cumple estándares de vibraciones	Válvula de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	51	I	Bomba cavita	Desgaste o deterioro en válvulas	Desgaste por edad		21	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	55	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas.
			Bujes de la bomba	52	I	Bujes desgastados	Desgaste por edad			22	6	Se produce un aumento en la vibración del motor eléctrico, se afectan componentes internos de la máquina.	56	1	Monitorear sistema de vibraciones online.
				53	I	Instalación incorrecta de bujes	Error humano						57	3	Capacitar personal en montaje de componentes internos de la bomba.
			Motor eléctrico	54	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano		58	3		Capacitar personal en conexiones del motor.		
				55	I	Base del motor suelta	Pernos sueltos o con poco apriete			59	2		Inspeccionar el estado físico de la base del motor, soldadura o apriete en pernos.		
			Rodamientos trabados	56	I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación		23	3	Rodamientos trabados pueden dejar el motor fuera de servicio, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	60	5	Dejar fallar rodamiento sellado.
				Falla del lubricante				Mal seleccionado o insuficiente	61				5	Dejar fallar, rodamiento sellado.	
				Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico			Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite	62	2			Verificar el nivel de aceite en el visor.		
							Alto nivel de aceite	Error humano	63	2			Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito.		
				Falla del lubricante			Mal seleccionado o insuficiente	64	3	Capacitar personal en lubricación.					
				Vida útil superada			No hay programa de lubricación	65	3	Mejorar capacitación en lubricación.					
				Desgaste normal			Envejecimiento			66			2	Sustitución programada del aceite 2 veces al año.	
							67	1	Monitorear sistema de vibraciones online.						

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 8 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
3	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa, base de la bomba y motor eléctrico.	B	No cumple estándares de temperatura	Motor eléctrico	63	E	Desbalance de tensiones	Problemas en la red de alimentación eléctrica			24	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	68	2	Medir tensión en las fases del motor.
					64	I	Desgaste en rodamientos	Desgaste normal			25	6	Aumenta la temperatura de los rodamientos y con esto la temperatura superficial del motor	69	1	Monitorear el sistema online de vibraciones.
					65	I	Pérdida de fase del motor	Cable de alimentación desconectado			26	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	70	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
					Daño en un contactor					71				2	Inspeccionar el estado de los contactores.	
					67	I	Cables de alimentación en mal estado	Humedad en los cables	Conduletas rotas o uniones sueltas		27	6	Se aumenta la temperatura de los cables y con esto la temperatura del motor	72	2	Inspeccionar estado físico de las conduletas.
					68			Aislante de cable en mal estado						73	2	Inspeccionar aislantes en cables de alimentación.
					69	I	Sobrecarga en el motor	Bomba requiere mayor potencia	Congelamiento en partes internas de la bomba	Ingreso de aire en la bomba	28	6	Sobrecarga del motor produce un aumento en la corriente y un aumento en la temperatura del motor, disminuyendo la vida útil del aislamiento	74	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga.
					70				Operación en punto diferente al de diseño						75	2
														76	2	Medir la temperatura externa del motor.

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-C (Hoja 9 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa, base de la bomba y motor eléctrico.	A	Apariencia de la carcasa, base de la bomba y motor no cumplen los estándares	Carcasa de la bomba	71	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			29	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	77	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie de la bomba.
				Motor eléctrico	72	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			30	6	Deterioro de superficie del motor puede aumentar la humedad interna y provocar cortocircuito	78	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie del motor eléctrico.
				Base metálica y base de concreto	73	I	Presencia de suciedad y agua en las bases de la bomba y motor eléctrico	Humedad en el ambiente			31	6	Presencia de suciedad y agua en la base de la bomba producen mal aspecto y corrosión en las superficies metálicas.	79	2	Verificar exceso de suciedad y agua en la superficies de las bases de metal y concreto.

## Anexo 10. Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 1 de 8)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE	
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE	
<b>ÁREA</b>	BOMBAS	
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE LPG	
<b>CÓDIGO</b>	YP-781-D	

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA					
			1	I	Bomba no está cebada	Fugas en la succión	Juntas flojas o sueltas	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	1	3	No se realiza el bombeo de LPG hacia el departamento de ventas, se atrasa el llenado de cisternas	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.			
1	A	Incapacidad total de bombear LPG	Tubería de succión	2	I	Exceso de aire en el producto	Juntas flojas	Pernos sueltos o poco ajustados	Expansión térmica en las tuberías	1	3	No se realiza el bombeo de LPG hacia el departamento de ventas, se atrasa el llenado de cisternas	2	2	Verificar apriete en pernos de juntas.		
				3	I	Se disparan las protecciones del plan API 52	Bajo nivel de líquido en el reservorio	Fugas en los accesorios de tuberías	acoples y uniones con poco apriete				2	3	Las protecciones del plan API 52 sacan de servicio al motor, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	3	2
			4	I		Alta presión en el reservorio	Fugas en el sello mecánico	Desgaste en componentes internos	4	2	Verificar el nivel de líquido en el reservorio del plan API 52.						
			5	I	Falla en el acople.	Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	5	2	Verificar la presión en el reservorio						
			Acople	5	I	Falla en el acople.	Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano	2	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba, se afecta la eficiencia de la producción	6	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople		
															7	3	Capacitar el personal

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 2 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
1	A	Impulsores	6	I	Impulsores sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano		4	3	Impulsores sueltos no permiten el bombeo del gas.	8	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de la bomba
			7			Inversión de giro	Fases del motor invertidas					Error humano	9	4
		Motor eléctrico	8	E	Falla en la alimentación eléctrica	Breaker principal en posición de disparo			5	6	Falta de alimentación eléctrica imposibilita el arranque del motor, y de la bomba	10	5	Ninguna acción proactiva
			9	I	Falla en la alimentación eléctrica	Cables dañados	Cortes en aislantes	Vejez de aislante				11	2	Inspeccionar el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica
			10	I	Se disparan las protecciones	Cortocircuito	Degradación del aislamiento (barniz dieléctrico)	Humedad interna	6	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas, La afectación es al equipo, porque hay bombas de respaldo, Sin embargo se atrasan las ventas, mientras se prepara y conecta el otro equipo	12	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000
			11				Falla a tierra	Contaminación interna del motor				13	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000
			12				Rotura en los cables de alimentación.	Cortes en aislantes de cables				14	2	Inspeccionar en la caja de bornes el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica.
			13				Desgaste de rodamientos	Envejecimiento normal				15	1	Monitorear el sistema de vibraciones online
			14	Sobrecarga	Bomba requiere mayor potencia	Congelamiento en partes internas	6	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas, La afectación es al equipo, porque hay bombas de respaldo, Sin embargo se atrasan las ventas, mientras se prepara y conecta el otro equipo	16	2	Verificar existencia de fugas en la línea de succión y descarga.		
			15			Operación en punto diferente al de diseño				17	2	Verificar la presión de descarga		
			16	Sobrecalentamiento	Ventilación deficiente	Suciedad en la carcasa	18	2	Limpiar con trapo seco la superficie del motor					

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 3 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 240 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	A	Incapacidad total de bombear LPG	Motor eléctrico	17	I	Bobinas quemadas	Fallo en las protecciones	Mal montaje		7	3	Bobinas quemadas no permiten al motor arrancar, la bomba no puede girar, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	19	3	Capacitar el personal
					18	I	Botoneras en mal estado	Acumulación de polvo o suciedad			8	3	Botoneras en mal estado pueden dejar el motor fuera de servicio, afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	20	2	Verificar el estado físico de las botoneras.
					19	I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación	9	6	Rodamientos desgastados aumentan la vibración del motor, afecta componentes internos de la máquina.	21	2	Aplicar grasa 20,5 gramos de grasa 2 veces al año	
					Falla del lubricante				Mal seleccionado o insuficiente				22	3	Capacitar el personal en lubricación	
					Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico			No hay programa de lubricación	23				5	Dejar fallar, rodamiento sellado		
								Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente				24	5	Dejar fallar, rodamientos sellado	
		Desgaste normal	Envejecimiento	25	1			Monitorear el sistema de vibraciones online								
		B	Bombee menos de 240 GPM de LPG y/o a menos de 145 PSI (1MPa)	Tubería de succión	24	I	Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Exceso de aire en la esfera.			10	3	La bomba no es capaz de funcionar de forma continua, o bombea un caudal menor al requerido, afectando el tiempo de llenado de los cisternas en el departamento de ventas.	26	3	Realizar la purga antes de arrancar la bomba
					Juntas flojas			Pernos sueltos o poco ajustados	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	27				2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.	
				Válvula de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	I	Válvula de succión parcialmente cerrada.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste normal	Envejecimiento	11	3	Válvula puede quedar semi-abierta, disminuyendo el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia de la producción	28	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre	

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 4 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA					
1	Bombear LPG de forma continua y sin interrupciones a no menos de 240 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	B	Bombee menos de 240 GPM de LPG y/o a menos de 145 PSI (1MPa)	Impulsores	27	I	Anillo de desgaste del impulsor en mal estado	Desgaste por edad			12	3	El anillo de desgaste del impulsor en mal estado provoca disminución en la presión y caudal entregado por la bomba, se atrasa la producción mientras se prepara y alinea nuevo equipo	29	2	Verificar la presión de descarga	
					28			Falta de producto en la bomba	Falta de producto en la esfera					30	3	Monitorear el nivel de producto en esfera	
					29	I	Desgaste en el impulsor	Desgaste normal			13	3		Impulsor o impulsores trabados o dañados disminuyen las capacidades de la bomba, atrasando la producción y tiempo de llenado de cisternas	31	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba
					30			Cavitación	Entrada de aire en la bomba	Fugas en la succión y/o descarga					32	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga
					31				Desgaste o deterioro en válvulas	Desgaste por edad					33	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas
					Motor eléctrico	32	I	Dirección de rotación equivocada	Error humano			14		3	El motor trabaja de forma irregular, afectando el funcionamiento de la bomba.	34	4
				33		I	Motor trabajando en 2 fases	Cable de alimentación desconectado			35		2			Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.	
				34				Daño en un contactor			36		2			Verificar el estado de los contactores	
				35		I	Rotación muy lenta	Conexiones incorrectas	Error humano				37			3	Mejorar capacitación conexiones eléctricas de motores
				36		E	Rotación muy lenta	tensión insuficiente					38			2	Medir tensión de alimentación del motor

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 5 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA					
2	Mantener hermeticidad de todo el volumen de LPG trasegado, dentro de la bomba.	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba.	Plan API 52	I	El sello mecánico presenta fugas	Falta de lubricación en el sello	Desgaste de empaques	Desgaste por edad	15	6	Si se presentan fugas en el sello mecánico, el plan API 52, contiene el LPG y evita que se libere al ambiente. La afectación es hacia la propia máquina	39	2	Verificar la presión y el nivel de líquido en el reservorio del plan API 52.	
								38	Bajo nivel del fluido amortiguador en el reservorio del plan API 52				Fugas de líquido amortiguador en acoples y uniones	40	2	Verificar el nivel del líquido en el reservorio del plan API 52
								39	Válvula del intercambiador de calor del plan API 52, parcialmente cerrada				Error humano	41	2	Verificar la existencia de fugas en el reservorio o tuberías.
								40	Serpentín del intercambiador de calor obstruido				Exceso de suciedad e impurezas en el agua	42	3	Verificar la posición de la válvula del intercambiador de calor.
														43	4	Colocar filtros en las tuberías de agua de alimentación a intercambiadores de calor
				44	2	Verificar el libre flujo de agua en la salida del intercambiador de calor										
				Carcasa de la bomba	41	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Agua y/o suciedad en la superficie externa de la bomba.	16	1	Fugas en la carcasa o tuberías de succión provocan un desperdicio de producto además de peligro para la seguridad de las personas y el medioambiente.	45	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.	
				Tubería de succión y descarga	42	I	Tubería de succión con soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados				Expansión térmica en las tuberías	46	2	Verificar apriete en pernos de juntas
					43	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Envejecimiento					47	2	Verificar estado de uniones por soldadura
					44	I	Fugas en la cachera por empaques, o uniones,	Desgaste o deterioro de los empaques						48	2	Verificar la existencia de fugas en la cachera.
				Ejes de la bomba, motor y reductor	45	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga		17	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina	49	1	Monitorear el sistema de vibraciones online	
				Válvula de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	46	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques		18	1	Se presentan fugas, en las válvulas del lado de succión y descarga, el gas no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en las tuberías puede reaccionar y causar explosión	50	2	Verificar la existencia de fugas por los empaques y uniones de la válvula.	

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 6 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE			MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Base de la bomba	47	I	Base de la bomba suelta	Pernos sueltos o con poco apriete				19	6	Se produce un incremento en la vibración de la bomba, afecta componentes de la bomba y del motor	51	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba, soltura o apriete en pernos.	
				Tuberías de succión y descarga	48	I	Las tuberías de succión y/o descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas				20	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor	52	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes	
					49	I	Bomba cavita	Entrada de aire en la bomba	Fugas en la succión y/o descarga				21	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	53	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga
				Ejes de la bomba y motor	50	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga					22	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor, afecta la propia máquina	54	2	Inspeccionar el estado físico de los ejes
				Válvulas de bola 6" en la succión y 4" en la descarga	51	I	Bomba cavita	Desgaste o deterioro en válvulas	Desgaste por edad				23	6	El oxígeno que entra en la bomba reacciona con el gas, produce cavitación en la bomba, aumentan las vibraciones y se dañan componentes internos.	55	2	Verificar la existencia de fugas en empaques o uniones de válvulas
				Bujes de la bomba	52	I	Exceso de ruido o vibración en los bujes	Desgaste interno					24	6	Se produce un aumento en la vibración del motor eléctrico, se afectan componentes internos de la máquina	56	1	Monitorear el sistema de vibraciones online
					53	I	Instalación incorrecta de bujes	Error humano				57				3	Capacitar personal	

### Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 7 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA				
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Motor eléctrico	54	I	Dirección de rotación equivocada	Error humano			24	6	Se produce un aumento en la vibración del motor eléctrico, se afectan componentes internos de la máquina	58	3	Capacitar personal		
					55	I	Base del motor suelta	Pernos sueltos o con poco apriete						59	2	Inspeccionar el estado físico de la base del motor, soltura o apriete en pernos		
					56			Lubricación deficiente rodamiento lado del eje	No hay programa de lubricación		25	3		Rodamientos trabados pueden dejar el motor fuera de servicio, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	60	5	Aplicar 20,5 gramos de grasa 2 veces al año	
					57				Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente					61	3	Capacitar el personal en lubricación	
				58	I	Rodamientos desgastados	Lubricación deficiente rodamiento lado del abanico	No hay programa de lubricación		25	3	Rodamientos trabados pueden dejar el motor fuera de servicio, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.			62	5	Dejar fallar, rodamiento sellado	
				59				Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente						63	5	Dejar fallar, rodamiento sellado	
				60			Desgaste normal	Envejecimiento							64	1	Monitorear el sistema de vibraciones online	
				B	No cumple estándares de temperatura	Motor eléctrico	61	E	Desbalance de tensiones	Problemas en la red de alimentación eléctrica						26	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.
		62	I				Desgaste en rodamientos	Desgaste por edad			27		6		Aumenta la temperatura de los rodamientos y con esto la temperatura superficial del motor	66	1	Monitorear el sistema online de vibraciones
		63	I				Pérdida de fase del motor	Cable de alimentación desconectado			28		6		Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	67	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
								Daño en un contactor	Golpe							68	2	Verificar el estado de los contactores

## Hoja de información RCM – Bomba de LPG YP-781-D (Hoja 8 de 8)

FUNCION	FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
3		B	No cumple estándares de temperatura	Motor eléctrico	65	I	Cables de alimentación en mal estado	Humedad en los cables	Conduletas rotas o uniones sueltas	29	6	Se aumenta la temperatura de los cables y con esto la temperatura del motor	69	2	Inspeccionar estado físico de las conduletas	
					66			aislante de cable en mal estado					70			Inspeccionar aislantes en cables de alimentación
					67	I	Sobrecarga en el motor	Bomba requiere mayor potencia	Congelamiento en partes internas de la bomba	Ingreso de aire en la bomba	30	6	Sobrecarga del motor produce un aumento en la corriente y un aumento en la temperatura del motor, disminuyendo la vida útil del aislamiento	71	2	Verificar la existencia de fugas en la succión y descarga
					68				Operación en punto diferente al de diseño					72		
												73	2	Medir la temperatura externa del motor		
4		A	Apariencia de la carcasa, base de la bomba y del motor eléctrico no cumplen los estándares	Carcasa de la bomba	69	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			31	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	74	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie de la bomba
				Motor eléctrico	70	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			32	6	Deterioro de superficie del motor puede aumentar la humedad interna y provocar cortocircuito	75	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie del motor eléctrico
				Base metálica y base de concreto de la bomba y del motor	71	I	Presencia de suciedad y agua en las bases de la bomba y motor y motor eléctrico	Humedad en el ambiente			33	6	Presencia de suciedad y agua en la base de la bomba producen mal aspecto y corrosión en las superficies metálicas.	76	2	Verificar exceso de suciedad y agua en la superficies de las bases de metal y concreto

## Anexo 11. Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 1 de 9)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE	
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE	
<b>ÁREA</b>	BOMBAS	
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE ASFALTO	
<b>CÓDIGO</b>	YP-754	

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
1	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Tuberías de succión y descarga	1	I	Bomba no puede autocebarse	Entrada de aire en la bomba	Fugas en tuberías o juntas	Pernos sueltos o desajustados	1	3	No se realiza el bombeo de asfalto hacia el departamento de ventas, se afecta eficiencia de la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
			Rotor	2	I	Rotor suelto	Error de montaje	Error humano		2	3	Rotor suelto no permite el bombeo de asfalto, atrasa la venta o recirculación, mientras se alinea y prepara un nuevo equipo	2	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de las bombas
				3	E	Bomba se atasca al momento de arrancar	Viscosidad del asfalto es mayor a la especificada	No entra vapor a la bomba.	Error de operación	3	3	La falta de temperatura en el asfalto provoca un aumento en la viscosidad, la cual puede superar la capacidad de diseño de la bomba, atascarla y evitar que se realice la circulación o venta de producto	3	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación
			Rodamientos de la bomba	4	I	Rodamiento de bola, del lado del acople, trabado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación,		4	3	Los rodamientos trabados no permiten al rotor de la bomba girar, esto imposibilita el movimiento del impulsor y con ello el bombeo del líquido, afecta eficiencia de la producción	4	2	Aplicar 30 gramos de grasa en los puntos de engrase, cada semana.
				5			Error humano		5				3	Capacitar el personal en lubricación	
				6			Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador					6	3	Capacitar el personal en lubricación
				7			Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento					7	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
				8			Desgaste por edad						8	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones.

## Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 2 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA						
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Acoples	I	Falla en el acople (lado del motor)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	5	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba. Afecta la eficiencia de la producción	9	2	Verificar el estado de la grasa lubricante			
								Desgaste por fatiga	Envejecimiento normal				10	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople			
								Desalineamiento	Error de montaje				11	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor			
								Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	12	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople		
					I	Falla en el acople (lado de la bomba)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación				13	2	Verificar el estado de la grasa lubricante			
								Desgaste por fatiga	Envejecimiento normal				14	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople			
								Desalineamiento	Error de montaje				15	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor			
								Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	16	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople		
				Reductor de velocidad	E	Rodamientos trabados o dientes quebrados	Trabonazo por exceso de carga	Bomba requiere mayor potencia	Error de operación				6	3	Los rodamientos trabados o dientes quebrados no permiten al eje girar por lo tanto no se transmite potencia del motor a la bomba, se afecta la recirculación o venta de producto.	17	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación
																18	3	Capacitar el personal
																19	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación

### Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 3 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Motor eléctrico	18	E	Falla en la alimentación eléctrica	Breaker principal en posición de disparo			7	3	Imposibilita el arranque del motor, y de la bomba, se atrasa producción mientras se prepara nuevo equipo	20	5	Ninguna acción proactiva	
					19	I	Falla en la alimentación eléctrica	Cables dañados	Cortes en aislantes	Vejez de aislante				21	2	Inspeccionar el estado de los aislantes de cables de alimentación	
					20	I	Se disparan las protecciones	Cortocircuito	Degradación del aislamiento (barniz dieléctrico)	Humedad interna	8	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas o hacia el mismo tanque, hasta que se corrija el modo de falla.	22	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000	
					21				Falla a tierra	Contaminación interna del motor				23	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000	
					22				Rotura en los cables de alimentación.	Cortes en aislantes de cables				24	2	Inspeccionar en la caja de bornes el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica.	
					23				Sobrecarga	Desgaste de rodamientos				Envejecimiento	25	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					24				Sobrecalentamiento	Ventilación deficiente				Suciedad en la carcaza	26	2	Limpiar con trapo seco la superficie del motor
					25				I	Bobinas quemadas				Fallo en las protecciones	Mal montaje	Error humano	9
					26	I	Botoneras en mal estado	Acumulación de polvo o suciedad			10	3	Botoneras en mal estado pueden dejar el motor fuera de servicio, afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	28	2	Verificar el estado de las botoneras, limpiar con trapo seco	
					27	I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente	No hay programa de lubricación		11	3	Rodamientos trabados pueden dejar el motor fuera de servicio, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	29	5	Dejar fallar, rodamientos sellados	
					28				Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente				30	5	Dejar fallar, rodamientos sellados	
					29				Eje desalineado	Error humano				31	3	Mejorar capacitación en uso de herramientas de alineamiento.	
					30				Desgaste normal	Envejecimiento				32	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 4 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	B	Bombee menos de 456 GPM de asfalto y/o a menos 140 PSI	Tubería de succión	31	I	Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Juntas flojas o sueltas	Pernos sueltos o poco ajustados	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	12	3	La bomba no es capaz de funcionar de forma continua, o bombea un caudal menor al requerido, afectando la producción	33	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
				Válvula de compuerta 8" en la succión y descarga	32	I	Válvula de succión o descarga parcialmente cerrada.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste normal	Envejecimiento	13	3	Válvula puede quedar semi-abierta, disminuyendo el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia	34	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre
				Rotor	33	I	Rotor desgastado en toda su superficie	Desgaste por edad			14	3	Desgaste en el rotor provoca una disminución en la capacidad de la bomba, se atrasa la producción	35	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba
				Motor eléctrico	34	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano		15	3	El motor trabaja de forma irregular, afectando el funcionamiento de la bomba y la eficiencia de la producción	36	4	Rotular las fases del motor y cables alimentadores
					35	I	Motor trabajando en 2 fases	Problemas en protecciones o cables de alimentación	Cable de alimentación desconectado					37	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
					36				Daño en un contactor	Golpe				38	2	Inspeccionar el estado de los contactores
					37	I	Rotación muy lenta	Conexiones incorrectas	Error humano					39	3	Mejorar capacitación conexiones eléctricas de motores
					38	E	Rotación muy lenta	Tensión insuficiente	Problemas en la red eléctrica					40	2	Medir tensión de alimentación del motor

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 5 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	B	Bombee menos de 456 GPM de asfalto y/o a menos 140 PSI	Reductor de velocidad	I	El eje de salida pierde velocidad por desgaste de componentes internos (Engranajes y rodamientos)	Lubricación deficiente	Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite	16	3	Al existir desgaste en el reductor la velocidad de operación no es constante, se afecta la eficiencia de la producción ya sea recirculación o ventas.	41	2	Verificar el nivel de aceite en el visor
									Retenedores en mal estado, por falta de lubricación				42	2	Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito
									Alto nivel de aceite				43	2	Aplicar grasa en los puntos de engrase d los retenedores
									Error humano				44	3	Capacitar personal en lubricación
									Exceso de temperatura en el aceite				45	4	Instalar sistema de enfriamiento del aceite
									Aceite contaminado				46	3	Mejorar capacitación en lubricación
									Deterioro del aceite				47	2	Sustitución programada del aceite cada 3 meses
2	Contener todo el volumen de asfalto dentro de la bomba	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba	Sello mecánico	I	Sello mecánico presenta fugas	Eje desalineado	Fatiga	17	4	Se presentan fugas, en la bomba, el líquido no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en la bomba.	48	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor	
							Bujes desgastados	Desgaste por edad				49	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	
							Pernos del sello sueltos o con poco ajuste	Fatiga				50	2	Verificar el ajuste en los empaques del sello mecánico.	
							Desgaste interno	Falta de lubricación				51	2	Verificar la existencia de fugas en el sello mecánico	
				Carcasa de la bomba	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Exceso de suciedad en la superficie externa de la bomba.				52	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.	

