

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN
EL ANALISIS *FMECA* Y MONITOREO MEDIANTE EL SOFTWARE AM PARA UN
SISTEMA GEMI CMD BOMBAS

JUAN FELIPE RIOS PUERTA
JULIAN GARCES GOMEZ

UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
AREA DE MANTENIMIENTO
MEDELLIN
2006

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN
EL ANALISIS *FMECA* Y MONITOREO MEDIANTE EL SOFTWARE AM PARA UN
SISTEMA GEMI CMD BOMBAS

JUAN FELIPE RIOS PUERTA

JULIAN GARCES GOMEZ

Trabajo de grado
Para optar el título de Ingeniero Mecánico

Asesor:

JHON HARVY HENAO

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
MEDELLIN
2006

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, Mayo 2006

A nuestros padres, quienes con su esfuerzo
nos permitieron llegar a donde estamos...

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimientos a:

Al especialista en mantenimiento industrial Jhon Harvy Henao y Doctor Ph.D Luis Alberto Mora, profesores del departamento de Ingeniería Mecánica de la universidad EAFIT, integrantes del grupo GEMI y asesor y coasesor de este proyecto de grado.

Demás Integrantes del grupo GEMI de la universidad EAFIT.

Sandra Milena Medina de los Ríos, estudiante de Ingeniería Mecánica de la universidad EAFIT.

A todos aquellos quienes tuvieron que ver de una u otra forma con la elaboración de este proyecto de grado.

CONTENIDO

	Pág
0. INTRODUCCION	17
0.1 PROLOGO	17
0.2 ANTECEDENTES	18
0.3 JUSTIFICACION	19
0.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	20
0.5 OBJETO DE ESTUDIO	21
0.6 OBJETIVOS	21
0.6.1 General.	21
0.6.2 Específicos.	21
1. FUNDAMENTOS	23
1.1 OBJETIVO	23
1.2 INTRODUCCION	23
1.3 CONCEPTUALIZACION	23
1.3.1 Tareas proactivas.	23
1.3.2 Niveles de mantenimiento.	25
1.3.3 Mantenimiento preventivo.	27
1.3.4 Análisis de fallas.	29
1.3.5 Análisis <i>FMECA</i> .	30
1.3.6 Sistema de información de mantenimiento (AM).	31
1.4 CONCLUSION	32
2. ANALISIS <i>FMECA</i>	34
2.1 OBJETIVO	34
2.2 INTRODUCCION	34
2.3 PRINCIPIOS BASICOS DEL <i>FMECA</i>	34
2.4 DEFINICION de EQUIPO OBJETO DE ESTUDIO	35

2.4.1	Definición de la frontera.	36
2.4.2	Subsistema de bombeo bajo enfoque sistémico.	36
2.4.3	Componentes sistema de bombeo.	37
2.5	ANALISIS <i>FMECA</i> EN EL SISTEMA DE BOMBEO	41
2.5.1	Funciones del sistema.	42
2.5.2	Fallas funcionales reales y potenciales del sistema de bombeo.	44
2.5.3	Modos de Falla.	45
2.5.4	Evaluación de las consecuencias de cada modo de falla con su falla y su función.	54
2.5.5	Medición de <i>RPN</i> Mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detención.	59
2.5.6	Valoración cualitativa del riesgo.	62
2.5.7	Tareas para eliminar modos de fallas.	66
2.6	ACCIONES MODIFICATIVAS REALIZADAS EN EL SISTEMA DE BOMBEO	68
2.7	ACCIONES MODIFICATIVAS REALIZADAS POR COMPONENTE EN EL SISTEMA DE BOMBEO	69
2.7.1	Acciones modificativas en el eje del motor y el acople del sistema.	69
2.7.2	Acciones modificativas a la carcasa del motor.	71
2.7.3	Acciones modificativas a la carcasa de la bomba.	72
2.8	RECALCULO DEL <i>RPN</i>	73
2.8.1	Justificación de los modos de falla eliminados.	73
2.8.2	Cálculo del <i>RPN</i> con las acciones modificativas realizadas.	75
2.9	CONCLUSION	80
3.	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO E IMPLEMENTACION EN EL AM	81
3.1	OBJETIVO	81
3.2	INTRODUCCION	81
3.3	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	81
3.3.1	Nivel 1.	82

3.3.2	Nivel 2.	82
3.3.3	Nivel 3.	82
3.3.4	Nivel 4.	83
3.4	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	83
3.4.1	Definición de la máquina, mecanismo con sus partes y si es el caso, componentes.	84
3.4.2	Instructivo para realizar el mantenimiento planeado en el sistema.	85
3.4.3	Frecuencias de las acciones preventivas.	100
3.4.4	Tiempo de ejecución de cada acción.	101
3.4.5	Jerarquización de las acciones según nivel de mantenimiento preventivo.	102
3.4.6	Lista de chequeo para el sistema de bombeo.	104
3.5	IMPLEMENTACION Del PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EI SOFTWARE AM	105
3.6	CONCLUSION	112
4.	CONTROLES DE EJECUCION	113
4.1	OBJETIVO	113
4.2	INTRODUCCION	113
4.2.1	Control de la calidad de los trabajos de mantenimiento.	113
4.2.2	Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 1.	116
4.2.3	Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 2.	117
4.2.4	Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 3.	117
4.2.5	Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 4.	118
4.2.6	Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 5.	119
4.2.7	Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 6.	119
4.3	CONCLUSION	120
5.	CONCLUSIONES	121
5.1	OBJETIVO	121
5.2	INTRODUCCION	121
5.3	CONCLUSIONES GENERALES	121

6.	BIBLIOGRAFIA	125
6.1	REFERENCIAS CLASICAS	125
6.2	REFERENCIAS DE INTERNET	127

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1 Listado de accesorios.	41
Tabla 2 Fallas funcionales del subsistema de bombeo.	45
Tabla 3 Modos de falla de una bomba centrífuga.	48
Tabla 4 Modos de falla del motor eléctrico.	49
Tabla 5 Modos de falla de los rodamientos.	50
Tabla 6 Modos de fallas del sistema de bombeo.	51
Tabla 7 Relación entre las fallas funcionales y los modos de falla del sistema de bombeo.	52
Tabla 8 FO – Fallas Ocultos.	55
Tabla 9 SF – Impacto de Seguridad Física.	56
Tabla 10 MA – Impacto Medio Ambiente.	56
Tabla 11 IC – Impacto en Imagen Corporativa.	56
Tabla 12 OR - Costos de Reparaciones o Mantenimientos.	56
Tabla 13 OC - Efectos en Clientes.	57
Tabla 14 Cálculo de la severidad para cada modo de falla.	58
Tabla 15 Tabla de posibilidad de ocurrencia.	60
Tabla 16 Tabla de probabilidad de detección.	60
Tabla 17 Calculo del <i>RPN</i> .	61
Tabla 18 Valores de la severidad escalonados.	63
Tabla 19 Jerarquización de los modos de falla según su valor de <i>RPN</i> .	65
Tabla 20 Acciones de mantenimiento del sistema de bombeo.	67
Tabla 21 Modos de falla eliminados o que disminuye su ocurrencia debido a las acciones modificativas propuestas.	70
Tabla 22 Modos de fallas después de acciones modificativas.	74
Tabla 23 Recalculo <i>RPN</i> .	76

Tabla 24 Modos de falla con <i>RPN</i> más alto.	77
Tabla 25 Jerarquización de los modo de falla luego de las acciones modificativas.	78
Tabla 26 Acciones de mantenimiento después de acciones modificativas.	79
Tabla 27 Mecanismos, partes y componentes del sistema de bombeo.	85
Tabla 28 Instructivo de las acciones preventivas.	100
Tabla 29 Simbología de tiempos y acciones a tomar.	101
Tabla 30 Frecuencias de las acciones preventivas.	101
Tabla 31 Tiempos de ejecución de las acciones de mantenimiento.	102
Tabla 32 Jerarquización según niveles de mantenimiento preventivo.	103
Tabla 33 Criterios a tener en cuenta para el ingreso de las acciones de mantenimiento.	108

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág
Ilustración 1 Sistema de bombeo.	19
Ilustración 2 Interrelaciones de las metas funcionales.	24
Ilustración 3 Niveles de mantenimiento.	25
Ilustración 4 Algunos aspectos relevantes de las tareas o acciones preventivas.	28
Ilustración 5 Proceso de análisis de fallas.	29
Ilustración 6 Fronteras del sistema.	36
Ilustración 7 Enfoque sistémico del subsistema de bombeo.	37
Ilustración 8 Diagrama del subsistema.	38
Ilustración 9 Motor eléctrico.	39
Ilustración 10 Bomba hidráulica.	39
Ilustración 11 Curva de operación de la bomba.	40
Ilustración 12 Bomba centrífuga (accesorios de condición y regulación de flujo).	48
Ilustración 13 Volumen de riesgo para el sistema de bombeo.	64
Ilustración 14 Sistema de bombeo con acople.	68
Ilustración 15 Sistema de bombeo actual.	69
Ilustración 16 Comparación de los sistemas de acople y su modificación.	71
Ilustración 17 Modificación en la carcasa del motor.	72
Ilustración 18 Modificación en la carcasa de la bomba.	72
Ilustración 19 Nuevo volumen de riesgo para el sistema de bombeo.	77
Ilustración 20 Máquina (Sistema de bombeo).	84
Ilustración 21 Herramientas para montaje y desmontaje del sistema.	86
Ilustración 22 Tanque.	88
Ilustración 23 Granada.	88

Ilustración 24 Accesorios de succión.	89
Ilustración 25 Chasis.	90
Ilustración 26 Plato sello.	90
Ilustración 27 Impulsar.	91
Ilustración 28 Sellos mecánicos.	91
Ilustración 29 Oring.	92
Ilustración 30 Chasis del motor.	93
Ilustración 31 Eje.	94
Ilustración 32 Rodamientos.	94
Ilustración 33 Escobillas.	95
Ilustración 34 Bobinado.	95
Ilustración 35 Ventilador.	96
Ilustración 36 Sistema eléctrico.	97
Ilustración 37 Accesorios de descarga.	98
Ilustración 38 Lista de chequeo rutinaria.	104
Ilustración 39 Codificación de los componentes del sistema.	106
Ilustración 40 Formato de ingreso de los equipos en el software AM	107
Ilustración 41 Formato de ingreso de las acciones de mantenimiento en el software AM.	107
Ilustración 42 Ingresos de las periodicidades en el software AM.	109
Ilustración 43 Listado de acciones de mantenimiento en el software AM.	109
Ilustración 44 Generación de las órdenes de trabajo en el software AM.	110
Ilustración 45 Listado de reportes disponibles.	111
Ilustración 46 Algunas órdenes de trabajo analizadas para el mes de mayo de 2006.	111
Ilustración 47 Formato de control de acciones de mantenimiento.	115
Ilustración 48 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 1.	116
Ilustración 49 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 2.	117
Ilustración 50 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 3.	118
Ilustración 51 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 4.	118
Ilustración 52 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 5.	119

Ilustración 53 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 6.	120
Ilustración 54 Plano del Rotor.	131
Ilustración 55 Plano del la tapa de la carcaza del motor.	132
Ilustración 56 Plano del la tapa de la carcaza de la bomba.	133

0. INTRODUCCION

0.1 PROLOGO

El objetivo final de este proyecto de grado busca implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en un análisis *FMECA*¹ para un sistema de bombeo compuesto por seis bombas en paralelo (MORA Y OTROS, 2005, 8).

La solución se desarrolla mediante la inspección e identificación de las áreas o ensambles en las cuales es más probable que se den fallas del sistema mediante herramientas de mantenimiento preventivo, tareas preactivas y mediciones del *RPN*².

El estudio evalúa tres aspectos del sistema de bombeo y su operación los cuales se pueden definir como las condiciones anticipadas de operación y la falla más probable, el efecto de falla en el rendimiento, y por último, la severidad de la falla en el mecanismo evaluando la probabilidad de la falla mediante una jerarquización de cada una de las tareas a realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran de acuerdo con su grado de criticidad (*RPN*) (MORA, 2005, 188).

En la aplicación final del trabajo se realiza un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de bombeo mediante la programación de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el sistema mencionado, con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar

¹ *FMECA Failure Mode, Effects Causes and Criticality Analysis* – Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas.

² *RPN Risk Priority Number* – Número de Prioridad de Riesgo.

circunstancialmente paros en el sistema o deterioro grave de las bombas, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado del sistema de bombeo para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo (MORA, 2005, 231).

El trabajo analiza la solución a este desarrollo, basándose en las teorías de eliminación de los modos de fallas que provee el *FMECA*, el mantenimiento preventivo, la aplicación de tareas proactivas y la herramienta CMD³ que hacen de esta aplicación una aplicación confiable para la persona que profundice en el estudio del proyecto y de igual forma al individuo interesado en esta solución como posible adaptación en sistemas de bombeos.

0.2 ANTECEDENTES

El proyecto se basa en un sistema GCB⁴, el cual es un proyecto de investigación de un grupo de estudios de mantenimiento industrial de la universidad EAFIT (GEMI⁵) que consiste en un diseño para la medición de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en sistemas de bombeo.

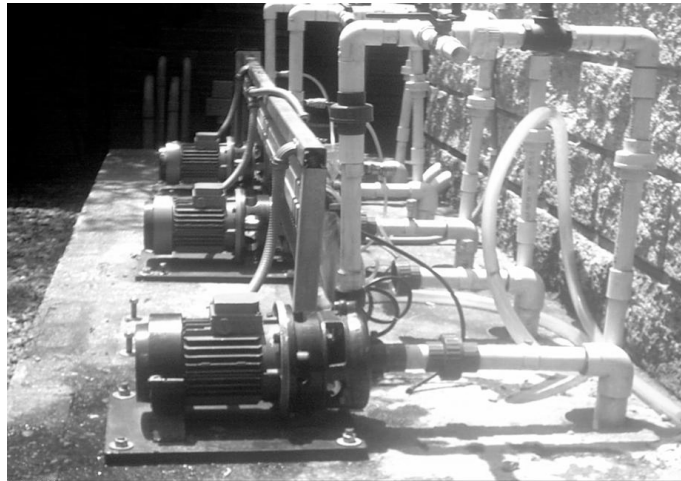
La investigación inicial da una idea técnica y numérica del comportamiento en el tiempo de las fallas, la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad de un sistema real de bombeo de agua, compuesto por seis bombas en paralelo; además cuenta en el momento con diferentes algoritmos que determinan el estado futuro del comportamiento de algunos de sus elementos en tiempo real.

³ CMD- Confiabilidad - Mantenibilidad - Disponibilidad.

⁴ GCB - GEMI CMD Bombas.

⁵ GEMI - Grupo de Estudios de Mantenimiento Industrial.

Ilustración 1 Sistema de bombeo.



MORA Y OTROS, 2005, 46.

El posterior desarrollo del proyecto de grado tiene como objetivo la aplicación del análisis *FMECA*, el cual complementa todas las actividades inherentes al control total de los instrumentos del mantenimiento industrial. Para esto se trabaja mucho en la corrección de fallas esporádicas (todas diferentes), de allí los rediseños que han tenido lugar. Esto concuerda con las características de la investigación inicial, que comprendía el diseño para la medición de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) de equipos en mantenimiento industrial (MORA Y OTROS, 2005, 120).

0.3 JUSTIFICACION

El proyecto busca realizar un plan de mantenimiento preventivo basado en tareas proactivas en el sistema GCB, de igual forma desarrollar una metodología completa de análisis de fallas *FMECA* para los sistemas de bombeo buscando

como objetivo final su implementación en un software de mantenimiento, en este caso el Software AM⁶.

El desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, las tareas proactivas y los análisis de posibles fallas se realiza con base en un proyecto de la Universidad EAFIT que consiste en dar una idea técnica y numérica del comportamiento en el tiempo de las fallas, la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad en seis bombas y motores de iguales características (MORA Y OTROS, 2005, 120).

El reto del proyecto es plantear una solución óptima y eficaz que permita, apoyados en los métodos para el análisis y solución de fallas, en planes de mantenimiento preventivo y en la implementación de tareas proactivas, una alternativa estructurada a la propuesta del desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis *FMECA* y monitoreo mediante el software AM para un sistema GCB.

0.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La aplicación de este proyecto es importante porque continúa con el proceso de investigación del sistema GCB del grupo GEMI, quienes son los principales beneficiados con este proyecto de grado. Igualmente permite aplicar los conceptos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecánica en el área de mantenimiento industrial.

⁶ Administrador de Mantenimiento.

0.5 OBJETO DE ESTUDIO

La aplicación del análisis de los modos, de los efectos, de las causas y criticidades de las fallas en un sistema de seis bombas en paralelo e independientes cada una de ellas, además del desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para su implementación en el sistema de información de mantenimiento AM.

0.6 OBJETIVOS

0.6.1 General.

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo mediante la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación y calibración, basándose en análisis de modos de fallas y efectos críticos (*FMECA*), y también mediante la aplicación de tareas proactivas para la implementación en un software de administración de mantenimiento (AM) en un sistema GCB.

0.6.2 Específicos.

- Fundamentar los conceptos de *FMECA*, tareas proactivas y en especial tareas preventivas, así como también las características del funcionamiento de AM.
- Desarrollar la metodología completa de análisis de fallas *FMECA* para el sistema GCB, con el fin de determinar las tareas de mantenimiento mediante el uso del *RPN*.
- Implementar el plan de mantenimiento preventivo para el sistema GCB en el software AM.
- Establecer los controles de cumplimiento de las tareas de mantenimiento mediante la ejecución del plan de mantenimiento en un lapso de dos meses.

- Concluir los principales objetivos del proyecto.

1. FUNDAMENTOS

1.1 OBJETIVO

Fundamentar los conceptos de *FMECA*, tareas proactivas y en especial tareas preventivas, así como también las características del funcionamiento de AM.

1.2 INTRODUCCION

El capítulo que se presenta a continuación realiza una conceptualización acerca de las tareas proactivas, en especial las preventivas, así como las principales nociones del *FMECA* y las características del AM.

1.3 CONCEPTUALIZACION

En el mantenimiento de sistemas industriales se utilizan una gran cantidad de herramientas y tareas que permiten una mejor mantenibilidad de los equipos, máquinas y procesos a través del tiempo.

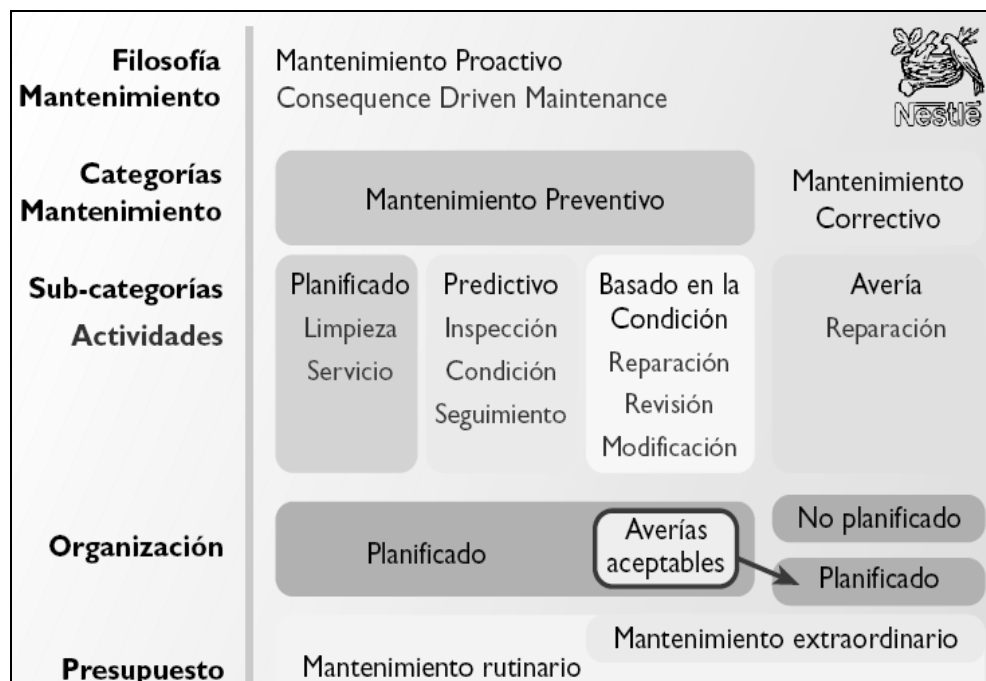
1.3.1 Tareas proactivas.

El mantenimiento proactivo se define como la metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallas de las máquinas. Mediante este tipo de mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma.

El mantenimiento proactivo representa el próximo paso en la evolución hacia un mantenimiento planeado y dentro de este procedimiento el personal de mantenimiento lleva estadísticas específicas sobre los equipos por monitorear para cumplir con los requerimientos necesarios (FITCH@,2002).

La táctica proactiva evita elevados costos de inversión en mantenimiento de maquinaria y en la reposición de la misma. Haciendo una analogía con el cuerpo humano, imagínese poder localizar y eliminar una enfermedad mucho antes de que los síntomas aparezcan en el cuerpo, lo que ahorra dinero en cuentas de hospitales y médicos y mantiene al paciente en buen estado de salud por un largo periodo de tiempo. Ésta es la ventaja del mantenimiento proactivo sobre otras tácticas (DIAGNETICS@, 1998).

Ilustración 2 Interrelaciones de las metas funcionales.



NESTLE@,2005.

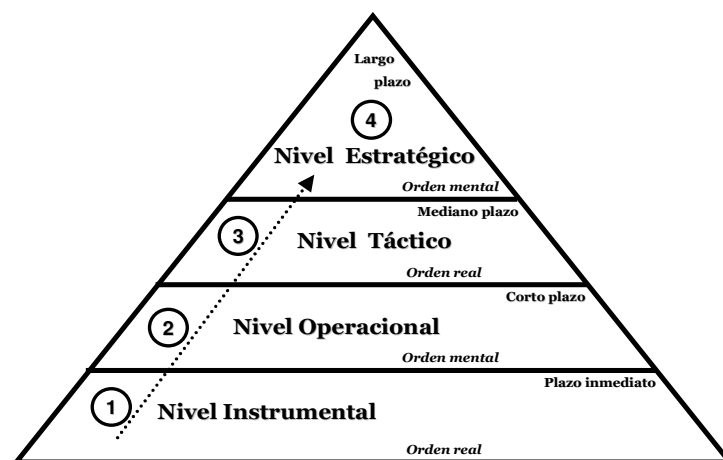
“Los tres pasos para la implementación de la táctica proactiva, con el fin de lograr el éxito de la aplicación y lograr sus inmensos beneficios, son:

- Fijar metas o estándares basados en el análisis de causa raíz de las fallas; ya que por definición el proactivo implica constante análisis, monitoreo y control de las fallas y de su causa raíz.
- Mantener el control de la causa raíz y conservarla en el tiempo de una manera sostenible es el segundo paso.
- El tercer paso es la permanente vigilancia microscópica de los elementos de control de la causa raíz, manteniéndola dentro de las condiciones estándar y evitando de una manera disciplinada que ésta salga de ella.” (MORA, 2005,277).

1.3.2 Niveles de mantenimiento.

El autor Luis Mora plantea cuatro niveles o categorías para jerarquizar los diferentes tópicos que maneja el mantenimiento: instrumental, operacional, táctico, estratégico.

Ilustración 3 Niveles de mantenimiento.



MORA, 2005,43.

1.3.2.1 Nivel 1. Instrumental.

El nivel instrumental abarca todos los elementos reales requeridos para que exista mantenimiento en las empresas, procura el manejo sistémico de toda la información construida, y requerida en un sistema de mantenimiento en lo referente a las relaciones entre personas, recursos productivos y máquinas. Pertenecen a este grupo todos los registros, documentos, historia, información, codificación, entre otros; en general todo lo que identifica a los equipos, a los recursos de AOD⁷ y de mantenimiento.

El nivel instrumental comprende todos los elementos necesarios para que exista un sistema de gestión y operación de mantenimiento, incluye: la información, las máquinas, las herramientas, los repuestos, los utensilios, las materias primas e insumos propios de mantenimiento, las técnicas, los registros históricos de fallas y reparaciones, las inversiones, los inventarios, las refacciones, las modificaciones, los trabajadores, las personas, el entrenamiento y la capacitación de los funcionarios, entre otros.

1.3.2.2 Nivel 2 - Operacional.

El nivel operacional comprende todas las posibles acciones a realizar en el mantenimiento de equipos por parte del oferente, a partir de las necesidades y deseos de los demandantes. Acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas.

1.3.2.3 Nivel 3 – Táctico.

El nivel táctico contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico (un equipo o conjunto de ellos). Es el grupo de tareas de mantenimiento que se realizan con el objetivo de alcanzar un fin, al seguir las

⁷ AOD – Aprovisionamiento-Operación-Distribución.

normas y reglas para ello establecido. Aparecen en este nivel el *TPM*⁸, *RCM*⁹, *TPM & RCM* combinadas, reactiva, proactiva, clase mundial, *RCM Scorecard*, entre otros.

1.3.2.4 Nivel 4 – Estratégico.

El campo estratégico está compuesto por las metodologías que se desarrollan con el fin de evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas; esto implica el establecimiento de índices, rendimientos e indicadores que permitan medir el caso particular con otros de diferentes industrias locales, nacionales o internacionales. Es la guía que permite alcanzar el grado de éxito propuesto. Se alcanza mediante el *LCC*¹⁰, el CMD y los costos (MORA, 2005, 43-44).

1.3.3 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos, con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo (PATTON,1995,17-37).

La función principal del mantenimiento preventivo es conocer el estado actual de los equipos mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste entonces en una serie de

⁸ *TPM* - Total Productive Maintenance - Mantenimiento Productivo Total.

⁹ *RCM* - *Reliability Centered Maintenance*- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

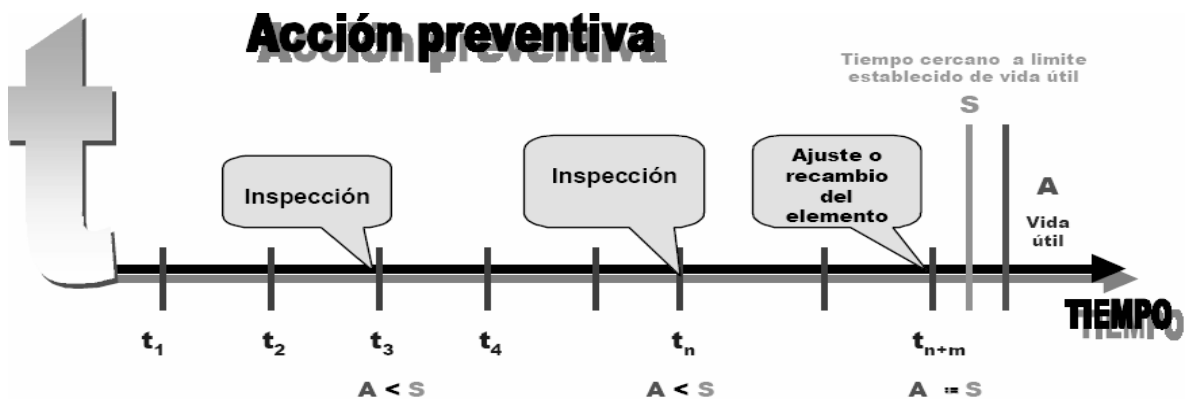
¹⁰ *LCC* – Life Cycle Cost - Costos de los ciclos de vida.

actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste (MORA, 2005, 231).

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en dos versiones, una de ellas cuando se basa en el tiempo o sea en la frecuencia de inspección y la segunda basada en la condición de desgaste encontrada en la última revisión, ambas metodologías permiten fijar con antelación la próxima inspección a que tuviere lugar en el elemento o máquina.

El primero de los métodos conduce al mantenimiento preventivo sistemático y el segundo conlleva al mantenimiento preventivo condicional lográndose con este último maximizar la vida útil del elemento y consiguiendo de esta forma reducir los costos de mantenimiento. Ambas metodologías se basan en la permanente inspección y análisis crítico de las condiciones (GUDE@,1998).

Ilustración 4 Algunos aspectos relevantes de las tareas o acciones preventivas.



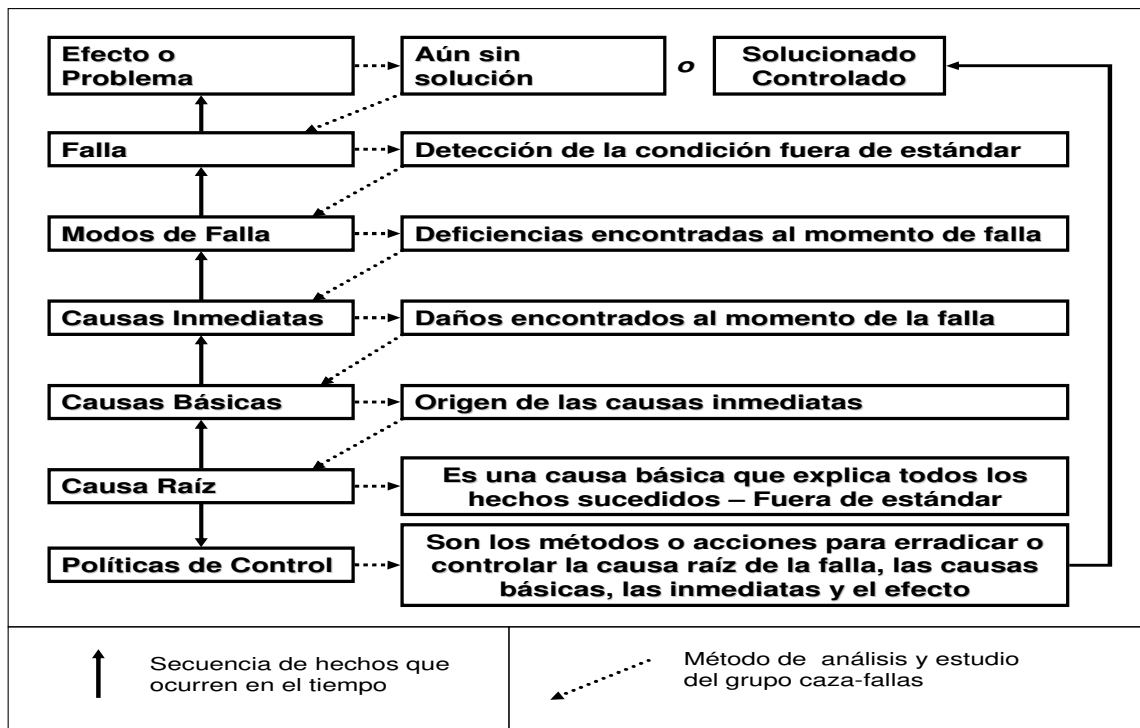
HENAO Y OTROS, 2001, 4-12.

1.3.4 Análisis de fallas.

El propósito de la técnica de análisis de los efectos, los modos y las causas de fallas es poder conocer completamente el equipo mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman, el diseño, los procesos, los elementos y los materiales de fabricación, los ensambles y los sub-ensambles parciales, así como todos los demás aspectos pertinentes que permitan aplicar el análisis integral de fallas (HARRIS, 1994).

El análisis de las fallas puede llegar a detectar en forma preventiva, predictiva o anticipada cualquier anomalía que ocurra a futuro en la funcionalidad del equipo, para ello se siguen una serie de pasos, que se describen más adelante (MORA, 2005, 179).

Ilustración 5 Proceso de análisis de fallas.



MORA, 2005, 180.

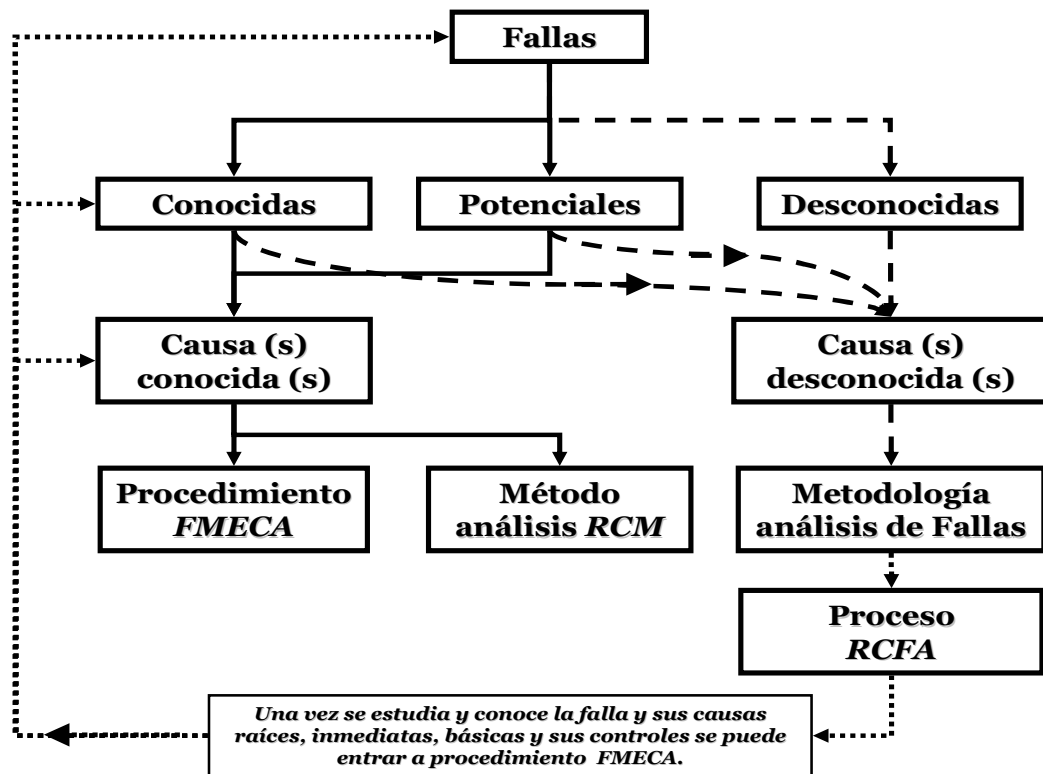
1.3.5 Análisis *FMECA*.

El análisis *FMECA* es una exitosa técnica mediante la cual se pueden lograr grandes ahorros en mantenimiento, erradicando o controlando fallas reales o potenciales en los elementos o equipos.

La metodología de análisis de fallas se constituye por sí misma en uno de los instrumentos avanzados de mantenimiento más útiles y usados en los niveles 2, 3 y 4. Tanto el *TPM* como el *RCM* lo aplican, mas sin embargo es independiente de ellos, se aplica indiferente del nivel en que se encuentre la empresa y no pertenece a ninguna de las tácticas conocidas (MORA, 2005, 177).

El *FMECA* presenta dos opciones: cuando se desconoce la causa de la falla y cuando se sabe de todas (o la mayoría) las fallas reales y/o potenciales con sus correspondientes causas. En el primero de los casos se utiliza la metodología de análisis de fallas y en la segunda se aplica el procedimiento *FMECA*. El procedimiento *FMECA* usa tres parámetros: severidad, ocurrencia y probabilidad de detección. (STAMATIS, 1995, 120).

Ilustración 7 - Aplicabilidad de *FMECA* y *RCM* según falla y causa.



MORA, 2005, 178.

1.3.6 Sistema de información de mantenimiento (AM).

Los sistemas de información de mantenimiento (CMMS¹¹) son *software* que sirven para controlar, planificar y evaluar la gestión de mantenimiento. Además son una herramienta de trabajo que facilita el manejo de información para agilizar los procesos establecidos y brindan información oportuna para la toma de decisiones (INTERNAL@2006).

El sistema de información compendia todos los procesos, procedimientos y recursos involucrados en mantener una organización en funcionamiento, con

¹¹ CMMS - Computer Maintenance Management System.

realimentación a través de su propia producción de información y a través de generación de información externa a ella, ejerciendo control de los parámetros vitales de la misma (PINILLA, 2005,5).

El AM es una familia de soluciones informáticas de avanzada tecnología para la gerencia de mantenimiento. De diseño práctico y sencilla funcionalidad, apoya la gestión de mantenimiento sobre la complejidad de variables, objetos, operaciones y funciones propias del área. Al tiempo que permite incrementar la capacidad productiva de los equipos y maquinaria, también mejora la eficiencia de los trabajos de mantenimiento, reduciendo el inventario de repuestos del almacén y suministrando la mejor información integral para la toma de decisiones.

El sistema de información ofrece una solución integral para lograr el control total de las operaciones de mantenimiento, tales como: gestión, planeamiento y monitoreo del trabajo y de los recursos. Optimiza la gestión de repuestos y materiales. Planeamiento, ejecución y control de inspección y del trabajo de todo tipo de mantenimiento.

El software ayuda a una gestión efectiva de mantenimiento para todo tipo de organización: desde grandes clientes corporativos en múltiples sitios, hasta medianas y pequeñas empresas. Está diseñado para proveer rápido acceso a la información crítica de Mantenimiento para múltiples usuarios. AM integra el software junto con servicios profesionales y consultoría en una solución de primer nivel (WINSOFTWARE@, 2005).

1.4 CONCLUSION

Este capítulo plantea los conceptos básicos necesarios para la comprensión de las teorías empleadas para el desarrollo de este proyecto, tales como las definiciones de tareas proactivas, análisis de fallas, mantenimiento preventivo, sistemas de

información (en especial el software AM) y la catalogación de los niveles del mantenimiento. La definición de estos conceptos ayuda a comprender mejor los capítulos que vienen a continuación.

2. ANALISIS FMECA

2.1 OBJETIVO

Desarrollar la metodología completa de análisis de fallas *FMECA* para el sistema GCB, con el fin de determinar las tareas de mantenimiento mediante el uso del *RPN*.

2.2 INTRODUCCION

El capítulo que se presenta a continuación desarrolla la metodología completa planteada para el análisis *FMECA* aplicada a un sistema de bombeo, y así mismo se realiza el cálculo del *RPN* para los modos de falla encontrados a lo largo del desarrollo del proyecto de grado y en el progreso de la investigación GEMI CMD Bombas.

2.3 PRINCIPIOS BASICOS DEL FMECA

El análisis de los modos, los efectos, las causas y las criticidades de las fallas es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o el proceso. Comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias. Así mismo, se estima la probabilidad y la severidad de la falla (DUFFUAA, 1996, 270).

El *FMECA* es una técnica de ingeniería usada para definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores, y otras fallas del sistema como procesos, diseños o servicios antes de que alcancen a llegar al consumidor (OMDAHL, 1998,27).

El análisis y efectos de modos de falla es un método importante para las prevenciones tempranas en sistemas, diseños, procesos y/o servicios, los cuales prevendrán fallas y errores desde que han ocurrido y alcanzado al usuario (KECECIOGLU, 1991,72).

El *FMECA* es una metodología que maximiza la satisfacción de los clientes al poderles ofrecer productos y/o servicios más eficientes, eliminando o reduciendo problemas conocidos o potenciales (STAMATIS, 1995,20).

El modo o modalidad de falla es un procedimiento por el cual se identifican los desperfectos en partes y componentes. Luego, utilizando la tasa de fallas para los niveles apropiados de esfuerzo, se determina su efecto en el sistema. Cada parte se considera, a su vez, como si hubiera fallado en cada modalidad posible. Se toma nota del efecto de cada una de estas fallas en diferentes niveles del sistema y se asigna una tasa de fallas con base en los datos disponibles (LATINO@,1996).

El análisis de la evaluación por medio de *FMECA* puede tomar dos cursos de acción, usando datos históricos o mediante la estadística inferencial, modelación matemática, simulación y confiabilidad. Estas técnicas se usan para identificar y definir las fallas. Al usar *FMECA* no se quiere decir que un método es más preciso que el otro; los dos métodos pueden ser eficientes y precisos si se realizan correctamente (STAMATIS, 1995,25).

2.4 DEFINICION DE EQUIPO OBJETO DE ESTUDIO

El análisis *FMECA* es desarrollado en un sistema de bombeo que consta de seis bombas y motores de iguales características en paralelo. Cada equipo consta además de sus respectivas protecciones, elementos de arranque y paradas, una red hidráulica y un sistema automatizado de monitoreo continuo.

2.4.1 Definición de la frontera.

La frontera en el mantenimiento se puede definir como aquellas máquinas, aparatos y elementos en los cuales se realizan los análisis pertinentes y desarrollos en los diferentes niveles de mantenimiento.

El sistema de bombeo se divide en tres tipos de fronteras: sistema RHIFI (registro histórico informático de fallas en tiempo real), sistema de bombeo, y sistema de control, potencia y cableado eléctrico. Para el caso práctico en este proyecto de grado se define el sistema de bombeo como equipo de objeto de estudio.

Ilustración 6 Fronteras del sistema.

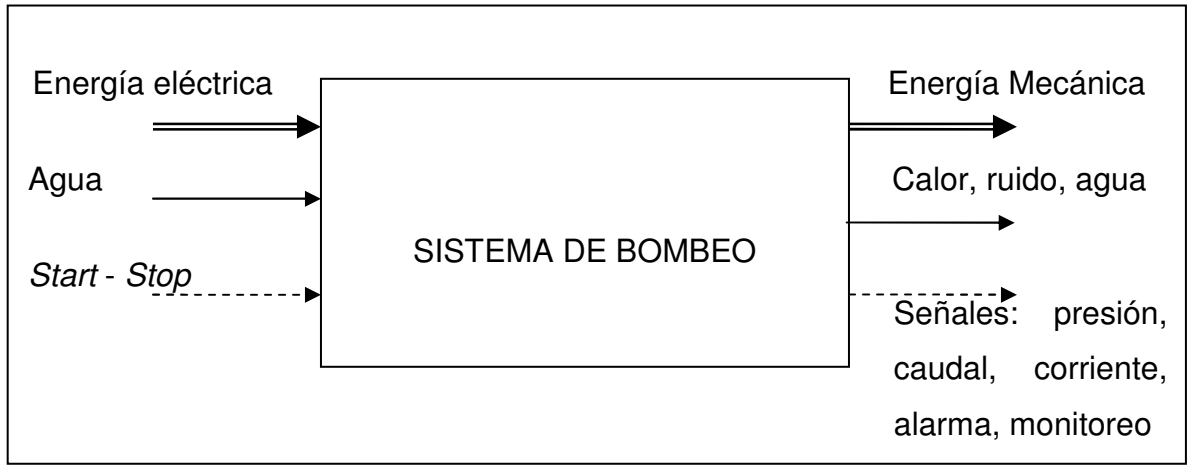


MORA Y OTROS, 2005, 46, 48.

2.4.2 Subsistema de bombeo bajo enfoque sistémico.

El subsistema de bombeo se define sistemáticamente como se muestra en la siguiente figura.

Ilustración 7 Enfoque sistémico del subsistema de bombeo.

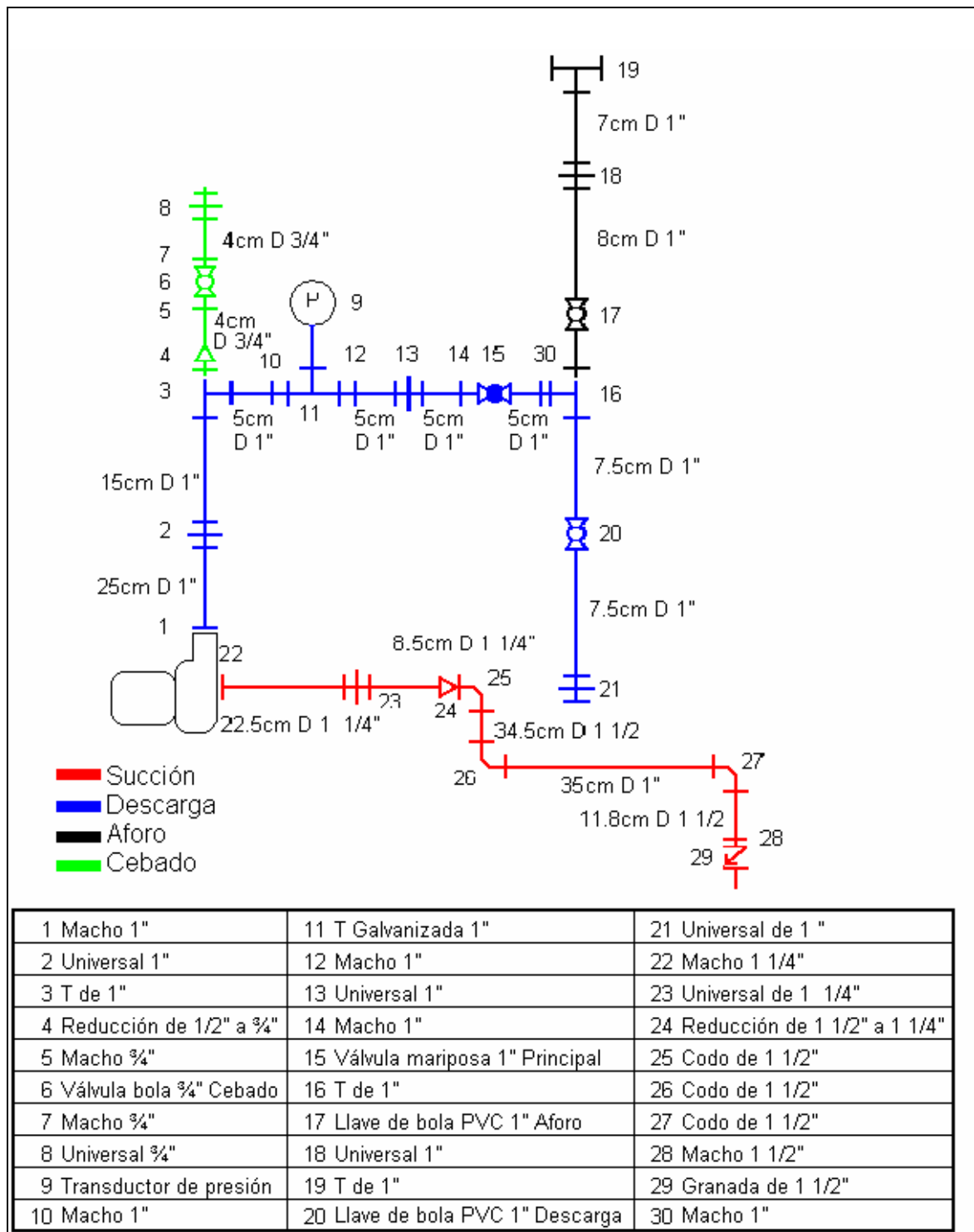


2.4.3 Componentes sistema de bombeo.

El subsistema de bombeo se encuentra en la parte exterior del cuarto de bombas del laboratorio de hidráulica de la universidad EAFIT. Las unidades que componen el sistema principal son: seis bombas, seis motores, tubería y accesorios, transductores de presión y un botón de paro de emergencia.