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 6 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
2	Contener todo el volumen de asfalto dentro de la bomba	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba	Tuberías de succión y descarga	50	I	Tubería de succión y descarga con fisuras o soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados		17	4	Se presentan fugas, en la bomba, el líquido no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en la bomba.	53	2	Verificar la existencia de fugas a través de las líneas de succión y descarga
					51	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Fallas en los anclajes y soportes					54	2	Verificar estado de uniones por soldadura y soportes de tubería
				Válvula de compuerta 8" en la succión y descarga	52	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques							55	2
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Base de la bomba, motor y reductor	53	I	Base de la bomba, motor o reductor suelta	Solturas mecánicas			18	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, afecta componentes de la bomba y del motor	56	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba motor y reductor, soldadura o apriete en pernos
				Tuberías de succión y descarga	54	I	Las tuberías de succión y/o descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas						19	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor
				Ejes de la bomba, motor y reductor	55	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga			58	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones			
					56	I	Desalineamiento o entre eje de bomba-reductor y reductor-motor	Desajuste mecánico			59	2	Verificar el alineamiento entre ejes de bomba-reductor y reductor-motor			
				Rodamientos de la bomba	57	I	Falta de lubricación en rodamiento de bola (lado del eje)	No hay programa de lubricación			20	6	Falta de lubricación en el rodamiento de la bomba produce un desgaste acelerado y exceso de vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor			
					Error humano					61				3	Capacitar el personal en lubricación	

### Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 7 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
3	A	No cumple con estándares de vibración	Rodamientos de la bomba	I	Desgaste en rodamiento de bola (lado del eje)	Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador	21	6	Exceso de desgaste produce aumento en la vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor	62	3	Capacitar el personal en lubricación	
						Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento				63	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	
						Desalineamiento					64	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor	
				I	Desgaste en bujes de bronce	Desalineamiento		22	6	Desgaste en los bujes produce exceso de vibración, afecta componentes internos de bomba y motor	65	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor	
						Instalación incorrecta de bujes	Error humano	23	6	Incrementa la vibración de la bomba, afecta componentes internos de bomba y motor.	66	3	Capacitar personal	
				I	Instalación incorrecta de rodamientos	Error humano		24	6	Incrementa la vibración de la bomba, afecta componentes internos de bomba y motor.	67	3	Capacitar personal	
			Motor eléctrico	I	Rotación muy lenta	Problemas en las conexiones eléctricas		25	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración del motor, afecta componentes del motor y de la bomba	68	2	Revisar caja de bornes y cables alimentadores de corriente	
						Voltaje insuficiente	Problemas en la red eléctrica				69	3	Medir voltaje de alimentación del motor	
				I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano				70	3	Capacitar personal	
				I	Rodamientos desgastados	Lubricación deficiente	No hay programa de lubricación				71	5	Dejar fallar, rodamientos sellados	
						Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente				72	5	Dejar fallar, rodamientos sellados	
				Eje desalineado	Error humano	73	3				Mejorar capacitación en uso de herramientas de alineamiento.			
				Desgaste normal	Envejecimiento	74	1				Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones			

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 8 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	B	No cumple estándares de temperatura.	Motor eléctrico	72	E	Desbalance de tensiones	Problemas en la red de alimentación eléctrica			26	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	75	2	Medir tensión en las fases del motor
					73	I	Desgaste en rodamientos	Desgaste por edad			27	6	Aumenta la temperatura de los rodamientos y con esto la temperatura superficial del motor	76	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					74	I	Pérdida de fase del motor	Cable de alimentación desconectado						77	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
					75			Daño en un contactor	Golpes o exceso de suciedad			78	2	Inspeccionar el estado de los contactores		
					76	I	Cables de alimentación en mal estado	Humedad en los cables	Conduletas rotas o uniones sueltas		28	6	Se aumenta la temperatura de los cables y con esto la temperatura del motor	79	2	Inspeccionar estado físico de las conduletas
					77			Aislante de cable en mal estado						80	2	Inspeccionar aislantes en cables de alimentación
					78	I	Sobrecarga en el motor	Bomba requiere mayor potencia	Baja temperatura del producto	Error de operación	27	6	Sobrecarga del motor produce un aumento en la corriente y un aumento en la temperatura del motor, disminuyendo la vida útil del aislamiento	81	3	Capacitar personal en procedimientos de operación
					79				Operación en punto diferente al de diseño						82	2
												83	2	Medir la temperatura externa del motor		

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-754 (Hoja 9 de 9)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA				
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa de la bomba, reductor, bases metálicas y de concreto.	A	Apariencia de la carcasa de la bomba ,reductor, bases metálicas y de concreto no cumplen los estándares	Carcasa de la bomba	80	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			29	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	84	2	Verificar la existencia de focos de corrosión y superficies despintadas en la carcasa de la bomba	
				Motor eléctrico	81	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			30	6	Deterioro de superficie del motor puede aumentar la humedad interna y provocar cortocircuito	85	2	Verificar la existencia de focos de corrosión, suciedad y superficies despintadas en el motor eléctrico	
				Base metálica y base de concreto toda la máquina	82	I	Presencia de suciedad y asfalto en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación			31	6	Presencia de suciedad y restos de asfalto en la base de la máquina producen mal aspecto y corrosión en las superficies metálicas.	86	2	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de la máquina, no debe tener suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar
				Reductor de velocidad	83	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			32	6	Exceso de suciedad en el reductor provoca mal aspecto y deterioro en superficies del reductor	87	2	Verificar la existencia de focos de corrosión, suciedad y superficies despintadas en el reductor	

## Anexo 12. Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 1 de 4)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE	
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE	
<b>ÁREA</b>	BOMBAS	
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE ASFALTO	
<b>CÓDIGO</b>	YP-952-B	
<b>SUBPARTE</b>	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	
<b>CÓDIGO</b>	BO-0378	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Tuberías de succión y descarga	1	I	Bomba no puede autocebarse	Entrada de aire en la bomba	Fugas en tuberías o juntas	Pernos sueltos o desajustados	1	3	No se realiza el bombeo de asfalto hacia el departamento de ventas, atrasa el llenado de cisternas	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
				Rotor	2	I	Rotor suelto	Error de montaje	Error humano		2	3	Rotor suelto no permite el bombeo de asfalto, atrasa la venta o recirculación, mientras se alinea y prepara un nuevo equipo	2	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de las bombas
					3	E	Bomba se atasca al momento de arrancar	Viscosidad del asfalto es mayor a la especificada	No entra vapor a la bomba.	Error de operación	3	3	La falta de temperatura en el asfalto provoca un aumento en la viscosidad, la cual puede superar la capacidad de diseño de la bomba, atascarla y evitar que se realice la circulación de producto	3	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 2 de 4)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA														
1		A	Incapacidad total de bombear asfalto	Rodamientos de la bomba	I	Rodamiento de bola, del lado del acople, trabado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación,	4	3	Los rodamientos trabados no permiten al rotor de la bomba girar, esto imposibilita el movimiento del impulsor y con ello el bombeo del líquido, se afecta la eficiencia de la producción	4	2	Aplicar 30 gramos de grasa en los puntos de engrase, cada semana.													
								Error humano				5	3	Capacitar el personal en lubricación													
							Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador	6	3		Capacitar el personal en lubricación															
							Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento	7	1		Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones															
							Desgaste por edad		8	1		Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones															
				Acople	I	Falla en el acople (lado de la bomba)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	5		3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba, se afecta la eficiencia de la producción	9	2	Verificar el estado de la grasa lubricante											
								Desgaste por fatiga	Envejecimiento normal					10	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople											
							Desalineamiento	Error de montaje	11	2		Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor															
		Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	12	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople																	
											13	3	Capacitar el personal														
		B	Bombee menos de 456 GPM de asfalto y/o a menos de 140 PSI	Tubería de succión	I	Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Juntas flojas o sueltas	Pernos sueltos o poco ajustados	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	6	3	La bomba no es capaz de funcionar de forma continua, o bombea un caudal menor al requerido, afectando la eficiencia de la producción	14	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.												
																Válvulas de compuerta 8" en la succión y descarga	I	Válvula de succión parcialmente cerrada.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste normal	Envejecimiento	7	3	Válvula puede quedar semi abierta, disminuyendo el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia de producción	15	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre

### Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 3 de 4)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPART E	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA									
2	Contener todo el volumen de asfalto dentro de la bomba	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba	Sello mecánico	16	I	Sello mecánico presenta fugas	Eje desalineado	Fatiga		9	4	Se presentan fugas, en la bomba, el líquido no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en la bomba. Se pierde producto	17	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor							
					17			Bujes desgastados	Desgaste por edad					18	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones							
					18			Pernos del sello sueltos o con poco ajuste	Fatiga					19	2	Verificar el ajuste en los empaques del sello mecánico.							
					19			Desgaste interno	Falta de lubricación					20	2	Verificar la existencia de fugas en el sello mecánico							
				Carcasa de la bomba	20	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Exceso de suciedad en la superficie externa de la bomba.					21	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.							
				Tuberías de succión y descarga	21	I	Tubería de succión o descarga con fisuras o soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados					22	2	Verificar la existencia de fugas a través de las líneas de succión y descarga							
					22	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Fallas en los anclajes y soportes					23	2	Verificar estado de uniones por soldadura y soportes de tubería							
				Válvula de compuerta 8" en la succión y descarga	23	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques						24	2	Verificar la existencia de fugas por los empaques y uniones de la válvula.							
				3	Mantener estándares de vibración de acuerdo a valores según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba.	A	No cumple estándares de vibración	Base de la bomba	24	I				Base de la bomba presenta movimiento	Pernos sueltos o con poco apriete			10	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, afecta componentes internos de la bomba y del motor	25	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba, soldadura o apriete en pernos
								Tuberías de succión y descarga	25	I				Las tuberías de succión y/o descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas						26	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes
Eje de la bomba	26	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.					Fatiga			27	2	Inspeccionar el estado físico de los ejes										
	27	I	Desalineamiento entre eje de la bomba y reductor					Desajuste mecánico			28	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor										

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Bomba de engranajes BO-0378 (Hoja 4 de 4)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPART E	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
3	Mantener estándares de vibración de acuerdo a valores según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba.	A	No cumple estándares de vibración	Rodamientos de la bomba	28	I	Desgaste en rodamiento de bola (lado del eje)	Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador		11	6	Exceso de desgaste produce aumento en la vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor	29	3	Capacitar el personal en lubricación
					29			Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento					30	2	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					30			Desalineamiento	Fatiga					31	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
					31	I	Desgaste en bujes de bronce	Desalineamiento			12	6	Desgaste en los bujes produce exceso de vibración, afecta componentes internos de bomba y motor	32	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
					32			Instalación incorrecta de bujes	Error humano					13	6	Incrementa la vibración de la bomba, afecta componentes internos de bomba y motor.
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa de la bomba y bases de la máquina	A	Apariencia de la carcasa de la bomba y bases de la máquina no cumplen con estándares	Carcasa	33	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			14	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	34	2	Verificar la existencia de focos de corrosión y superficies despintadas en la carcasa de la bomba
				Base metálica y base de concreto	34	I	Presencia de suciedad y productos en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación		15	6	Restos de productos en la base de la bomba producen mal aspecto y riesgo para operarios.	35	2	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de la máquina, no debe tener suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Reductor de velocidad RE-0061 (Hoja 1 de 2)

EMPRESA	RECOPE	
DEPARTAMENTO	OFF SITE	
ÁREA	BOMBAS	
EQUIPO DE ANÁLISIS	BOMBA DE ASFALTO	
CÓDIGO	YP-952-B	
SUBPARTE	REDUCTOR DE VELOCIDAD	
CÓDIGO	RE-0061	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
1	Transferir de manera constante la potencia de salida del motor hacia la bomba, y reducir la velocidad de 1800RPM a 256 RPM	A Incapacidad total de transferir la potencia del motor hacia la bomba	Engranajes y rodamientos	1	E	Dientes quebrados	Trabonazo por exceso de carga	Bomba requiere mayor potencia	Error de operación	1	3	Los rodamientos trabados o dientes quebrados no permiten al eje girar por lo tanto no se transmite potencia del motor a la bomba, se afecta la recirculación de producto.	1	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación	
																B Reduce la velocidad del motor a menos de 256 RPM.
		Retenedores en mal estado, por falta de lubricación	3	2	Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito											
		Alto nivel de aceite	4	4	Instalar puntos de engrase en los retenedores de los reductores											
		Error humano	5	3	Capacitar personal en lubricación											
		Exceso de temperatura en el aceite	6	4	Instalar sistema de enfriamiento del aceite											

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Reductor de velocidad RE-0061 (Hoja 2 de 2)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
1	Transferir de manera constante la potencia de salida del motor hacia la bomba, y reducir la velocidad de 1800RPM a 256 RPM	B	Reduce la velocidad del motor a menos de 256 RPM.	Engranajes y rodamientos	6	I	El eje de salida pierde velocidad por desgaste de componentes internos (Engranajes y rodamientos)	Lubricación deficiente	Aceite contaminado	Ingreso de contaminantes (polvo, agua, etc.) al lubricar por errores en técnicas de lubricación	2	3	Al existir desgaste en el reductor la velocidad de operación no es constante, se afecta la eficiencia de la producción ya sea recirculación o ventas.	7	3	Mejorar capacitación en lubricación	
					7				Deterioro del aceite	Vida útil superada				8	2	Sustitución programada del aceite 1 vez al año	
2	Contener todo el volumen de aceite dentro del depósito	A	Incapacidad de contener el volumen de aceite dentro del depósito, en forma parcial o total	Depósito de aceite	8	I	Retenedores desgastados	Desgaste por edad			3	6	Se producen fugas de aceite, disminuyendo el nivel en el reductor, se desgastan elementos internos del reductor, la afectación es para la propia máquina.	9	2	Verificar la existencia de fugas en los retenedores	
					9		Depósito de aceite fisurado	Corrosión	Exceso de suciedad	10				2	Limpiar con trapo húmedo la superficie del reductor		
3	Mantener estándares de vibración de acuerdo a valores según la norma ISO 10816-3	A	No cumple con estándares de vibraciones	Ejes del reductor, bomba y motor	10	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras	Fatiga			4	6	Se produce un aumento en la vibración del reductor, produciendo desgaste en piezas internas del reductor, la afectación es para la propia máquina	11	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	
					11		Desalineamiento entre eje de la bomba y reductor	Fatiga						12	2	Verificar el alineamiento entre ejes de la bomba y reductor	
					12		Desalineamiento entre el eje del motor y reductor	Fatiga						13	2	Verificar el alineamiento entre ejes del reductor y motor	
				13	Base del reductor	Pernos sueltos o con poco apriete			14	2				Verificar estado y apriete en pernos de la base del reductor de velocidad			
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la superficie, bases metálicas y de concreto del reductor	A	Apariencia de la superficie, bases metálicas y de concreto no cumplen con estándares	Depósito de aceite	14	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			1	5	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	15	2	Verificar la existencia de focos de corrosión y superficies despintadas en la superficie del reductor
				Base metálica y base de concreto	15		Presencia de suciedad y productos en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación							16	2

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Motor de combustión MC-0027 (Hoja 1 de 5)

<b>EMPRESA</b>	RECOPE			
<b>DEPARTAMENTO</b>	OFF SITE			
<b>ÁREA</b>	BOMBAS			
<b>EQUIPO DE ANÁLISIS</b>	BOMBA DE ASFALTO			
<b>CÓDIGO</b>	YP-952-B			
<b>SUBPARTE</b>	MOTOR DE COMBUSTION			
<b>CÓDIGO</b>	MO-0027			

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA		
1		A	Incapacidad total de proporcionar 82 kW de potencia a 1800 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Sistema eléctrico	Ausencia de tensión en el sistema de alimentación eléctrica	Baterías descargadas	Falta de líquido en las baterías		1	3	El motor no puede arrancar, no se transmite potencia al reductor ni a la bomba, la temperatura del asfalto aumenta ya que se paraliza su recirculación durante el tiempo que se alinea y arranca un nuevo equipo	1	2	Verificar nivel de líquido en las baterías.
							Alternador no carga las baterías	Fajas del alternador sueltas o desajustadas				2	2	Verificar el estado y ajuste de las fajas del alternador
								Alternador no funciona				3	2	Verificar el estado de escobillas del alternador
							Falla en el regulador					4	2	Verificar el estado y funcionamiento del regulador de tensión
							Exceso de sulfatación en los bornes de baterías	Suciedad acumulada				5	2	Limpiar los bornes y aplicar grasa anti-sulfatación
							Cables dañados, cortados o en cortocircuito	Cortes en forros o uniones de cables				6	2	Inspeccionar el estado de los forros de los cables.
				Sistema de alimentación de combustible	No hay combustible en el tanque	Error humano		7	2	Verificar nivel de combustible en el tanque, mínimo 1/2 tanque.				
						Fugas en el tanque o mangueras	Presencia de fisuras	Corrosión del tanque o deterioro de mangueras	8	2	Inspeccionar estado general del tanque y tuberías de combustible.			

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Motor de combustión MC-0027 (Hoja 2 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA				
1	Suministrar una potencia nominal de 82 kW/110hp a 1800 RPM con un torque máximo de (622) Nm, al reductor de velocidad.	A	Incapacidad total de proporcionar 82 kW de potencia a 1800 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Sistema de alimentación de combustible	9	I	Filtros de combustible tapados	Exceso de suciedad en el combustible	Tanque de combustible con exceso de suciedad	1	3	El motor no puede arrancar, no se transmite potencia al reductor ni a la bomba, la temperatura del asfalto aumenta ya que se paraliza su recirculación durante el tiempo que se alinea y arranca un nuevo equipo	9	2	Limpiar internamente el tanque de combustible.			
													10	I	Línea de combustible cortada	Deterioro de las tuberías	2	Sustitución programada de ambos filtros de combustible cada 500 horas o instalar filtro con indicador de nivel
																		11
					Sistema de admisión de aire	12	I	Restricción en la entrada de aire	Filtro tapado				Envejecimiento normal	5	Ninguna acción proactiva			
															13	Tuberías en mal estado	Fisura o corte en las tuberías	2
						Sistema de alarmas de protección	14	I	Alarma de agua en el sistema de inyección activada				Exceso de agua en el sistema de inyección	Trampa de agua en la línea de entrada de combustible, obstruida				
				15	Falla en el filtro separador de agua del combustible							Exceso de agua en los filtros de combustible			2	Verificar el estado de obstrucción de la trampa de agua en la admisión de combustible		
							16	I	Alarma de bajo nivel de refrigerante, activada				Bajo nivel de refrigerante en el radiador	Fugas en el radiador		2	Drenar toda el agua contenida en el filtro de combustible	
				17	Fugas en las tuberías							2			Verificar la existencia de fugas en el radiador.			
							18	Error humano	2				Verificar la existencia de fugas en las líneas de refrigerante					
				19	2							Verificar el nivel de refrigerante en el radiador						

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Motor de combustión MC-0027 (Hoja 3 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA		EFECTO		ACCION PROACTIVA						
1	A	Suministrar una potencia nominal de 82 kW/110hp a 1800 RPM con un torque máximo de (622) Nm, al reductor de velocidad.	A	Incapacidad total de proporcionar 82 kW de potencia a 1800 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Sistema de alarmas de protección	19	Alarma de baja presión de aceite activada	Presión de aceite es insuficiente	Bajo nivel de aceite en el cárter	fugas en el sistema de lubricación	2	3	Se activan las alarmas de protección al motor contra exceso de agua en admisión de combustible, alta temperatura de refrigerante, baja presión de aceite y baja presión de aire en el turbo cargador, estas alarmas no permiten el arranque del motor o lo apaga	20	2	Verificar la existencia de fugas en el cárter y tuberías
						20			Alto nivel de aceite en el cárter	Refrigerante en el cárter				21	2	Verificar el nivel y el color del aceite.
						21			Diesel en el cárter	22				2	Verificar el nivel y palpar la viscosidad del aceite	
						22			Aceite incorrecto	Error humano				23	3	Capacitar el personal en lubricación
						23			Aceite degradado	Vida útil superada				24	2	Sustitución programada del aceite lubricante, cada 3 meses
						24			Filtro de aceite obstruido	Vida útil superada				25	2	Sustitución programada del filtro de aceite, cada 3 meses
					25	Alarma de baja presión de aire del turbocargador	Flujo de aire en la entrada menor al requerido	Filtro tapado	Envejecimiento normal	3	3	Sobrecalentamiento en el sistema de enfriamiento del motor puede provocar danos graves y sacar de funcionamiento al mismo, la afectación es hacia la producción ya que se paraliza la recirculación o venta de asfalto mientras se alinea y prepara nuevo equipo.	26	2	Inspeccionar el estado del filtro de aire, reemplazar si es necesario	
					26			Turbina del turbocargador no funciona apropiadamente	Lubricación deficiente				27	2	Verificar la existencia de ruidos anormales en el turbocargador	
					27	I	Falla de la bomba de refrigerante	Desgaste interno		3	3		28	5	Verificar la temperatura del líquido refrigerante	
					28	I	Refrigerante contaminado	Deterioro del lubricante por edad					29	2	Verificar la concentración del refrigerante	
					29	I	Bajo nivel de refrigerante en el radiador	Fugas en radiador o tuberías	Fisuras en el radiador o tuberías				30	2	Verificar el nivel de refrigerante e inspeccionar fugas.	
					30	I	EL tapón del radiador en mal estado	Desgaste por edad					31	2	Verificar el estado físico y desgaste en los empaques y resortes del radiador.	
					31	I	El termostato no funciona apropiadamente	Desgaste por edad					32	2	Realizar test al termostato.	
					32	I	Aspas del abanico quebradas	Golpes o esfuerzos en reparaciones	Errores humano				33	2	Inspeccionar el estado físico de las aspas del abanico.	
33	I	Fajas del abanico desajustadas	El tensor está flojo		34	2	Inspeccionar el ajuste y tensor de las fajas del abanico.									
34	I	El abanico no se mueve	Fajas rotas	Deterioro por edad	35	2	Inspeccionar el estado físico de las fajas.									