La disposición de los elementos de cada subsistema de bombeo está descrita por medio del diagrama que se muestra a continuación, cabe anotar que este diagrama es sólo de uno de los subsistemas de bombeo, sin embargo los otros cinco son similares. Para efectos del manejo de la metodología desarrollada en este proyecto de grado la herramienta *FMECA* y el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo se realiza en un subsistema de bombeo.

Ilustración 8 Diagrama del subsistema.



2.4.3.1 Motor eléctrico.

Las características técnicas del motor eléctrico son

Ilustración 9 Motor eléctrico.

Marca: BENZLERS
Motor trifásico Benz804 19.2
CIF IP55 IEC34
Corriente nominal: 3.1 A.
F.S.:1.16
Tensión nominal: 440-480 Y/250-280 D
Revoluciones: 3420 rpm
Coseno ϕ : 0.86
Frecuencia: 60 Hz.
Potencia nominal: 0.9 kW



MORA Y OTROS, 2005, 36

2.4.3.2 Bomba hidráulica.

Las características técnicas de la bomba son:

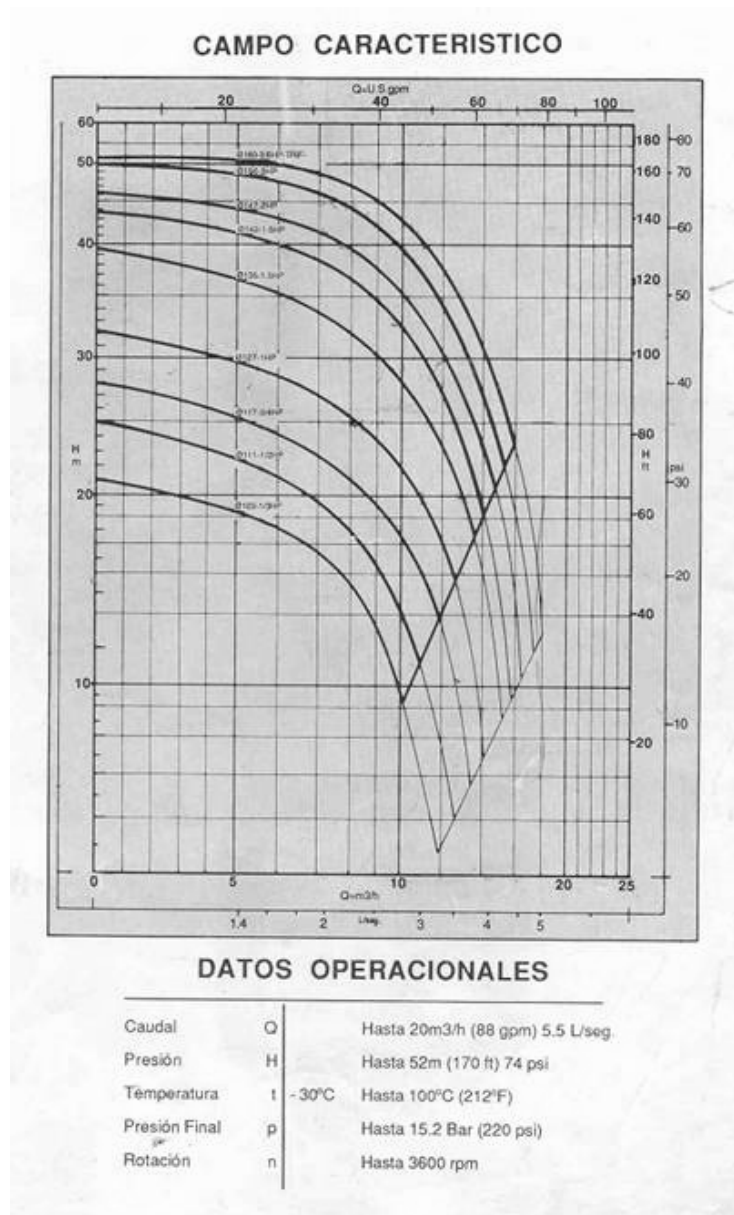
Ilustración 10 Bomba hidráulica.

Marca: KSB
Línea: Hidrobloc
Succión: 1¼"
Descarga: 1"
Impulsor: 127 mm en hierro.
Sello mecánico: 5/8 Tipo 6.
Presión máxima: 40psi
Caudal a 0m.: 60 GPM



MORA Y OTROS, 2005, 35.

Ilustración 11 Curva de operación de la bomba.



MORA Y OTROS, 2005, 37.

2.4.3.3 Accesorios.

Los accesorios que componen el sistema se pueden apreciar en la siguiente Tabla.

Tabla 1 Listado de accesorios.

Accesorio	Cantidad por sistema	Cantidad Total
Adaptador macho 1"	5	30
Universal 1"	3	18
T de 1"	3	18
Reducción de 1" a 3/4"	1	6
Válvula de bola 3/4"	1	6
Adaptador macho 3/4"	1	6
Universal 3/4"	1	6
Transductor de presión	1	6
Válvula mariposa 1"	1	6
Válvula de bola 1"	1	6
Codo de 1"	1	6
Adaptador macho de 1 1/4"	1	6
Universal de 1 1/4"	1	6
Acople rapido de 1/4 NPT	1	6
Reducción de 1 1/4" a 1 1/2"	1	6
Codo de 1 1/2"	3	18
Adaptador macho de 1 1/2"	1	6
Granada de 1 1/2"	1	6

2.5 ANALISIS FMECA EN EL SISTEMA DE BOMBEO

El procedimiento *FMECA* se puede aplicar en forma independiente¹², más sin embargo el *RPN* es parte fundamental del *FMECA* (MORA, 2005, 188).

Las etapas de desarrollo del procedimiento *FMECA* son:

- Describir las funciones: primaria y secundarias de los equipos.

¹² Una vez se conozcan todas las fallas reales o potenciales, para lo cual es posible haber utilizado el análisis de falla y/o el RCFA en forma previa; aunque no es realmente indispensable, pues se puede tener un dominio completo de las fallas sin tener necesariamente que haber aplicado los dos métodos descritos en forma total.

- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
- Describir los modos de fallas
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Medir el *RPN* mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas.
- Realizar las tareas Proactivas.
- Medir nuevamente el *RPN* y replantear las acciones

2.5.1 Funciones del sistema.

La función que desarrolla el sistema es muy importante en el entendimiento del proceso entero de *FMECA*. Esta debe ser identificada de una manera concisa, exacta y fácil de entender. Para esto se recomienda el uso de un verbo con el fin de describir la función; por ejemplo: lubricar, posicionar, retener y soportar (STAMATIS, 1995,73).

La función principal se define como aquella que explica porqué es adquirido el equipo y la misión que debe cumplir¹³ dentro del proceso productivo, normalmente es la salida principal del sistema (producto del sistema). En la mayoría de las veces la función primaria es el verbo del nombre del equipo, por ejemplo en un compresor la función primaria es comprimir, en una licuadora licuar, en un transformador transformar energía, en una bomba es bombear, etc.

¹³ Y a la vez es la función principal que el usuario o propietario del sistema espera que cumpla.

Las funciones auxiliares, de apoyo logístico o secundario son actividades que le ayudan al sistema a cumplir su función primaria. Eventualmente el sistema o equipo puede funcionar sin ellas (aunque no es lo ideal), son aquellas otras funciones que el activo esta en capacidad de cumplir de forma adicional a la función primaria (MORA, 2005, 191).

2.5.1.1 Principal.

Recircular agua en un subsistema de bombeo cerrado sin dejar elevar la corriente por encima de 3.5 amperios y manteniendo un caudal mínimo de 17gpm¹⁴.

2.5.1.2 Secundarias.

- Mantener la presión del sistema dentro en un rango de 25 a 40 Psi.
- Encender y apagar todo el sistema en el momento de accionar un interruptor.
- Permitir la conservación del fluido dentro del sistema.
- Parar todo el funcionamiento al oprimir un interruptor de emergencia.
- Mantener una potencia mínima de 0.5KW.
- Restringir total o parcialmente el flujo de agua dentro del sistema.
- Interrumpir el bombeo en el sistema cuando la temperatura del motor alcanza 80°C.
- Mantener la temperatura del sistema esta por debajo de 70°C de temperatura
- Mantener un nivel bajo de vibraciones.

¹⁴ gpm. Galones por minuto.

- Mantener un nivel bajo de ruido.

2.5.2 Fallas funcionales reales y potenciales del sistema de bombeo.

Las fallas funcionales reales y potenciales para cada una de las funciones descritas (primaria y secundarias), se denotan con letras mayúsculas. La aplicación del procedimiento *FMECA* implica conocer de manera profunda todas las circunstancias y eventos que conllevan a la falla de función principal o secundaria del sistema, tanto para casos reales como potenciales. Se deben conocer todas las causas inmediatas, básicas y raíces de las diferentes fallas funcionales (MORA, 2005, 192) (PARRA, 1999,32).

Las fallas funcionales son ocurrencias no previsibles, que no permiten al activo alcanzar el estándar de ejecución esperado y traen como ocurrencia que el activo no pueda cumplir su función o la cumpla de forma ineficiente.

La inhabilidad puede ser definida tanto como conocida o como potencial. De todo lo que concierne al *FMECA*, su principal interés se centra en la identificación de fallas potenciales en término de defectos funcionales. En este punto el *FMECA* busca cumplir su misión de prevenir (HENAO, 2005,74) (PARRA, 1999,32).

2.5.2.1 Fallas funcionales reales y potenciales según las funciones descritas.

Las fallas funcionales primaria y secundaria son basadas en los límites de los equipos así como en los límites para los cuales es utilizado el sistema de bombeo.

Tabla 2 Fallas funcionales del subsistema de bombeo.

Tipo de Función	Código de la función	Descripción de la función	Item falla funcional	Código de la falla funcional	Descripción de la falla funcional
Primaria	0	Recircular agua en un sistema de bombeo cerrado sin dejar elevar la corriente por encima de 3.5 amperios y manteniendo un caudal mínimo de 80gpm	A	0-A	El agua no circula
			B	0-B	Se eleva la corriente por encima de 3.5 amperios
			C	0-C	El caudal entregado por el sistema es menor de 80gpm
			D	0-D	El sistema se apaga
Secundaria	1	Mantener la presión del sistema en un rango de 17 a 25 Psi	A	1-A	La presión del sistema esta por debajo de 17 Psi
			B	1-B	La presión del sistema esta por encima de 25 Psi
Secundaria	2	Encender y apagar todo el sistema en el momento de accionar un interruptor	A	2-A	El sistema no enciende al accionar el interruptor
			B	2-B	El sistema no apaga al accionar el interruptor
Secundaria	3	Permitir la conservación del fluido dentro del sistema	A	3-A	El nivel de agua disminuye
Secundaria	4	Parar todo el funcionamiento al oprimir un interruptor de emergencia	A	4-A	El sistema sigue funcionando al oprimir el interruptor de emergencia
Secundaria	5	Mantener una potencia mínima de 0.5KW	A	5-A	La potencia esta por debajo de 0.5KW
Secundaria	6	Restringir total o parcialmente el flujo de agua dentro del sistema	A	6-A	El agua fluye libremente, sin ninguna restricción
			B	6-B	Se conserva flujo en le sistema después de restringido totalmente
Secundaria	7	Interrumpir el bombeo en el sistema cuando la temperatura del motor alcanza 80°C	A	7-A	El motor se detiene antes de alcanzar la temperatura de 80 °C
			B	7-B	El motor no se detiene al alcanzar la temperatura de 80 °C
Secundaria	8	Mantener la temperatura del sistema por debajo de 70 °C	A	8-A	La temperatura del fluido esta por encima de 70 °C De temperatura
Secundaria	9	Mantener un nivel bajo de vibraciones	A	9-A	El equipo presenta vibraciones mayores a 56µm y 4.5m/s
Secundaria	10	Mantener un nivel bajo de ruido	A	10-A	El equipo tiene mas de 85 decibeles

2.5.3 Modos de Falla.

Los modos de falla son los que causan el estado de falla en el equipo o inciden indirectamente para que este evento ocurra. La definición de los modos de falla consiste en establecer todas las fallas factibles reales o potenciales, o similares en equipos idénticos o afines. Se deben listar todas las factibles, con el fin de que al llevar a cabo las operaciones de mantenimiento se eliminen o controlen mediante su reparación o mantenimiento.

Los modos de falla pueden ser físicos, de desgaste, humano, etc. Se debe trabajar estrictamente con causas raíces y no con síntomas o efectos, ni con causas básicas ni inmediatas ya que ellas no erradican el problema. Se presta más relevancia a la falla en sí y a su modo de falla que a los eventos o circunstancias anexas. La nomenclatura de los modos de falla se hace con números enteros (MORA, 2005,192).

El efecto o la consecuencia de falla se define como el impacto que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla sobre el ambiente, la seguridad humana y las operaciones (¿qué sucederá cuando ocurra un modo de falla?) (Cada modo de falla puede tener más de una consecuencia o efecto). Es así como el modo de falla es la descripción física de la manera en la cual la falla ocurre (LATINO, 1996,26).

Los modos de falla se pueden clasificar en:

- Falla Completa - Se pierde totalmente la funcionalidad del sistema o equipo.
- Falla Parcial - El sistema opera adecuadamente, pero con posibles restricciones.
- Falla Intermitente - La falla se presenta en forma discontinua en el tiempo, lo ideal es que falle permanentemente para evaluar sus posibles causas raíces.
- Falla con el tiempo - Sucede en elementos con el uso, el abuso, el desgaste, etc.
- Sobre desempeño de la función - El equipo se utiliza inadecuadamente por encima (o por debajo) de sus capacidades.

Las consecuencias de las fallas se miden mediante la evaluación del impacto de ellas sobre: la organización, sus componentes, las máquinas o sus componentes; la función principal de mantenimiento es atenuar o eliminar estas consecuencias mediante la utilización de las herramientas básicas o avanzadas, con las operaciones, las tácticas y la estrategia integral de mantenimiento.

Las consecuencias a que se da lugar en la ocurrencia de fallas mediante su modo, al actuar bajo una determinada falla funcional en una función específica, pueden ser clasificadas según su efecto, así:

- Pérdida de vidas humanas.
- Pérdidas materiales mayores.

- Daños parciales o totales de equipos.
- Pérdidas de producción o servicios.
- Daños parciales o permanentes en el medio ambiente.

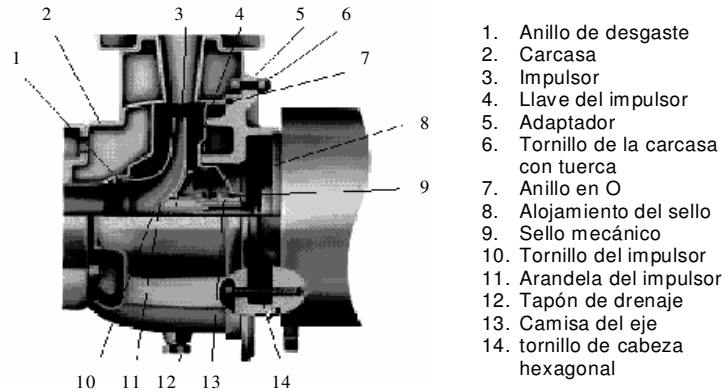
Según su categoría, se pueden organizar de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas. - Normalmente no inciden directamente pero pueden llegar a generar paradas serias y catastróficas. Generalmente están en los sistemas de protección sin seguridad inherente.
- Consecuencias ambientales y seguridad física y humana. - Normas, leyes, contaminación, violación, seguridad, muertes, accidentes fatales, etc.
- Consecuencias operacionales. - Pueden afectar calidad, seguridad, cantidad, atención al cliente, reprocesos, desperdicios, etc. además de la reparación.
- Consecuencias No Operacionales. - Solo implican el costo de la reparación (MORA, 2005, 193).

2.5.3.1 Modos de falla de una bomba centrífuga.

Una bomba centrífuga está compuesta básicamente por un elemento rotativo llamado rodete o impulsor, el cual se encuentra montado en el interior de una carcasa estacionaria (VELASQUEZ Y OTRO, 1992, 89).

Ilustración 12 Bomba centrífuga (accesorios de condición y regulación de flujo).



MCNAUGHTON, 1992, 123.

Tabla 3 Modos de falla de una bomba centrífuga.

TIPO DE FALLA	MODOS DE FALLA
Deformación	Eje de la bomba torcido
Separación	Impulsor dañado
Desgaste	Anillos de desgaste gastados
	Eje o camisa de eje gastados o rayados
	Fugas excesivas por las superficies sujetas a desgaste
	Cavitación
	Aireación
Desplazamiento	Ajuste incorrecto entre el eje de la bomba y el impulsor
	Cojinetes mal ajustados
	Bomba desalineada
	Impulsor desbalanceado
	Holgura excesiva entre el eje y la carcasa
	El sello mecánico ejerce excesiva presión contra el asiento
	El prensaestopas esta excéntrico en relación con el eje
	Acoplamiento fuera de balance
	El impulsor roza con los anillos de desgaste
	Soltura del eje
Obstrucción	Desalineación entre la bomba y su propulsor
	Ranura de aceite en el cojinete obstruida
	Válvula de pie semiobstruida
	Impulsor o carcasa de la bomba obstruidos
	Obstrucciones en las tuberías de succión o descarga
	Salientes o rebabas en la trayectoria del fluido
Otros	Mugre en los cojinetes
	Cojinetes deficientes
	Sentido incorrecto de rotación del impulsor
	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema

MCNAUGHTON, 1992, 124.

2.5.3.2 Modos de falla de un motor eléctrico.

Los modos de falla del motor se presentan principalmente en sus accesorios de conducción de energía.

Tabla 4 Modos de falla del motor eléctrico.

TIPO DE FALLA	MODO DE FALLA
Deformación	Eje torcido
Separación	Ruptura de las barras del motor
Desgaste	Cojinetes muy desgastados
Desplazamiento	Motor desalineado
	Acoplamiento fuera de balance
	Pesos de balanceo desplazados
	Excesivo juego axial
	Desbalanceo en el rotor
	Cojinetes sueltos en la superficie de montaje
	Ventilador roza con el blindaje
Pérdida de conducción	Fusibles fundidos
	Disparo de sobrecarga
	Estator en corto circuito
	Falla de potencia
	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor
	Capacitor del motor débil
	No hay excitación de campo magnético
Obstrucción	Ranura de aceite en el cojinete obstruida por suciedad
	Obstrucción en el ventilador del motor

MCNAUGHTON, 1992, 124.

2.5.3.3 Modos de falla más comunes en rodamientos.

Las causas más comunes de carga de los rodamientos son:

- Desbalanceo de rotores.
- Desalineamiento de acoplamientos.
- Distorsión de carcasa.

- Bombas centrífugas trabajando lejos de su caudal nominal o punto óptimo de eficiencia.
- Apriete inadecuado del rodamiento en el eje (ESTUPIÑAN, 2003).

Tabla 5 Modos de falla de los rodamientos.

TIPO DE FALLA	LUGAR DE LA FALLA
Deformación	Exfoliación
	Gripado
Corrosión	Corrosión
Desgaste	Abrasión
Separación	Exfoliación
	Gripado
	Agrietamiento por sobrecarga
Desplazamiento	Desequilibrios
	Juego excesivo
	Adhesión
	Aflojamiento
	Desalineación

MCNAUGHTON, 1992, 126.

2.5.3.4 Modos de falla del sistema de bombeo.

La tabla que se muestra a continuación contiene los modos de falla que se encuentran en el sistema de bombeo con su respectivo ítem del modo de falla, el código del modo de falla y la descripción del modo de falla.

Los modos de falla son listados con la nomenclatura propuesta por Luis Alberto Mora en su libro “Mantenimiento Estratégico para Empresas de Servicios o Industriales”, la cual permite una estructuración más rigurosa de los modos de falla con una nomenclatura de números enteros.

Tabla 6 Modos de fallas del sistema de bombeo.

Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	Código del modo de falla	Descripción del modo de falla
0-A-1	La tubería esta obstruida	2-A-2	Switch de emergencia activado
0-A-2	El motor esta apagado	2-B-1	Switch de encendido defectuoso
0-A-3	No hay agua en el sistema	2-B-2	Switch de emergencia activado
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	3-A-1	Filtración en el tanque
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	3-A-3	Evaporación excesiva
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	3-A-4	La granada esta obstruida
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito
0-A-13	La granada esta tapada	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja
0-A-14	Impulsor dañado	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación
0-B-1	Motor desalineado con la bomba	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios
0-B-2	Eje torcido del acople	5-A-6	No hay excitación del campo magnético
0-B-3	Impulsor desbalanceado	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente
0-B-4	Impulsor dañado	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente
0-B-5	Soltura del eje	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente
0-B-6	Cavitación	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas
0-B-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	6-B-2	La válvula de aforo esta mala
0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala
0-B-9	Eje torcido del motor	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	7-A-2	Falla mecánica
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	7-A-3	Falla de potencia
0-C-3	La tubería esta obstruida	7-A-4	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	7-A-5	Capacitor débil o en corto circuito
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	7-B-1	Falla mecánica
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	7-B-2	Estator en corto circuito
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	7-B-3	Fusibles fundidos
0-C-8	El motor esta apagado	7-B-4	El disparo de sobrecarga del motor esta malo
0-C-9	La granada esta obstruida	8-A-1	La válvula principal esta cerrada
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada
0-C-11	Cavitación	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70 °C temperatura
0-C-12	Impulsor dañado	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	9-A-2	Motor desalineado con la bomba
0-D-3	Trasductor de presión malo	9-A-3	El eje de acople esta torcido
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	9-A-4	Impulsor dañado
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	9-A-6	Rotor desbalanceado
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el liquido	9-A-8	Rodamientos defectuosos
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema
1-A-4	La granada esta obstruida	9-A-11	Lubricación defectuosa
1-A-5	Cavitación	9-A-12	Equipo mal anclado
1-A-6	Impulsor dañado	9-A-13	Cavitación
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	10-A-1	Rodamientos malos
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas
1-B-3	La tubería esta obstruida	10-A-3	Cavitación
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	10-A-6	Bomba pegada
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	10-A-7	Falta de lubricación
2-A-2	Switch de emergencia activado	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos
2-B-1	Switch de encendido defectuoso	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema

Tabla 7 Relación entre las fallas funcionales y los modos de falla del sistema de bombeo.

Tipo de Funcion	Codigo de la funcion	Descripcion de la funcion	Item falla funcional	Codigo de la falla funcional	Descripcion de la falla funcional	Item del modo de falla	Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla			
Primaria	0	Recircular agua en un sistema de bombeo cerrado sin dejar elevar la corriente por encima de 3.5 amperios y manteniendo un caudal mínimo de 80gpm	A	0-A	El agua no circula	1	0-A-1	La tubería esta obstruida			
						2	0-A-2	El motor esta apagado			
						3	0-A-3	No hay agua en el sistema			
						4	0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			
						5	0-A-5	La valvula principal esta cerrada			
						6	0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succion			
						7	0-A-7	La bomba esta trabajando en vacio			
						8	0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succion			
						9	0-A-9	Velocidad del sistema muy baja			
						10	0-A-10	Presión de vapor mayor que la presión de succión			
						11	0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			
						12	0-A-12	Motor dañado o bloqueado			
						13	0-A-13	La granada esta tapada			
						14	0-A-14	Impulsor dañado			
			B	0-B	Se eleva la corriente por encima de 3.5 amperios	1	0-B-1	Motor desalineado con la bomba			
						2	0-B-2	Eje torcido del acople			
						3	0-B-3	Impulsor desbalanceado			
						4	0-B-4	Impulsor dañado			
						5	0-B-5	Soltura del eje			
						6	0-B-6	Cavitacion			
						7	0-B-7	Obstruccion en las tuberías de succion o descarga			
						8	0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			
						9	0-B-9	Eje torcido del motor			
			C	0-C	El caudal entregado por el sistema es menor de 80gpm	1	0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia			
						2	0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío			
						3	0-C-3	La tubería esta obstruida			
						4	0-C-4	Velocidad del sistema muy baja			
						5	0-C-5	La valvula principal esta muy cerrada			
						6	0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			
						7	0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor			
						8	0-C-8	El motor esta apagado			
						9	0-C-9	La granada esta obstruida			
						10	0-C-10	Sentido incorrecto de rotación			
						11	0-C-11	Cavitación			
						12	0-C-12	Impulsor dañado			
			D	0-D	El sistema se apaga	1	0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor			
						2	0-D-2	Paro de emergencia defectuoso			
						3	0-D-3	Trasdutor de presión malo			
						4	0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente			
						5	0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			
						6	0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			
						7	0-D-7	Obstruccion en las tuberías de succion o descarga			
			Secundaria	1	Mantener la presión del sistema en un rango de 17 a 25 Psi	A	1-A	La presión del sistema esta por debajo de 17 Psi	1	1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el líquido
									2	1-A-2	Velocidad del sistema muy baja
									3	1-A-3	Sentido incorrecto de rotación
									4	1-A-4	La granada esta obstruida
									5	1-A-5	Cavitación
									6	1-A-6	Impulsor dañado
B	1-B	La presión del sistema esta por encima de 25 Psi			1	1-B-1	La valvula principal esta cerrada				
					2	1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba				
					3	1-B-3	La tubería esta obstruida				
					4	1-B-4	Velocidad del sistema muy baja				
					5	1-B-5	Sentido incorrecto de rotación				
					6	1-B-6	La valvula de contraflujo esta cerrada o restringida				

Tipo de Funcion	Codigo de la funcion	Descripcion de la funcion	Item falla funcional	Codigo de la falla funcional	Descripcion de la falla funcional	Item del modo de falla	Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla
Secundaria	2	Encender y apagar todo el sistema en el momento de accionar un interruptor	A	2-A	El sistema no enciende al accionar el interruptor	1	2-A-1	Switch de encendido defectuoso
			B	2-B	El sistema no apaga al accionar el interruptor	2	2-A-2	Switch de emergencia activado
Secundaria	3	Permitir la conservacion del fluido dentro del sistema	A	3-A	El nivel de agua disminuye	1	2-B-1	Switch de encendido defectuoso
						2	2-B-2	Switch de emergencia activado
						1	3-A-1	Filtracion en el tanque
						2	3-A-2	Filtracion en tuberia o accesorios
						3	3-A-3	Evaporacion excesiva
Secundaria	4	Parar todo el funcionamiento al oprimir un interruptor de emergencia	A	4-A	El sistema sigue funcionando a el oprimir el interruptor de emergencia	4	3-A-4	La granada esta obstruida
						5	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso
Secundaria	5	Mantener una potencia minima de 0.5KW	A	5-A	La potencia esta por debajo de 0.5KW	1	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso
						2	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado
						1	5-A-1	Caida de voltaje en la linea o bobinado del motor
						2	5-A-2	Capacitor debil o en corto circuito
						3	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja
						4	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación
Secundaria	6	Restringir total o parcial el flujo de agua dentro del sistema	A	6-A	El agua fluye libremente, sin ninguna restricción	5	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios
						6	5-A-6	No hay excitación del campo magnético
						1	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente
			B	6-B	Se conserva flujo en el sistema después de restringido totalmente	2	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente
						3	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente
						1	6-B-1	La válvula principal esta obstruida
Secundaria	7	Interrumpir el sistema cuando la temperatura del motor alcanza 80°C	A	7-A	El motor se detiene antes de alcanzar la temperatura de 80°C	2	6-B-2	La válvula de aforo esta mala
						3	6-B-3	La válvula de contraflujo esta mala
						1	7-A-1	Disparo de sobrecarga
			B	7-B	El motor no se detiene al alcanzar la temperatura de 80°C	4	7-A-2	Falla de potencia
						5	7-A-4	Caida de voltaje en la linea o bobinado del motor
						1	7-B-1	Capacitor debil o en corto circuito
Secundaria	8	La temperatura del sistema esta por encima de De temperatura	A	8-A	La temperatura del fluido de descarga esta por encima de 70°C De temperatura	2	7-B-2	Fusibles fundidos
						3	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo
						1	8-A-1	La válvula principal esta cerrada
						2	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada
Secundaria	9	Mantener un nivel bajo de vibraciones	A	9-A	El equipo presenta altas vibraciones	3	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura
						4	8-A-4	La válvula de contraflujo esta cerrada
						1	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacio
						2	9-A-2	Motor desalineado con la bomba
						3	9-A-3	El eje de acople esta torcido
						4	9-A-4	Impulsor dañado
						5	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas
						6	9-A-6	Rotor desequilibrado
						7	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecanica dentro de la bomba
						8	9-A-8	Rodamientos defectuosos
						9	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema
						10	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema
						11	9-A-11	Lubricación defectuosa
Secundaria	10	Mantener un nivel bajo de ruido	A	10-A	El equipo tiene mas de 95 decibeles	12	9-A-12	Equipo mal anclado
						13	9-A-13	cavitacion
						1	10-A-1	Rodamientos malos
						2	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas
						3	10-A-3	Aire en el sistema
						4	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje
						5	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema
						6	10-A-6	Bomba pegada
						7	10-A-7	Falta de lubricación
8	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos						
			9	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema			

2.5.4 Evaluación de las consecuencias de cada modo de falla con su falla y su función.

Los efectos de los modos de falla son los resultados de la falla sobre el sistema, diseño, procesos, o servicio. En esencia los efectos de las fallas tienen que ver con el cuestionamiento: ¿Qué pasaría si esto fallara? ¿Cuál o cuales serían las consecuencias de la falla? Se debe entender sin embargo que las fallas deben ser vistas desde dos puntos.

El primer punto de vista es local, en el cual la falla es aislada y no afecta nada más. El segundo punto de vista es global, en el cual la falla afecta otras funciones y/o componentes. Esta tiene un efecto dominante. Generalmente hablando la falla con efecto global es mucho más seria que una con efecto local (STAMATIS, 1995,78).

El efecto de la falla también define la severidad de una falla particular. En realidad, el efecto de la falla tiene relación directa con la severidad. Estos efectos de las fallas son importantes también porque nos permiten decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto que nivel de mantenimiento preventivo sería necesario (MOSLEH, 1998,34).

Una vez se establecen todas las funciones, sus fallas funcionales y sus correspondientes modos de fallas, se procede a calificar la severidad, la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección temprana de las fallas (MORA, 2005,193).

2.5.4.1 Severidad.

La severidad es un rateo que indica la seriedad del efecto del posible modo de falla sobre el sistema. La severidad siempre se aplica sobre los efectos de los modos de falla. En realidad hay una correlación directa entre efecto y severidad.

Por ejemplo, si el efecto es crítico, la severidad es alta; y por otro lado si el efecto no es crítico la severidad es baja (J.O@, 2001).

El cálculo de la Severidad se realiza en dos partes, una de ellas asigna unos valores probabilísticos a cada criterio y o otra se obtiene por análisis y discusión del GCF al utilizar las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

La calificación de la Severidad se realiza mediante el concurso de seis criterios:

- FO - Fallas Ocultas.
- SF - Impacto Seguridad Física.
- MA - Impacto Medio Ambiente.
- IC - Impacto en Imagen Corporativa.
- OR - Costos de Reparaciones o Mantenimientos.
- OC - Efectos en Clientes (MORA, 2005,1993)

Tabla 8 FO – Fallas Ocultas.

FO Fallos Ocultos	Calificación
No existen fallos ocultos que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla no sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generara fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla si sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionara fallas múltiples en el sistema	4

Tabla 9 SF – Impacto de Seguridad Física.

SF Seguridad Física	Calificación
No afecta personas ni equipos	0
Afecta a una persona y puede generar incapacidad de tipo temporal	1
Afecta de dos a 5 personas y puede generar incapacidad de tipo temporal	2
Afecta mas de 5 personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte a una o mas personas	4

Tabla 10 MA – Impacto Medio Ambiente.

MA Medio Ambiente	Calificación
No afecta el medio ambiente	0
Afecta el medio ambiente pero se puede controlar. No daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de 6 meses con un valor inferior a 1.000.000 pesos	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de 3 años con un valor inferior a 1.000.000 pesos	3
Afecta los recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en mas de 3 años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a 1.000.000 pesos	4

Tabla 11 IC – Impacto en Imagen Corporativa.

IC Imagen Corporativa	Calificación
No es relevante	0
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 250.000 pesos	2
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 250.000 y 500.000 pesos	3
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión mayor 500.000 pesos, Puede ser irreversible	4

Tabla 12 OR - Costos de Reparaciones o Mantenimientos.

OR Costos de Reparación	Calificación
Entre 1 y 50.000 Pesos	0
Entre 50.000 y 250.000 Pesos	1
Entre 250.000 y 500.000 Pesos	2
Entre 500.000 y 1.000.000 Pesos	3
Mayor a 1.000.000	4

Tabla 13 OC - Efectos en Clientes.

OC Efectos en clientes	Calificación
Entre 1 y 50.000 Pesos	0
Entre 50.000 y 250.000 Pesos	1
Entre 250.000 y 500.000 Pesos	2
Entre 500.000 y 1.000.000 Pesos	3
Mayor a 1.000.000	4

La ecuación que define la severidad esta compuesta por los seis criterios de severidad y las constantes de severidad (MORA, 2005,1993).

Ecuación 1 Ecuación de severidad.

$$\text{Severidad} = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + OR \times K_{OR} + OC \times K_{OC} = S$$

Cuyos valores de las constantes son:

$$K_{FO} = 0.05 \text{ ó } 5\%$$

$$K_{SF} = 0.20 \text{ ó } 20\%$$

$$K_{MA} = 0.10 \text{ ó } 10\%$$

$$K_{IC} = 0.30 \text{ ó } 30\%$$

$$K_{OR} = 0.30 \text{ ó } 30\%$$

$$K_{OC} = 0.05 \text{ ó } 5\%$$

La tabla que se muestra a continuación expone el cálculo de la severidad para cada uno de los modos de falla teniendo en cuenta las constantes ya descritas.

Tabla 14 Cálculo de la severidad para cada modo de falla.

Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	Calificacion de la Severidad					Valor Severidad	Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	Calificacion de la Severidad					Valor Severidad		
		FO	SF	MA	IC	OR				OC	FO	SF	MA	IC		OR	OC
0-A-1	La tubería esta obstruida	3	0	0	1	0	0	0.450	2-A-2	Switch de emergencia activado	1	0	0	0	1	0	0.350
0-A-2	El motor esta apagado	0	0	0	1	2	0	0.900	2-B-1	Switch de encendido defectuoso	1	0	0	0	1	0	0.350
0-A-3	No hay agua en el sistema	3	0	0	0	1	0	0.450	2-B-2	Switch de emergencia activado	1	0	0	0	1	0	0.350
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	3	0	0	2	1	0	1.050	3-A-1	Filtración en el tanque	3	0	0	2	1	0	1.050
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	2	0	0	0	0	0	0.100	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	1	0	0	1	1	0	0.650
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	3	0	0	0	1	0	0.450	3-A-3	Evaporación excesiva	3	0	0	0	1	0	0.450
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	2	0	0	0	1	0	0.400	3-A-4	La granada esta obstruida	3	0	0	1	0	0	0.450
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	1	0	0	0	1	0	0.350	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	2	0	0	0	1	0	0.400
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	1	0	0	0	0	0	0.050	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	1	0	0	0	1	0	0.350
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	1	0	0	0	0	0	0.050	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	1	0	0	0	1	0	0.350
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	1	0	0	1	1	0	0.650	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	1	0	0	0	0	0	0.050
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	2	0	0	0	2	0	0.700	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	1	0	0	0	1	0	0.350
0-A-13	La granada esta tapada	3	0	1	0	0	0	0.250	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	1	0	0	0	0	0	0.050
0-A-14	Impulsor dañado	1	0	0	1	1	0	0.650	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	1	0	0	0	0	0	0.050
0-B-1	Motor desalineado con la bomba	4	0	0	2	1	0	1.100	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	1	0	0	1	1	0	0.650
0-B-2	Eje torcido del acople	4	0	0	2	1	0	1.100	5-A-6	No hay excitación del campo magnético	1	0	0	0	0	0	0.050
0-B-3	Impulsor desbalanceado	3	0	0	1	1	0	0.750	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	3	0	0	2	1	0	1.050
0-B-4	Impulsor dañado	1	0	0	1	1	0	0.650	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente	3	0	0	2	1	0	1.050
0-B-5	Soltura del eje	2	0	0	0	0	0	0.100	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	3	0	0	2	1	0	1.050
0-B-6	Cavitación	1	0	0	0	1	0	0.350	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas	3	0	0	0	0	0	0.150
0-B-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	3	0	0	0	1	0	0.450	6-B-2	La válvula de aforo esta mala	3	0	0	2	1	0	1.050
0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	3	0	0	2	1	0	1.050	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	3	0	0	2	1	0	1.050
0-B-9	Eje torcido del motor	4	0	0	2	1	0	1.100	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	3	0	0	2	1	0	1.050
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	1	0	0	0	1	0	0.350	7-A-2	Falla de potencia	1	0	0	0	0	0	0.050
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	1	0	0	0	0	0	0.050	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	1	0	0	0	0	0	0.050
0-C-3	La tubería esta obstruida	3	0	0	1	0	0	0.450	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	1	0	0	0	1	0	0.350
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	1	0	0	0	0	0	0.050	7-B-1	Estator en corto circuito	1	0	0	0	1	0	0.350
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	2	0	0	0	0	0	0.100	7-B-2	Fusibles fundidos	1	0	0	1	1	0	0.650
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	1	0	0	1	1	0	0.650	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	3	0	0	2	1	0	1.050
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	3	0	0	2	1	0	1.050	8-A-1	La válvula principal esta cerrada	2	0	0	0	0	0	0.100
0-C-8	El motor esta apagado	0	0	0	1	2	0	0.900	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada	2	0	0	0	0	0	0.100
0-C-9	La granada esta obstruida	3	0	0	1	0	0	0.450	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura	3	0	0	1	1	0	0.750
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	1	0	0	0	0	0	0.050	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada	2	0	0	0	0	0	0.100
0-C-11	Cavitación	1	0	0	0	1	0	0.350	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío	2	0	0	0	1	0	0.400
0-C-12	Impulsor dañado	1	0	0	1	1	0	0.650	9-A-2	Motor desalineado con la bomba	4	0	0	2	1	0	1.100
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	2	0	0	1	1	0	0.700	9-A-3	El eje de acople esta torcido	4	0	0	2	1	0	1.100
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	1	0	0	0	1	0	0.350	9-A-4	Impulsor dañado	1	0	0	1	1	0	0.650
0-D-3	Trasdutor de presión malo	0	0	0	1	1	0	0.600	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	1	0	0	0	1	0	0.350
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	4	0	0	1	1	0	0.900	9-A-6	Rotor desbalanceado	4	0	0	2	1	0	1.100
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	3	0	0	2	1	0	1.050	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	4	0	0	1	1	0	0.900
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	1	0	0	1	1	0	0.650	9-A-8	Rodamientos defectuosos	2	0	0	0	1	0	0.400
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	3	0	0	1	0	0	0.450	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema	1	0	0	0	1	0	0.350
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el líquido	1	0	0	0	1	0	0.350	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema	1	0	0	0	1	0	0.350
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	1	0	0	0	0	0	0.050	9-A-11	Lubricación defectuosa	2	0	0	0	1	0	0.400
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	1	0	0	0	0	0	0.050	9-A-12	Equipo mal anclado	2	0	0	0	1	0	0.400
1-A-4	La granada esta obstruida	3	0	0	1	0	0	0.450	9-A-13	Cavitación	1	0	0	0	1	0	0.350
1-A-5	Cavitación	1	0	0	0	0	0	0.350	10-A-1	Rodamientos malos	2	0	0	0	1	0	0.400
1-A-6	Impulsor dañado	1	0	0	1	1	0	0.650	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	1	0	0	0	1	0	0.350
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	2	0	0	0	0	0	0.100	10-A-3	Aire en el sistema	1	0	0	0	1	0	0.350
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	1	0	0	1	1	0	0.650	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje	1	0	0	0	1	0	0.350
1-B-3	La tubería esta obstruida	3	0	0	1	0	0	0.450	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema	1	0	0	0	1	0	0.350
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	1	0	0	0	0	0	0.050	10-A-6	Bomba pegada	3	0	0	0	2	0	0.750
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	1	0	0	0	0	0	0.050	10-A-7	Falta de lubricación	2	0	0	0	1	0	0.400
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	2	0	0	0	0	0	0.100	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	3	0	0	2	1	0	1.050
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	1	0	0	0	1	0	0.350	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema	3	0	0	1	0	0	0.450

2.5.5 Medición de *RPN* Mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detención.

El número de prioridad del riesgo (*RPN*) es un producto matemático de la seriedad de los efectos (severidad), de la probabilidad de que una causa creará el incidente asociado a esos efectos (ocurrencia), y de una capacidad de detectar el incidente antes de que llegue al cliente (detección) (HENAO, 2005, 108).

El *RPN* se utiliza para ayudar a identificar los riesgos más serios, conduciendo a la acción correctiva. El examen de la ecuación revela que el método de *RPN* para evaluar el riesgo es una sobreestimación. La severidad, la ocurrencia, y la detección no se manifiestan igualmente una con respecto a la otra en términos del riesgo (J.O. @, 2001).

EL resultado del *RPN* define la prioridad de la falla, y por sí mismo carece de valor o significado. Éste sólo se usa para definir las potenciales deficiencias del sistema. El *RPN* debe ser revisado luego de emprender cualquier acción sobre el sistema y que afecte la severidad o la ocurrencia, o la detección; no importa cuántas veces sea necesario hacerlo hasta que éste cubra toda la información relevante y pertinente a la acción tomada (HENAO, 2005, 109).

El valor del *RPN* se calcula por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 2 Cálculo *RPN*.

$$RPN = Severidad \times Posibilidad \ de \ Ocurrencia \times Probabilidad \ de \ Detección$$

$$RPN = S \times O \times D$$

El cálculo de severidad que se realiza en la tabla 14, además de los valores de posibilidad de Ocurrencia y probabilidad de Detección, que se obtienen mediante los criterios mostrados en las dos tablas que se muestran a continuación, se

logran por un análisis de acuerdo con las circunstancias propias de la falla y el equipo en cuestión.

Tabla 15 Tabla de posibilidad de ocurrencia.

Ocurrencia	Calificación
Frecuente - Una falla en un mes	4
Ocasional - Una falla en un año	3
Remota - Una falla en cinco años	2
Poco probable - Una falla en veinte años	1

Tabla 16 Tabla de probabilidad de detección.

Detección	Calificación
Nula - No se puede detectar una causa potencial / mecanismo y modo de fallo subsecuente	4
Baja - Baja probabilidad para detectar fallas potenciales / mecanismo y modo de fallo subsecuente	3
Media - Media probabilidad para detectar fallas potenciales / mecanismo y modo de fallo subsecuente	2
Seguro - Siempre se detectarían causas potenciales / mecanismo y modo de fallo subsecuente	1

Luego que se analiza la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección en cada uno de los modos de falla del sistema de bombeo, se procede a calcular el valor del *RPN* utilizando la ecuación 2, cuyos valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 17 Calculo del RPN.

Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	RPN				Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	RPN			
		S	O	D	Valor RPN			S	O	D	Valor RPN
0-A-1	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	2-A-2	Switch de emergencia activado	0.350	3	1	1.05
0-A-2	El motor esta apagado	0.900	4	1	3.6	2-B-1	Switch de encendido defectuoso	0.350	3	1	1.05
0-A-3	No hay agua en el sistema	0.450	3	2	2.7	2-B-2	Switch de emergencia activado	0.350	3	1	1.05
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	3-A-1	Filtración en el tanque	1.050	2	3	6.3
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	0.100	4	1	0.4	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	0.650	3	2	3.9
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	0.450	3	2	2.7	3-A-3	Evaporación excesiva	0.450	2	3	2.7
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	0.400	3	2	2.4	3-A-4	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	0.350	3	2	2.1	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	0.400	3	3	3.6
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	0.350	3	1	1.05
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.050	3	3	0.45	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	0.350	3	1	1.05
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	3	2	3.9	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.050	2	2	0.2
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	0.700	3	2	4.2	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	0.350	2	2	1.4
0-A-13	La granada esta tapada	0.250	2	2	1	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3
0-A-14	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05
0-B-1	Motor desalineado con la bomba	1.100	4	3	13.2	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	0.650	3	2	3.9
0-B-2	Eje torcido del acople	1.100	4	3	13.2	5-A-6	No hay excitación del campo magnético	0.050	2	2	0.2
0-B-3	Impulsor desbalanceado	0.750	3	2	4.5	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2
0-B-4	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2
0-B-5	Soltura del eje	0.100	3	1	0.3	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2
0-B-6	Cavitación	0.350	3	2	2.1	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas	0.150	3	2	0.9
0-B-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	0.450	3	1	1.35	6-B-2	La válvula de aforo esta mala	1.050	3	2	6.3
0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	1.050	3	2	6.3
0-B-9	Eje torcido del motor	1.100	4	3	13.2	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	1.050	3	3	9.45
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	0.350	3	2	2.1	7-A-2	Falla de potencia	0.050	3	2	0.3
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.050	3	2	0.3	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.050	2	2	0.2
0-C-3	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	0.350	2	2	1.4
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	7-B-1	Estator en corto circuito	0.350	2	2	1.4
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	0.100	4	1	0.4	7-B-2	Fusibles fundidos	0.650	2	2	2.6
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	1.050	3	3	9.45
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	1.050	3	2	6.3	8-A-1	La válvula principal esta cerrada	0.100	4	1	0.4
0-C-8	El motor esta apagado	0.900	4	1	3.6	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada	0.100	4	1	0.4
0-C-9	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura	0.750	3	2	4.5
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada	0.100	4	1	0.4
0-C-11	Cavitación	0.350	3	2	2.1	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío	0.400	3	2	2.4
0-C-12	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	9-A-2	Motor desalineado con la bomba	1.100	4	3	13.2
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	0.700	3	2	4.2	9-A-3	El eje de acople esta torcido	1.100	4	3	13.2
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	0.350	3	1	1.05	9-A-4	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9
0-D-3	Trasdutor de presión malo	0.600	3	2	3.6	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	0.350	2	2	1.4
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	0.800	3	3	7.2	9-A-6	Rotor desbalanceado	1.100	1	2	2.2
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	0.800	3	3	7.2
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	9-A-8	Rodamientos defectuosos	0.400	3	3	3.6
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	0.450	3	1	1.35	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema	0.350	3	2	2.1
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el liquido	0.350	3	2	2.1	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema	0.350	2	2	1.4
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	9-A-11	Lubricación defectuosa	0.400	4	3	4.8
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	9-A-12	Equipo mal anclado	0.400	4	3	4.8
1-A-4	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	9-A-13	Cavitación	0.350	3	2	2.1
1-A-5	Cavitación	0.350	3	2	2.1	10-A-1	Rodamientos malos	0.400	4	3	4.8
1-A-6	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	0.350	2	2	1.4
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	0.100	4	1	0.4	10-A-3	Aire en el sistema	0.350	3	2	2.1
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje	0.350	2	2	1.4
1-B-3	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema	0.350	3	2	2.1
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	10-A-6	Bomba pegada	0.750	3	2	4.5
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	10-A-7	Falta de lubricación	0.400	4	3	4.8
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	0.100	4	1	0.4	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	1.050	3	2	6.3
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	0.350	3	1	1.05	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema	0.450	3	1	1.35

2.5.6 Valoración cualitativa del riesgo.

La valoración del riesgo en el *FMECA* pretende jerarquizar y clasificar los modos de falla presentados en el sistema según sus efectos y consecuencias. Para lograr esto el riesgo se modela mediante una matriz en donde se exponen en los ejes las probabilidades de ocurrencia, severidad y detección de cada una de las fallas que ocurren en el sistema de bombeo.