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Motor de combustión MC-0027 (Hoja 4 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA					
1	A	Incapacidad total de proporcionar 82 kW de potencia a 1800 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Acople	35	I	Falla en el acople (lado motor)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	4	3	El acople suelto no permite transmitir potencia al reductor ni a la bomba de tornillos, no se realiza la recirculación de producto, la afectación es parcial mientras se alinea y arranca nuevo equipo	36	2	Verificar el estado de la grasa lubricante		
				36				Desgaste por fatiga					37	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople		
				37				Desalineamiento					38	2	Verificar el alineamiento entre el motor y reductor		
				38				Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	39	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople	
			B	El motor trabaja a una velocidad diferente a 1800 RPM o entrega potencia menor o mayor a 82 kW con un torque diferente al indicado	Embrague	39	I	Palanca de acople trabada	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	5		3	No permite transmitir potencia del motor al reductor, se afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	40	3	Capacitar el personal
						41									2	Aplicar 1 cc de grasa en ambos puntos de engrase	
					Sistema de alimentación de combustible	40	I	Velocidad del motor sube y baja súbitamente	Aire en el sistema de combustible	Uniones o acoples sueltos en tuberías	6		3		42	2	Verificar estado de uniones y acoples en tuberías de combustible
						Control de velocidad									41	I	Velocidad del motor diferente a requerida
					Sistema de admisión de aire	42	I	Turbo cargador no trabaja adecuadamente	Turbo gira a una velocidad menor	Lubricación deficiente	6		3		44	2	Inspeccionar ruidos anormales o fugas de aceite en el turbocargador
						43									I	Fugas en las tuberías o conexiones	Deterioro de las tuberías
	Embrague	44	E	Motor sobrecargado	Bomba requiere mayor potencia de la de diseño	Baja temperatura en el producto	Condiciones de operación	46	3	Capacitar personal en procedimientos de operación							

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-B, subparte Motor de combustión MC-0027 (Hoja 5 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
2	Mantener un consumo de combustible máximo de 107mm3/stroke en condiciones nominales	A	El motor tiene un consumo de combustible mayor al especificado	Sistema de lubricación	45	I	El nivel de aceite es mayor al indicado	Error humano			7	6	El motor consume más combustible del especificado, trabaja de manera forzada produciendo desgastes internos, la afectación es la máquina	47	2	Verificar el nivel de aceite del cárter.	
				Embrague	46	E	Motor sobrecargado	Bomba requiere mayor potencia de la de diseño	Baja temperatura en el producto	Error de operación				48	3	Capacitar personal en procedimientos de operación	
				Sistema de admisión de aire	47	I	Fugas en el sistema de admisión de aire	Deterioro de las tuberías o conexiones							49	2	Verificar la existencia de fugas de aire en, en tuberías conexiones y turbocargador
								Fisuras en tuberías		Deterioro por corrosión					50	2	Verificar el estado de las tuberías de escape y focos de corrosión
3	Evacuar todos los gases calientes del motor hacia la atmosfera , manteniendo emisiones de 4,0 g/bhp-h de hidrocarburos y 0,3 g/bhp-h de partículas en suspensión	A	Incapaz de canalizar todos los gases	Sistema de escape del motor	48	I	Tubería de escape o silenciador con fisuras	Exceso de corrosión	Humedad y acidez de los gases	8	1	Fugas de gases en cualquier punto del sistema de escape impiden adecuado tratamiento de los mismos y presentan afectan la seguridad de los trabajadores y el ambiente,	51	2	Verificar el estado físico de las tuberías de escape y silenciador		
					49	I	Uniones de tuberías sueltas	Vibración y esfuerzos	Solturas en soportes y anclajes de las tuberías				52	2	Verificar uniones sueltas y los soportes y anclajes de las tuberías de escape		
		B	Emisiones de gases contaminantes no cumplen con estándares	Sistema de escape del motor	50	I	Inyectores descalibrados	Uso normal		9	1	Las emisiones de gases con niveles de contaminantes superiores a los establecidos afectan la seguridad de las personas y el medioambiente	53	2	Realizar prueba de opacidad en los gases de escape		
					51	I	Sensor de turbo en mal estado	Descalibración por edad									
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la superficie y bases del motor.	A	Apariencia de la superficie y bases del motor no cumplen con estándares	Superficie	53	I	Presencia de corrosión o suciedad y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			10	6	Deterioro de la superficie del motor, puede completarse en fisuras y fugas	54	2	Verificar la existencia de focos de corrosión, suciedad o superficies despintadas en la superficie del motor	
				Base metálica y base de concreto	54	I	Presencia de suciedad y productos en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación			11	6	Restos de productos en la base de la bomba producen mal aspecto y riesgo para operarios.	55	2	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto del motor, no debe tener suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar

### Anexo 13. Hoja de información RCM – Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 1 de 8)

EMPRESA	RECOPE	
DEPARTAMENTO	OFF SITE	
ÁREA	BOMBAS	
EQUIPO DE ANÁLISIS	BOMBA DE ASFALTO	
CÓDIGO	YP-952-C	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Tuberías de succión y descarga	1	I	Bomba no puede autocebarse	Entrada de aire en la bomba	Fugas en tuberías o juntas	Pernos sueltos o desajustados	1	3	No se realiza el bombeo de asfalto hacia el departamento de ventas, atrasa el llenado de cisternas	1	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
				Rotor	2	I	Rotor suelto	Error de montaje	Error humano		2	3	Rotor suelto no permite el bombeo de asfalto, atrasa la venta o recirculación, mientras se alinea y prepara un nuevo equipo	2	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de las bombas
					3	E	Bomba se atasca al momento de arrancar	Viscosidad del asfalto es mayor a la especificada	No entra vapor a la bomba.	Error de operación	3	3	La falta de temperatura en el asfalto provoca un aumento en la viscosidad, la cual puede superar la capacidad de diseño de la bomba, atascarla y evitar que se realice la circulación de producto	3	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación
				Rodamientos de la bomba	I	Rodamiento de bola, del lado del acople, trabado	4	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación,	4	3	Los rodamientos trabados no permiten al rotor de la bomba girar, esto imposibilita el movimiento del impulsor y con ello el bombeo del líquido.	4	2	Aplicar 30 gramos de grasa en los puntos de engrase, cada semana.	
							5		Error humano				5	3	Capacitar el personal en lubricación	
							6	Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador				6	3	Capacitar el personal en lubricación	
							7	Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento				7	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	
							8	Desgaste por edad					8	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones.	

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 2 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Acoples	I	Falla en el acople (lado del motor)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	5	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba	9	2	Verificar el estado de la grasa lubricante
								Desgaste por fatiga	Envejecimiento normal				10	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople
								Desalineamiento	Error de montaje				11	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
								Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	12	2
					I	Falla en el acople (lado de la bomba)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación				13	2	Verificar el estado de la grasa lubricante
								Desgaste por fatiga	Envejecimiento normal				14	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople
								Desalineamiento	Error de montaje				15	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
								Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	16	2
				Reductor de velocidad	E	Rodamientos trabados o dientes quebrados	Trabonazo por exceso de carga	Bomba requiere mayor potencia	Error de operación	6	3	Los rodamientos trabados o dientes quebrados no permiten al eje girar por lo tanto no se transmite potencia del motor a la bomba, se afecta la recirculación de producto.	17	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación
													Motor eléctrico	E	Falla en la alimentación eléctrica
				I	Falla en la alimentación eléctrica	Cables dañados	Cortes en aislantes	Vejez de asilante	19	2	Inspeccionar el estado de los aislantes de cables de alimentación				

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 3 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	A	Incapacidad total de bombear asfalto	Motor eléctrico	I	Se disparan las protecciones	Cortocircuito	Degradación del aislamiento (barniz dieléctrico)	Humedad interna	8	3	El motor deja de funcionar, la bomba se detiene y deja de llegar el producto al departamento de ventas, hasta que se corrija el modo de falla. Con ello las ventas se detienen y se atrasa la entrega.	22	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000
								Falla a tierra	Contaminación interna del motor				23	1	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000
								Rotura en los cables de alimentación.	Cortes en aislantes de cables				24	2	Inspeccionar en la caja de bornes el estado de los aislantes de cables de alimentación eléctrica.
								Sobrecarga	Desgaste de rodamientos				25	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
								Sobrecalentamiento	Ventilación deficiente				26	2	Limpiar con trapo seco la superficie del motor
					I	Bobinas quemadas	Fallo en las protecciones	Mal montaje	Error humano	9	3	Bobinas quemadas no permiten al motor arrancar, la bomba no puede girar, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	27	3	Capacitar el personal
					I	Botoneras en mal estado	Acumulación de polvo o suciedad			10	3	Botoneras en mal estado pueden dejar el motor fuera de servicio.	28	2	Verificar el estado de las botoneras, limpiar con trapo seco
					I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente	No hay programa de lubricación		11	3	Rodamientos trabados pueden dejar el motor fuera de servicio, se detiene la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	29	5	Dejar fallar, rodamientos sellados
								Falla del lubricante	Mal seleccionado o insuficiente				30	5	Dejar fallar, rodamientos sellados
							Eje desalineado	Error humano	31				3	Mejorar capacitación en uso de herramientas de alineamiento.	
							Desgaste normal	Envejecimiento	32				1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 4 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	B	Bombee menos de 456 GPM de asfalto y/o a menos 140 PSI	Tubería de succión	31	I	Presencia de aire o vapor en la línea de succión	Juntas flojas o sueltas	Pernos sueltos o poco ajustados	Pernos con poco apriete o desgaste por envejecimiento	12	3	La bomba no es capaz de funcionar de forma continua, o bombea un caudal menor al requerido, afectando el tiempo de llenado de los cisternas en el departamento de ventas.	33	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tubería de succión.
				Válvula de compuerta 8" en la succión y descarga	32	I	Válvula de succión o descarga parcialmente cerrada.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste normal	Envejecimiento	13	3	Válvula puede quedar semi-abierta, disminuyendo el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia	34	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre
				Rotor	33	I	Rotor desgastado en toda su superficie	Desgaste por edad			14	3	Desgaste en el rotor provoca una disminución en la capacidad de la bomba, se atrasa la producción	35	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba
				Motor eléctrico	34	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano		15	3	El motor trabaja de forma irregular, afectando el funcionamiento de la bomba y la eficiencia de la producción	36	4	Rotular las fases del motor y cables alimentadores
					35	I	Motor trabajando en 2 fases	Problemas en protecciones o cables de alimentación	Cable de alimentación desconectado					37	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
					36				Daño en un contactor	Golpe				38	2	Inspeccionar el estado de los contactores
					37	I	Rotación muy lenta	Conexiones incorrectas	Error humano					39	3	Mejorar capacitación conexiones eléctricas de motores
					38	E	Rotación muy lenta	Tensión insuficiente	Problemas en la red eléctrica					40	2	Medir tensión de alimentación del motor
				Reductor de velocidad	39	I	El eje de salida pierde velocidad por desgaste de componentes internos (Engranajes y rodamientos)	Lubricación deficiente	Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite	16	3	Al existir desgaste en el reductor la velocidad de operación no es constante, se afecta la eficiencia de la producción ya sea recirculación o ventas.	41	2	Verificar el nivel de aceite en el visor
										Retenedores en mal estado, por falta de lubricación				42	2	Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito
														43	4	Instalar puntos de engrase en los retenedores de los reductores

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 5 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE		MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
1	Bombear asfalto, de forma continua y sin interrupciones a no menos de 456 GPM y a una presión mínima de 140 PSI	B	Bombee menos de 456 GPM de asfalto y/o a menos 140 PSI	Reductor de velocidad	I	El eje de salida pierde velocidad por desgaste de componentes internos (Engranajes y rodamientos)	Lubricación deficiente	Alto nivel de aceite	Error humano	16	3	Al existir desgaste en el reductor la velocidad de operación no es constante, se afecta la eficiencia de la producción ya sea recirculación o ventas.	44	3	Capacitar personal en lubricación	
								Exceso de temperatura en el aceite	No hay sistema enfriador de aceite				45	4	Instalar sistema de enfriamiento del aceite	
								Aceite contaminado	Ingreso de contaminantes (polvo, agua, etc.) al lubricar por errores en técnicas de lubricación				46	3	Mejorar capacitación en lubricación	
								Deterioro del aceite	Vida útil superada				47	2	Sustitución programada del aceite 1 vez al año	
2	Contener todo el volumen de asfalto dentro de la bomba	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba	Sello mecánico	I	Sello mecánico presenta fugas	Eje desalineado	Fatiga	17	4	Se presentan fugas, en la bomba, el líquido no es contenido en su totalidad, además de permitir el ingreso de aire en la bomba.	48	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor		
							Bujes desgastados	Desgaste por edad				49	1	Inspecciones predictivas por analisis de vibraciones		
							Pernos del sello sueltos o con poco ajuste	Fatiga				50	2	Verificar el ajuste en los empaques del sello mecánico.		
							Desgaste interno	Falta de lubricación				51	2	Verificar la existencia de fugas en el sello mecánico		
				Carcasa de la bomba	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Exceso de suciedad en la superficie externa de la bomba.				52	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.		
				Tuberías de succión y descarga	I	Tubería de succión y descarga con fisuras o soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados				53	2	Verificar la existencia de fugas a través de las líneas de succión y descarga		
						Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Fallas en los anclajes y soportes				54	2	Verificar estado de uniones por soldadura y soportes de tubería		
				Válvula de compuerta 8" en la succión y descarga	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques					55	2	Verificar la existencia de fugas por los empaques y uniones de las válvulas.		

### Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 6 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Base de la bomba, motor y reductor	53	I	Base de la bomba, motor o reductor suelta	Solturas mecánicas			18	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, afecta componentes de a bomba y del motor	56	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba motor y reductor, soltura o apriete en pernos
				Tuberías de succión y descarga	54	I	Las tuberías de succión y/o descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas			19	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, se dañan componentes internos de la bomba y motor	57	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes
				Ejes de la bomba, motor y reductor	55	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras.	Fatiga						58	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					56	I	Desalineamiento entre eje de bomba-reductor y reductor-motor	Desajuste mecánico			59	2	Verificar el alineamiento entre ejes de bomba-reductor y reductor-motor			
				Rodamientos de la bomba	57	I	Falta de lubricación en rodamiento de bola (lado del eje)	No hay programa de lubricación			20	6	Falta de lubricación en el rodamiento de la bomba produce un desgaste acelerado y exceso de vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor	60	2	Aplicar grasa en los puntos de engrase, 1 vez por semana.
					Error humano					61				3	Capacitar el personal en lubricación	
					59	I	Desgaste en rodamiento de bola (lado del eje)	Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador		21	6	Exceso de desgaste produce aumento en la vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor	62	3	Capacitar el personal en lubricación
					60			Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento					63	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					61			Desalineamiento						64	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
					62	I	Desgaste en bujes de bronce	Desalineamiento			22	6	Desgaste en los bujes produce exceso de vibración, afecta componentes internos de bomba y motor	65	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
63	Instalación incorrecta de bujes	Error humano			23			6	Incrementa la vibración de la bomba, afecta componentes internos de bomba y motor.	66	3	Capacitar personal				
64	I	Instalación incorrecta de rodamientos	Error humano				24	6	Incrementa la vibración de la bomba, afecta componentes internos de bomba y motor.	67	3	Capacitar personal				

### Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 7 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	A	No cumple estándares de vibración	Motor eléctrico	65	I	Rotación muy lenta	Problemas en las conexiones eléctricas			25	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración del motor, afecta componentes del motor y de la bomba	68	2	Revisar caja de bornes y cables alimentadores de corriente
								66		Tensión insuficiente				Problemas en la red eléctrica		69
					67	I	Dirección de rotación equivocada	Fases invertidas	Error humano					70	3	Capacitar personal
					68	I	Rodamientos desgastados	Lubricación deficiente	No hay programa de lubricación					71	5	Dejar fallar, rodamientos sellados
					Falla del lubricante				Mal seleccionado o insuficiente	72				5	Dejar fallar, rodamientos sellados	
					70			Eje desalineado	Error humano					73	3	Mejorar capacitación en uso de herramientas de alineamiento.
					71			Desgaste normal	Envejecimiento					74	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
		B	No cumple estándares de temperatura.	Motor eléctrico	72	E	Desbalance de tensiones	Problemas en la red de alimentación eléctrica			26	6	Aumenta la corriente y con ello la temperatura en los devanados, provocando daños en el aislamiento.	75	2	Medir la tensión en las fases del motor
					73	I	Desgaste en rodamientos	Desgaste por edad			27	6	Aumenta la temperatura de los rodamientos y con esto la temperatura superficial del motor	76	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					74	I	Pérdida de fase del motor	Cable de alimentación desconectado						77	2	Verificar en la caja de bornes, la conexión del motor.
								Daño en un contactor	Golpe					78	2	Inspeccionar el estado de los contactores
					76	I	Cables de alimentación en mal estado	Humedad en los cables	Conduletas rotas o uniones sueltas		28	6	Se aumenta la temperatura de los cables y con esto la temperatura del motor	79	2	Inspeccionar estado físico de las conduletas
					77			aislante de cable en mal estado						80	2	Inspeccionar aislantes en cables de alimentación

## Hoja de información RCM– Bomba de asfalto YP-952-C (Hoja 8 de 8)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA				
3	Mantener una temperatura máxima de 80 °C en la superficie del motor y estándares de vibración según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba y motor	B	no cumple con estándares de temperatura	Motor eléctrico	78	I	Sobrecarga en el motor	Bomba requiere mayor potencia	Baja temperatura del producto	Error de operación	27	6	Sobrecarga del motor produce un aumento en la corriente y un aumento en la temperatura del motor, disminuyendo la vida útil del aislamiento	81	3	Capacitar personal en procedimientos de operación
					79				Operación en punto diferente al de diseño					82	2	Verificar la presión de descarga
														83	2	Medir la temperatura externa del motor
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa de la bomba, reductor, bases metálicas y de concreto.	A	Apariencia de la carcasa de la bomba ,reductor, bases metálicas y de concreto no cumplen los estándares	Carcasa de la bomba	80	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			29	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	84	2	Verificar la existencia de focos de corrosión y superficies despintadas en la carcasa de la bomba
				Motor eléctrico	81	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			30	6	Deterioro de superficie del motor puede aumentar la humedad interna y provocar cortocircuito	85	2	Verificar la existencia de focos de corrosión, suciedad y superficies despintadas en el motor eléctrico
				Base metálica y base de concreto toda la máquina	82	I	Presencia de suciedad y asfalto en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación	31	6	Presencia de suciedad y restos de asfalto en la base de la máquina producen mal aspecto y corrosión en las superficies metálicas.	86	2	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de la máquina, no debe tener suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar	
				Reductor de velocidad	83	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			32	6	Exceso de suciedad en el reductor provoca mal aspecto y deterioro en superficies del reductor	87	2	Verificar la existencia de focos de corrosión, suciedad y superficies despintadas en el reductor

### Anexo 14. Hoja de información RCM – Bomba de búnker YP-791, subparte Bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 1 de 5)

EMPRESA	RECOPE	
DEPARTAMENTO	OFF SITE	
ÁREA	BOMBAS	
EQUIPO DE ANALISIS	BOMBA DE BÚNKER	
CODIGO	YP-791	
SUBPARTE	BOMBA DE TORNILLOS	
CODIGO	BO-0275	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA					
1	Bombear búnker de forma continua y sin interrupciones a no menos de 565 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	A	Incapacidad total de bombear búnker	Tornillos impulsores	1	E	Bomba se atasca al momento de arrancar	Viscosidad del búnker es mayor a la especificada	No entra vapor a la bomba.	Error de operación	1	3	La falta de temperatura en el búnker provoca un aumento en la viscosidad, la cual puede superar la capacidad de diseño de la bomba, atascarla y evitar que se realiza la recirculación de producto, afectando la producción	1	2	Capacitar el personal en procedimientos de operación
							2	I	Dientes de engranes, quebrados	Lubricación deficiente	Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite	2	3	Dientes de engranes quebrados no permiten transmisión de potencia de un tornillo a otro, por lo tanto no hay bombeo de búnker, se afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	2
					Alto nivel de aceite	Error humano					3	2				Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito
					Aceite contaminado	Ingreso de contaminantes (polvo, agua, etc.) al lubricar por errores en técnicas de lubricación					4	3				Capacitar personal en lubricación
					Deterioro del aceite	Vida útil superada					5	3				Mejorar capacitación en lubricación
					Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador					6	2				Sustitución programada del aceite cada 3 meses
					7	I	Tornillos sueltos o flojos	Error humano			3	3	Impulsores sueltos no permiten el bombeo del producto, se afecta eficiencia de producción	8	3	Mejorar capacitación en montaje de componentes internos de la bomba

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 2 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA										
1	Bombear búnker de forma continua y sin interrupciones a no menos de 565 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	A	Incapacidad total de bombear búnker	Rodamientos	I	Rodamientos trabados	Lubricación deficiente (Rodamientos internos)	Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite	4	3	Rodamientos trabados no permiten al eje de la bomba girar, esto provoca el no movimiento de los tornillos impulsores y el no bombeo de búnker. Se afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	9	2	Verificar el nivel de aceite y la existencia de fugas de aceite en el depósito						
								Alto nivel de aceite	Error humano				10	3	Capacitar personal en lubricación						
								Aceite contaminado	Ingreso de contaminantes (polvo, agua, etc.) al lubricar por errores en técnicas de lubricación				11	3	Mejorar capacitación en lubricación						
								Deterioro del aceite	Vida útil superada				12	2	Sustitución programada del aceite cada 6 meses						
								Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador				13	3	Capacitar el personal en lubricación						
								Falta de lubricación	No hay programa de lubricación, Error humano				14	2	Aplicar 47,6 gramos de grasa en los puntos de engrase, cada 3 meses.						
							Lubricación deficiente (Rodamiento de bola, del lado del acople)	Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador				15	3	Capacitar el personal en lubricación						
								Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento				16	3	Capacitar el personal en lubricación						
								Desgaste por edad					17	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones						
													18	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones.						
							Acople	I	Falla en el acople (lado de la bomba)				Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	5	3	Problemas en el acople impiden una adecuada transmisión de potencia, hacia los impulsores de la bomba, afecta la producción	19	2	Verificar el estado de la grasa lubricante
														Desgaste por fatiga	Envejecimiento normal				20	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople
														Desalineamiento	Error de montaje				21	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
													Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje	Error humano				22	2	Verificar el estado y apriete de los pernos en el acople
																		23	3	Capacitar el personal	

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 3 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPART E	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
1	Bombear búnker de forma continua y sin interrupciones a no menos de 565 GPM y a una presión mínima de 145 PSI (1MPa)	B	Bombear menos de 565 GPM de búnker y/o a menos de 145 PSI (1 MPa)	Válvulas de succión y descarga	22	I	Válvula de succión y/o descarga parcialmente cerrada.	Presenta dificultad para manipularse	Desgaste normal	Envejecimiento	6	3	Válvula puede quedar semi- abierta, disminuyendo el flujo de succión de la bomba, por lo tanto el caudal entregado es menor, afectando eficiencia	24	2	Verificar el estado general de las válvulas y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre
				Tornillos impulsores	23	I	Distancia entre tornillos muy amplia	Desgaste excesivo	Desgaste por edad	Baja temperatura por falta de vapor	7	3	Desgaste en tornillos impulsores reduce la capacidad de la bomba para entregar el producto, afecta eficiencia de producción	25	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba
					24				Viscosidad del búnker mayor a la de diseño					26	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación
2	Mantener hermeticidad de todo el volumen de búnker trasegado, dentro de la bomba.	A	Incapacidad de contener el volumen dentro de la bomba, en forma parcial o total	Sellos mecánicos	25	I	Presencia de fugas en alguno de los 4 sellos mecánicos	El eje o tornillos desalineados.	Fatiga	Desgaste por edad	8	4	Se producen fugas del producto bombeado, se presentan pérdidas de producto y atrasos en el llenado de cisternas o recirculación del búnker	27	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor
					26			Glándula desajustada	Empaquetadura desgastada					28	2	Programación de revisión y sustitución de componentes internos de la bomba
					27			Desgaste interno	Falta de lubricación en el sello					29	2	Verificar la existencia de fugas en el sello mecánico
				Carcasa	28	I	Carcasa presenta fisuras	Deterioro por corrosión.	Agua y/o suciedad en la superficie externa de la bomba.	30	2	Verificar el estado general de la carcasa e inspeccionar existencia de fugas.				
				Tubería de succión y descarga	29	I	Tubería de succión o descarga con fisuras o soldaduras	Solturas en las bridas	Pernos sueltos o poco ajustados	31	2	Verificar el apriete en pernos de juntas de tuberías				
					30	I	Fisuras en uniones (soldaduras)	Vibración y esfuerzos	Fallas en los anclajes y soportes	32	2	Verificar la existencia de fugas a través de las líneas de succión y descarga				
				Válvula de compuerta 10" en la succión y descarga	31	I	Existencia de fugas por las uniones	Desgaste o deterioro de los empaques		33	2	Verificar estado de uniones por soldadura y soportes de tubería				
						34	2	Verificar la existencia de fugas por los empaques y uniones de la válvula.								