Los valores de la severidad en cada uno de los modos de falla se debe escalar por motivos de visualización en la matriz de riesgos, el rango de valores entre los cuales queda el valor de la severidad es entre 1 y 4. La ecuación mediante la cual se realiza el escalamiento se muestra a continuación:

Ecuación 3 Escalamiento de los valores de severidad.

$$S = (S * 3 / \max(S)) + 1$$

El mayor valor de severidad para este primer análisis *FMECA* es de 13.2, por lo tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

Ecuación 4 Escalamiento de los valores de severidad del primer análisis *FMECA*.

$$S = 0,2273 * S + 1$$

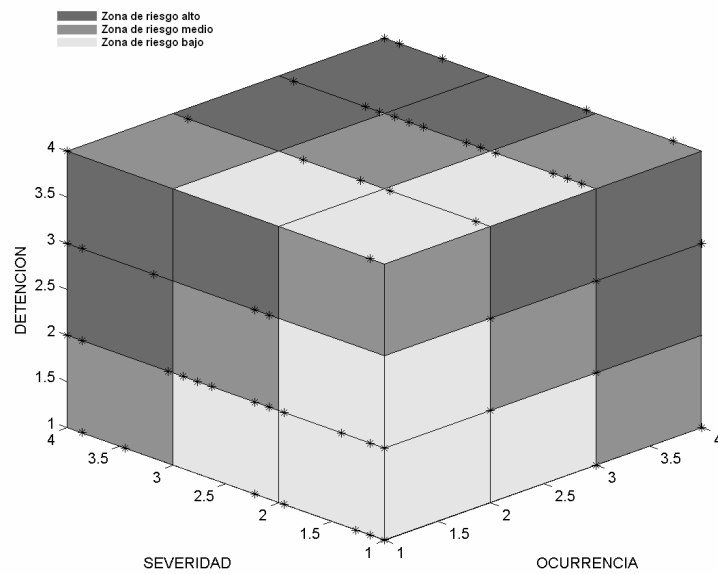
El objetivo final de la valoración cualitativa es determinar los niveles de riesgo del sistema.

Tabla 18 Valores de la severidad escalonados.

Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	RPN			Severidad escalonada	Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	RPN			Severidad escalonada		
		S	O	D				Valor RPN	S	O		D	Valor RPN
0-A-1	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	2.23	2-A-2	Switch de emergencia activado	0.350	3	1	1.05	1.95
0-A-2	El motor esta apagado	0.900	4	1	3.6	3.45	2-B-1	Switch de encendido defectuoso	0.350	3	1	1.05	1.95
0-A-3	No hay agua en el sistema	0.450	3	2	2.7	2.23	2-B-2	Switch de emergencia activado	0.350	3	1	1.05	1.95
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	3.86	3-A-1	Filtración en el tanque	1.050	2	3	6.3	3.86
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	0.100	4	1	0.4	1.27	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	0.650	3	2	3.9	2.77
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	0.450	3	2	2.7	2.23	3-A-3	Evaporación excesiva	0.450	2	3	2.7	2.23
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	0.400	3	2	2.4	2.09	3-A-4	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	2.23
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	0.350	3	2	2.1	1.95	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	0.400	3	3	3.6	2.09
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	1.14	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	0.350	3	1	1.05	1.95
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.050	3	3	0.45	1.14	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	0.350	3	1	1.05	1.95
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	3	2	3.9	2.77	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.050	2	2	0.2	1.14
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	0.700	3	2	4.2	2.91	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	0.350	2	2	1.4	1.95
0-A-13	La granada esta tapada	0.250	2	2	1	1.68	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	1.14
0-A-14	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	2.77	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	1.14
0-B-1	Motor desalineado con la bomba	1.100	4	3	13.2	4.00	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	0.650	3	2	3.9	2.77
0-B-2	Eje torcido del acople	1.100	4	3	13.2	4.00	5-A-6	No hay excitación del campo magnético	0.050	2	2	0.2	1.14
0-B-3	Impulsor desbalanceado	0.750	3	2	4.5	3.05	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2	3.86
0-B-4	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	2.77	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2	3.86
0-B-5	Soltura del eje	0.100	3	1	0.3	1.27	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2	3.86
0-B-6	Cavitación	0.350	3	2	2.1	1.95	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas	0.150	3	2	0.9	1.41
0-B-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	0.450	3	1	1.35	2.23	6-B-2	La válvula de aforo esta mala	1.050	3	2	6.3	3.86
0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	3.86	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	1.050	3	2	6.3	3.86
0-B-9	Eje torcido del motor	1.100	4	3	13.2	4.00	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	1.050	3	3	9.45	3.86
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	0.350	3	2	2.1	1.95	7-A-2	Falla de potencia	0.050	3	2	0.3	1.14
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.050	3	2	0.3	1.14	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.050	2	2	0.2	1.14
0-C-3	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	2.23	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	0.350	2	2	1.4	1.95
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	1.14	7-B-1	Estator en corto circuito	0.350	2	2	1.4	1.95
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	0.100	4	1	0.4	1.27	7-B-2	Fusibles fundidos	0.650	2	2	2.6	2.77
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	2.77	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	1.050	3	3	9.45	3.86
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	1.050	3	2	6.3	3.86	8-A-1	La válvula principal esta cerrada	0.100	4	1	0.4	1.27
0-C-8	El motor esta apagado	0.900	4	1	3.6	3.45	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada	0.100	4	1	0.4	1.27
0-C-9	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	2.23	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura	0.750	3	2	4.5	3.05
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	1.14	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada	0.100	4	1	0.4	1.27
0-C-11	Cavitación	0.350	3	2	2.1	1.95	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío	0.400	3	2	2.4	2.09
0-C-12	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	2.77	9-A-2	Motor desalineado con la bomba	1.100	4	3	13.2	4.00
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	0.700	3	2	4.2	2.91	9-A-3	El eje de acople esta torcido	1.100	4	3	13.2	4.00
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	0.350	3	1	1.05	1.95	9-A-4	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	2.77
0-D-3	Trasdutor de presión malo	0.600	3	2	3.6	2.64	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	0.350	2	2	1.4	1.95
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	0.800	3	3	7.2	3.18	9-A-6	Rotor desbalanceado	1.100	1	2	2.2	4.00
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	3.86	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	0.800	3	3	7.2	3.18
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	2.77	9-A-8	Rodamientos defectuosos	0.400	3	3	3.6	2.09
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	0.450	3	1	1.35	2.23	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema	0.350	3	2	2.1	1.95
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el líquido	0.350	3	2	2.1	1.95	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema	0.350	2	2	1.4	1.95
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	1.14	9-A-11	Lubricación defectuosa	0.400	4	3	4.8	2.09
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	1.14	9-A-12	Equipo mal anclado	0.400	4	3	4.8	2.09
1-A-4	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	2.23	9-A-13	Cavitación	0.350	3	2	2.1	1.95
1-A-5	Cavitación	0.350	3	2	2.1	1.95	10-A-1	Rodamientos malos	0.400	4	3	4.8	2.09
1-A-6	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	2.77	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	0.350	2	2	1.4	1.95
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	0.100	4	1	0.4	1.27	10-A-3	Aire en el sistema	0.350	3	2	2.1	1.95
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	2.77	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje	0.350	2	2	1.4	1.95
1-B-3	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	2.23	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema	0.350	3	2	2.1	1.95
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	1.14	10-A-6	Bomba pegada	0.750	3	2	4.5	3.05
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	1.14	10-A-7	Falta de lubricación	0.400	4	3	4.8	2.09
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	0.100	4	1	0.4	1.27	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	1.050	3	2	6.3	3.86
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	0.350	3	1	1.05	1.95	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema	0.450	3	1	1.35	2.23

La elaboración de la matriz de riesgo se realiza en un programa en el Software MATLAB 6.5¹⁵, el cual se muestra en los anexos. Este programa permite visualizar cada uno de los modos de falla en 3 caras de un cubo, obteniendo como resultado un volumen de riesgo del sistema de bombeo basado en el procedimiento FMECA.

Ilustración 13 Volumen de riesgo para el sistema de bombeo.



Luego de realizar el volumen de riesgo para el sistema de bombeo se procede a jerarquizar los modos de falla según el valor del *RPN* obtenido; esta jerarquización se realiza de la siguiente manera. Como se puede observar en la tabla 6 los modos de falla encontrados en el sistema de bombeo son 112. El valor de jerarquización aumenta a medida que aumenta el valor de *RPN*. Es por esto que el mayor valor de *RPN* tiene la jerarquización 112 y el menor valor la jerarquización 1.

¹⁵ MATLAB 6.5 – Software de análisis numérico para manejo de vectores y matrices. Bajo Licencia de la universidad EAFIT.

Tabla 19 Jerarquización de los modos de falla según su valor de RPN.

Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	RPN	Jerarquización de ejecución de las tareas	Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	RPN	Jerarquización de ejecución de las tareas
		Valor RPN				Valor RPN	
0-A-1	La tubería esta obstruida	1.35	73	2-A-2	Switch de emergencia activado	1.05	81
0-A-2	El motor esta apagado	3.6	40	2-B-1	Switch de encendido defectuoso	1.05	82
0-A-3	No hay agua en el sistema	2.7	43	2-B-2	Switch de emergencia activado	1.05	83
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6.3	10	3-A-1	Filtración en el tanque	6.3	14
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	0.4	89	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	3.9	35
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	2.7	44	3-A-3	Evaporación excesiva	2.7	47
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	2.4	53	3-A-4	La granada esta obstruida	2.7	48
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	2.1	56	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	3.6	38
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	0.3	96	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	1.05	84
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.45	88	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	1.05	85
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	3.9	30	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.2	104
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	4.2	28	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	1.4	66
0-A-13	La granada esta tapada	1	86	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	0.3	102
0-A-14	Impulsor dañado	3.9	31	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	0.05	110
0-B-1	Motor desalineado con la bomba	13.2	1	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	3.9	36
0-B-2	Eje torcido del acople	13.2	2	5-A-6	No hay excitación del campo magnético	0.2	105
0-B-3	Impulsor desbalanceado	4.5	22	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	4.2	25
0-B-4	Impulsor dañado	3.9	32	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente	4.2	26
0-B-5	Soltura del eje	0.3	97	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	4.2	27
0-B-6	Cavitación	2.1	57	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas	0.9	87
0-B-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	1.35	74	6-B-2	La válvula de aforo esta mala	6.3	15
0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6.3	11	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	6.3	16
0-B-9	Eje torcido del motor	13.2	3	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	9.45	6
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	2.1	58	7-A-2	Falla de potencia	0.3	103
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.3	98	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.2	106
0-C-3	La tubería esta obstruida	1.35	75	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	1.4	67
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	0.3	99	7-B-1	Estatador en corto circuito	1.4	68
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	0.4	90	7-B-2	Fusibles fundidos	2.6	52
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	2.6	49	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	9.45	7
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	6.3	12	8-A-1	La válvula principal esta cerrada	0.4	93
0-C-8	El motor esta apagado	3.6	41	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada	0.4	94
0-C-9	La granada esta obstruida	2.7	45	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura	4.5	23
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	0.05	107	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada	0.4	95
0-C-11	Cavitación	2.1	59	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío	2.4	54
0-C-12	Impulsor dañado	3.9	33	9-A-2	Motor desalineado con la bomba	13.2	4
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	4.2	29	9-A-3	El eje de acople esta torcido	13.2	5
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	1.05	79	9-A-4	Impulsor dañado	3.9	37
0-D-3	Trasdutor de presión malo	3.6	42	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	1.4	69
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	7.2	8	9-A-6	Rotor desbalanceado	2.2	55
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6.3	13	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	7.2	9
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	2.6	50	9-A-8	Rodamientos defectuosos	3.6	39
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	1.35	76	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema	2.1	62
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el líquido	2.1	60	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema	1.4	70
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	0.3	100	9-A-11	Lubricación defectuosa	4.8	18
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	0.05	108	9-A-12	Equipo mal anclado	4.8	19
1-A-4	La granada esta obstruida	2.7	46	9-A-13	Cavitación	2.1	63
1-A-5	Cavitación	2.1	61	10-A-1	Rodamientos malos	4.8	20
1-A-6	Impulsor dañado	3.9	34	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	1.4	71
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	0.4	91	10-A-3	Aire en el sistema	2.1	64
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	2.6	51	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje	1.4	72
1-B-3	La tubería esta obstruida	1.35	77	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema	2.1	65
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	0.3	101	10-A-6	Bomba pegada	4.5	24
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	0.05	109	10-A-7	Falta de lubricación	4.8	21
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	0.4	92	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	6.3	17
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	1.05	80	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema	1.35	78

2.5.7 Tareas para eliminar modos de fallas.

Las tareas utilizadas para la eliminación de los modos de falla del sistema de bombeo son las tareas correctivas y planeadas (preventivas, predictivas y modificativas).

2.5.7.1 Tareas correctivas.

Las tareas de mantenimiento correctivo son las tareas que se realizan con intención de recuperar la funcionalidad del elemento o sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren.

2.5.7.2 Tareas modificativas.

Las acciones modificativas permiten corregir cualquier defecto de diseño o montaje, calidad de materiales, métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier otra falla característica de esta fase.

2.5.7.3 Tareas preventivas.

Las acciones preventivas permiten disminuir en el sistema el estado de las fallas, que presentan el inconveniente de que cuando el elemento es sustituido o ajustado funcionalmente, se pierda cierta cantidad de vida útil ya que no alcanza su estado de falla o desarrollo completo. Es importante recordar que el propio nombre de la acción establece su condición, que se pueda prevenir la falla, y sobre todo que se pueda planear.

2.5.7.4 Modos de falla eliminados por las tareas predictivas.

Las acciones predictivas en los sistemas se usan cuando el comportamiento de las fallas empieza a ser predecible, igualmente cuando la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa apresuradamente con el fin de tipificar el comportamiento futuro de los elementos para conocer su verdadera vida útil en tiempo presente.

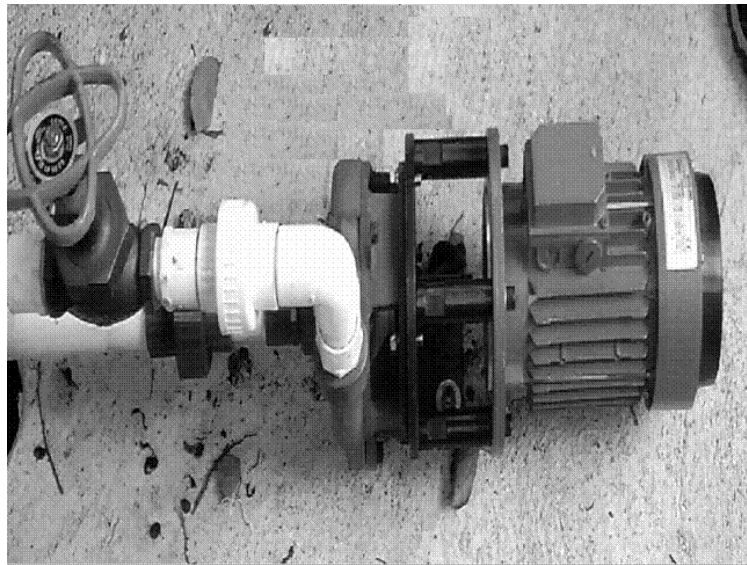
Tabla 20 Acciones de mantenimiento del sistema de bombeo.

Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	Tipo de tarea a realizar				Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	Tipo de tarea a realizar			
		Correctivas	Modificativas	Preventivas	Predictivas			Correctivas	Modificativas	Preventivas	Predictivas
0-A-1	La tubería esta obstruida			x		2-A-2	Switch de emergencia activado	x			
0-A-2	El motor esta apagado	x				2-B-1	Switch de encendido defectuoso	x			
0-A-3	No hay agua en el sistema			x		2-B-2	Switch de emergencia activado	x			
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			x		3-A-1	Filtración en el tanque			x	
0-A-5	La válvula principal esta cerrada			x		3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	x		x	x
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión		x			3-A-3	Evaporación excesiva			x	
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío		x			3-A-4	La granada esta obstruida			x	
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión			x		3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	x		x	
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja			x		4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	x			
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío		x			4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	x			
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor			x	
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	x		x		5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	x			x
0-A-13	La granada esta tapada			x		5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	x			
0-A-14	Impulsor dañado	x		x	x	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	x			
0-B-1	Motor desalineado con la bomba		x	x		5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	x		x	
0-B-2	Eje torcido del acople	x	x			5-A-6	No hay excitación del campo magnético	x		x	
0-B-3	Impulsor desbalanceado			x		6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	x		x	
0-B-4	Impulsor dañado	x		x	x	6-A-2	La válvula de contra flujo no funciona correctamente	x		x	
0-B-5	Soltura del eje			x		6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	x		x	
0-B-6	Cavitación			x		6-B-1	La válvula principal esta obstruida			x	
0-B-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga			x		6-B-2	La válvula de aforo esta mala	x			
0-B-8	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			x		6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	x			
0-B-9	Eje torcido del motor	x	x			7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	x			
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	x	x			7-A-2	Falla de potencia			x	x
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío		x			7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor			x	
0-C-3	La tubería esta obstruida			x	x	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	x			
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja			x		7-B-1	Estar en corto circuito	x			
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	x				7-B-2	Fusibles fundidos	x			
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	x		x	
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor			x		8-A-1	La válvula principal esta cerrada			x	
0-C-8	El motor esta apagado	x				8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada			x	
0-C-9	La granada esta obstruida			x		8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura			x	
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	x				8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada			x	
0-C-11	Cavitación			x		9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío			x	
0-C-12	Impulsor dañado	x		x	x	9-A-2	Motor desalineado con la bomba	x		x	
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor		x	x		9-A-3	El eje de acople esta torcido	x	x		
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	x				9-A-4	Impulsor dañado	x		x	x
0-D-3	Trasdutor de presión malo	x				9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas				x
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente			x	x	9-A-6	Rotor desbalanceado	x			
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			x		9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	x		x	x
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		9-A-8	Rodamientos defectuosos			x	x
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga			x		9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema			x	
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el liquido			x		9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema			x	
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja			x		9-A-11	Lubricación defectuosa	x		x	
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	x				9-A-12	Equipo mal anclado	x			
1-A-4	La granada esta obstruida			x		9-A-13	cavitación			x	
1-A-5	Cavitación			x		10-A-1	Rodamientos malos	x			
1-A-6	Impulsor dañado	x		x	x	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas				x
1-B-1	La válvula principal esta cerrada			x		10-A-3	Aire en el sistema			x	
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		10-A-4	Ventilador roza con el blindaje				x
1-B-3	La tubería esta obstruida			x		10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema			x	
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja			x		10-A-6	Bomba pegada			x	
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación			x		10-A-7	Falta de lubricación			x	
1-B-6	La válvula de contra flujo esta cerrada			x		10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	x		x	
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	x				10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema			x	

2.6 ACCIONES MODIFICATIVAS REALIZADAS EN EL SISTEMA DE BOMBEO

Las acciones modificativas llevadas a cabo en el sistema de bombeo son el resultado del análisis *FMECA*. El sistema de acople fue sometido a un rediseño, así como el eje del motor, la carcasa de la bomba y el motor. Estos rediseño se comparan con el sistema anterior.

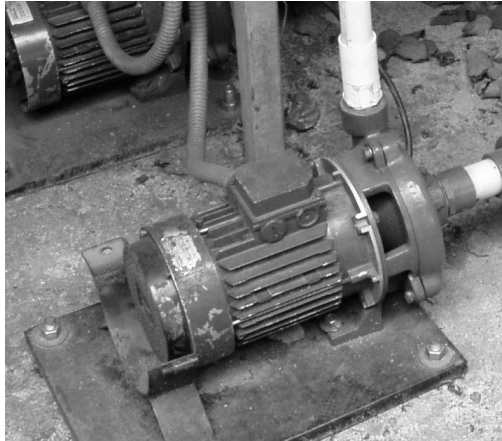
Ilustración 14 Sistema de bombeo con acople.



MORA Y OTROS, 2005, 87.

Este sistema no garantiza rigidez y deteriora el sello de la bomba así como el eje del motor. Los modos de falla a los cuales se asocia este acople son desalineación del motor y la bomba, eje del acople torcido y acople desalineado.

Ilustración 15 Sistema de bombeo actual.



Este sistema permite rigidez y un desgaste normal del eje del motor y del sello mecánico de la bomba. Con este sistema se eliminan los modos de falla anteriormente mencionados.

2.7 ACCIONES MODIFICATIVAS REALIZADAS POR COMPONENTE EN EL SISTEMA DE BOMBEO

Las acciones modificativas permiten un rediseño en los componentes que antes estaban involucrados en el sistema de acople rígido que tenía el sistema de bombeo.

2.7.1 Acciones modificativas en el eje del motor y el acople del sistema.

Debido a las continuas fallas presentadas por el sistema de acople rígido del motor con la bomba, así como la pérdida de las funciones debido al diseño anterior, se replantea el sistema de acople proponiendo un rediseño. Para lograr esto se proponen unas modificaciones al eje del motor que consisten en eliminar por completo el acople rígido, adaptando directamente al motor con la bomba mediante una extensión de dicho eje.

La solución para realizar un acople directo es realizar una inserción macho hembra al eje del motor para alargarlo y acoplarlo al impulsor de la bomba, permitiendo rigidez en el sistema y el normal funcionamiento y desgaste de los elementos afectados con la disposición anterior.

Los modos de falla eliminados o para los cuales disminuye su valor de ocurrencia por esta acción modificativa son.

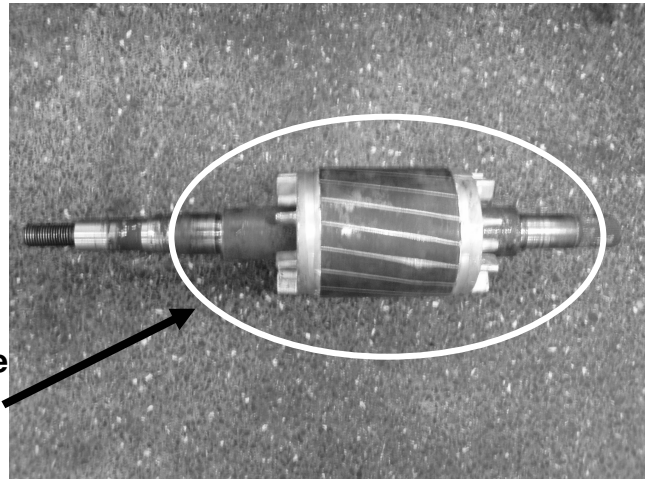
Tabla 21 Modos de falla eliminados o que disminuye su ocurrencia debido a las acciones modificativas propuestas.

Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	Condición
0-B-1	Motor desalineado con la bomba	Eliminado
0-B-2	Eje torcido del acople	Eliminado
0-B-9	Eje torcido del motor	Eliminado
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	Disminuye
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	Disminuye
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	Disminuye
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	Disminuye
3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	Disminuye
7-A-2	Falla de potencia	Disminuye
9-A-2	Motor desalineado con la bomba	Eliminado
9-A-3	El eje de acople esta torcido	Eliminado
10-A-6	Bomba pegada	Disminuye

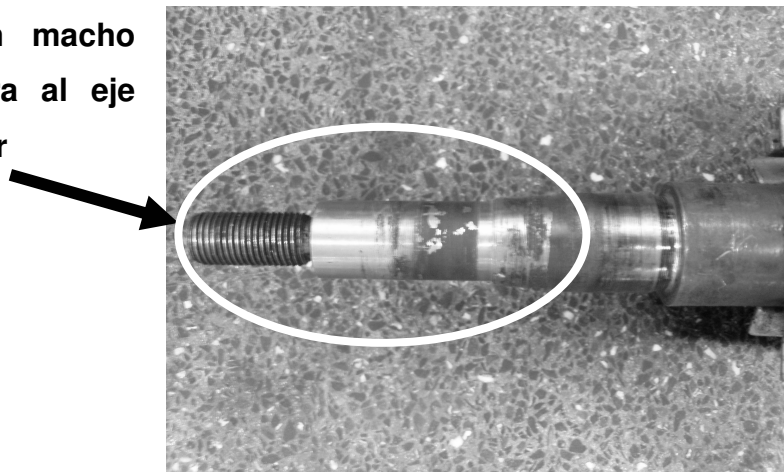
Ilustración 16 Comparación de los sistemas de acople y su modificación.



Longitud del eje
sin inserción



Inserción macho
– hembra al eje
del motor

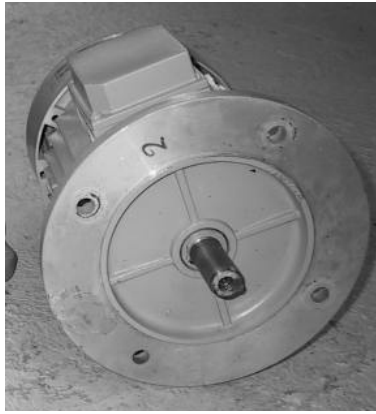


Los anexos muestran las partes modificadas con sus respectivos planos.

2.7.2 Acciones modificativas a la carcasa del motor.

La modificación consiste en realizar un corte concéntrico a la carcasa del motor para que ésta quede del mismo diámetro exterior de la carcasa de la bomba y permita un sistema de sujeción entre ambos que sea rígido y estable; igualmente se realiza un refrentado a la parte exterior de la carcasa del motor para disminuir el espesor del área de contacto con la bomba.

Ilustración 17 Modificación en la carcasa del motor.



Antes

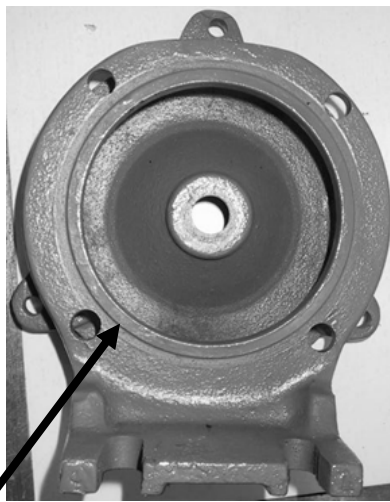


Después

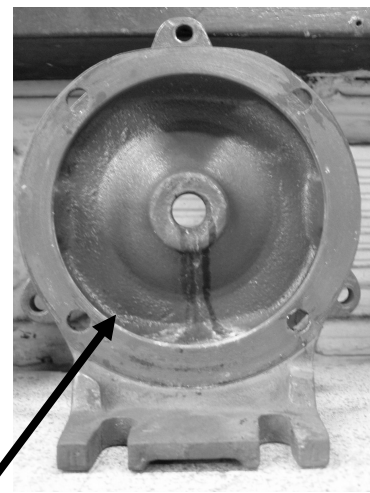
2.7.3 Acciones modificativas a la carcasa de la bomba.

En este elemento del sistema se realizan modificaciones en su carcasa que permiten un acople directo con la carcasa del motor. Para lograrlo se realiza un refrentado en su cara externa y una reducción en el diámetro interno para que acople directamente con la carcasa externa del motor.

Ilustración 18 Modificación en la carcasa de la bomba.



Parte de la pieza refrentada



Reducción en el diámetro interno

2.8 RECALCULO DEL *RPN*

En este numeral se muestra el recálculo del *RPN* mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección, para el sistema de bombeo después de aplicar las tareas correctivas encontradas en el numeral 2.6

El análisis que se desarrolla conserva la misma función principal y funciones secundarias, lo único que varía son los modos de falla que se eliminan al realizar las acciones modificativas.

2.8.1 Justificación de los modos de falla eliminados.

Los modos de falla que se excluyen son todos aquellos que ya no se presentan debido a las tareas modificativas realizadas; estos modos de falla que se eliminan al desarrollar las acciones modificativas en el sistema de bombeo son resultado del análisis *FMECA*.

2.8.1.1 Motor desalineado con la bomba y eje torcido del motor.

Los modos de falla se eliminan ya que el acople rígido que une al motor eléctrico con la bomba centrífuga es erradicado del sistema y se reemplaza por un acople directo entre la bomba y el motor, por lo tanto se elimina la desalineación entre estos componentes del sistema de bombeo. Las consecuencias de esta falla en el sistema de bombeo llevaban a elevar la corriente del motor por encima de 3.5 amperios y por lo tanto a la pérdida de la función principal del sistema. Los modos de falla eliminados son 0-B-1, 0-B-9, 9-A-2.

2.8.1.2 Eje torcido del acople y acople desalineado.

Los dos modos de falla desaparecen debido a que el acople es eliminado del sistema como se explica en el párrafo anterior. Este modo de falla interfiere en el cumplimiento de la función principal ya que al estar torcido el eje del acople o el

acople desalineado, se eleva la corriente por encima de 3.5 amperios; de igual forma entorpece el cumplimiento de dos funciones secundarias las cuales son: mantener una potencia mínima de 0.5 KW y mantener un nivel bajo de vibraciones. Los modos de falla eliminados son 0-B-2, 9-A-3.

Tabla 22 Modos de fallas después de acciones modificativas.

Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	Código del modo de falla	Descripción del modo de falla
0-A-1	La tubería esta obstruida	2-B-1	Switch de encendido defectuoso
0-A-2	El motor esta apagado	2-B-2	Switch de emergencia activado
0-A-3	No hay agua en el sistema	3-A-1	Filtración en el tanque
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	3-A-3	Evaporación excesiva
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	3-A-4	La granada esta obstruida
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja
0-A-13	La granada esta tapada	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación
0-A-14	Impulsor dañado	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios
0-B-1	Impulsor desbalanceado	5-A-6	No hay excitación del campo magnético
0-B-2	Impulsor dañado	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente
0-B-3	Soltura del eje	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente
0-B-4	Cavitación	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente
0-B-5	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas
0-B-6	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6-B-2	La válvula de aforo esta mala
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso
0-C-3	La tubería esta obstruida	7-A-2	Falla de potencia
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	7-B-1	Estator en corto circuito
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	7-B-2	Fusibles fundidos
0-C-8	El motor esta apagado	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo
0-C-9	La granada esta obstruida	8-A-1	La válvula principal esta cerrada
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada
0-C-11	Cavitación	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura
0-C-12	Impulsor dañado	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	9-A-2	Impulsor dañado
0-D-3	Trasdutor de presión malo	9-A-3	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	9-A-4	Rotor desbalanceado
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	9-A-5	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	9-A-6	Rodamientos defectuosos
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	9-A-7	Turbulencias excesivas dentro del sistema
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el líquido	9-A-8	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	9-A-9	Lubricación defectuosa
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	9-A-10	Equipo mal anclado
1-A-4	La granada esta obstruida	9-A-11	Cavitación
1-A-5	Cavitación	10-A-1	Rodamientos malos
1-A-6	Impulsor dañado	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	10-A-3	Aire en el sistema
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje
1-B-3	La tubería esta obstruida	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	10-A-6	Bomba pegada
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	10-A-7	Falta de lubricación
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	10-A-8	Softuras de elementos mecánicos
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema
2-A-2	Switch de emergencia activado		

2.8.2 Cálculo del *RPN* con las acciones modificativas realizadas.

La ejecución de todas las actividades planeadas o no derivadas del procedimiento *FMECA*, conlleva a realizar nuevamente la evaluación del *RPN* mediante la valoración vigente (después de realizadas las tareas acordadas). De los parámetros de Severidad, Ocurrencia y Detección, se establece en forma reiterativa la jerarquización, la asignación de recursos, la logística y así sucesivamente, hasta algún momento en que se tenga control absoluto de las fallas o se hayan controlado de forma significativa las mismas (MORA, 2005, 199).

La metodología de calificación de la severidad, ocurrencia y detección para los modos de falla es la misma utilizada en el numeral 2.4.5.

Tabla 23 Recalculo RPN.

Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	RPN				Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	RPN			
		S	O	D	Valor RPN			S	O	D	Valor RPN
0-A-1	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	2-B-1	Switch de encendido defectuoso	0.350	3	1	1.05
0-A-2	El motor esta apagado	0.900	4	1	3.6	2-B-2	Switch de emergencia activado	0.350	3	1	1.05
0-A-3	No hay agua en el sistema	0.450	3	2	2.7	3-A-1	Filtración en el tanque	1.050	2	3	6.3
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	0.650	3	2	3.9
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	0.100	4	1	0.4	3-A-3	Evaporación excesiva	0.450	2	3	2.7
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	0.450	3	2	2.7	3-A-4	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	0.400	3	2	2.4	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	0.400	3	3	3.6
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	0.350	3	2	2.1	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	0.350	3	1	1.05
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	0.350	3	1	1.05
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.050	3	3	0.45	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.050	2	2	0.2
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	3	2	3.9	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	0.350	2	2	1.4
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	0.700	3	2	4.2	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3
0-A-13	La granada esta tapada	0.250	2	2	1	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05
0-A-14	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	0.650	3	2	3.9
0-B-1	Impulsor desbalanceado	0.750	3	2	4.5	5-A-6	No hay excitación del campo magnético	0.050	2	2	0.2
0-B-2	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2
0-B-3	Soltura del eje	0.100	3	1	0.3	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2
0-B-4	Cavitación	0.350	3	2	2.1	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	1.050	4	1	4.2
0-B-5	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	0.450	3	1	1.35	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas	0.150	3	2	0.9
0-B-6	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	6-B-2	La válvula de aforo esta mala	1.050	3	2	6.3
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	0.350	3	2	2.1	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	1.050	3	2	6.3
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.050	3	2	0.3	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	1.050	3	3	9.45
0-C-3	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	7-A-2	Falla de potencia	0.050	3	2	0.3
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.050	2	2	0.2
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	0.100	4	1	0.4	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	0.350	2	2	1.4
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	7-B-1	Estator en corto circuito	0.350	2	2	1.4
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	1.050	3	2	6.3	7-B-2	Fusibles fundidos	0.650	2	2	2.6
0-C-8	El motor esta apagado	0.900	4	1	3.6	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	1.050	3	3	9.45
0-C-9	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	8-A-1	La válvula principal esta cerrada	0.100	4	1	0.4
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada	0.100	4	1	0.4
0-C-11	Cavitación	0.350	3	2	2.1	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura	0.750	3	2	4.5
0-C-12	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada	0.100	4	1	0.4
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	0.700	3	2	4.2	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío	0.400	3	2	2.4
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	0.350	3	1	1.05	9-A-2	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9
0-D-3	Trasdutor de presión malo	0.600	3	2	3.6	9-A-3	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	0.350	2	2	1.4
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	0.800	3	3	7.2	9-A-4	Rotor desbalanceado	1.100	1	2	2.2
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3	9-A-5	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	0.800	3	3	7.2
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	9-A-6	Rodamientos defectuosos	0.400	3	3	3.6
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	0.450	3	1	1.35	9-A-7	Turbulencias excesivas dentro del sistema	0.350	3	2	2.1
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el liquido	0.350	3	2	2.1	9-A-8	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema	0.350	2	2	1.4
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	9-A-9	Lubricación defectuosa	0.400	4	3	4.8
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	9-A-10	Equipo mal anclado	0.400	4	3	4.8
1-A-4	La granada esta obstruida	0.450	3	2	2.7	9-A-11	Cavitación	0.350	3	2	2.1
1-A-5	Cavitación	0.350	3	2	2.1	10-A-1	Rodamientos malos	0.400	4	3	4.8
1-A-6	Impulsor dañado	0.650	3	2	3.9	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	0.350	2	2	1.4
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	0.100	4	1	0.4	10-A-3	Aire en el sistema	0.350	3	2	2.1
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	0.650	2	2	2.6	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje	0.350	2	2	1.4
1-B-3	La tubería esta obstruida	0.450	3	1	1.35	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema	0.350	3	2	2.1
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	0.050	3	2	0.3	10-A-6	Bomba pegada	0.750	3	2	4.5
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	0.050	1	1	0.05	10-A-7	Falta de lubricación	0.400	4	3	4.8
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	0.100	4	1	0.4	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	1.050	3	2	6.3
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	0.350	3	1	1.05	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema	0.450	3	1	1.35
2-A-2	Switch de emergencia activado	0.350	3	1	1.05						

Tabla 24 Modos de falla con *RPN* más alto.

Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	RPN			
		S	O	D	Valor RPN
7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	1.050	3	3	9.45
7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	1.050	3	3	9.45
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	0.800	3	3	7.2
9-A-5	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	0.800	3	3	7.2
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	1.050	3	2	6.3
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	1.050	3	2	6.3
3-A-1	Filtración en el tanque	1.050	2	3	6.3
6-B-2	La válvula de aforo esta mala	1.050	3	2	6.3
6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	1.050	3	2	6.3
10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	1.050	3	2	6.3
9-A-9	Lubricación defectuosa	0.400	4	3	4.8
9-A-10	Equipo mal anclado	0.400	4	3	4.8

Ilustración 19 Nuevo volumen de riesgo para el sistema de bombeo.

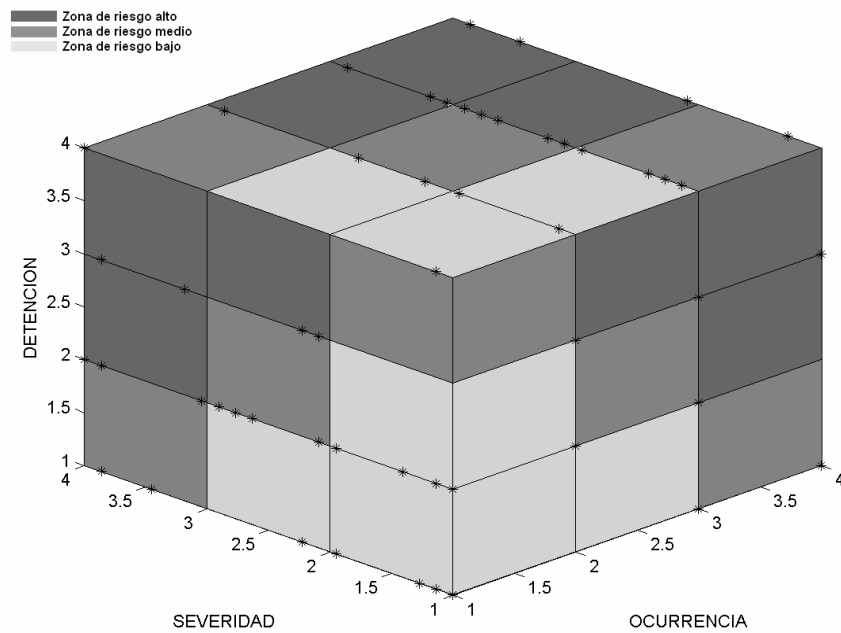


Tabla 25 Jerarquización de los modo de falla luego de las acciones modificativas.

Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	RPN	Jerarquización de ejecución de las tareas	Código del modo de falla	Descripción del modo de falla	RPN	Jerarquización de ejecución de las tareas
		Valor RPN				Valor RPN	
0-A-1	La tubería esta obstruida	1.35	33	2-B-1	Switch de encendido defectuoso	1.05	29
0-A-2	El motor esta apagado	3.6	69	2-B-2	Switch de emergencia activado	1.05	30
0-A-3	No hay agua en el sistema	2.7	63	3-A-1	Filtración en el tanque	6.3	98
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6.3	94	3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	3.9	79
0-A-5	La válvula principal esta cerrada	0.4	16	3-A-3	Evaporación excesiva	2.7	67
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión	2.7	64	3-A-4	La granada esta obstruida	2.7	68
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío	2.4	57	3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	3.6	72
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión	2.1	46	4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	1.05	31
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja	0.3	8	4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	1.05	32
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.45	23	5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.2	5
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	3.9	74	5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	1.4	39
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	4.2	82	5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	0.3	14
0-A-13	La granada esta tapada	1	25	5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	0.05	4
0-A-14	Impulsor dañado	3.9	75	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	3.9	80
0-B-1	Impulsor desbalanceado	4.5	87	5-A-6	No hay excitación del campo magnético	0.2	6
0-B-2	Impulsor dañado	3.9	76	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	4.2	84
0-B-3	Soltura del eje	0.3	9	6-A-2	La válvula de contraflujo no funciona correctamente	4.2	85
0-B-4	Cavitación	2.1	47	6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	4.2	86
0-B-5	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	1.35	34	6-B-1	La válvula principal esta obstruida o con fugas	0.9	24
0-B-6	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6.3	95	6-B-2	La válvula de aforo esta mala	6.3	99
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	2.1	48	6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	6.3	100
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío	0.3	10	7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	9.45	104
0-C-3	La tubería esta obstruida	1.35	35	7-A-2	Falla de potencia	0.3	15
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja	0.3	11	7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor	0.2	7
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	0.4	17	7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	1.4	40
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	2.6	59	7-B-1	Estator en corto circuito	1.4	41
0-C-7	Cuerpos extraños en el impulsor	6.3	96	7-B-2	Fusibles fundidos	2.6	62
0-C-8	El motor esta apagado	3.6	70	7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	9.45	105
0-C-9	La granada esta obstruida	2.7	65	8-A-1	La válvula principal esta cerrada	0.4	20
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	0.05	1	8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada	0.4	21
0-C-11	Cavitación	2.1	49	8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70°C temperatura	4.5	88
0-C-12	Impulsor dañado	3.9	77	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada	0.4	22
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor	4.2	83	9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío	2.4	58
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	1.05	26	9-A-4	Impulsor dañado	3.9	81
0-D-3	Trasdutor de presión malo	3.6	71	9-A-5	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	1.4	42
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	7.2	102	9-A-6	Rotor desbalanceado	2.2	56
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida	6.3	97	9-A-7	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	7.2	103
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	2.6	60	9-A-8	Rodamientos defectuosos	3.6	73
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga	1.35	36	9-A-9	Turbulencias excesivas dentro del sistema	2.1	52
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el liquido	2.1	50	9-A-10	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema	1.4	43
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja	0.3	12	9-A-11	Lubricación defectuosa	4.8	90
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	0.05	2	9-A-12	Equipo mal anclado	4.8	91
1-A-4	La granada esta obstruida	2.7	66	9-A-13	Cavitación	2.1	53
1-A-5	Cavitación	2.1	51	10-A-1	Rodamientos malos	4.8	92
1-A-6	Impulsor dañado	3.9	78	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas	1.4	44
1-B-1	La válvula principal esta cerrada o restringida	0.4	18	10-A-3	Aire en el sistema	2.1	54
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba	2.6	61	10-A-4	Ventilador roza con el blindaje	1.4	45
1-B-3	La tubería esta obstruida	1.35	37	10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema	2.1	55
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja	0.3	13	10-A-6	Bomba pegada	4.5	89
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación	0.05	3	10-A-7	Falta de lubricación	4.8	93
1-B-6	La válvula de contraflujo esta cerrada o restringida	0.4	19	10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	6.3	101
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	1.05	27	10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema	1.35	38
2-A-2	Switch de emergencia activado	1.05	28				

Tabla 26 Acciones de mantenimiento después de acciones modificativas.

Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	Tipo de tarea a realizar				Codigo del modo de falla	Descripcion del modo de falla	Tipo de tarea a realizar			
		Correctivas	Modificativas	Preventivas	Predictivas			Correctivas	Modificativas	Preventivas	Predictivas
0-A-1	La tubería esta obstruida			x		2-B-1	Switch de encendido defectuoso	x			
0-A-2	El motor esta apagado	x				2-B-2	Switch de emergencia activado	x			
0-A-3	No hay agua en el sistema			x		3-A-1	Filtración en el tanque			x	
0-A-4	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			x		3-A-2	Filtración en tubería o accesorios	x		x	x
0-A-5	La válvula principal esta cerrada			x		3-A-3	Evaporación excesiva			x	
0-A-6	El nivel del tanque esta por debajo de la succión		x			3-A-4	La granada esta obstruida			x	
0-A-7	La bomba esta trabajando en vacío		x			3-A-5	Sello de la bomba defectuoso	x		x	
0-A-8	Bolsa de aire en el tubo de succión			x		4-A-1	Interruptor de paro de emergencia defectuoso	x			
0-A-9	Velocidad del sistema muy baja			x		4-A-2	Interruptor de paro de emergencia desconectado	x			
0-A-10	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío		x			5-A-1	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor			x	
0-A-11	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		5-A-2	Capacitor débil o en corto circuito	x			x
0-A-12	Motor dañado o bloqueado	x		x		5-A-3	Velocidad del sistema muy baja	x			
0-A-13	La granada esta tapada			x		5-A-4	Sentido incorrecto de rotación	x			
0-A-14	Impulsor dañado	x		x	x	5-A-5	Filtración en tubería o accesorios	x		x	
0-B-1	Impulsor desbalanceado			x		5-A-6	No hay excitación del campo magnético	x		x	
0-B-2	Impulsor dañado	x		x	x	6-A-1	La válvula principal no funciona correctamente	x		x	
0-B-3	Soltura del eje			x		6-A-2	La válvula de contra flujo no funciona correctamente	x		x	
0-B-4	Cavitación			x		6-A-3	La válvula de aforo no funciona correctamente	x		x	
0-B-5	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga			x		6-B-1	La válvula principal esta obstruida			x	
0-B-6	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			x		6-B-2	La válvula de aforo esta mala	x			
0-C-1	La bomba ha perdido eficiencia	x	x			6-B-3	La válvula de contra flujo esta mala	x			
0-C-2	Margen insuficiente entre la presión de vapor y la presión de vacío		x			7-A-1	Disparo de sobrecarga defectuoso	x			
0-C-3	La tubería esta obstruida			x	x	7-A-2	Falla de potencia	x		x	x
0-C-4	Velocidad del sistema muy baja			x		7-A-3	Caída de voltaje en la línea o bobinado del motor			x	
0-C-5	La válvula principal esta muy cerrada	x				7-A-4	Capacitor débil o en corto circuito	x			
0-C-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		7-B-1	Estator en corto circuito	x			
0-C-7	Queros extraños en el impulsor			x		7-B-2	Fusibles fundidos	x			
0-C-8	El motor esta apagado	x				7-B-3	El disparo de sobrecarga del motor esta malo	x		x	
0-C-9	La granada esta obstruida			x		8-A-1	La válvula principal esta cerrada			x	
0-C-10	Sentido incorrecto de rotación	x				8-A-2	La válvula de aforo esta cerrada			x	
0-C-11	Cavitación			x		8-A-3	El flujo del tanque esta por encima de 70 °C temperatura			x	
0-C-12	Impulsor dañado	x		x	x	8-A-4	La válvula de contra flujo esta cerrada			x	
0-D-1	Se esta sobrecalentando el motor		x	x		9-A-1	La bomba esta trabajando en vacío			x	
0-D-2	Paro de emergencia defectuoso	x				9-A-2	Impulsor dañado	x		x	x
0-D-3	Trasdutor de presión malo	x				9-A-3	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas				x
0-D-4	Falla mecánica en el motor debido a una sobrecarga de corriente	x		x	x	9-A-4	Rotor desbalanceado	x			
0-D-5	Impulsor o carcasa de la bomba obstruida			x		9-A-5	Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba	x		x	x
0-D-6	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		9-A-6	Rodamientos defectuosos			x	x
0-D-7	Obstrucción en las tuberías de succión o descarga			x		9-A-7	Turbulencias excesivas dentro del sistema			x	
1-A-1	Cantidad excesiva de aire o gas en el liquido			x		9-A-8	Resonancia entre la bomba y otros elementos del sistema			x	
1-A-2	Velocidad del sistema muy baja			x		9-A-9	Lubricación defectuosa	x		x	
1-A-3	Sentido incorrecto de rotación	x				9-A-10	Equipo mal anclado	x			
1-A-4	La granada esta obstruida			x		9-A-11	cavitación			x	
1-A-5	Cavitación			x		10-A-1	Rodamientos malos	x			
1-A-6	Impulsor dañado	x		x	x	10-A-2	Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas				x
1-B-1	La válvula principal esta cerrada			x		10-A-3	Aire en el sistema			x	
1-B-2	Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto de la bomba			x		10-A-4	Ventilador roza con el blindaje				x
1-B-3	La tubería esta obstruida			x		10-A-5	Turbulencias excesivas dentro del sistema			x	
1-B-4	Velocidad del sistema muy baja			x		10-A-6	Bomba pegada			x	
1-B-5	Sentido incorrecto de rotación			x		10-A-7	Falta de lubricación			x	
1-B-6	La válvula de contra flujo esta cerrada			x		10-A-8	Solturas de elementos mecánicos	x		x	
2-A-1	Switch de encendido defectuoso	x				10-A-9	Sucios y cuerpos extraños dentro del sistema			x	
2-A-2	Switch de emergencia activado	x									

2.9 CONCLUSION

De acuerdo con el capítulo anterior la metodología y las etapas para el desarrollo del *FMECA* son: definir función primaria y secundaria, establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas, definir los modos de fallas, evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función, medir el *RPN* mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad, de detección, establecer las acciones correctivas o planeadas y proactivas y por último medir nuevamente el *RPN*.

Este análisis se aplica también en el sistema GCB ya que mediante la aplicación de la metodología se pueden eliminar o controlar muchos modos de falla por medio de acciones modificativas y proactivas.

3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO E IMPLEMENTACION EN EL AM

3.1 OBJETIVO

Implementar el plan de mantenimiento preventivo para el sistema GCB en el software AM.

3.2 INTRODUCCION

El capítulo desarrolla el plan de mantenimiento preventivo con base en los resultados del análisis *FMECA* presentados en el capítulo 2 y su implementación en el software de administración de mantenimiento AM.

El mantenimiento preventivo se desarrolla para uno de los seis sistemas de bombeo debido a que éstos poseen los mismos componentes y características así como las mismas funciones secundarias y primarias, las mismas funciones y subfunciones así como la prevalencia de los modos de falla. La implementación en el Software AM se realiza para los 6 sistemas de bombeo ya que las órdenes de trabajo generadas son independientes para cada sistema.

3.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo realiza una jerarquización según las acciones preventivas llevadas a cabo en una máquina, equipo o proceso industrial. El mantenimiento preventivo está dividido en 4 niveles, los cuales se describen de la siguiente manera. Cabe anotar que esta jerarquización no tiene nada que ver con la utilizada bajo el enfoque kantiano en la definición de los niveles de mantenimiento industrial.

3.3.1 Nivel 1.

El primer nivel se basa en acciones altamente repetitivas o de rutina, relacionadas con la correcta operación del equipo. (Puede ser realizado por los operadores después de un debido entrenamiento). Este nivel es de inspección, se realiza bajo condiciones normales de operación del equipo.

La ejecución se realiza con base en listas de chequeo y patrullajes definidos. Es recomendable separar y asignar dicha función a un personal claramente definido, preferiblemente al encargado del manejo del equipo.

La lista de chequeo de actividades de mantenimiento de nivel uno puede estar compuesta por limpieza, lubricación, inspección, pruebas, ajustes, aprietes, reemplazo de piezas o componentes, reparaciones menores.

3.3.2 Nivel 2.

Este nivel requiere de la intervención en el mecanismo más crítico, es decir, el de mayor frecuencia de mantenimiento. Requiere habilidad técnica y herramienta especializada y la revisión de al menos un mecanismo del equipo.

3.3.3 Nivel 3.

Se incluye el nivel 2 para la intervención e involucra uno o más mecanismos. Además se requiere un mantenimiento parcial e incluye cambio de partes.

La ejecución de los niveles 2 y 3 se realiza con base en listas de chequeo y un plan general definido. Es recomendable asignar cuadrillas de trabajo.

Los niveles 2 y 3 llevan a cabo tareas que involucren desmantelamiento parcial, uso de herramienta especializada, reemplazo de piezas y componentes, personal técnico especializado, paradas programadas de equipos, manuales de operación de equipos, supervisión técnica.

3.3.4 Nivel 4.

Se Incluyen en este nivel de acciones preventivas los niveles 2 y 3. Se realiza una intervención completa los equipos, en frecuencias de duración larga. Llamado mantenimiento total.

La ejecución se realiza con base en manuales de ensamble, instalación y calibración general, y es recomendable involucrar al proveedor del equipo.

En este nivel es indispensable realizar tareas tales como retirar el equipo de la producción, desmantelación total del equipo, mejoramientos y calibración general, reemplazo de piezas con el fin de aumentar su vida útil, trabajar con manuales, registros, y liquidación de una hoja de vida. Debe involucrarse al proveedor del equipo si es necesario para su reinstalación y puesta en funcionamiento (HENAO,2005,13-19).

3.4 DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La metodología de desarrollo del plan de mantenimiento sigue los siguientes pasos.

- Definición de la máquina, mecanismo con sus partes y si es el caso componentes.
- Instructivo de las acciones a tomar.
- Frecuencia de las acciones preventivas.
- Tiempo de ejecución de cada acción.

- Jerarquización de las acciones según el nivel de mantenimiento preventivo.
- Programación de las acciones de mantenimiento preventivo (HENAQ, 2005,20).

3.4.1 Definición de la máquina, mecanismo con sus partes y si es el caso, componentes.

La máquina a la cual se realiza el mantenimiento preventivo corresponde a cada uno de los sistemas de bombeo cuyas fronteras fueron definidas en el numeral 2.4.1. El sistema de bombeo trabaja 24 horas, todos los días de la semana y 50 semanas al año (no se tiene en cuenta el tiempo de vacaciones en la universidad EAFIT).

Ilustración 20 Máquina (Sistema de bombeo).



Los mecanismos definidos en el sistema de bombeo son: succión, bomba, motor y descarga.

Tabla 27 Mecanismos, partes y componentes del sistema de bombeo.

MAQUINA	MECANISMO	PARTE	COMPONENTE	
SISTEMA DE BOMBEO	Succión	Tanque		
		Granada		
		Accesorios	Adaptadores macho	
			Universal de 1/4"	
			Acople rápido 1/4" NPT	
			Reducción de 1 1/4" a 1 1/2"	
	Codos de 1/2"			
	Tuberías			
	Bomba	Chasis		
		Plato sello		
		Impulsor		
		Oring		
		Sello mecánico		
	Motor	Chasis		
		Rodamiento 1		
		Rodamiento 2		
		Eje		
		Ventilador		
		Escobillas		
		Bobinado		
	Sistema eléctrico			
	Descarga	Accesorios	Adaptadores macho	
			Universales	
T de 1"				
Reducción de 1" a 3/4"				
Llave de bola 3/4"				
Transductor de presión				
Válvula mariposa 1"				
Llave de bola 1"				
Tuberías				

3.4.2 Instructivo para realizar el mantenimiento planeado en el sistema.

El instructivo es utilizado para realizar las acciones de mantenimiento planeado y consiste en una serie de instrucciones que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar el mantenimiento, el desarmado del sistema y las herramientas necesarias para realizarlo y para monitorear los equipos. El instructivo en el mantenimiento preventivo se define como las acciones que controlan los modos de falla en los

componentes de un equipo; estas acciones son programadas y planeadas, permitiendo así que el elemento que es sustituido o ajustado funcionalmente no pierda cierta cantidad de vida útil.

3.4.2.1 Implementos de seguridad.

Los implementos de seguridad son necesarios para proteger al encargado del mantenimiento del sistema. Para realizar esta operación es necesario que la persona que realice las acciones de mantenimiento tenga puesto un overol, gafas de seguridad, botas platineras y guantes de carnaza.

3.4.2.2 Herramientas utilizadas.

Las herramientas utilizadas para el desmontaje y montaje del sistema de bombeo son: Martillo de goma, aceitera, nivel, destornillador de pala, alicate, rache, llaves boca fija numero 13, 10, 11, flexómetro, hombre solo, llave de cadena, llave de expansión, estopa, teflón, extractor de rodamientos y calibrador

Ilustración 21 Herramientas para montaje y desmontaje del sistema.



3.4.2.3 Observaciones para desmontaje del sistema

En el desmontaje de los equipos se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Antes de efectuar cualquier trabajo sobre el motor, asegúrese de que esté desconectado y que no es posible su reconexión. Se debe asegurar que el breaker esta bloqueado o desconectado.
- Verificar el estado de la válvula principal, la válvula de aforo y la válvula de descarga, éstas deben estar en la posición de cerrado.
- Verificar que la herramienta a utilizar para desmontar el equipo es la adecuada.
- Documentar la parada del equipo debido a acciones de mantenimiento planeado.
- Poner los diferentes letreros de seguridad que indiquen que el sistema se encuentra en mantenimiento.

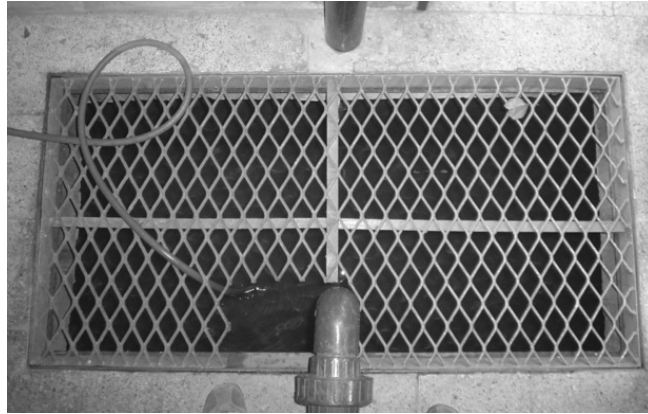
3.4.2.4 Mantenimiento mecanismo de succión.

El mecanismo de succión comprende las siguientes partes: tanque, granada y accesorios en general. Los accesorios son: adaptadores macho, universal de 1/4", acople rápido 1/4" NPT, reducción de 1 1/4" a 1 1/2", codos de 1/2", tuberías.

3.4.2.4.1 Tanque.

Las acciones a realizar en el tanque son: revisión del nivel, filtraciones o grietas que se pueden presentar en las paredes del tanque y además se debe realizar una limpieza.

Ilustración 22 Tanque.



3.4.2.4.2 Granada.

La granada hace parte del mecanismo de succión. Las acciones de mantenimiento para eliminar posibles fallas consisten en realizar una limpieza periódica así como una como una revisión mecánica de dicho dispositivo.

Ilustración 23 Granada.



ROTOPLAS®, 2006

3.4.2.4.3 Accesorios de succión.

Los accesorios nombrados en el numeral 3.4.2.4 tienen como acciones de mantenimiento la revisión de obstrucciones debido a posibles partículas en el interior del sistema, así como fugas en las uniones como consecuencia de la pérdida de las propiedades del teflón por temperatura o desgaste. Se recomienda tomar la temperatura del agua en la tubería de descarga. Otra acción de mantenimiento para los accesorios consiste en realizar una limpieza si son encontradas dichas partículas y revisar externamente la tubería que no este fisurada. Observar si las tuberías presentan vibraciones excesivas ya que estas pueden causar fugas así como la ruptura de la tubería y accesorios.

Ilustración 24 Accesorios de succión.



3.4.2.5 Mantenimiento bomba.

La bomba se compone de: el chasis, plato sello, impulsor, sello mecánico y oring.

3.4.2.5.1 Chasis.

Las acciones de mantenimiento para esta parte del sistema son: realizar una limpieza de posibles obstrucciones u oxidaciones, igualmente se recomienda pintar el chasis con pintura anticorrosiva para preservar su presentación y

aparición de óxido en su interior. Se deben revisar igualmente posibles agrietamientos, fisuras o desgastes. Se recomienda pintar periódicamente esta parte.

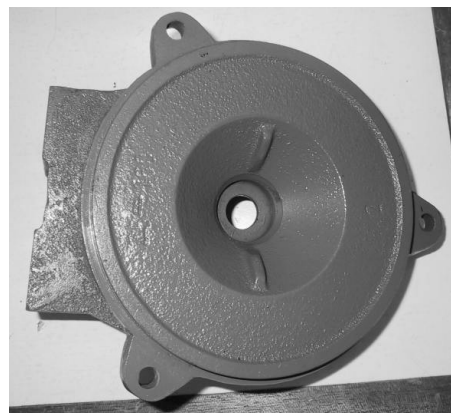
Ilustración 25 Chasis.



3.4.2.5.2 Plato sello

Las acciones de mantenimiento para esta parte de la bomba son: revisar y limpiar posibles obstrucciones ocasionadas por las partículas así como desgaste debido al rozamiento con el impulsor, revisar los elementos de sujeción y sus alojamientos para detectar posibles agrietamientos. Se recomienda pintar el chasis con pintura anticorrosiva para preservar su presentación y aparición de óxido en su interior.

Ilustración 26 Plato sello.



3.4.2.5.3 Impulsor

Se debe revisar si presenta oxidación de las cavidades oxidación, agrietamiento, fisuras por el constante roce con la carcasa. Se deben realizar acciones de limpieza debido a posibles obstrucciones por partículas dentro del sistema.

Ilustración 27 Impulsar.



3.4.2.5.4 Sello mecánico

Las acciones de mantenimiento realizadas para el sello mecánico son: revisión del estado del sello debido a las altas vibraciones que puede presentar el montaje por una falla mecánica o a una desalineación de la bomba con el motor. Revisión de las caras rotatorias y estacionarias así como de los elastómeros y del resorte de la parte rotatoria. Se debe revisar igual los alojamientos de la cara rotatoria y estacionaria.

Ilustración 28 Sellos mecánicos.



3.4.2.5.5 Oring.

Esta parte se puede deteriorar con facilidad debido a las características de su material de fabricación, al igual como las posibles oxidaciones que se pueden presentar en el sistema si no hay un sellado efectivo del oring debido al desgaste producido al desarmar la carcasa de la bomba, para esto se recomienda una revisión del estado del oring cada vez que se inspeccione la bomba, igualmente se recomienda un cambio periódico de esta parte teniendo en cuenta la selección debida del elastómero.

Ilustración 29 Oring.



3.4.2.6 Mantenimiento motor.

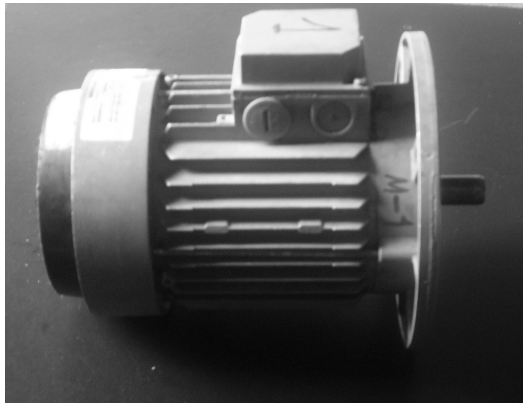
El motor se compone de: chasis, rodamientos, eje, escobillas, bobinado, ventilador y sistema eléctrico.

3.4.2.6.1 Chasis.

Las acciones de mantenimiento realizadas para el chasis de un motor eléctrico se componen de una limpieza periódica que elimine polvo y grasa. Así mismo se recomienda pintar para preservar su presentación y aparición de oxido en su

exterior debido a las condiciones de intemperie a las que están sometidas las partes externas del sistema de bombeo.

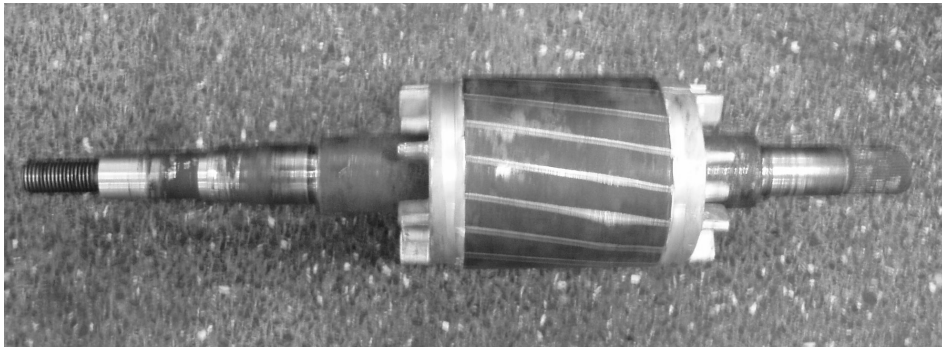
Ilustración 30 Chasis del motor.



3.4.2.6.2 Eje.

Se debe tener en cuenta a la hora de realizar las acciones de mantenimiento del eje que es un elemento que ha sido modificado para eliminar modos de falla que presentaba el sistema, es por esto que es necesario realizar una revisión muy completa del estado de la soldadura de la extensión del eje que fue insertado para darle mayor longitud a esta parte y que permite un acople directo con la bomba, igualmente se debe revisar el estado de la rosca que acopla con el impulsor, debe efectuarse también una limpieza con líquidos que eliminen posibles oxidaciones y granos con los elementos que encajen en el eje. Se debe revisar también el ajuste con los rodamientos, la parte rotatoria del sello, fisuras, doblamientos y agrietamientos.

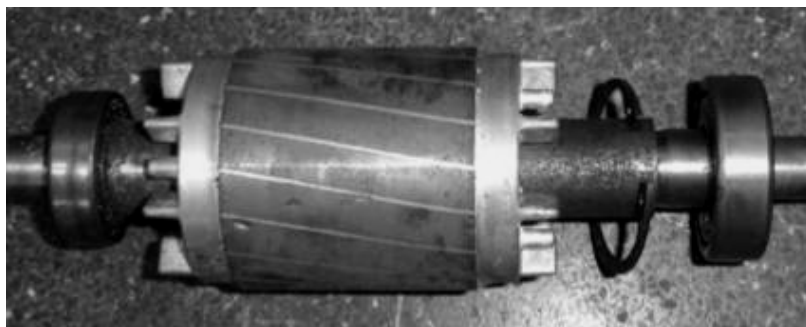
Ilustración 31 Eje.



3.4.2.6.3 Rodamientos.

El mantenimiento de los rodamientos se asocia a las horas de servicio que tiene el motor, sin embargo es necesario realizar inspecciones del estado de los rodamientos, limpieza y lubricación que permitan un normal funcionamiento del sistema. Se recomienda realizar análisis de vibraciones periódicamente para determinar las condiciones de operación de los rodamientos.

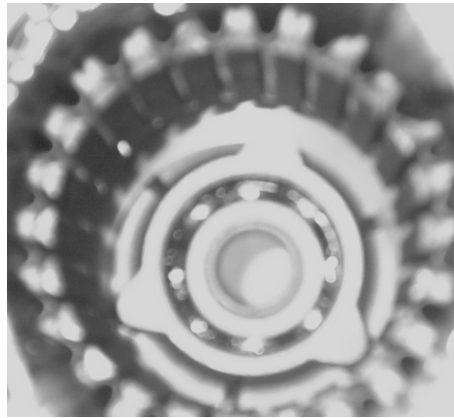
Ilustración 32 Rodamientos.



3.4.2.6.4 Escobillas.

Las acciones de mantenimiento de las escobillas se remiten a la limpieza de éstas debido a acumulación de polvo u óxido, así como la revisión del estado de éstas debido a desgaste.

Ilustración 33 Escobillas.



3.4.2.6.5 Bobinado.

El mantenimiento para este componente del motor consiste en realizar una inspección visual de su estado, así como de posibles caídas de voltajes y cortos. Se recomienda igualmente realizar una limpieza y una revisión del aislamiento del bobinado (mínimo 2000 M Ω) con un Megger que permita conocer el estado del

Ilustración 34 Bobinado.



3.4.2.6.6 Ventilador.

Se debe realizar una inspección del estado del ventilador y de las aspas, igualmente de las estrías que permiten el acople con el eje del motor, se recomienda limpiar este elemento debido a la gran cantidad de polvo que puede retener.

Ilustración 35 Ventilador.



3.4.2.6.7 Sistema eléctrico.

Este elemento del motor debe revisarse para encontrar posibles cortos u oxidaciones que puedan generar un aislamiento de los componentes internos, así como la revisión de los contactos. Se recomienda realizar una limpieza de los componentes eléctricos debido a la acumulación de polvo y verificar el ajuste de las terminales de los cables en las borneras.

Ilustración 36 Sistema eléctrico.



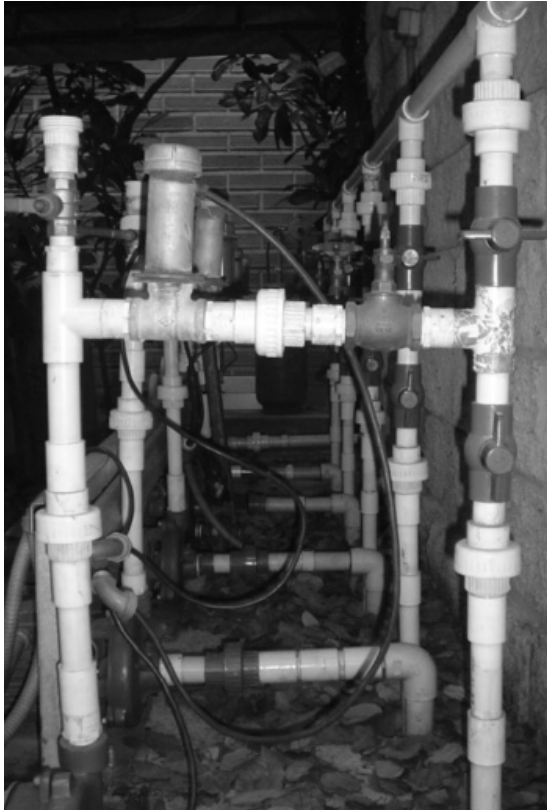
3.4.2.7 Mantenimiento Descarga.

La descarga del sistema de bombeo está compuesta por los siguientes accesorios: adaptadores machos, universales, T de 1", reducción de 1" a 3/4", llave de bola 3/4", transductor de presión, válvula mariposa 1", llave de bola 1", tuberías.