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 4 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
3	Mantener estándares de vibración de acuerdo a valores según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba	A	No cumple con estándares de vibración	Base de la bomba	32	I	Base de la bomba, presenta movimiento	Pernos sueltos o con poco apriete			9	6	Se produce un incremento en el ruido y vibración de la bomba, afecta componentes internos de la bomba y reductor	35	2	Inspeccionar el estado físico de la base de la bomba, soltura y apriete en pernos	
				Tuberías de succión y descarga	33	I	Las tuberías de succión y/o descarga no están bien ancladas	Solturas mecánicas						36	2	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes	
				Eje de la bomba	34	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras	Fatiga						37	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	
					35	I	Desalineamiento entre eje de la bomba y reductor	Desajuste mecánico						38	2	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor	
				Rodamientos de la bomba	36	I	Lubricación deficiente (Rodamientos internos)	Bajo nivel de aceite	Fugas en el depósito de aceite			10	6	Exceso de desgaste produce aumento en la vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor	39	2	Verificar el nivel de aceite y la existencia de fugas de aceite en el depósito
					37			Alto nivel de aceite	Error humano						40	3	Capacitar personal en lubricación
					38			Aceite contaminado	Ingreso de contaminantes (polvo, agua, etc.) al lubricar por errores en técnicas de lubricación						41	3	Mejorar capacitación en lubricación
					39			Deterioro del aceite	Vida útil superada						42	2	Sustitución programada del aceite cada 6 meses
					40			Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador						43	3	Capacitar el personal en lubricación

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Bomba de tornillos BO-0275 (Hoja 5 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
3	Mantener estándares de vibración de acuerdo a valores según la norma ISO 10816-3, en los componentes mecánicos de la bomba	A	No cumple con estándares de vibración	Rodamientos de la bomba	41	I	Lubricación deficiente (Rodamiento de bola, del lado del acople)	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación,		10	6	Exceso de desgaste produce aumento en la vibración en la bomba. Afecta componentes internos de bomba y motor	44	2	Aplicar grasa en los puntos de engrase, cada 3 meses.
									Error humano					45	3	Capacitar el personal en lubricación
								Lubricante incorrecto	Mala selección por parte del lubricador	46				3	Capacitar el personal en lubricación	
								Falla del lubricante	Deterioro por contaminación o envejecimiento	47				1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones	
								Desgaste por edad		48				1	Inspecciones predictivas por termografía y análisis de vibraciones.	
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la carcasa y base de la bomba	A	Apariencia de la carcasa y base de la bomba no se ajusta a los estándares	Carcasa	46	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			11	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	49	2	Verificar la existencia de focos de corrosión en la superficie de la bomba
				Base metálica y base de concreto	47	I	Presencia de suciedad y productos en las bases de la máquina	Derrames de búnker	Procedimientos de operación			12	6	Restos de productos en la base de la bomba producen mal aspecto y riesgo para operarios.	50	2

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Reductor de velocidad RE-0062 (Hoja 1 de 2)

EMPRESA	RECOPE	
DEPARTAMENTO	OFF SITE	
ÁREA	BOMBAS	
EQUIPO DE ANÁLISIS	BOMBA DE BÚNKER	
CÓDIGO	YP-791	
SUBPARTE	REDUCTOR DE VELOCIDAD	
CÓDIGO	RE-0062	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA		
1	Transferir de manera constante la potencia de salida del motor hacia la bomba, y reducir la velocidad de 1800RPM a 256 RPM	A	Incapacidad total de transferir la potencia del motor hacia la bomba	Engranajes y rodamientos	1	E	Dientes quebrados	Trabonazo por exceso de carga	Bomba requiere mayor potencia	Error de operación	1	3	Los rodamientos trabados o dientes quebrados no permiten al eje girar por lo tanto no se transmite potencia del motor a la bomba, se afecta la recirculación de producto.	1	3	Capacitar el personal en procedimientos de operación
		3	2	Verificar la existencia de fugas de aceite en el depósito												
		4	4	Instalar puntos de engrase en los retenedores de los reductores												
		5	3	Capacitar personal en lubricación												
		6	2	Verificar el indicador de estado del filtro												
		7	2	Verificar la temperatura de entrada y salida del aceite												
		8	2	Verificar las conexiones del motor eléctrico del ventilador.												
		Alto nivel de aceite	Error humano	Retenedores en mal estado, por falta de lubricación												
		Filtro obstruido	Envejecimiento normal	Bomba de lubricación en mal estado	Desgaste en partes internas-	Exceso de temperatura en el aceite	Ventilador no arranca por problemas de conexión en motor									

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Reductor de velocidad RE-0062 (Hoja 2 de 2)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
1	Transferir de manera constante la potencia de salida del motor hacia la bomba, y reducir la velocidad de 1800RPM a 256 RPM	B	Reduce la velocidad del motor a menos de 256 RPM.	Engranajes y rodamientos	8	I	El eje de salida pierde velocidad por desgaste de componentes internos (Engranajes y rodamientos)	Lubricación deficiente	Exceso de temperatura en el aceite	Ventilador no arranca por cortocircuito en el motor	2	3	Al existir desgaste en el reductor la velocidad de operación no es constante, se afecta la eficiencia de la producción ya sea recirculación o ventas.	9	1	Medir el aislamiento interno del motor, valorar según norma IEEE 43:2000
					9				Aceite contaminado	Ingreso de contaminantes (polvo, agua, etc.) al lubricar por errores en técnicas de lubricación				10	3	Mejorar capacitación en lubricación
					10				Deterioro del aceite	Vida útil superada				11	2	Sustitución programada del aceite 1 vez al año
2	Contener todo el volumen de aceite dentro del depósito	A	Incapacidad de contener el volumen de aceite dentro del depósito, en forma parcial o total	Depósito de aceite	11	I	Retenedores desgastados	Desgaste por edad			3	6	Se producen fugas de aceite, disminuyendo el nivel en el reductor, se desgastan elementos internos del reductor, la afectación es para la propia máquina.	12	2	Verificar la existencia de fugas en los retenedores
					12	I	Depósito de aceite fisurado	Corrosión	Exceso de suciedad	13				2	Limpiar con trapo húmedo la superficie del reductor	
3	Mantener estándares de vibración de acuerdo a valores según la norma ISO 10816-3	A	No cumple con estándares de vibraciones	Ejes del reductor, bomba y motor	13	I	Ejes doblados, reventados o con fisuras	Fatiga			4	6	Se produce un aumento en la vibración del reductor, produciendo desgaste en piezas internas del reductor, la afectación es para la propia máquina	14	1	Inspecciones predictivas por análisis de vibraciones
					14	I	Desalineamiento entre eje de la bomba y reductor	Fatiga		15				2	Verificar el alineamiento entre ejes de la bomba y reductor	
					15	I	Desalineamiento entre el eje del motor y reductor	Fatiga		16				2	Verificar el alineamiento entre ejes del reductor y motor	
				Base del reductor	16	I	Base del reductor suelta	Pernos sueltos o con poco apriete						17	2	Verificar estado y apriete en pernos de la base del reductor de velocidad
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la superficie, bases metálicas y de concreto del reductor	A	Apariencia de la superficie, bases metálicas y de concreto no cumplen con estándares	Depósito de aceite	17	I	Presencia de corrosión y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			5	6	Deterioro de la superficie de la bomba, puede completarse en fisuras y fugas	18	2	Verificar la existencia de focos de corrosión y superficies despintadas en la superficie del reductor
				Base metálica y base de concreto	18	I	Presencia de suciedad y productos en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación							

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Motor de combustión MC-0028 (Hoja 1 de 5)

EMPRESA	RECOPE	
DEPARTAMENTO	OFF SITE	
ÁREA	BOMBAS	
EQUIPO DE ANÁLISIS	BOMBA DE BÚNKER	
CÓDIGO	YP-791	
SUBPARTE	MOTOR DE COMBUSTIÓN	
CÓDIGO	MO-0028	

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA		
1	A	Incapacidad total de proporcionar 224 kW de potencia a 2000 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad.	Sistema eléctrico	I	Ausencia de tensión en el sistema de alimentación eléctrica	Baterías descargadas	Falta de líquido en las baterías		El motor no puede arrancar, no se transmite potencia al reductor ni a la bomba, la temperatura del asfalto aumenta ya que se paraliza su recirculación durante el tiempo que se alinea y arranca un nuevo equipo	1	2	Verificar nivel de líquido en las baterías.	
							Alternador no carga las baterías	Fajas del alternador sueltas o desajustadas		2	2	Verificar el estado y ajuste de las fajas del alternador	
								Alternador no funciona		3	2	Verificar el estado de escobillas del alternador	
							Falla en el regulador			4	2	Verificar el estado y funcionamiento del regulador de tensión	
							Exceso de sulfatación en los bornes de baterías	Suciedad acumulada		5	2	Limpiar los bornes y aplicar grasa anti-sulfatación	
							Cables dañados, cortados o en cortocircuito	Cortes en forros o uniones de cables		6	2	Inspeccionar el estado de los forros de los cables.	
			Sistema de alimentación de combustible	I	No hay combustible en el tanque	Error humano		7	2	Verificar nivel de combustible en el tanque, mínimo 1/2 tanque.			
						Fugas en el tanque o mangueras	Presencia de fisuras	Corrosión del tanque o deterioro de mangueras	8	2	Inspeccionar estado general del tanque y tuberías de combustible.		

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Motor de combustión MC-0028 (Hoja 2 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO			ACCION PROACTIVA			
1	Suministrar una potencia nominal de 224 kW/300 hp a 2000 RPM con un torque máximo de 1070 Nm, al reductor de velocidad.	A	Incapacidad total de proporcionar 224 kW de potencia a 2000 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Sistema de alimentación de combustible	9	I	Filtros de combustible tapados	Exceso de suciedad en el combustible	Tanque de combustible con exceso de suciedad	1	3	El motor no puede arrancar, no se transmite potencia al reductor ni a la bomba, la temperatura del asfalto aumenta ya que se paraliza su recirculación durante el tiempo que se alinea y arranca un nuevo equipo	9	2	Limpiar internamente el tanque de combustible.		
							10	Línea de combustible cortada	Deterioro de las tuberías					10	2	Sustitución programada de ambos filtros de combustible cada 500 horas o instalar filtro con indicador de nivel	
							11	Falla de la bomba de combustible	Falla en el motor de la bomba					11	2	Inspeccionar estado de deterioro de las líneas de diésel.	
					Sistema de admisión de aire	12	I	Restricción en la entrada de aire	Filtro tapado				Envejecimiento normal		12	5	Ninguna acción proactiva
									13				Tuberías en mal estado	Fisura o corte en las tuberías		13	2
						14									14	2	Inspeccionar el estado de las tuberías, del sistema de aire
				Sistema de alarmas de protección	14	I	Alarma de agua en el sistema de inyección activada	Exceso de agua en el sistema de inyección	Trampa de agua en la línea de entrada de combustible, obstruida	Desgaste por edad	2	3	Se activan las alarmas de protección al motor contra exceso de agua en admisión de combustible, alta temperatura de refrigerante, baja presión de aceite y baja presión de aire en el turbocargador, estas alarmas no permiten el arranque del motor o lo apagan si está en funcionamiento, se afecta la temperatura del producto ya que se paraliza su recirculación, mientras se alinea y arranca un equipo de respaldo	15	2	Verificar el estado de obstrucción de la trampa de agua en la admisión de combustible	
								15	Falla en el filtro separador de agua del combustible	Exceso de agua en los filtros de combustible					16	2	Drenar toda el agua contenida en el filtro de combustible
					16	I	Alarma de bajo nivel de refrigerante, activada	Bajo nivel de refrigerante en el radiador	Fugas en el radiador					17	2	Verificar la existencia de fugas en el radiador.	
								Fugas en las tuberías						18	2	Verificar la existencia de fugas en las líneas de refrigerante	
								Error humano						19	2	Verificar el nivel de refrigerante en el radiador	

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Motor de combustión MC-0028 (Hoja 3 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA		EFECTO		ACCION PROACTIVA						
1		A	Incapacidad total de proporcionar 224 kW de potencia a 2000 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Sistema de alarmas de protección	I	Alarma de baja presión de aceite activada	Presión de aceite es insuficiente	Bajo nivel de aceite en el cárter	fugas en el sistema de lubricación	2	3	Se activan las alarmas de protección al motor contra exceso de agua en admisión de combustible, alta temperatura de refrigerante, baja presión de aceite y baja presión de aire en el turbo cargador, estas alarmas no permiten el arranque del motor o lo apaga	20	2	Verificar la existencia de fugas en el cárter y tuberías	
								Alto nivel de aceite en el cárter	Refrigerante en el cárter				21	2	Verificar el nivel y el color del aceite.	
									Diesel en el cárter				22	2	Verificar el nivel y palpar la viscosidad del aceite	
								Aceite incorrecto	Error humano				23	3	Capacitar el personal en lubricación	
								Aceite degradado	Vida útil superada				24	2	Sustitución programada del aceite lubricante, cada 3 meses	
								Filtro de aceite obstruido	Vida útil superada				25	2	Sustitución programada del filtro de aceite, cada 3 meses	
													26	2	Inspeccionar el estado del filtro de aire, reemplazar si es necesario	
				Sistema de enfriamiento	I	Alarma de baja presión de aire del turbocargador	Flujo de aire en la entrada menor al requerido	Filtro tapado	Envejecimiento normal	3	3	Sobrecalentamiento en el sistema de enfriamiento del motor puede provocar daños graves y sacar de funcionamiento al mismo, la afectación es hacia la producción ya que se paraliza la recirculación o venta de asfalto mientras se alinea y prepara nuevo equipo.	27	2	Verificar la existencia de ruidos anormales en el turbocargador	
								Lubricación deficiente					28	5	Verificar la temperatura del líquido refrigerante	
						Falla de la bomba de refrigerante	Desgaste interno						29	2	Verificar la concentración del refrigerante	
						Refrigerante contaminado	Deterioro del lubricante por edad						30	2	Verificar el nivel de refrigerante e inspeccionar fugas.	
						Bajo nivel de refrigerante en el radiador	Fugas en radiador o tuberías	Fisuras en el radiador o tuberías						31	2	Verificar el estado físico y desgaste en los empaques y resortes del radiador.
						EL tapón del radiador en mal estado	Desgaste por edad						32	2	Realizar test al termostato.	
						El termostato no funciona apropiadamente	Desgaste por edad						33	2	Inspeccionar el estado físico de las aspas del abanico.	
Aspas del abanico quebradas	Golpes o esfuerzos en reparaciones	Errores humano			34	2	Inspeccionar el ajuste y tensor de las fajas del abanico.									
Fajas del abanico desajustadas	El tensor está flojo				35	2	Inspeccionar el estado físico de las fajas.									
El abanico no se mueve	Fajas rotas	Deterioro por edad														

### Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Motor de combustión MC-0028 (Hoja 4 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA		CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA			
1	Suministrar una potencia nominal de 224 kW/300 hp a 2000 RPM con un torque máximo de 1070 Nm, al reductor de velocidad.	A	Incapacidad total de proporcionar 224 kW de potencia a 2000 RPM y el torque indicado, al reductor de velocidad	Acople	I	Falla en el acople (lado motor)	Elemento de acople desgastado	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	4	3	El acople suelto no permite transmitir potencia al reductor ni a la bomba de tornillos, no se realiza la recirculación de producto, la afectación es parcial mientras se alinea y arranca nuevo equipo	36	2	Verificar el estado de la grasa lubricante
								Desgaste por fatiga					37	2	Verificar estado de desgaste y deterioro en el acople
								Desalineamiento					38	2	Verificar el alineamiento entre el motor y reductor
								Los pernos del acople están sueltos o flojos	Error de montaje				Error humano	39	2
							40	3	Capacitar el personal						
		Embrague	39	I	Palanca de acople trabada	Falta de lubricación	No hay programa de lubricación	5	3	No permite transmitir potencia del motor al reductor, se afecta la producción mientras se alinea y arranca nuevo equipo	41	2	Aplicar 1 cc grasa en ambos puntos de engrase		
		B	El motor trabaja a una velocidad diferente a 2000 RPM o entrega potencia menor o mayor a 224 kW con un torque diferente al indicado	Sistema de alimentación de combustible	40	I	Velocidad del motor sube y baja súbitamente	Aire en el sistema de combustible	Uniones o acoples sueltos en tuberías	6	3	El motor trabaja de forma irregular, afectando el funcionamiento de la bomba y la recirculación de producto, la afectación es parcial mientras se alinea y arranca nuevo equipo.	42	2	Verificar estado de uniones y acoples en tuberías de combustible
				Control de velocidad	41	I	Velocidad del motor diferente a requerida	Desajuste en el control de velocidad					43	2	Verificar la velocidad del motor y ajustar si es necesario
				Sistema de admisión de aire	42	I	Turbocargador no trabaja adecuadamente	Turbo gira a una velocidad menor	Lubricación deficiente				44	2	Inspeccionar ruidos anormales o fugas de aceite en el turbocargador
					43	I	Fugas en las tuberías o conexiones	Deterioro de las tuberías					45	2	Verificar la existencia de fugas de aire en las tuberías
Embrague	44			E	Motor sobrecargado	Bomba requiere mayor potencia de la de diseño	Baja temperatura en el producto	Condiciones de operación	46				3	Capacitar personal en procedimientos de operación	

## Hoja de información RCM– Bomba de búnker YP-791, subparte Motor de combustión MC-0028 (Hoja 5 de 5)

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		SUBPARTE	MODO DE FALLA			CAUSA			EFECTO		ACCION PROACTIVA				
2	Mantener un consumo de combustible máximo de 21kg/h en condiciones nominales	A	El motor tiene un consumo de combustible mayor al especificado	Sistema de lubricación	45	I	El nivel de aceite es mayor al indicado	Error humano			7	6	El motor consume más combustible del especificado, trabaja de manera forzada produciendo desgastes internos, la afectación es la máquina	47	2	Verificar el nivel de aceite del cárter.	
				Embrague	46	E	Motor sobrecargado	Bomba requiere mayor potencia de la de diseño	Baja temperatura en el producto	Error de operación				48	3	Capacitar personal en procedimientos de operación	
				Sistema de admisión de aire	47	I	Fugas en el sistema de admisión de aire	Deterioro de las tuberías o conexiones							49	2	Verificar la existencia de fugas de aire en, en tuberías conexiones y turbocargador
								Fisuras en tuberías		Deterioro por corrosión					50	2	Verificar el estado de las tuberías de escape y focos de corrosión
3	Evacuar todos los gases calientes del motor hacia la atmosfera , manteniendo emisiones de 3,6 g/kW-h de hidrocarburos y 0,17 g/kW-h de partículas en suspensión	A	Incapaz de canalizar todos los gases	Sistema de escape del motor	48	I	Tubería de escape o silenciador con fisuras	Exceso de corrosión	Humedad y acidez de los gases	8	1	Fugas de gases en cualquier punto del sistema de escape impiden adecuado tratamiento de los mismos y presentan afectan la seguridad de los trabajadores y el ambiente,	51	2	Verificar el estado físico de las tuberías de escape y silenciador		
					49	I	Uniones de tuberías sueltas	Vibración y esfuerzos	Solturas en soportes y anclajes de las tuberías				52	2	Verificar uniones sueltas y los soportes y anclajes de las tuberías de escape		
		B	Emisiones de gases contaminantes no cumplen con estándares	Sistema de escape del motor	50	I	Inyectores descalibrados	Uso normal		9	1	Las emisiones de gases con niveles de contaminantes superiores a los establecidos afectan la seguridad de las personas y el medioambiente	53	2	Realizar prueba de opacidad en los gases de escape		
					51	I	Sensor de turbo en mal estado	Descalibración por edad									
4	Mantener estándares de apariencia y limpieza en la superficie y bases del motor.	A	Apariencia de la superficie y bases del motor no cumplen con estándares	Superficie	53	I	Presencia de corrosión o suciedad y superficies despintadas	Envejecimiento normal y humedad del lugar			10	6	Deterioro de la superficie del motor, puede completarse en fisuras y fugas	54	2	Verificar la existencia de focos de corrosión, suciedad o superficies despintadas en la superficie del motor	
				Base metálica y base de concreto	54	I	Presencia de suciedad y productos en las bases de la máquina	Derrames de asfalto	Procedimientos de operación			11	6	Restos de productos en la base de la bomba producen mal aspecto y riesgo para operarios.	55	2	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto del motor, no debe tener suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar

**MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
PARA EQUIPOS DE BOMBEO DE *OFF SITE***

## Ficha técnica Bomba de LPG YP-781-A

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15
Código:	YP-781-A	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
Función: Bombear gas LPG hacia el departamento de ventas				
<b>Componentes principales</b>				
<b>Bomba</b>				
Código:	BO-0269		Diámetro Succión:	6"
Marca:	Ingersoll Rand		Diámetro Descarga:	4"
Modelo:	APW		Diámetro de impulsor:	6,2"
Serie:	2879037		Diámetro del eje:	1,25"
Tamaño:	8JK		Material de impulsor:	Hierro fundido
Velocidad:	3600 RPM		Material de la carcasa:	Hierro fundido
Caudal:	250 GPM		Número de etapas:	4
Cabeza:	575 Ft		Bujes:	Carbón
Tipo:	Centrifuga vertical		Eficiencia:	
Observaciones:	Bomba vertical. Se encuentra a la intemperie.			
<b>Motor eléctrico</b>				
Código:	ME-0559		FRAME:	324TP
Marca:	US MOTORS		Factor de potencia:	89,5
Modelo:	11712494-100		Frecuencia :	60 Hz
Tipo:	LUCS		Factor de servicio:	1,15
Serie:	T 02 7512193-0002 M-0001		Temp. Max. ambiental	40 °C
Potencia:	40 HP		Eficiencia:	90,2%
Velocidad:	3560 RPM		Rodamiento lado abanico	6211-J/C3
Tensión:	480 V		Rodamiento lado de eje:	2-7312BECBP
Corriente:	44 A		Aislamiento:	F
Fases:	3		Lubricante:	Grasa NGLI 2 para roll lado del abanico
Observaciones:	Motor vertical			

## Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-A



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACION Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-A	Hoja 1 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm) Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	40	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
3	41	Verificar que no existan fugas a través de empaques, sellos, manómetro, ubicados en la cachera de la tubería de descarga, utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	10	1IN, 1AY
4	44	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni solturas. Informar.	S	52	10	1T, 1AY
5	45	Verificar mediante termografía infrarroja que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, tuberías no debe tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	10	1IN, 1AY
<b>Subparte: Acople</b>						
6	3	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
7	9	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000	E	2	20	1EI, 1AY
8	11	Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
9	15	Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover acumulación suciedad. Corregir si es necesario.	M	13	30	1MI, 1AY
10	17	Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	TR	4	35	1EI, 1AY

Equipo: Bomba de LPG			Código: YP-781-A		Hoja 2 de 3	
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
11	20	Aplicar 10,5 gramos de grasa (aproximadamente 6 movimientos completos y uno al 75% de la palanca de la bomba) en el rodamiento del lado del abanico, utilizar grasa NGLI 2. Cambiar	E	2	20	1L, 1AY
12	32	Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
13	33	Verificar que no existan daños, acumulación de polvo o suciedad en los contactores. Utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	E	2	15	1EI, 1AY
14	35	Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%. Informar.	A	1	35	1EI, AY
15	62	Verificar visualmente el estado físico de las conduletas, no deben existir solturas, fisuras o humedad en el interior. Corregir si es necesario.	E	2	20	1EI, AY
16	66	Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C. Utilizar termómetro laser. Informar.	S	52	10	1EI, 1AY
17	68	Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	E	2	10	1EI, 1AY
<b>Subparte: Válvulas de bola en succión y descarga</b>						
18	25	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni solturas además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
19	42	Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas, utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	10	1IN, 1AY
<b>Subparte: Sello mecánico</b>						
20	36	Verificar el ajuste de los pernos en el sello mecánico, no deben estar sueltos o con poco apriete. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 40 Nm) Corregir si es necesario.	M**	13	15	1M, 1AY
21	37	Verificar que no existan fugas a través del sello mecánico, utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	10	1IN, 1AY
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
22	38	Verificar que no existan fugas en la carcasa y base de la bomba. Utilizar termografía infrarroja. Informar	S	52	10	1IN, 1AY
23	67	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY

Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-A	Hoja 3 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
24	43	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base de la máquina (bomba y motor). (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm) Corregir si es necesario.	M	13	15	1M, 1AY
25	69	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la máquina (bomba y motor), no debe existir golpes, suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar	M	13	15	1M, 1AY
<b>Subparte: Eje de la bomba</b>						
26	47	Verificar el estado y apriete de la tuerca de ajuste del eje, ubicada en la parte superior del motor. Corregir si es necesario.	M	13	15	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

## Ficha técnica Bomba de LPG YP-781-B

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TECNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15
Código:	YP-781-B	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
Función: Bombear gas LPG hacia el departamento de ventas				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0270		Diámetro Succión:	6"
Marca:	Goulds Pumps		Diámetro Descarga:	4"
Modelo:	VIC-T		Diámetro de impulsor:	6,7"
Serie:	310721		Diámetro del eje:	1,25"
Tamaño:	4X6X10AHX/AL C/4		Material de impulsor:	Acero inox. 316 SS
Velocidad:	3550 RPM		Material de la carcasa:	Acero
Caudal:	300 GPM		Número de etapas:	4
Cabeza:	675 Ft		Bujes:	Carbón
Tipo:	Centrifuga vertical		Eficiencia:	78,0%
Observaciones:	Bomba vertical. Se encuentra a la intemperie.			
Motor eléctrico				
Código:	ME-0560		FRAME:	326 VP
Marca:	US MOTORS		Factor de potencia:	89,5
Modelo:	117-12496-100		Frecuencia :	60 Hz
Tipo:	LVCS4		Factor de servicio:	1,15
Serie:	T037514967-0002-M-0001		Temp. Max. ambiental	40
Potencia:	50 HP		Eficiencia:	91,7%
Velocidad:	3560 RPM		Rodamiento lado abanico:	6212-J/C3
Tensión:	480 V		Rodamiento lado eje:	2-7312 BECBP
Corriente:	54 A		Aislamiento:	F
Fases:	3			
Observaciones:	Motor vertical			

## Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-B



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACION Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-B	Hoja 1 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm) Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	40	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
3	41	Verificar que no existan fugas a través de empaques, sellos, manómetro, ubicados en la cachera de la tubería de descarga, utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	20	1IN, 1AY
4	44	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni solturas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
5	45	Verificar mediante termografía infrarroja que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, tuberías no debe tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar	S	52	20	1IN, 1AY
<b>Subparte: Acople</b>						
6	3	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm) Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
7	9	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000.	E	2	20	1EI, 1AY
8	11	Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
9	15	Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover acumulación suciedad. Corregir si es necesario.	M	13	30	1MI, 1AY
10	17	Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	TR	4	35	1EI, 1AY

Equipo: Bomba de LPG			Código: YP-781-B		Hoja 2 de 3	
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
11	18	Aplicar 20,5 gramos de grasa (aproximadamente 13 movimientos completos de la palanca de la bomba) en el rodamiento del lado del eje, utilizar grasa NGLI 2. Cambiar.	E	2	20	1L, 1AY
12	32	Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
13	33	Verificar que no existan daños, acumulación de polvo o suciedad en los contactores. Utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	E	2	15	1EI, 1AY
14	35	Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%. Informar.	A	1	35	1EI, AY
15	61	Verificar visualmente el estado físico de las conduletas, no deben existir solturas, fisuras o humedad en el interior. Corregir si es necesario.	E	2	20	1EI, AY
16	65	Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C. Utilizar termómetro laser. Informar.	S	52	10	1EI, 1AY
17	67	Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	E	2	10	1EI, 1AY
<b>Subparte: Válvulas de bola en succión y descarga</b>						
18	25	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni solturas además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
19	42	Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas, utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	15	1IN, 1AY
<b>Subparte: Sello mecánico</b>						
20	36	Verificar el ajuste de los pernos en el sello mecánico, no deben estar sueltos o con poco apriete. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 40 Nm) Corregir si es necesario.	M**	13	15	1M, 1AY
21	37	Verificar que no existan fugas a través del sello mecánico. Utilizar termografía infrarroja Informar.	S	52	15	1IN, 1AY
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
22	38	Verificar que no existan fugas en la carcasa y base de la bomba. Utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	15	1IN, 1AY
23	66	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY

Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-B	Hoja 3 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
24	43	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base de la máquina (bomba y motor). (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm)Corregir si es necesario.	M	13	15	1M, 1AY
25	68	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la máquina (bomba y motor), no debe existir golpes, suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar	M	13	15	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

## Ficha técnica Bomba de LPG YP-781-C

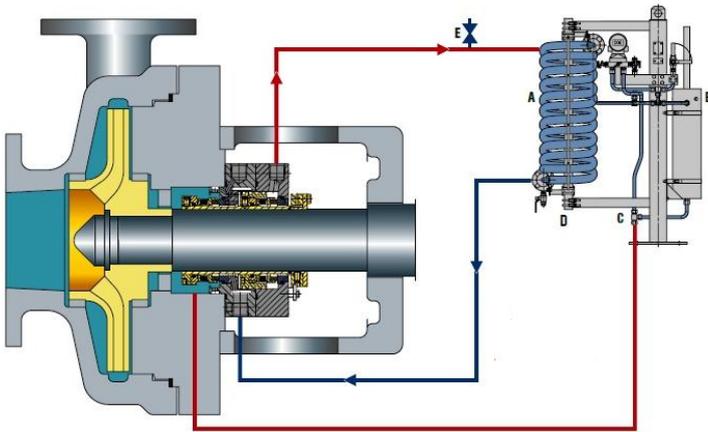
	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15
Código:	YP-781-C	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
Función: Bombear gas LPG hacia el departamento de ventas				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0357		Diámetro Succión:	6"
Marca:	Floaway Pumps		Diámetro Descarga:	4"
Modelo:	VTP		Diámetro de impulsor:	6,8"
Serie:	54531-1-1		Diámetro del eje:	1,5"
Tamaño:	10XKLL		Material de impulsor:	Latón 836
Velocidad:	3550 RPM		Material de la carcasa:	Hierro Fundido
Caudal:	330 GPM		Número de etapas:	5
Cabeza:	702 Ft		Bujes:	Carbón
Tipo:	Centrifuga vertical		Eficiencia:	70,33%
Observaciones: Bomba vertical. Se encuentra a la intemperie. Posee sistema de seguridad en el sello mecánico, ver detalles en Anexos 1, 2,3. (Ficha técnica)				
Motor eléctrico				
Código:	ME-0417		FRAME:	L 324 VP 12
Marca:	General Electric		Factor de potencia:	82,5
Modelo:			Frecuencia :	60 Hz
Tipo:	KS		Factor de servicio:	1,15
Serie:	PWG43482A		Temp. Max. ambiental	40
Potencia:	40 HP		Eficiencia:	90,2%
Velocidad:	3560 RPM		Rodamiento lado eje:	6212-ZZ-C3
Tensión:	460 V		Rodamiento lado abanico:	235A2522AC01
Corriente:	49,5 A		Aislamiento:	F
Fases:	3		Lubricante:	Aceite ISO 32/68 para roll lado del abanico
		Cantidad de Lubricante:	2,0 QTS	
Observaciones:	Motor vertical			

Anexos Bomba de LPG, YP-781-C

1. Sistema de seguridad en el sello mecánico

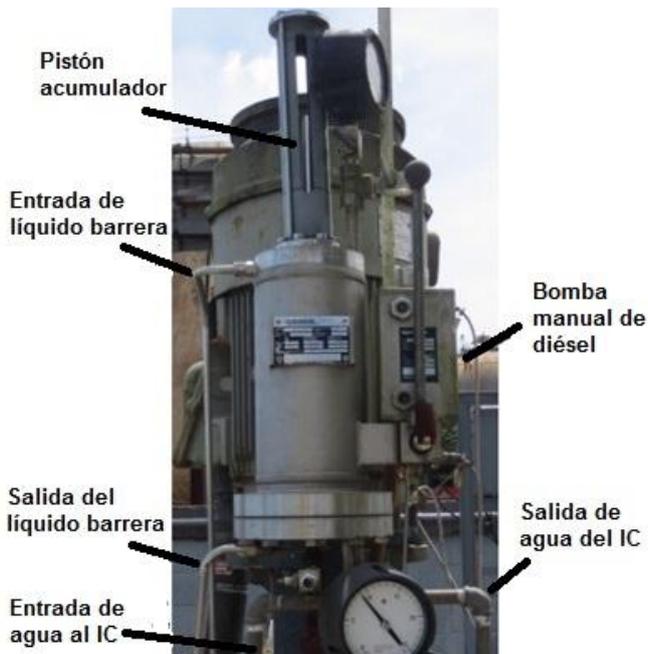
Marca:	BURGMANN		Año de construcción:	2004
Presión Max.:	23 bar (2,3 MPa)		Temperatura de operación:	-60 a 200 °C
Plan API	53C		Líquido Barrera:	Diésel

2. Esquema del circuito del fluido barrera



A	Intercambiador de calor
B	Pistón acumulador
C	Presión de referencia
D	Drenaje
E	Venteo

3. Plan 53 C, instalado



IC	Intercambiador de calor
----	-------------------------

## Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-C



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACION Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-C	Hoja 1 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm) Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	48	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
3	49	Verificar que no existan fugas a través de empaques, sellos, manómetro, ubicados en la cachera de la tubería de descarga, utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	20	1IN, 1AY
4	52	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni solturas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
5	53	Verificar que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, utilizar termografía infrarroja. Tuberías no deben tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	20	1IN, 1AY
<b>Subparte: Acople</b>						
6	3	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
7	9	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000.	E	2	50	1EI, 1AY
8	11	Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
9	15	Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover polvo y suciedad. Corregir si es necesario.	M	13	30	1MI, 1AY
10	17	Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	TR	4	35	1EI, 1AY

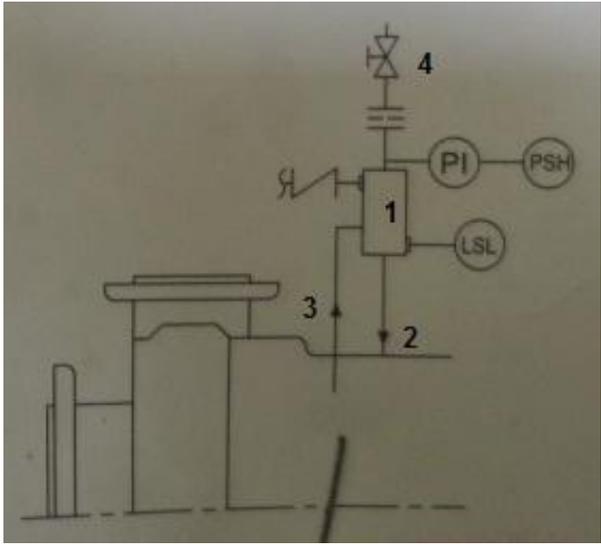
Equipo: Bomba de LPG			Código: YP-781-C	Hoja 2 de 3		
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
11	20	Verificar en el visor, el nivel de aceite del rodamiento del lado del abanico, debe estar entre el nivel mínimo y máximo completar si es necesario, utilizar aceite ISO 32. Corregir si es necesario.	Q	26	15	1EI, 1AY
12	21	Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, del rodamiento del lado del abanico. Informar.	Q	26	15	1EI, 1AY
13	24	Sustituir el aceite del rodamiento del lado del abanico, utilizar dos cuartos de aceite ISO 32. Cambiar.	E**	2	120	1L, AY
14	35	Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
15	36	Verificar que no existan daños, acumulación de polvo o suciedad en los contactores. Utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	E	2	15	1EI, 1AY
16	38	Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%. Informar.	A	1	35	1EI, 1AY
17	72	Verificar visualmente el estado físico de las conuletas, no deben existir soldaduras, fisuras o humedad en el interior. Corregir si es necesario.	E	2	20	1EI, 1AY
18	76	Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C. Utilizar termómetro láser. Informar.	S	52	10	1EI, 1AY
19	78	Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	E	2	10	1EI, 1AY
<b>Subparte: Válvulas de bola en succión y descarga</b>						
20	28	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni soldaduras además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
21	55	Verificar mediante que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas. Utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	2	15	1IN, 1AY
<b>Subparte: Plan API 53C</b>						
22	39	Verificar la posición del pistón acumulador del plan API 53C, debe estar en nivel intermedio. Informar.	S	52	5	1M, 1AY
23	40	Verificar el nivel de líquido en la bomba de diésel del plan, si es muy bajo completar. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
24	41	Verificar que no existan de fugas de diésel en el reservorio, tuberías o accesorios del plan. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
25	44	Verificar que el flujo de agua que sale del intercambiador de calor, sea libre y continuo, si es obstruido mover tubería hasta que salga de forma continua. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
26	45	Verificar la presión en el cilindro del pistón acumulador, debe ser aproximadamente la presión de descarga de la bomba. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY

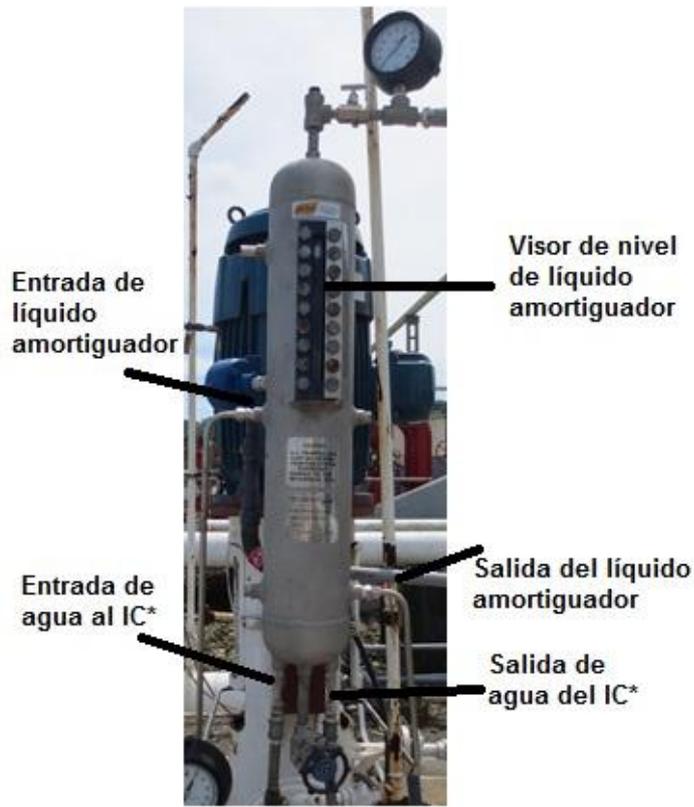
Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-C	Hoja 3 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
27	46	Verificar mediante termografía infrarroja la existencia de fugas en la carcasa y base de la bomba. Informar.	S	52	15	1IN, 1AY
28	77	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
29	51	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base de la máquina (bomba y motor). (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	15	1M, 1AY
30	79	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la máquina (bomba y motor), no debe existir golpes, suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	15	1MI, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA= Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

## Ficha técnica Bomba de LPG YP-781-D

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-2015
Código:	YP-781-D	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
<p>Función: Bombear gas LPG hacia el departamento de ventas y transferencia entre esferas</p>				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0369		Diámetro Succión:	6"
Marca:	National Pumps		Diámetro Descarga:	4"
Modelo:	L10LC-S		Diámetro de impulsor:	7,2"
Serie:	854690A-1		Diámetro del eje:	1,5"
Tamaño:	4"-300#X6"- 300#X16,5		Material de impulsor:	Bronce fundido
Velocidad:	3550 RPM		Material de la carcasa:	Hierro fundido
Caudal:	300 GPM		Número de etapas:	4
Cabeza:	675 Ft		Bujes:	Carbón
Tipo:	Centrífuga vertical		Eficiencia:	68,90%
Observaciones: Bomba vertical. Se encuentra a la intemperie. Posee sistema de seguridad en el sello mecánico, ver detalles en el Anexos 1,2,3 (Ficha técnica)				
Motor eléctrico				
Código:	ME-0548		FRAME:	324 VP
Marca:	US MOTORS		Factor de potencia:	89,3
Modelo:	13701376-100		Frecuencia :	60 Hz
Tipo:	LVC14		Factor de servicio:	1,15
Serie:	U 08 13701376- 001-H000		Temp. Max. ambiental	40
Potencia:	40 HP		Eficiencia:	92,4%
Velocidad:	3560 RPM		Rodamiento lado eje:	7312-BEP
Tensión:	460 V		Rodamiento lado abanico:	6211-J/C3
Corriente:	45 A		Aislamiento:	F
Fases:	3		Lubricante:	Grasa NGLI 2 para roll lado del eje
Observaciones:	Motor vertical			

1. Sistema de seguridad en el sello mecánico				
Marca:	John Crane		Año de construcción:	2013
Máxima presión de trabajo:	510 PSI (3,51 MPa)		Temperatura de operación:	(-20 a 200) °F (-28,9 a 93,3)°C
Plan API	52		Líquido Barrera:	Diésel

2. Esquema del circuito del fluido barrera		
	1	Reservorio
	2	Entrada de líquido amortiguador
	3	Salida de líquido amortiguador
	4	Válvula reguladora
	PI	Indicador de presión
PSH	Interruptor de alta presión	
LSL	Interruptor de bajo nivel	

3. Plan 52, instalado		
	IC	Intercambiador de calor

## Inspecciones preventivas para bomba de LPG YP-781-D



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-D	Hoja 1 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm). Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	47	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
3	48	Verificar que no existan fugas a través de empaques, sellos, manómetro, ubicados en la cachera de la tubería de descarga. Utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	52	20	1IN, 1AY
4	52	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni solturas. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
5	53	Verificar que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, Utilizar termografía infrarroja. Tuberías no deben tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	20	1IN, 1AY
<b>Subparte: Acople</b>						
6	6	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
7	12	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000	E	2	50	1EI, 1AY
8	14	Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
9	18	Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover polvo y suciedad. Corregir si es necesario.	M	13	30	1MI, 1AY
10	20	Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	TR	4	35	1EI, 1AY

Equipo: Bomba de LPG		Código: YP-781-D	Hoja 2 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
11	21	Aplicar 20,5 gramos de grasa (aproximadamente 13 movimientos completos de la palanca de la bomba) en el rodamiento del lado del eje, utilizar grasa NGLI 2. Cambiar	E	2	20	1L, 1AY
12	35	Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
13	36	Verificar que no existan daños, acumulación de polvo o suciedad en los contactores. Utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	E	2	15	1EI, 1AY
14	38	Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%. Informar.	A	1	35	1EI, 1AY
15	69	Verificar visualmente el estado físico de las conduletas, no deben existir solturas, fisuras o humedad en el interior. Corregir si es necesario.	E	2	20	1EI, 1AY
16	73	Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C. Utilizar termómetro laser. Informar.	S	52	10	1EI, 1AY
17	75	Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	E	2	10	1EI, 1AY
<b>Subparte: Válvulas de bola en succión y descarga</b>						
18	28	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni solturas además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
19	55	Verificar mediante termografía infrarroja que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas. Informar.	S	2	15	1IN, 1AY
<b>Subparte: Plan API 52</b>						
20	39	Verificar la presión en el reservorio del plan API 52, debe ser aproximadamente 0 PSI. Informar.	S	52	5	1M, 1AY
21	40	Verificar el nivel de líquido en el reservorio del plan, si es muy bajo completar con diésel hasta nivel intermedio, si es muy alto informar. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
22	41	Verificar que no existan fugas de diésel en el reservorio, tuberías o accesorios del plan. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
23	44	Verificar que el flujo de agua que sale del intercambiador de calor, sea libre y continuo, si es obstruido mover tubería hasta que salga de forma continua. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY

No.		INSPECCIÓN	PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
26	45	Verificar que no existan fugas en la carcasa y base de la bomba. Utilizar termografía infrarroja. Informar.	S	2	15	1IN, 1AY
27	74	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	2	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
28	51	Verificar el estado físico, soldadura y apriete en pernos de la base de la máquina (bomba y motor). (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	15	1M, 1AY
29	76	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la máquina (bomba y motor), no debe existir golpes, suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	15	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

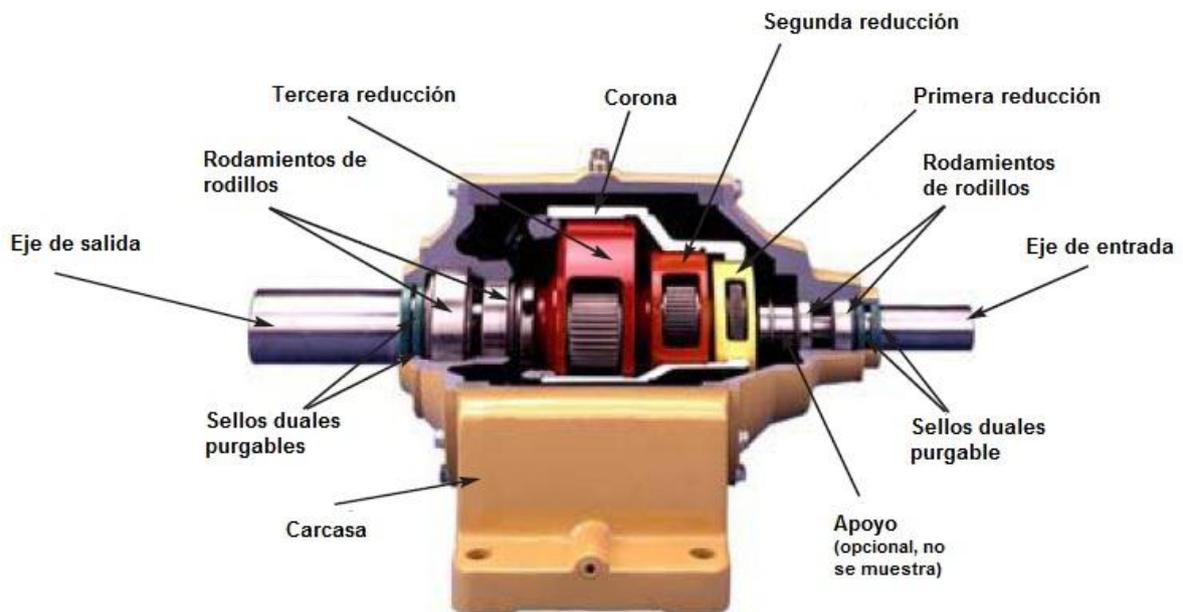
## Ficha técnica Bomba de asfalto YP-754

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15
Código:	YP-754	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
Función: Bombear asfalto hacia el departamento de ventas y recirculación				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0377		Diámetro Succión:	8"
Marca:	Rotan		Diámetro Descarga:	8"
Modelo:	HD201E-1U222		Material de la carcasa:	Hierro fundido
Tamaño:	201		Material Buje Principal:	Bronce
Velocidad máx.:	400 RPM		Material Buje del Rotor:	Bronce
Caudal máx.:	750 GPM		Rodamiento delantero:	6315 2RS1
Presión máxima:	16 bar		Lubricante:	Grasa NGLI 2
Presión de funcionamiento:	10 bar		Tipo:	Bomba de engranajes
Observaciones:	Bomba horizontal. Se encuentra bajo techo			
Motor eléctrico				
Código:	ME-0561		FRAME:	326TC
Marca:	US ELECTRICAL		Factor de potencia:	88,5
Modelo:			Frecuencia :	60 Hz
Tipo:	LC		Factor de servicio:	1,15
Serie:	D11 01061654-001R-02		Temp. Max. ambiental	40
Potencia:	50 HP		Eficiencia:	91%
Velocidad:	1775 RPM		Rodamiento lado eje:	6312 J/C3
Voltaje:	460 V		Rodamiento lado abanico:	6211 J/C3
Corriente:	57 A		Aislamiento:	F
Fases:	3			
Observaciones:	Motor horizontal			

Reductor				
Marca:	Planetgear7000		Código:	RE-0060
Modelo:	Earth		Velocidad de entrada:	1750 RPM
Serie:	52353-01A		Velocidad de salida:	304,9 RPM
Ratio:	6,12:1		Torque máximo de entrada:	46000 Lb-in / 5197 Nm
Factor de servicio:	3,04		Potencia de servicio:	75 HP
Lubricante:	Aceite ISO 220EP		Lubricante de retenedores:	Grasa NGLI 2
Volumen de aceite:	3,8 GAL.			
Observaciones:	Detalles en Anexo 1. (Ficha técnica)			

Anexos. Bomba de asfalto YP-754

1. Reductor de velocidad



## Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-754



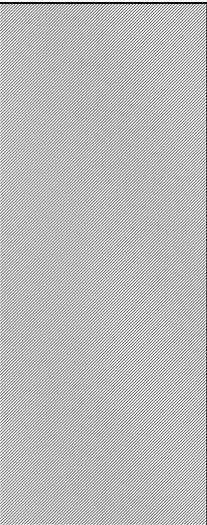
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-754	Hoja 1 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm). Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	53	Verificar que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, tuberías no debe tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	10	1T, 1AY
3	54	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar	S	52	10	1T, 1AY
4	57	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni soldaduras. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
<b>Subparte: Rodamientos de la bomba</b>						
5	4	Aplicar 30 gramos de grasa (aproximadamente 19 movimientos completos de la palanca de la bomba) tipo NGLI 2 a presión en los puntos de engrase del rodamiento de bolas de la bomba, del lado del acople. Cambiar.	S	52	10	1L, 1AY
<b>Subparte: Acoples</b>						
6	9	Verificar el estado de la grasa lubricante en ambos acoples (lado de la bomba y lado del motor) debe tener cantidad suficiente de manera que complete los espacios en medio y alrededor de la rejilla hasta quedar al ras con la parte superior de la rejilla y debe tener buen aspecto (color, viscosidad y textura). Utilizar grasa NGLI 2. Corregir si es necesario.	M**	13	20	1M, 1AY
7	10	Verificar el estado de desgaste de las ranuras y de la rejilla de ambos acoples (lado de la bomba y lado del motor) acople entre la bomba y el reductor (No debe existir huelgo entre la rejilla y la ranura). Informar.	M**	13	20	1M, 1AY
8	12	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	15	1M, 1AY

Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-754	Hoja 2 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
9	22	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000, no debe ser menor a 5MΩ. Informar.	E	2	20	1EI, 1AY
10	24	Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI
11	26	Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover polvo y suciedad. Corregir si es necesario.	M	13	30	1MI, 1AY
12	28	Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	TR	3	35	1EI, 1AY
13	37	Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
14	38	Verificar que no existan daños, acumulación de polvo o suciedad en los contactores. Utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	E	2	15	1EI, 1AY
15	40	Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%. Informar.	A	1	35	1EI, 1AY
16	79	Verificar visualmente el estado físico de las conuletas, no deben existir solturas, fisuras o humedad en el interior. Corregir si es necesario.	E	2	20	1EI, 1AY
17	83	Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C. Utilizar termómetro laser. Informar.	S	52	10	1EI, 1AY
18	85	Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	E	2	10	1EI, 1AY
<b>Subparte: Válvulas de compuerta en succión y descarga</b>						
19	34	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni solturas además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
20	55	Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas. Informar.	M	13	15	1T, 1AY

Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-754	Hoja 3 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Reductor de velocidad</b>						
21	41	Verificar el nivel de aceite en el visor, si es necesario complete hasta nivel indicado, utilizar aceite ISO 220EP. Corregir si es necesario.	S	52	10	1M, 1AY
22	42	Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, empaques o retenedores del reductor. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
23	43	Aplicar 4,8 gramos de grasa (aproximadamente 3 movimientos completos de la palanca de la engrasadora) en los puntos de engrase de los retenedores del reductor de velocidad, utilizar grasa NGLI 2. Cambiar.	M	13	15	1L, 1AY
24	47	Sustituir el aceite del reductor, completar hasta nivel indicado en el depósito, utilizar aceite viscosidad ISO 220EP. Cambiar.	TR**	4	40	1L, 1AY
25	88	Verificar el estado general del reductor de velocidad, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Corregir si es necesario.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Sello mecánico</b>						
26	50	Verificar el ajuste de los pernos en el sello mecánico, no deben estar sueltos o con poco apriete. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 40 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
27	51	Verificar que no existan fugas a través del sello mecánico. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
28	52	Verificar que no existan fugas en la carcasa de la bomba. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
29	84	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
30	56	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base de toda la máquina (bomba, motor, reductor). (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	10	1M, 1AY
31	86	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la máquina (bomba, motor, reductor), no debe existir suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Ejes de reductor, bomba y motor</b>						
32	59	Verificar el alineamiento entre ejes de bomba-reductor y reductor-motor. Tolerancias deben ser de acuerdo a valores máximos almacenados en el aparato de alineamiento. Corregir si es necesario.	M**	13	130	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

## Ficha técnica Bomba de asfalto YP-952-B

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15
Código:	YP-952-B	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
Función: Bombear asfalto hacia el departamento de ventas en caso de emergencia y recirculación entre tanques.				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0378		Diámetro Succión:	6"
Marca:	Viking Pump		Diámetro Descarga:	6"
Modelo:	N4323A		Material de la carcasa:	Acero ASTM 216
Serie:	12355302		Material del eje:	Acero ASTM 108
Tamaño:	N		Material del rotor:	Hierro ASTM 516
Velocidad a 550 cSt:	350 RPM		Lubricante:	Grasa NGLI 2
Caudal máx. a 550 cSt:	570 GPM		Tipo:	Bomba de engranajes
Presión máx. a 550 cSt:	14bar / 200 PSI			
Rodamiento delantero:	6315			
Observaciones:	Bomba horizontal de engranes. Se encuentra bajo techo.			
Motor de combustión				
Código:	MC-0027		Torque máximo:	622 Nm 459 LB-FT
Marca:	Cummins		Cilindrada:	4,5 L
Modelo:	QSB4,5		Número de cilindros:	4
Serie:	73359307		Relación de compresión:	
Embrague:	11-DP		Potencia nominal (1800RPM) :	110 HP
Tipo de motor:	4 tiempos		Potencia reserva (1800RPM) :	115 HP
Filtro de aire primario:	P613334		Lubricante:	Aceite Sae 15W40
Filtro de aire primario:	P613335			
Filtro de aceite:	P550428			
Filtro de combustible 1:	P550880			
Filtro de combustible 2:	FS19732			
Observaciones:	Detalles en el Anexo 3 (Ficha técnica).			

Reductor				
Marca:	Motovario		Código:	RE-0061
Modelo:	IH 142		Velocidad de entrada:	1750 RPM
Serie:			Velocidad de salida:	256 RPM
Ratio:	7,04:1		Lubricante:	Aceite ISO 220EP
Observaciones:	Posición B3			

Anexos.

1. Motor de combustión



## Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-952-B



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-952-B	Hoja 1 de 2			
Parte: Bomba de engranes		Código: BO-0378				
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm). Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	22	Verificar que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, tuberías no debe tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	10	1T, 1AY
3	23	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar	S	52	10	1T, 1AY
4	26	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni soldaduras. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
<b>Subparte: Rodamientos de la bomba</b>						
5	4	Aplicar 30 gramos de grasa (aproximadamente 19 movimientos completos de la palanca de la bomba) tipo NGLI 2 a presión en los puntos de engrase del rodamiento de bolas de la bomba, del lado del acople. Cambiar.	Q	26	10	1L, 1AY
<b>Subparte: Acople</b>						
6	9	Verificar el estado de la grasa lubricante en el acople lado de la bomba, debe tener cantidad suficiente de manera que complete los espacios en medio y alrededor de la rejilla hasta quedar al ras con la parte superior de la rejilla y debe tener buen aspecto (color, viscosidad y textura) Utilizar grasa NGLI 2. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
7	10	Verificar el estado de desgaste de las ranuras y de la rejilla del acople entre la bomba y el reductor (no debe existir huelgo entre la rejilla y la ranura). Informar	M**	13	10	1M, 1AY
8	11	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor. Tolerancias deben ser de acuerdo a valores máximos almacenados en el aparato de alineamiento Corregir si es necesario.	M**	13	60	1M, 1AY
9	12	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY

Equipo: Bomba de asfalto			Código: YP-952-B	Hoja 2 de 2		
Parte: Bomba de engranes			Código: BO-0378			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Válvulas de compuerta en succión y descarga</b>						
10	15	Verificar el estado físico de las válvulas de compuerta y el libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
11	24	Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
<b>Subparte: Sello mecánico</b>						
1	19	Verificar el ajuste de los pernos en el sello mecánico, no deben estar sueltos o con poco apriete. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 40 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
13	20	Verificar que no existan fugas a través del sello mecánico. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
14	21	Verificar que no existan fugas en la carcasa de la bomba. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
15	34	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1MI, 1AY
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
16	25	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base de la bomba, no debe tener pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	5	1M, 1AY
17	35	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	5	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:	RECOPE
Plantel:	Moín
Sección: Y	Off Site
Área: P	Bombas
Fecha de elaboración:	06 de abril de 2015
Equipo: Bomba de asfalto	Código: YP-952-B Hoja 1 de 1
Parte: Reductor de velocidad	Código: RE-0061

No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Depósito de aceite</b>						
1	2	Verificar el nivel de aceite en el visor, debe estar entre nivel mínimo y máximo si es necesario complete hasta nivel indicado, utilizar aceite ISO 220EP. Corregir si es necesario.	S	52	10	1M, 1AY
2	3	Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, empaques o retenedores del reductor. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
3	8	Sustituir el aceite del reductor, completar hasta nivel indicado en el depósito, utilizar aceite ISO 220EP. Cambiar.	A**	1	40	1L, 1AY
4	15	Verificar el estado general del reductor de velocidad, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Corregir si es necesario.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Base del reductor</b>						
6	14	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base del reductor y motor. (torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	5	1M, 1AY
7	16	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto del reductor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	5	1M, 1AY

\*PER = Período de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). \*FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. \*DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). \*\* Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.

Empresa:		RECOPE							
Plantel:		Moín							
Sección: Y		Off Site							
Área: P		Bombas							
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015							
Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-952-B	Hoja 1 de 3						
Parte: Motor de combustión		Código: MC-0027							
No.	INSPECCIÓN					PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Sistema eléctrico</b>									
1	1	Verificar que el nivel de líquido en las baterías se encuentre en el máximo y el mínimo. Corregir si es necesario.	M	13	5	1MA, 1AY			
2	2	Verificar el estado físico y ajuste de la faja del alternador, no debe tener fisuras, desgaste, torceduras o desajuste. Corregir si es necesario.	S	52	10	1MA, 1AY			
3	3	Verificar el estado y propiedades físicas de las escobillas del alternador. Comparar con parámetros de acuerdo a la norma DIN IEC 60467. Corregir si es necesario.	A	1	70	1MA, 1AY			
4	4	Verificar el estado y funcionamiento del regulador de tensión de alimentación eléctrica del motor. Corregir si es necesario.	A	1	70	1MA, 1AY			
5	5	Limpiar los bornes de las baterías, aplicar grasa antisulfatación. Utilizar cepillo metálico. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1MA, 1AY			
6	6	Verificar el estado físico de los aislantes de cables alimentadores de energía eléctrica, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY			
<b>Subparte: Sistema de alimentación de combustible</b>									
7	7	Verificar el nivel de combustible en el tanque, debe tener al menos 75% de su capacidad total. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY			
8	8	Verificar el estado físico del tanque y tapón de combustible, no debe existir corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1MA, 1AY			
9	9	Realizar limpieza interna del tanque de combustible. Corregir si es necesario.	E**	1	60	1MA, 1AY			
10	10	Sustitución programada de ambos filtros de combustible. Cambiar.	TR**	4	30	1MA, 1AY			
11	11	Verificar el estado físico de las uniones y mangueras de alimentación y retorno de combustible, no deben tener cortes ni uniones o acoples sueltos. Informar.	S	52	10	1MA, 1AY			
12	15	Verificar la obstrucción de la trampa de agua, ubicada en la línea de entrada de combustible. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY			
13	16	Drenar toda el agua contenida en el filtro separador de agua y combustible. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY			

Equipo: Bomba de asfalto			Código: YP-952-B	Hoja 2 de 2		
Parte: Motor de combustión			Código: MC-0027			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Sistema de admisión de aire</b>						
14	13	Verificar el estado del filtro de aire. Corregir si es necesario.	TR**	4	25	1MA, 1AY
15	14	Verificar el estado físico de las uniones y tuberías de aire, no debe tener cortes o fisuras. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY
16	27	Verificar que no existan ruidos anormales en el turbocargador. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY
<b>Subparte: Sistema de lubricación</b>						
17	20	Verificar que no existan fugas de aceite en el cárter o tuberías. Informar.	S	52	10	1MA, 1AY
18	21	Verificar el nivel de aceite en el cárter e inspeccionar color, no debe tener apariencia blanquizca. Informar.	S**	52	5	1MA, 1AY
19	22	Tomar muestra de aceite y palpar la viscosidad, no debe ser demasiado fluido. Informar.	S**	52	5	1MA, 1AY
20	24	Sustitución programada del aceite del cárter. Utilizar aceite SAE 15W40. Cambiar.	TR**	4	25	1MA, 1AY
21	25	Sustitución programada del filtro del aceite. Cambiar.	TR**	4	5	1MA, 1AY
<b>Subparte: Sistema de enfriamiento</b>						
22	28	Verificar la temperatura del líquido refrigerante. No debe ser mayor a 110 °C. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY
23	29	Verificar la concentración del refrigerante (coolant), debe ser mayor a 35% de etilenglicol de lo contrario agregar coolant puro. Corregir si es necesario.	S**	52	10	1MA, 1AY
24	30	Verificar el nivel de refrigerante en radiador, debe estar en el nivel máximo e inspeccionar fugas a través del mismo, tapón o en las tuberías. Informar.	S**	52	10	1MA, 1AY
25	31	Verificar el estado físico y desgaste en los empaques y resortes del tapón del radiador. Informar.	S**	52	10	1MA, 1AY
26	32	Realizar test de funcionamiento al termostato. Corregir si es necesario.	A**	52	120	1MA
27	33	Verificar el estado físico de las aspas del abanico, no debe tener fisuras, reventaduras o desgaste. Informar.	S**	52	10	1MA, 1AY
28	34	Verificar el tensor de las fajas del abanico, no debe tener pernos sueltos o flojos. Corregir si es necesario.	S**	52	10	1MA, 1AY
29	35	Verificar el estado físico de las fajas del abanico, no deben tener fisuras, desgaste, torceduras o desajuste. Informar.	S**	52	5	1MA, 1AY

Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-952-B	Hoja 3 de 3			
Parte: Motor de combustión		Código: MC-0027				
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Acople</b>						
30	36	Verificar el estado de la grasa lubricante en el acople del motor debe tener cantidad suficiente de manera que complete los espacios en medio y alrededor de la rejilla hasta quedar al ras con la parte superior de la rejilla y debe tener buen aspecto (color, viscosidad y contextura) Utilizar grasa NGLI 2. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
31	37	Verificar el estado de desgaste de las ranuras y de la rejilla del acople entre el motor y el reductor (no debe existir huelgo entre la rejilla y la ranura). Informar.	M**	13	10	1M, 1AY
32	38	Verificar el alineamiento entre el motor y reductor. Tolerancias deben ser de acuerdo a valores máximos almacenados en el aparato de alineamiento. Corregir si es necesario.	M**	70	40	1M, 1AY
33	39	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Embrague</b>						
34	41	Aplicar 1 cc (aproximadamente un movimiento al 60% de la palanca de la bomba) de grasa tipo NGLI 2 en los puntos de engrase. Cambiar.	TR	4	10	1L, 1AY
<b>Subparte: Control de velocidad</b>						
35	42	Verificar la velocidad del motor, debe ser aproximadamente 1200 RPM. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY
<b>Subparte: Sistema de escape</b>						
36	51	Verificar el estado físico de las tuberías de escape y silenciador, no debe tener fugas, grietas, golpes, residuos de aceite o hollín en exceso. Informar.	M	13	10	1MA, 1AY
37	52	Verificar el estado de soportes y anclajes de las tuberías de escape, no debe tener pernos flojos o sueltos. Corregir si es necesario.	M	13	10	1MA, 1AY
38	53	Realizar prueba de opacidad en los gases de escape del motor, no debe tener más de 440 gramos de hidrocarburos por hora o más de 33 gramos de partículas en suspensión. Informar	A	1	15	1MA, 1AY
<b>Subparte: Superficie del motor y bases metálicas y de concreto</b>						
39	54	Verificar el estado general de la superficie del motor, no debe existir suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	5	1MA, 1AY
40	55	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1MA, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

## Ficha técnica Bomba de asfalto YP-952-C

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
Nombre :	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15	
Código:	YP-952-C	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra	-			
Función: Bombear asfalto hacia el departamento de ventas y recirculación				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0379		Diámetro Succión:	8"
Marca:	Rotan		Diámetro Descarga:	8"
Modelo:	HD201E-1U222		Material de la carcasa:	Hierro fundido
Tamaño:	201		Material Buje Principal:	Bronce
Velocidad máx.:	400 RPM		Material Buje del Rotor:	Bronce
Caudal máx.:	750 GPM		Rodamiento delantero:	6315 2RS1
Presión máxima:	16 bar		Lubricante:	Grasa NGLI 2
Presión de funcionamiento:	10 bar		Tipo:	Bomba de engranajes
Observaciones:	Bomba horizontal. Se encuentra bajo techo			
Motor eléctrico				
Código:	ME-0562		FRAME:	326T
Marca:	GENERAL ELECTRIC		Factor de potencia:	
Modelo:	5K326CN205AP		Frecuencia :	60 Hz
Serie:			Factor de servicio:	1
Tipo:			Temp. Max. ambiental	40
Potencia:	50 HP		Eficiencia:	
Velocidad:	1770 RPM		Rodamiento lado del eje:	60BC03
Tensiona:	(460 /230)V		Rodamiento lado de abanico:	50BC03
Corriente:	(58/116) A		Aislamiento:	B
Fases:	3			
Observaciones:	Motor horizontal			
Reductor				
Marca:	DODGE		Código:	RE-0037
Modelo:	C-FACE		Velocidad de entrada:	1770 RPM
Serie:			Velocidad de salida:	316RPM
Ratio:	5,59:1		Torque máximo:	23075 Lb-in
Factor de servicio	1		Potencia de servicio:	114 HP MAX.
			Lubricante:	Aceite ISO 220EP
Observaciones:				

## Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-952-C



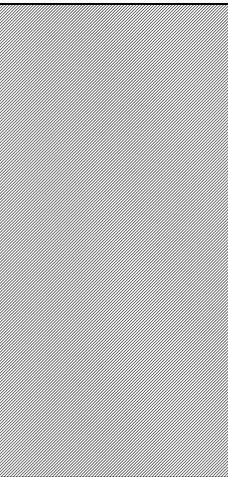
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-952-C	Hoja 1 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
1	1	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm). Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
2	53	Verificar que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, tuberías no debe tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	10	1T, 1AY
3	54	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar	S	52	10	1T, 1AY
4	57	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni soldaduras. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
<b>Subparte: Rodamientos de la bomba</b>						
5	4	Aplicar 30 gramos de grasa (aproximadamente 19 movimientos completos de la palanca de la bomba) tipo NGLI 2 a presión en los puntos de engrase del rodamiento de bolas de la bomba, del lado del acople. Cambiar.	S	52	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Acoples</b>						
6	9	Verificar el estado de la grasa lubricante en ambos acoples (lado de la bomba y lado del motor) debe tener cantidad suficiente de manera que complete los espacios en medio y alrededor de la rejilla hasta quedar al ras con la parte superior de la rejilla y debe tener buen aspecto (color, viscosidad y contextura). Utilizar grasa NGLI 2. Corregir si es necesario.	M**	13	20	1M, 1AY
7	10	Verificar el estado de desgaste de las ranuras y de la rejilla de en ambos acoples (lado de la bomba y lado del motor) (no debe existir huelgo entre la rejilla y la ranura). Informar.	M**	13	20	1M, 1AY
8	12	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	15	1M, 1AY

Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-952-C	Hoja 2 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Motor eléctrico</b>						
9	22	Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000, no debe ser menor a 5MΩ. Informar.	E	2	20	1EI, 1AY
10	24	Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI
11	26	Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover polvo y suciedad. Corregir si es necesario.	M	13	30	1MI, 1AY
12	28	Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	TR	3	35	1EI, 1AY
13	37	Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. Corregir si es necesario.	E	2	10	1EI, 1AY
14	38	Verificar que no existan daños, acumulación de polvo o suciedad en los contactores. Utilizar trapo seco. Corregir si es necesario.	E	2	15	1EI, 1AY
15	40	Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%. Informar.	A	1	35	1EI, 1AY
16	79	Verificar visualmente el estado físico de las conuletas, no deben existir solturas, fisuras o humedad en el interior. Corregir si es necesario.	E	2	20	1EI, 1AY
17	83	Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C. Utilizar termómetro laser. Informar.	S	52	10	1EI, 1AY
18	85	Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	E	2	10	1EI, 1AY
<b>Subparte: Válvulas de compuerta en succión y descarga</b>						
19	34	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni solturas además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre.	M	13	15	1T, 1AY
20	55	Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas. Informar.	M	13	15	1T, 1AY

Equipo: Bomba de asfalto		Código: YP-952-C	Hoja 3 de 3			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Reductor de velocidad</b>						
21	41	Verificar el nivel de aceite en el visor, debe estar entre el nivel máximo y el mínimo, si es necesario complete hasta nivel indicado, utilizar aceite ISO 220EP. Corregir si es necesario	S	52	10	1M, 1AY
22	42	Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, empaques o retenedores del reductor. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
23	47	Sustituir el aceite del reductor, completar hasta nivel indicado en el depósito, utilizar aceite ISO 220EP. Cambiar.	A**	1	40	1L, 1AY
24	88	Verificar el estado general del reductor de velocidad, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Corregir si es necesario.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Sello mecánico</b>						
25	50	Verificar el ajuste de los pernos en el sello mecánico, no deben estar sueltos o con poco apriete. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 40 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
26	51	Verificar que no existan fugas a través del sello mecánico. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
27	52	Verificar que no existan fugas en la carcasa de la bomba. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
28	84	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
29	56	Verificar el estado físico, soltura y apriete en pernos de la base de toda la máquina (bomba, motor, reductor). (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	10	1M, 1AY
30	86	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la máquina (bomba, motor, reductor), no debe existir suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Ejes de reductor, bomba y motor</b>						
31	59	Verificar el alineamiento entre ejes de bomba-reductor y reductor-motor. Tolerancias deben ser de acuerdo a valores máximos almacenados en el aparato de alineamiento Corregir si es necesario.	M**	13	130	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

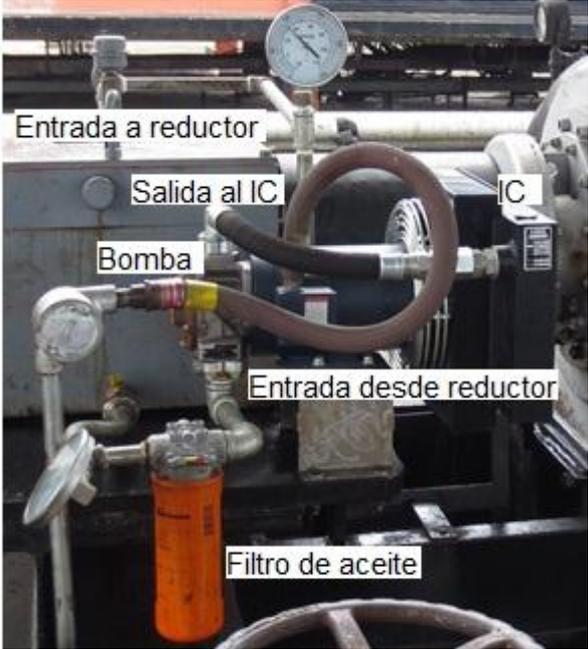
## Ficha técnica Bomba de asfalto YP-791

	REFINERÍA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO			
	FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
	Nombre:	Conjunto motor-bomba	Fecha:	06-abr-15
Código:	YP-791	Imagen		
Fabricante:	-			
Modelo:	-			
Fecha de compra:	-			
Valor de compra:	-			
Función: Bombear búnker hacia el departamento de ventas en caso de emergencia y recirculación entre tanques.				
Componentes principales				
Bomba				
Código:	BO-0275		Diámetro Succión:	10"
Marca:	Bornemann		Diámetro Descarga:	10"
Modelo:	W7T.3ZK-50		Paso de tornillos impulsores:	50 mm
Serie:	50745		Material de la carcasa:	Acero fundido
Tamaño:	7T		Material de los ejes:	17% Cr-Acero
Velocidad:	175-1750 RPM		Material de tornillos impulsores:	Hierro fundido
Caudal máx.:	160 m <sup>3</sup> /h-706 GPM		Alojamiento de rodamientos:	Hierro fundido
Presión máx.:	21 bar		Lubricante:	Aceite ISO 220EP
Rodamientos delanteros:	5314			
Rodamientos traseros:	NU2314			
Potencia requerida en el eje:	155-195 kW			
Observaciones:	Bomba horizontal de tornillos. Se encuentra bajo techo.			
Motor de combustión				
Código:	MC-0028		Torque nominal (2000RPM):	1070 Nm 789 lb-ft
Marca:	John Deere		Torque máximo (1500RPM):	808 Nm 1421 Nm
Modelo:	6090HF485		Cilindrada:	9,0 L
Serie:	RG6090L096775		Número de cilindros:	6
Clutch:	11-DP		Relación de compresión:	16.0:1
Tipo de motor:	4 tiempos		Potencia nominal (2000RPM):	300 HP
Filtro de aire:	P533930		Potencia máxima (1800RPM):	326 HP
Filtro de aceite:	LF16043		Lubricante:	Aceite SAW 15W40
Filtro de combustible 1:	BF1210			
Filtro de combustible 2:	BF1210			
Filtros de combustible internos:	RE525523			
Observaciones:	Detalles en el Anexo 2 (Ficha técnica).			

Reductor					
Marca:	Turner Uni-Drive		Código:	RE-0062	
Modelo:	55M2-305 RF		Velocidad de entrada:	1200 RPM	
Serie:	13-27007		Velocidad de salida:	400 RPM	
Ratio:	3,048:1		Lubricante:	Aceite ISO 220EP	
Observaciones:	Posee sistema de enfriamiento del aceite. Detalles en Anexo 1 (Ficha técnica)				



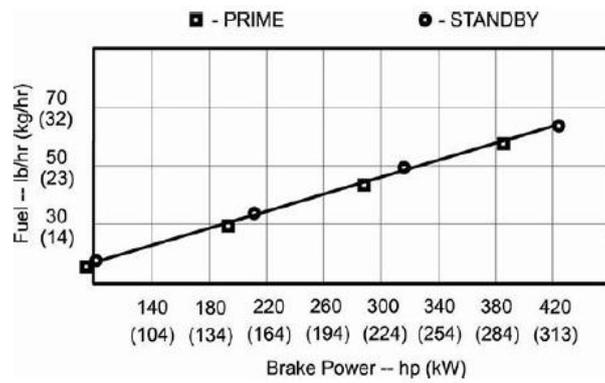
**Anexos. Bomba de búnker YP-791**  
**1. Sistema de lubricación del reductor**

Bomba de aceite		Filtro de aceite	
	IC: intercambiador de calor		

## 2. Motor de combustión



Gráfica, consumo de combustible



## Inspecciones preventivas para bomba de asfalto YP-791



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL**  
 MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de búnker		Código: YP-791	Hoja 1 de 2			
Parte: Bomba de tornillos		Código: BO-0275				
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Tornillos impulsores y rodamientos internos</b>						
1	2	Verificar el nivel de aceite en el visor, si es necesario complete hasta nivel indicado, utilizar aceite ISO 220EP. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
2	3	Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, empaques o retenedores. Informar.	S	52	10	1M, 1AY
3	6	Sustituir el aceite de los tornillos impulsores y rodamientos, completar hasta nivel indicado en el depósito utilizar aceite ISO 220EP. Cambiar.	TR**	4	40	1L, 1AY
4	25	Revisión y sustitución cíclica de los componentes internos de la bomba, de acuerdo a resultados de análisis de vibraciones. Cambiar.	-	-	-	-
<b>Subparte: Rodamientos de bola (lado del eje)</b>						
5	14	Aplicar 47,6 gramos de grasa (aproximadamente 30 movimientos completos de la palanca de la bomba) tipo NGLI 2 a presión en los puntos de engrase del rodamiento de bolas de la bomba, del lado del acople. Cambiar.	TR	4	10	1L, 1AY
<b>Subparte: Acople</b>						
6	19	Verificar el estado y cantidad de la grasa lubricante en el acople de la bomba, debe tener cantidad suficiente de manera que complete los espacios en medio y alrededor de la rejilla hasta quedar al ras con la parte superior de la rejilla y debe tener buen aspecto (color, viscosidad y contextura) Utilizar grasa NGLI 2. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
7	20	Verificar el estado de desgaste de las ranuras y de la rejilla del acople entre la bomba y el reductor (No debe existir huelgo entre la rejilla y la ranura). Informar.	M**	13	10	1M, 1AY
8	21	Verificar el alineamiento entre la bomba y reductor. Tolerancias deben ser de acuerdo a valores máximos almacenados en el aparato de alineamiento. Corregir si es necesario.	M**	13	60	1M, 1AY
9	22	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY

Equipo: Bomba de búnker			Código: YP-791	Hoja 2 de 2		
Parte: Bomba de tornillos			Código: BO-0275			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Válvulas de compuerta en succión y descarga</b>						
10	24	Verificar el estado físico de las válvulas de bola, no debe existir corrosión, superficies despintadas ni soldaduras además de presentar libre movimiento del elemento de apertura y cierre. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
11	33	Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas. Informar.	M	13	15	1T, 1AY
<b>Subparte: Sellos mecánicos</b>						
12	29	Verificar que no existan fugas en cualquiera de los 4 sellos mecánicos. Informar.	S		10	1M, 1AY
<b>Subparte: Tuberías de succión y descarga</b>						
13	31	Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 145 Nm). Corregir si es necesario.	S	52	15	1T, 1AY
14	32	Verificar que no existan fugas en las líneas de succión o descarga, tuberías no debe tener corrosión ni superficies despintadas, respetar código de colores. Informar.	S	52	10	1T, 1AY
15	33	Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir partes sueltas. Informar.	S	52	10	1T, 1AY
16	36	Verificar el estado físico de las bases de concreto y metal de los soportes de tuberías, no debe existir grietas, golpes ni soldaduras. Informar.	S	52	15	1T, 1AY
<b>Subparte: Carcasa de la bomba</b>						
17	30	Verificar que no existan fugas en la carcasa de la bomba. Informar.	S	52	5	1M, 1AY
18	48	Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Base metálica y de concreto</b>						
19	34	Verificar el estado físico, soldadura y apriete en pernos de la base de la bomba, no debe tener pernos sueltos o flojos. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	5	1M, 1AY
20	49	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	5	1M, 1AY
<p>*PER = Período de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

Empresa:		RECOPE				
Plantel:		Moín				
Sección: Y		Off Site				
Área: P		Bombas				
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015				
Equipo: Bomba de búnker		Código: YP-791	Hoja 1 de 2			
Parte: Reductor de velocidad		Código: RE-0062				
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Depósito de aceite</b>						
1	2	Verificar el nivel de aceite en el visor, debe estar entre nivel mínimo y máximo si es necesario complete hasta nivel indicado, utilizar aceite ISO 220EP. Corregir si es necesario.	S	52	5	1M, 1AY
2	3	Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, empaques o retenedores del reductor. Informar.	S	52	5	1M, 1AY
3	11	Sustituir el aceite del reductor, completar hasta nivel indicado en el depósito, utilizar aceite ISO 220EP. Cambiar.	TR**	4	40	1L, 1AY
4	18	Verificar el estado general del reductor de velocidad, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Corregir si es necesario.	M	13	5	1M, 1AY
<b>Subparte: Sistema de enfriamiento de aceite</b>						
5	6	Verificar en el indicador de estado que el filtro no se encuentre demasiado obstruido (no debe estar en nivel rojo). Informar.	S	52	5	1M, 1AY
6	7	Verificar la temperatura de salida del reductor (Aproximadamente 46°C) y la temperatura de salida del intercambiador de calor debe ser aproximadamente 32°C. Informar.	S	52	5	1M, 1AY
7	8	Verificar las conexiones del motor eléctrico del ventilador. Corregir si es necesario.	E	2	35	1EI, 1AY
8	9	Medir el aislamiento interno del motor del ventilador y valorar según norma IEE 43-2000, no debe ser menor a 5MΩ. Informar	A**	1	40	1EI, 1AY

Equipo: Bomba de búnker		Código: YP-791	Hoja 2 de 2			
Parte: Reductor de velocidad		Código: RE-0062				
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Base del reductor</b>						
9	17	Verificar el estado físico, soldadura y apriete en pernos de la base del reductor y motor. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 84 Nm). Corregir si es necesario.	M	13	5	1M, 1AY
10	19	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto del reductor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	5	1M, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA= Mecánico automotriz, MI = Misceláneo). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

Empresa:		RECOPE							
Plantel:		Moín							
Sección: Y		Off Site							
Área: P		Bombas							
Fecha de elaboración:		06 de abril de 2015							
Equipo: Bomba de búnker		Código: YP-791	Hoja 1 de 3						
Parte: Motor de combustión		Código: MC-0028							
No.	INSPECCIÓN					PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Sistema eléctrico</b>									
1	1	Verificar que el nivel de líquido en las baterías se encuentre en el máximo y el mínimo. Corregir si es necesario.	M	13	5	1MA, 1AY			
2	2	Verificar el estado físico y ajuste de la faja del alternador, no debe tener fisuras, desgaste, torceduras o desajuste. Corregir si es necesario.	S	52	10	1MA, 1AY			
3	3	Verificar el estado y propiedades físicas de las escobillas del alternador. Comparar con parámetros de acuerdo a la norma DIN IEC 60467. Corregir si es necesario.	A	1	70	1MA, 1AY			
4	4	Verificar el estado y funcionamiento del regulador de tensión de alimentación eléctrica del motor. Corregir si es necesario.	A	1	70	1MA, 1AY			
5	5	Limpiar los bornes de las baterías, aplicar grasa antisulfatación. Utilizar cepillo metálico. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1MA, 1AY			
6	6	Verificar el estado físico de los aislantes de cables alimentadores de energía eléctrica, no deben existir cortes ni fisuras. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY			
<b>Subparte: Sistema de alimentación de combustible</b>									
7	7	Verificar el nivel de combustible en el tanque, debe tener al menos 75% de su capacidad total. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY			
8	8	Verificar el estado físico del tanque y tapón de combustible, no debe existir corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1MA, 1AY			
9	9	Realizar limpieza interna del tanque de combustible. Corregir si es necesario.	E**	1	60	1MA, 1AY			
10	10	Sustitución programada de ambos filtros de combustible. Cambiar.	TR**	4	30	1MA, 1AY			
11	11	Verificar el estado físico de las uniones y mangueras de alimentación y retorno de combustible, no deben tener cortes ni uniones o acoples sueltos. Informar.	S	52	10	1MA, 1AY			
12	15	Verificar la obstrucción de la trampa de agua, ubicada en la línea de entrada de combustible. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY			
13	16	Drenar toda el agua contenida en el filtro separador de agua y combustible. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY			

Equipo: Bomba de búnker			Código: YP-791	Hoja 2 de 3		
Parte: Motor de combustión			Código: MC-0028			
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Sistema de admisión de aire</b>						
14	13	Verificar el estado del filtro de aire. Corregir si es necesario.	TR**	4	25	1MA, 1AY
15	14	Verificar el estado físico de las uniones y tuberías de aire, no debe tener cortes o fisuras. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY
16	27	Verificar que no existan ruidos anormales en el turbocargador. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY
<b>Subparte: Sistema de lubricación</b>						
17	20	Verificar que no existan fugas de aceite en el cárter o tuberías. Informar.	S	52	10	1MA, 1AY
18	21	Verificar el nivel de aceite en el cárter e inspeccionar color, no debe tener apariencia blancuzca. Informar.	S**	52	5	1MA, 1AY
19	22	Tomar muestra de aceite y palpar la viscosidad, no debe ser demasiado fluido. Informar.	S**	52	5	1MA, 1AY
20	24	Sustitución programada del aceite del cárter. Utilizar aceite SAE 15W40. Cambiar.	TR**	4	25	1MA, 1AY
21	25	Sustitución programada del filtro del aceite. Cambiar.	TR**	4	5	1MA, 1AY
<b>Subparte: Sistema de enfriamiento</b>						
22	28	Verificar la temperatura del líquido refrigerante. No debe ser mayor a 110 °C. Informar.	S	52	5	1MA, 1AY
23	29	Verificar la concentración del refrigerante (coolant), debe ser mayor a 35% de etilenglicol de lo contrario agregar coolant puro. Corregir si es necesario.	S**	52	10	1MA, 1AY
24	30	Verificar el nivel de refrigerante en el radiador debe estar en el nivel máximo, e inspeccionar fugas a través del mismo, tapón o en las tuberías. Informar.	S**	52	10	1MA, 1AY
25	31	Verificar el estado físico y desgaste en los empaques y resortes del tapón del radiador. Informar.	S**	52	10	1MA, 1AY
26	32	Realizar test de funcionamiento al termostato. Corregir si es necesario.	A**	52	120	1MA
27	33	Verificar el estado físico de las aspas del abanico, no debe tener fisuras, reventaduras o desgaste. Informar.	S**	52	10	1MA, 1AY
28	34	Verificar el tensor de las fajas del abanico, no debe tener pernos sueltos o flojos. Corregir si es necesario.	S**	52	10	1MA, 1AY
29	35	Verificar el estado físico de las fajas del abanico, no deben tener fisuras, desgaste, torceduras o desajuste. Informar.	S**	52	5	1MA, 1AY

Equipo: Bomba de búnker		Código: YP-791	Hoja 3 de 3			
Parte: Motor de combustión		Código: MC-0028				
No.	INSPECCIÓN		PER*	FRE*	DUR*	TEC*
<b>Subparte: Acople</b>						
30	36	Verificar el estado de la grasa lubricante en el acople del motor debe tener cantidad suficiente de manera que complete los espacios en medio y alrededor de la rejilla hasta quedar al ras con la parte superior de la rejilla y debe tener buen aspecto (color, viscosidad y contextura). Utilizar grasa NGLI 2. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
31	37	Verificar el estado de desgaste de las ranuras y de la rejilla del acople entre el motor y el reductor (No debe existir huelgo entre la rejilla y la ranura). Informar.	M**	13	10	1M, 1AY
32	38	Verificar el alineamiento entre el motor y reductor. Tolerancias deben ser de acuerdo a valores máximos almacenados en el aparato de alineamiento. Corregir si es necesario.	M**	70	40	1M, 1AY
33	39	Verificar el ajuste de los tornillos del acople. (Torque de apriete debe ser aproximadamente 10 Nm). No debe observarse ninguno suelto. Corregir si es necesario.	M**	13	10	1M, 1AY
<b>Subparte: Embrague</b>						
34	41	Aplicar 1 cc (aproximadamente un movimiento al 60% de la palanca de la bomba) de grasa tipo NGLI 2 en los puntos de engrase. Cambiar.	TR	4	10	1L, 1AY
<b>Subparte: Control de velocidad</b>						
35	42	Verificar la velocidad del motor, debe ser aproximadamente 1200 RPM. Corregir si es necesario.	S	52	5	1MA, 1AY
<b>Subparte: Sistema de escape</b>						
36	51	Verificar el estado físico de las tuberías de escape y silenciador, no debe tener fugas, grietas, golpes, residuos de aceite o hollín en exceso. Informar.	M	13	10	1MA, 1AY
37	52	Verificar el estado de soportes y anclajes de las tuberías de escape, no debe tener pernos flojos o sueltos. Corregir si es necesario.	M	13	10	1MA, 1AY
38	53	Realizar prueba de opacidad en los gases de escape del motor, no debe tener más de 806,4 gramos de hidrocarburos por hora o más de 38,08 gramos de partículas en suspensión. Informar	A	1	15	1MA, 1AY
<b>Subparte: Superficie del motor y bases metálicas y de concreto</b>						
39	54	Verificar el estado general de la superficie del motor, no debe existir suciedad, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	5	1MA, 1AY
40	55	Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. Informar.	M	13	10	1MA, 1AY
<p>*PER = Periodo de las inspecciones (D= Diario, S= Semanal, Q=Quincenal, M= Mensual, BI = Bimensual, TR = Trimestral, E= Semestral, A = Anual, 2A = Cada dos años). *FRE = Frecuencia para un horizonte de 52 semanas. *DUR = Tiempo de duración de la inspección en minutos. TEC = Técnico asignado al trabajo (M = Mecánico industrial, T = Tubero, EL = Eléctrico, IN = Personal de ingeniería, AY = Ayudante, MA = Mecánico automotriz, MI = Misceláneo, L = Lubricador). ** Coordinar con operaciones y hacer en cuando equipo no esté en funcionamiento o en paro programado.</p>						

Anexo 16. Formulario generado por Tricom para las inspecciones del equipo YP-754

Inspecciones para la bomba de engranajes (Hoja 1 de 2)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD PROGRAMACION Y CONTROL**  
 Listado de Inspecciones - Mantenimiento Preventivo  
 RN-08-06-001

Mantenimiento: MP

Semana #19/2015

Orden #: 815959

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)									
Area: P	BOMBAS									
Equipo: YP-754	ASFALTO BLANDO									
Parte: YPP-754	BOMBA									
Ubicación:	Manual:	Plano:								
Sub-Parte:										
Plan de Mto. BO-18	MANTENIMIENTO BOMBAS DESPLAZAMIENTO POSITIVO OFF SITE									
Inspección	Fecha	Frec.	Paro	Lubricante	Método	Personal	ESTADO			
							BU	MA	RZ	NA
IM-00007-01	12/05/2015	7	N		INSPECCION	1M				
MANTENIMIENTO SEMANAL -Verificar que no existan fugas a través de los sellos mecánicos. -Verificar que no existan fugas en la carcasa de la bomba. -Verificar el nivel de aceite en el visor, si es necesario complete hasta nivel indicado, utilizar aceite ISO 220EP. Para bombas con depósito de aceite. - Verificar que no existan fugas de aceite en el depósito, empaques o retenedores. Para bombas de tornillos.										
IM-00015-01	12/05/2015	15	N		MEDICION	1M				
MANTENIMIENTO QUINCENAL - Realizar medición de vibraciones para análisis y evaluación posterior.										
IM-00030-01	12/05/2015	30	S		INSPECCION	1M				
MANTENIMIENTO MENSUAL -Verificar el estado de la grasa lubricante en ambos acoples (lado de la bomba y lado del motor), debe tener cantidad suficiente y buen aspecto (color, viscosidad y textura). Corregir si es necesario. Utilizar grasa NGLI 2. -Verificar el estado de desgaste de los acoples del lado de la bomba y del motor. -Verificar el ajuste de los pernos del acople. No debe observarse ninguno suelto o flojo. -Verificar el ajuste de los pernos en el sello mecánico, no deben estar sueltos o con poco apriete. -Verificar el estado general de la carcasa de la bomba, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas. -Verificar el estado físico, soldadura y apriete en pernos de la base de toda la maquina (bomba, motor, reductor). -Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto de toda la maquina (bomba, motor, reductor), no debe existir suciedad, corrosión ni superficies despintadas. -Verificar el alineamiento entre ejes de bomba-reductor y reductor-motor. Corregir si es necesario										
Trabajo Realizado										

**Ejecución**

Nombre Operario	Fecha	Tiempo de Inspección	Firma del Operario

Supervisor: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Recibido por: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

BU = Bueno MA = Malo RZ = Realizado NA = No Aplica

## Inspecciones para la bomba de engranajes (Hoja 2 de 2)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD PROGRAMACION Y CONTROL**  
 Listado de Inspecciones - Mantenimiento Preventivo  
 RN-08-06-001

Mantenimiento: LUB

Semana #19/2015

Orden #: 815959

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)									
Area: P	BOMBAS									
Equipo: YP-754	ASFALTO BLANDO									
Parte: YPP-754	BOMBA									
Ubicación:	Manual:	Plano:								
Sub-Parte:										
Plan de Mto. BO-18	MANTENIMIENTO BOMBAS DESPLAZAMIENTO POSITIVO OFF SITE									
Inspección	Fecha	Frec.	Paro	Lubricante	Método	Personal	ESTADO			
IL-00007-01	12/05/2015	7	N	GRASA NGLI 2	LUBRICACION	1L	BU	MA	RZ	NA
MANTNIMIENTO LUBRICACION -Aplicar grasa a presión en los puntos de engrase del rodamiento de bolas de la bomba, del lado del acople, utilizar grasa NGLI 2										
<b>Trabajo Realizado</b>										

### Ejecución

Nombre Operario	Fecha	Tiempo de Inspección	Firma del Operario

Supervisor: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Recibido por: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

BU = Bueno MA = Malo RZ = Realizado NA = No Aplica

## Inspecciones para el motor eléctrico (Hoja 1 de 2)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD PROGRAMACION Y CONTROL**  
 Listado de Inspecciones - Mantenimiento Preventivo  
 RN-08-06-001

Mantenimiento: MP

Semana #19/2015

Orden #: 815959

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)									
Area: P	BOMBAS									
Equipo: YP-754	ASFALTO BLANDO									
Parte: YPM-754	MOTOR ELÉCTRICO									
Ubicación:	Manual:	Plano:								
Sub-Parte:										
Plan de Mto. ME-03	MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS OFF SITE									
Inspección	Fecha	Frec.	Paro	Lubricante	Método	Personal	ESTADO			
							BU	MA	RZ	NA
IE-00007-01	12/05/2015	7	N		INSPECCION	1E				
	MANTENIMIENTO SEMANAL -Monitorear el sistema de vibraciones en línea. -Verificar que no existan ruidos o vibraciones anormales en el motor. -Realizar medición de la temperatura externa del motor, no debe ser superior a 80°C.									
IE-00030-01	12/05/2015	30	N		INSPECCION	1E				
	MANTENIMIENTO MENSUAL -Limpiar con trapo seco la superficie externa del motor para remover acumulación suciedad. -Verificar el estado general de las bases de metal y de concreto no debe existir suciedad, corrosión ni superficies despintadas. -Medir la corriente de alimentación en las tres fases del motor. Reportar datos por fase. Utilizar amperímetro de gancho.									
IE-00090-01	12/05/2015	90	N		INSPECCION	1E				
	MANTENIMIENTO TRIMESTRAL -Verificar el estado de las botoneras de arranque y paro, inspeccionar acumulación de polvo y suciedad, utilizar trapo seco.									
IE-00180-01	12/05/2015	180	N		INSPECCION	1E				
	MANTENIMIENTO SEMESTRAL -Medir el aislamiento interno del motor y valorar según norma IEE 43-2000. -Verificar en la caja de bornes, el estado de los aislantes de los cables alimentadores, no deben existir cortes ni fisuras. -Verificar en la caja de bornes la correcta conexión de los cables alimentadores al motor. -Verificar el estado de los contactores, inspeccionar golpes, daños, acumulación de polvo o suciedad. -Verificar visualmente el estado físico de las conuletas, no deben existir solturas, fisuras o humedad en el interior. -Verificar el estado general de las superficies del motor, no debe existir suciedad, golpes, corrosión ni superficies despintadas.									
IE-00360-01	12/05/2015	360	N		INSPECCION	1E				
	MANTENIMIENTO ANUAL -Medir la tensión de alimentación en las fases del motor, debe ser 480 Volts, desbalance no debe superar 3%.									

**Inspecciones para el motor eléctrico (Hoja 2 de 2)**



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD PROGRAMACION Y CONTROL**  
 Listado de Inspecciones - Mantenimiento Preventivo  
 RN-08-06-001

<i>Trabajo Realizado</i>

**Ejecución**

<i>Nombre Operario</i>	<i>Fecha</i>	<i>Tiempo de Inspección</i>	<i>Firma del Operario</i>

*Supervisor:* \_\_\_\_\_ *Firma:* \_\_\_\_\_ *Fecha:* \_\_\_\_\_ *Hora:* \_\_\_\_\_

*Recibido por:* \_\_\_\_\_ *Firma:* \_\_\_\_\_ *Fecha:* \_\_\_\_\_ *Hora:* \_\_\_\_\_

BU = Bueno    MA = Malo    RZ = Realizado    NA = No Aplica

# Inspecciones para válvulas y tuberías



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD PROGRAMACION Y CONTROL**  
 Listado de Inspecciones - Mantenimiento Preventivo  
 RN-08-06-001

Mantenimiento: MP

Semana #19/2015

Orden #: 815959

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)									
Area: P	BOMBAS									
Equipo: YP-754	ASFALTO BLANDO									
Parte: YPU-754	VÁLVULAS Y TUBERÍAS									
Ubicación:	Manual:	Plano:								
Sub-Parte:										
Plan de Mto. VT-08	MANTENIMIENTO VÁLVULAS Y TUBERÍAS BOMBAS OFF SITE									
			ESTADO							
Inspección	Fecha	Frec.	Paro	Lubricante	Método	Personal	BU	MA	RZ	NA
IM-00007	12/05/2015	7	N		INSPECCIONAR	1M				
MANTENIMIENTO SEMANAL - Verificar el estado y apriete de los pernos en las juntas de la tuberías de succión y descarga, no deben existir pernos sueltos o flojos. - Verificar las uniones por soldadura en las tuberías de succión y descarga, no deben existir fisuras. - Verificar que no existan fugas a través de las líneas de succión y descarga, empaques, sellos y manómetro ubicados en la cachera de la tubería de descarga. Utilizar termografía infrarroja para tuberías que contengan LPG. -Verificar el estado físico de las tuberías de succión y descarga, no deben existir corrosión ni superficies despintadas, el color de las tuberías debe ser según código de colores. - Verificar que no existan fugas a través de los empaques y uniones de las válvulas, en las tuberías de succión y descarga. Utilizar termografía infrarroja para tuberías que contengan LPG. - Verificar el estado de los soportes de concreto y metal de las tuberías de succión y descarga, no deben existir grietas, golpes o solturas.										
IM-00030	12/05/2015	30	N		INSPECCIONAR	1M				
MANTENIMIENTO MENSUAL -Verificar el estado físico de las válvulas en las tuberías de succión y descarga, además del libre movimiento del elemento de apertura y cierre.										
<b>Trabajo Realizado</b>										

## Ejecución

Nombre Operario	Fecha	Tiempo de Inspección	Firma del Operario

Supervisor: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Recibido por: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

# Inspecciones para instrumentación



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
**UNIDAD PROGRAMACION Y CONTROL**  
 Listado de Inspecciones - Mantenimiento Preventivo  
 RN-08-06-001

Mantenimiento: MEC

Semana #19/2015

Orden #: 815959

Sección: Y	UNIDAD TANQUERIA (OFF SITE)									
Area: P	BOMBAS									
Equipo: YP-754	ASFALTO BLANDO									
Parte: YPX-754	INSTRUMENTACIÓN									
Ubicación:	Manual:	Plano:								
Sub-Parte:										
Plan de Mto. IN-01	INSTRUMENTACION BOMBAS									
			ESTADO							
Inspección	Fecha	Frec.	Paro	Lubricante	Método	Personal	BU	MA	RZ	NA
II-00007-01	12/05/2015	7			INSPECCION	1M				
MANTENIMIENTO SEMANAL Revisar el estado de los manómetros e instrumentos instalados, que no presenten fugas o cables en mal estado. Reportar										
<b>Trabajo Realizado</b>										

## Ejecución

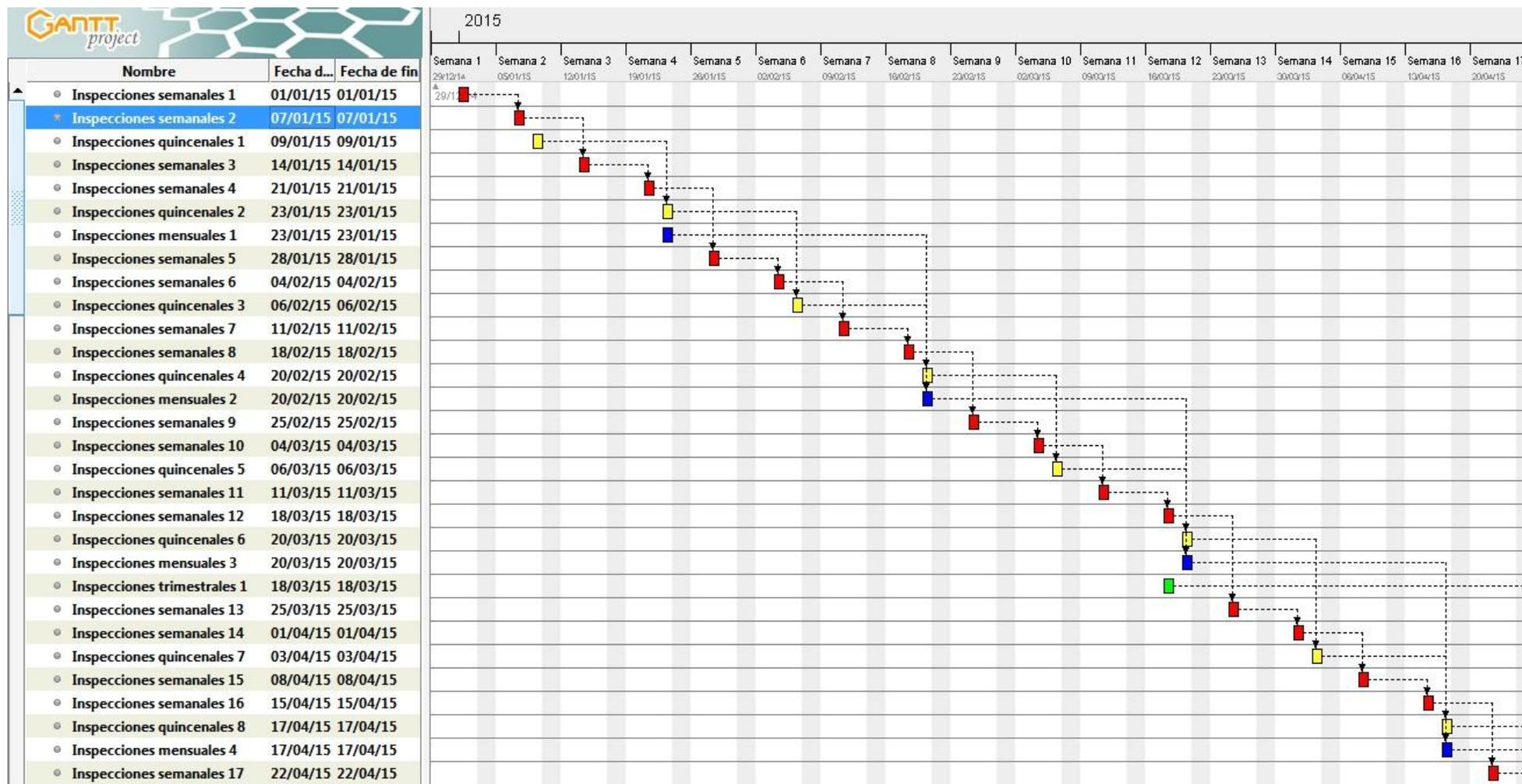
Nombre Operario	Fecha	Tiempo de Inspección	Firma del Operario

Supervisor: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

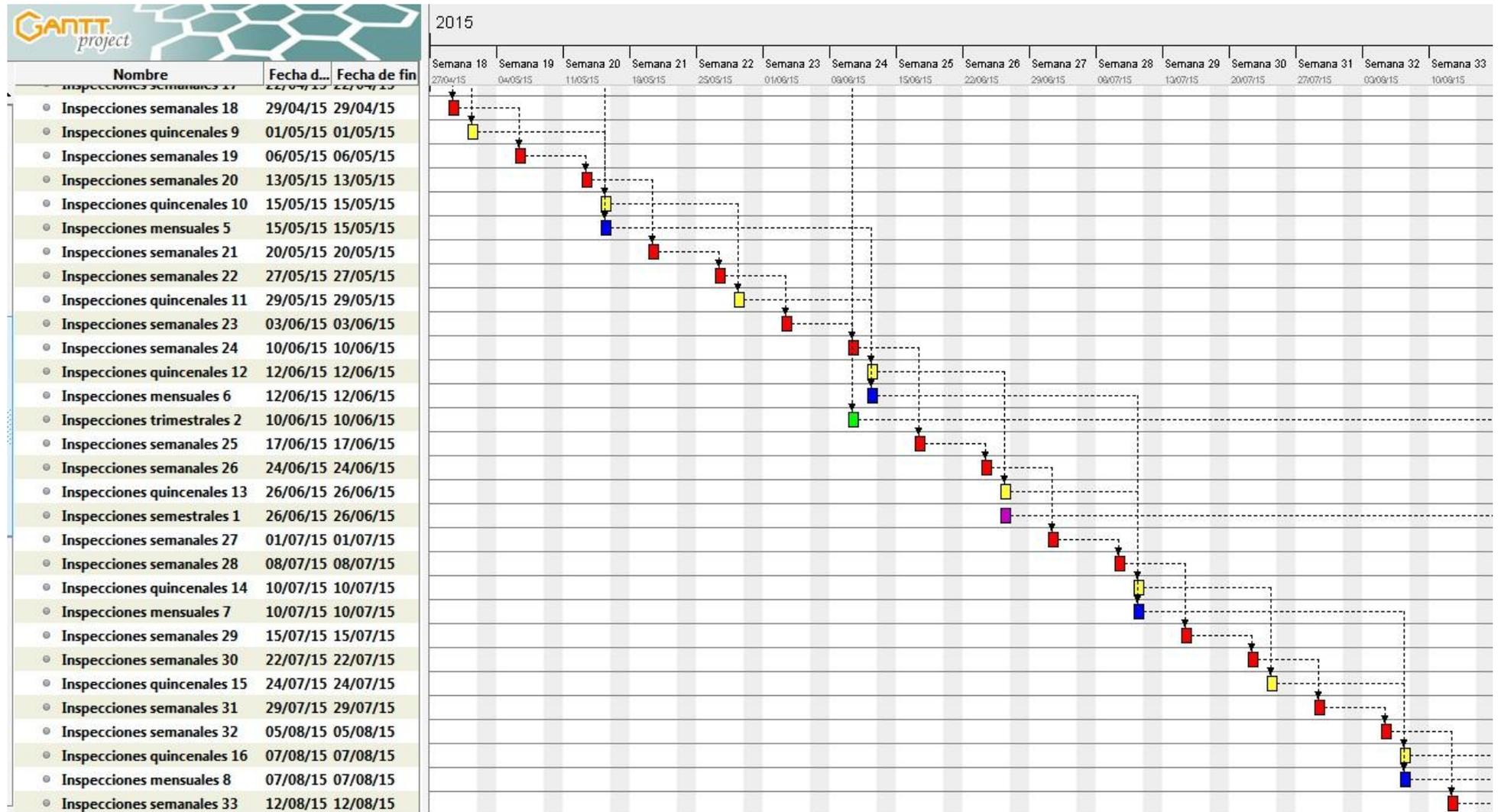
Recibido por: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

BU = Bueno MA = Malo RZ = Realizado NA = No Aplica

## Anexo 17. Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 1 de 4)



## Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 2 de 4)



### Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 3 de 4)

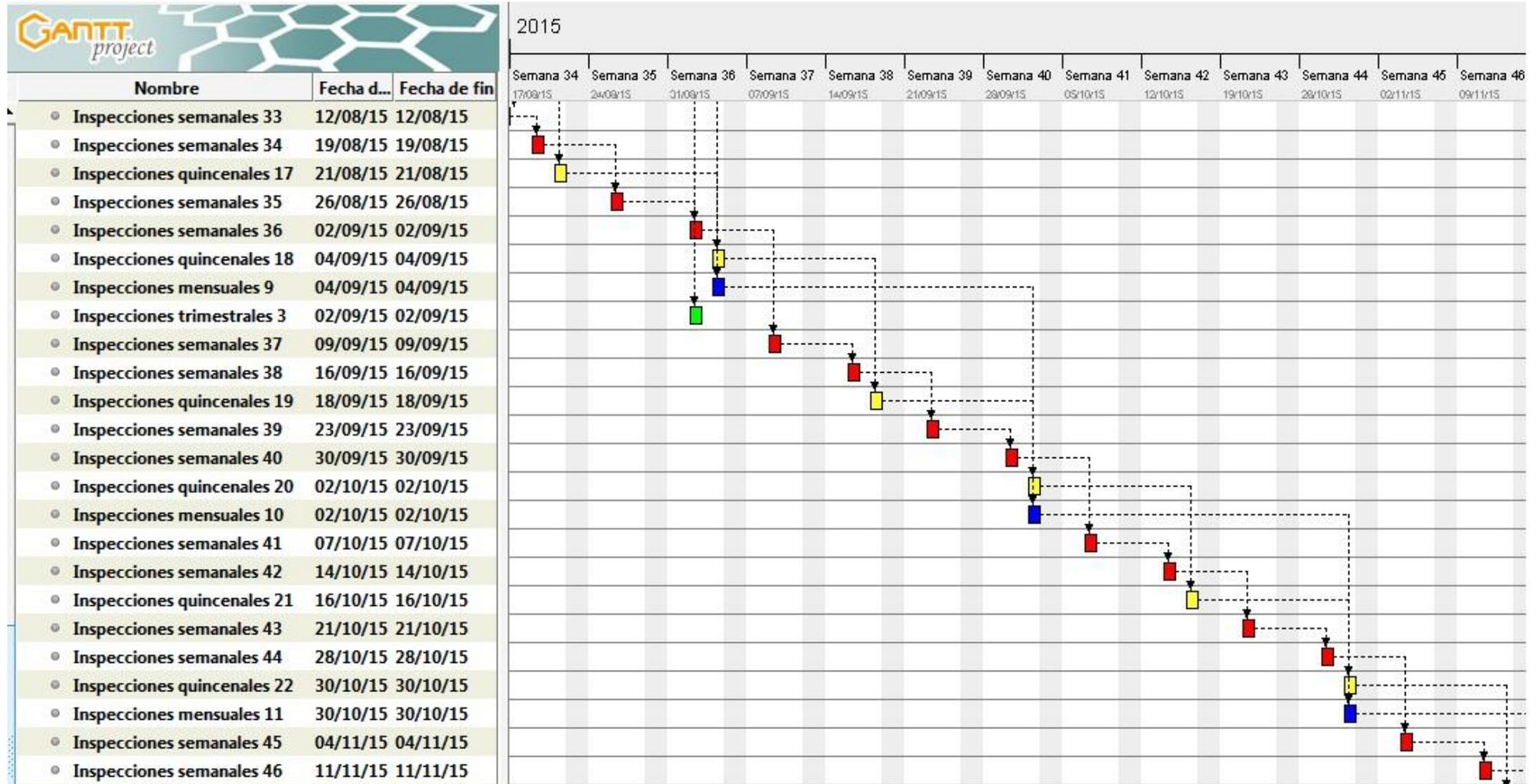


Diagrama de Gantt para las inspecciones (Hoja 4 de 4)