3.4.2.7.1 Accesorios de descarga.

Las acciones de mantenimiento de estos elementos son revisión de obstrucciones debido a posibles partículas al interior del sistema así como filtraciones en los empates debido a la pérdida de las propiedades del teflón por la temperatura del sistema o por desgaste, se recomienda tomar temperatura del agua en la tubería de descarga. Otra acción de mantenimiento para los accesorios es realizar una limpieza si son encontradas dichas partículas y revisar externamente la tubería que no este fisurada. Observar si las tuberías presentan vibraciones excesivas ya que estas pueden causar fugas así como la ruptura de la tubería y accesorios.

Ilustración 37 Accesorios de descarga.



3.4.2.8 Puesta en marcha del sistema luego de realizado el mantenimiento planeado.

La operación de puesta en marcha se debe realizar luego de revisar que los mecanismos del sistema han sido ensamblados correctamente. Para la puesta en marcha se deben seguir las siguientes recomendaciones.

- Verifique que el sistema de bombeo sea instalado de tal manera que la tubería de succión quede en posición horizontal.
- Verifique que el sentido de rotación del motor eléctrico sea el indicado por la flecha que está en la bomba.

- Retire la tapa de la bornera y lea cuidadosamente el diagrama de instalación antes de energizarlo. Asegúrese que los voltajes sean los especificados.
- La unidad debe estar nivelada y anclada preferiblemente en concreto, con tornillos para sujetar la base de la motobomba.
- Realizar el proceso de cebado del sistema.
- Una vez se haya realizado esta operación se procede a poner en marcha el motor. La bomba comenzará a funcionar pocos segundos después. De no así se debe revisar si el cebado quedó bien realizado, repitiendo la operación después de comprobada la estanqueidad de toda la tubería de succión.

La tabla que se muestra a continuación contiene en forma resumida las acciones de mantenimiento para cada uno de los elementos que contiene el sistema de bombeo anteriormente descrito en el instructivo de acciones de mantenimiento por mecanismo en el numeral 3.4.2.

Tabla 28 Instructivo de las acciones preventivas.

MAQUINA	MECANISMO	PARTE	COMPONENTE	INSTRUCTIVO			
SISTEMA DE BOMBEO	Succión	Tanque		Revisión	Limpieza		
		Granada		Revisión	Limpieza		
		Accesorios	Adaptadores macho		Revisión	Limpieza	
			Universal de 1/4		Revisión	Limpieza	
			Acople rápido 1/4 NPT		Revisión	Limpieza	
			Reducción de 1 1/4 a 1 1/2		Revisión	Limpieza	
			Codos de 1/2		Revisión	Limpieza	
	Tuberías		Revisión	Limpieza			
	Bomba	Chasis		Pintura	Limpieza		
		Plato sello		Revisión	Limpieza	Pintura	
		Impeler		Revisión	Limpieza		
		Oring		Revisión	Cambio		
		Sello mecánico		Revisión	Cambio		
	Motor	Chasis		Pintura	Limpieza		
		Rodamiento 1		Revisión	Limpieza	Lubricación	
		Rodamiento 2		Revisión	Limpieza	Lubricación	
		Eje		Revisión	Limpieza		
		Ventilador		Revisión	Limpieza		
		Escobillas		Revisión	Limpieza		
		Bobinado		Revisión	Limpieza		
	Sistema eléctrico		Revisión	Limpieza			
	Descarga	Accesorios	Adaptadores de macho		Revisión	Limpieza	
			Universales		Revisión	Limpieza	
			T de 1"		Revisión	Limpieza	
			Reducción de 1" a 3/4"		Revisión	Limpieza	
			Llave de bola 3/4"		Revisión	Limpieza	
			Transductor de presión		Revisión	Limpieza	
Válvula mariposa 1"				Revisión	Limpieza		
Llave de bola 1"				Revisión	Limpieza		
Tuberías		Revisión	Limpieza				

3.4.3 Frecuencias de las acciones preventivas.

Se definen como la periodicidad de cada una de las acciones y el tipo de acción a realizar en el elemento que posee el modo de falla, para lograr esto se estandarizan unos tiempos con su respectiva simbología, así como el tipo de acción a tomar.

Tabla 29 Simbología de tiempos y acciones a tomar.

E = Eléctrico	1/7 = Diario.
M = Mecánico.	1 = Semanal.
I = Instrumentación.	2 = Quincenal.
R = Redes.	4 = Mensual.
P = Pintura.	12 = Trimestral.
S = Software y Hardware.	24 = Semestral.
O = Limpieza.	50 = Anual.

Tabla 30 Frecuencias de las acciones preventivas.

MAQUINA	MECANISMO	PARTE	COMPONENTE	INSTRUCTIVO			FRECUENCIA		
SISTEMA DE BOMBEO	Succión	Tanque		Revisión	Limpieza		M24	O24	
		Granada		Revisión	Limpieza		M12	O12	
		Accesorios	Adaptadores macho	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Universal de 1/4	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Acople rápido 1/4 NPT	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Reducción de 1 1/4 a 1 1/2	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Codos de 1/2	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Tuberías	Revisión	Limpieza		M4	O4	
	Bomba	Chasis		Pintura	Limpieza		P50	O4	
		Plato sello		Revisión	Limpieza	Pintura	M24	O24	P50
		Impeler		Revisión	Limpieza		M24	O24	
		Oring		Revisión	Cambio		M4	M24	
		Sello mecánico		Revisión	Cambio		M4	M24	
	Motor	Chasis		Pintura	Limpieza		P50	O4	
		Rodamiento 1		Revisión	Limpieza	Lubricación	M4	O4	M4
		Rodamiento 2		Revisión	Limpieza	Lubricación	M4	O4	M4
		Eje		Revisión	Limpieza		M4	O4	
		Ventilador		Revisión	Limpieza		M4	O4	
		Escobillas		Revisión	Limpieza		E4	O4	
		Bobinado		Revisión	Limpieza		E4	O4	
		Sistema eléctrico		Revisión	Limpieza		E24	O4	
	Descarga	Accesorios	Adaptadores de macho	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Universales	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			T de 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Reducción de 1" a 3/4"	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Llave de bola 3/4"	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Transductor de presión	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Válvula mariposa 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Llave de bola 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4	
			Tuberías	Revisión	Limpieza		M4	O4	

3.4.4 Tiempo de ejecución de cada acción.

Se define como la cantidad de tiempo en minutos que se puede demorar una persona en realizar una acción de mantenimiento sin incorporar el tiempo que se

demora en desacoplar el equipo. En la siguiente tabla se muestran los tiempos por acción de mantenimiento y un total de minutos por acción en un periodo de un año, además del total de minutos de todas las acciones combinadas en este mismo periodo.

Tabla 31 Tiempos de ejecución de las acciones de mantenimiento.

MAQUINA	MECANISMO	PARTE	COMPONENTE	INSTRUCTIVO			FRECUENCIA			TIEMPO		ANUAL			
SISTEMA DE BOMBEO	Succión	Tanque		Revisión	Limpieza		M24	O24		60	60	120	120		
		Granada		Revisión	Limpieza		M12	O12		30	15	120	60		
		Accesorios	Adaptadores macho	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Universal de 1/4	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Acople rápido 1/4 NPT	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Reducción de 1 1/4 a 1 1/2	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Codos de 1/2	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Tuberías	Revisión	Limpieza		M4	O4		15	15	60	60		
	Bomba	Chasis		Pintura	Limpieza		P50	O4		30	15	30	180		
		Plato sello		Revisión	Limpieza	Pintura	M24	O24	P50	15	15	30	30	30	
		Impeler		Revisión	Limpieza		M24	O24		15	15	30	30		
		Oring		Revisión	Cambio		M4	M24		5	5	180	10		
		Sello mecánico		Revisión	Cambio		M4	M24		10	5	120	10		
	Motor	Chasis		Pintura	Limpieza		P50	O4		30	15	30	180		
		Rodamiento 1		Revisión	Limpieza	Lubricación	M4	O4	M4	5	10	5	60	120	60
		Rodamiento 2		Revisión	Limpieza	Lubricación	M4	O4	M4	5	10	5	60	120	60
		Eje		Revisión	Limpieza		M4	O4		15	15	180	180		
		Ventilador		Revisión	Limpieza		M4	O4		10	10	120	120		
		Escobillas		Revisión	Limpieza		E4	O4		15	15	180	180		
		Bobinado		Revisión	Limpieza		E4	O4		15	15	180	180		
		Sistema eléctrico		Revisión	Limpieza		E24	O4		15	15	30	180		
	Descarga	Accesorios	Adaptadores de macho	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Universales	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			T de 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Reducción de 1" a 3/4"	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Llave de bola 3/4"	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Transductor de presión	Revisión	Limpieza		M4	O4		10	5	120	60		
			Válvula mariposa 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Llave de bola 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4		5	5	60	60		
			Tuberías	Revisión	Limpieza		M4	O4		15	15	180	180		
	Totales												5420		

3.4.5 Jerarquización de las acciones según nivel de mantenimiento preventivo.

Las acciones de mantenimiento definidas para el sistema de bombeo se clasifican según los niveles de mantenimiento preventivo descritos en el numeral 3.3.

MAQUINA	MECANISMO	PARTE	COMPONENTE	INSTRUCTIVO			FRECUENCIA		TIEMPO		ANUAL				
SISTEMA DE BOMBEO	Succión	Tanque		Revisión	Limpieza		M24	O24	60	60	120	120			
		Granada		Revisión	Limpieza		M12	O12	30	15	120	60			
		Accesorios	Adaptadores macho	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Universal de 1/4	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Acople rápido 1/4 NPT	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Reducción de 1 1/4 a 1 1/2	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Codos de 1/2	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Tuberías	Revisión	Limpieza		M4	O4	15	15	60	60			
	Bomba	Chasis		Pintura	Limpieza		P50	O4	30	15	30	180			
		Plato sello		Revisión	Limpieza	Pintura	M24	O24	P50	15	15	30	30	30	
		Impeler		Revisión	Limpieza		M24	O24	15	15	30	30			
		Oring		Revisión	Cambio		M4	M24	5	5	180	10			
		Sello mecánico		Revisión	Cambio		M4	M24	10	5	120	10			
	Motor	Chasis		Pintura	Limpieza		P50	O4	30	15	30	180			
		Rodamiento 1		Revisión	Limpieza	Lubricación	M4	O4	M4	5	10	5	60	120	60
		Rodamiento 2		Revisión	Limpieza	Lubricación	M4	O4	M4	5	10	5	60	120	60
		Eje		Revisión	Limpieza		M4	O4	15	15	180	180			
		Ventilador		Revisión	Limpieza		M4	O4	10	10	120	120			
		Escobillas		Revisión	Limpieza		E4	O4	15	15	180	180			
		Bobinado		Revisión	Limpieza		E4	O4	15	15	180	180			
		Sistema eléctrico		Revisión	Limpieza		E24	O4	15	15	30	180			
	Descarga	Accesorios	Adaptadores de macho	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Universales	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			T de 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Reducción de 1" a 3/4"	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Llave de bola 3/4"	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Transductor de presión	Revisión	Limpieza		M4	O4	10	5	120	60			
			Válvula mariposa 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Llave de bola 1"	Revisión	Limpieza		M4	O4	5	5	60	60			
			Tuberías	Revisión	Limpieza		M4	O4	15	15	180	180			
	Totales											5420			

Mantenimiento nivel 1
 Mantenimiento nivel 2
 Mantenimiento nivel 3
 Mantenimiento nivel 4

Tabla 32 Jerarquización según niveles de mantenimiento preventivo.

3.4.6 Lista de chequeo para el sistema de bombeo.

La función de la lista de chequeo es realizar un control rutinario de inspección de los componentes del sistema de bombeo, debido a que es posible que se produzcan fallos fuera de los tiempos planeados en el mantenimiento preventivo.

Ilustración 38 Lista de chequeo rutinaria.

LISTA DE CHEQUEO RUTINARIA			Fecha de revision	
Realizo	_____	N° de personas involucradas	_____	
Preparo	_____	Frecuencia	Diaria	
Responsable	_____	Tiempo Estimado	15 Min	
Aprobo	_____			
Sistema de bombeo N° _____				
Mecanismo de succion				
Parte	Componentes	Accion	Estado	
			Bueno	Malo
1. Tanque		Revisar nivel del tanque		
2. Accesorios	Adaptadores macho	Revisar fugas		
	Universal de 1/4	Revisar fugas		
	Acople rápido 1/4 NPT	Revisar fugas		
	Reducción de 1 1/4 a 1 1/2	Revisar fugas		
	Codos de 1/2	Revisar fugas		
	Tuberías	Revisar fugas		
Bomba				
Parte	Accion	Estado		
		Bueno	Malo	
1. Chasis	Revisar fugas. Revisar ruidos producidos por rozamientos internos			
2. Plato sello	Revisar fugas			
Motor				
Parte	Accion	Estado		
		Bueno	Malo	
1. Chasis	Revisar temperatura			
2. Ventilador	Revisar obstruiones			
	Revisar rozamientos internos			
Mecanismo de descarga				
Parte	Componentes	Accion	Estado	
			Bueno	Malo
1. Accesorios	Adaptadores de macho	Revisar fugas		
	Universales	Revisar fugas		
	1 de 1"	Revisar fugas		
	Reducción de 1" a 3/4"	Revisar fugas		
		Revisar fugas		
	Llave de bola 3/4"	Estado de la valvula		
	Transductor de presión	Revisar rangos de presion		
		Revisar fugas		
	Válvula mariposa 1"	Estado de la valvula		
		Revisar fugas		
	Llave de bola 1"	Estado de la valvula		
	Tuberías	Revisar fugas		

La lista de chequeo planteada es fácil de operar, su rutina es diaria y sólo incluye tareas de inspección visual de los componentes. La rutina de inspección tendrá una duración de 15 minutos, calificando el estado del componente a verificar como en buen estado o mal estado.

3.5 IMPLEMENTACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL SOFTWARE AM

La guía general para la implementación exitosa del software AM incluye la realización de los siguientes pasos en ese justo orden:

- Definición de Compañía(s) y perfiles de Usuarios
- Definición de la Infraestructura.
- Definición de Equipos u Objetos de Mantenimiento y su despiece.
- Incorporación del inventario de Repuestos y Materiales.
- Definición de los Programas de Mantenimiento.
- Incorporación de Solicitudes de Servicio.
- Uso rutinario de Órdenes de Trabajo (automáticas y manuales).
- Gestión de Mantenimiento y compendio de Historia de Mantenimiento. (WINSOFTWARE, 2006, 15).

Los pasos mostrados son ejecutados en su mayoría por el grupo GEMI exceptuando la definición de los programas de mantenimiento, que se muestra a continuación.

La implementación del plan de mantenimiento comienza por la alimentación en el software AM con cada uno de los equipos que tiene el sistema. Este paso fue realizado por el Grupo GEMI, la codificación que posee cada uno de los equipos es la siguiente:

Ilustración 39 Codificación de los componentes del sistema.

1 – Motobombas	
1 – Motobomba 1	
0 – Motor motobomba	1 – Rotor 2 – Estator 3 – Conexión eléctrica 4 – Rodamiento impeler
	5 – Rodamiento ventilador 6 – Ventilador
1 – Bomba	1 – Impeler 2 – Sello mecánico 3 – Pedestal 4 – Plato sello 5 – O-ring
2 – Accesorios	0 – Succión
	1 – Codo 90, 1 ½" 2 – Reductor 1 ½" a 1 ¼" 3 – Tramo 1, 8.5cm, 1 ¼" 4 – Universal 1 ¼" 5 – Tramo 2, 22.5cm, 1 ¼" 6 – Macho 1 ¼"
	1 – Descarga
	1 – Macho 1, 1" 2 – Tramo 1, 25cm, 1" 3 – Universal 1, 1" 4 – Tramo 2, 15cm, 1" 5 – T 1, 1" 6 – Tramo 3, 5cm, 1" 7 – Macho 2, 1" 8 – T galvanizada (montaje transductor) 9 – Macho 3, 1" 10 – Tramo 4, 5cm, 1" 11 – Universal 2, 1" 12 – Tramo 5, 5cm, 1" 13 – Macho 4, 1" 14 – Válvula mariposa 1" 15 – Macho 5, 1" 16 – Tramo 6, 5cm, 1" 17 – T 2, 1" 18 – Tramo 7, 7.5cm, 1" 19 – Válvula bola PVC, 1" 20 – Tramo 8, 7.5cm, 1" 21 – Universal 3, 1"
	2 – Cebado
	1 – Reductor ½" a ¾" 2 – Tramo 1, 4cm, ¾" 3 – Macho 1, ¾" 4 – Válvula bola ¾" 5 – Macho 2, ¾" 6 – Tramo 2, 4cm, ¾"
	3 – Aforo
	7 – Universal ¾" (extremo final) 1 – Tramo 1, 5cm, 1" 2 – Válvula bola PVC, 1" 3 – Tramo 2, 8cm, 1" 4 – Universal 1" 5 – Tramo 3, 7cm, 1" 6 – T 1" 7 – Tramo 4, 50cm, 1"
2 – Motobomba 2	
0 – Motor motobomba	1 – Rotor 2 – Estator

GUTIERREZ, 2006.

Los criterios más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de ingresar un equipo en el sistema AM son: código, descripción, estado, clase, ubicación física, encargado, valor y proveedor.

Ilustración 40 Formato de ingreso de los equipos en el software AM

The screenshot shows a web-based form titled "Equipos". At the top, there are buttons for "Actualizar", "Eliminar", "Nuevo", and "Copiar". The form contains several input fields and dropdown menus. Key fields include:

- Equipo:** 1101
- EQ-Raíz:** No
- Ruta:** No
- Interno:** 1234586
- Descripción:** Rotor 1
- Estado:** A-En operación
- Referencia:** (empty)
- Serial:** (empty)
- Num. activo f.:** (empty)
- Alias:** (empty)
- C. Costo:** (dropdown)
- Ubi. Física:** Laboratorio hidraulica bloque 20
- Marca:** (empty)
- Modelo:** (empty)
- Clase:** Clave o Crítico
- Tipo:** (empty)
- Proveedor:** Almacén Jaime Ochoa
- Fabricante:** (dropdown)
- Encargado:** John Harvy Henao
- Confianza Subjetiva:** 100
- Relación:** RD
- Fecha Compra:** (dropdown)
- Fecha Arranque:** (dropdown)
- Fecha Fin Garantía:** (dropdown)
- Valor Compra 1:** 0
- Valor Compra 2:** 0
- Contador:** (dropdown)
- Valor Actual:** 0
- Fecha Lectura:** (dropdown)
- Estándar Planeación:** 0 por Día

 At the bottom, there are buttons for "Actualizar", "Eliminar", "Nuevo", and "Copiar".

El segundo paso consiste en asignar a cada uno de los componentes, acciones de mantenimiento respectivas.

Ilustración 41 Formato de ingreso de las acciones de mantenimiento en el software AM.

The screenshot shows a web-based form titled "Programas de Mantenimiento". At the top, there are buttons for "Actualizar", "Eliminar", "Nuevo", and "Copiar". The form contains several input fields and dropdown menus. Key fields include:

- Equipo:** Código 1101
- Tarea:** MANTENIMIENTO ROTOR 1
- C. Costo:** Centro de costos GEMI
- C.Resp:** Mtto Grnl
- Contrato:** (radio button, not selected)
- Responsable:** Esteban Gutiérrez
- T. Trabajo:** Mec Ele IE Otr
- T. Mto.:** Preventivo
- Actividad:** EQ-Reposición de Equipos
- Equipo Parado:** Si
- Prioridad:** 3
- Tiempo Estimado:** 15 Minutos

La ilustración anterior muestra el ingreso de las acciones de mantenimiento, para esto se debe tener en cuenta lo siguiente:

Tabla 33 Criterios a tener en cuenta para el ingreso de las acciones de mantenimiento.

Equipo	En este campo se registra el código del equipo, la cual se muestra al comienzo de este numeral; desde allí se elige aquel para el cual se va a definir el la actividad de mantenimiento.
C. Costo	Lista los centros de costo. Para este caso solo se tiene le centro de costos de Grupo GEMI.
C. Resp	Lista los centros responsables. Aquí se selecciona un centro responsable , que será el encargado de realizar la labor de mantenimiento.
Contrato	Lista los Contratos activos, para este caso no se tiene ningún listado de contratos.
Responsable	Lista los Responsables activos definidos en la tabla correspondiente. El responsable de todos los mantenimientos es el monitor del Grupo GEMI Esteban Gutiérrez.
Tipo Mtto:	El software AM predefine cinco tipos de mantenimiento: preventivo, predictivo, calibración, lubricación y otro. Como su nombre lo indica, el tipo de mantenimiento discrimina qué mantenimiento se realiza.
Tipo de Trabajo	El software AM predefine (aunque pueden personalizarse) cuatro tipos de trabajo: Mecánico (MEC), Eléctrico (ELE), Instrumentación/Electrónica (IEL) y Otro (OTR). Un mantenimiento debe tener asociado al menos un tipo de trabajo, es decir que puede tener asignados varios de estos tipos de trabajo, dependiendo de la naturaleza de la labor que se realice.
Actividad	Lista los tipos de actividad, pueden ser inspecciones, revisiones, limpiezas, cambio, entre otras.
Prioridad	Es un número de 1 a 7, de uso subjetivo, que indica la prioridad de realización de la orden de trabajo. Normalmente el valor 1 significa un trabajo de gran urgencia, mientras que el 7 significa una labor de baja prioridad.
T. Estimado	Es el presupuesto de tiempo necesario para llevar a cabo las labores de mantenimiento. El valor a ingresar debe ser numérico y se puede expresar en días, horas o minutos.
Equipo Parado	Este campo es informativo; le indica a la persona o personas encargadas de realizar la labor, si el equipo debe detener su producción para proceder a la realización de la tarea de mantenimiento. Cuando se dice que el equipo está “parado” significa que no está en operación, y por lo tanto, improductivo.

WINSOFTWARE, 2006,5.

En el ingreso de las periodicidades de las acciones de mantenimiento debe tenerse en cuenta el plan de mantenimiento que se describe en el numeral 3.4.4. el cual muestra cada cuánto debe realizarse el mantenimiento. El software AM presenta cuatro posibles formas de establecer las periodicidades.

Ilustración 42 Ingresos de las periodicidades en el software AM.

Criterio por Frecuencia

Criterio por Semanas del año

01 05 09 13 17 21 25 29 33 37 41 45 49

02 06 10 14 18 22 26 30 34 38 42 46 50

03 07 11 15 19 23 27 31 35 39 43 47 51

04 08 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52

Criterio por contador

Criterio por Característica Controlable

El ingreso de las periodicidades se realiza por semanas al año como se muestra en la figura, y sólo debe colocarse en cuál de las semanas se ejecutará el mantenimiento según el numeral 3.4.4.

Ilustración 43 Listado de acciones de mantenimiento en el software AM.

Código Equipo	Tarea	Descripción	Tipo Mto.	Actividad de Mto.	Criterio
16216	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 3, 5cm, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16217	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS MACHO 2, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16218	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS T GALVANIZADA 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16219	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS MACHO 3, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16221	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS REDUCTOR 1/2" a 3/4" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16222	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 1, 4cm, 3/4" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16223	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS MACHO 1, 3/4" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16224	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS VALVULA bola 3/4" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16225	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS MACHO 2, 3/4" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16226	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 2, 4cm, 3/4" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16227	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS UNIVERSAL 1, 3/4" (extremo	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16231	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 1, 5cm, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16232	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS VALVULA BOLA PVC, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16233	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 2, 8cm, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16234	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS UNIVERSAL 1, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16235	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 3, 7cm, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16236	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS T 1, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
16237	1	MANTENIMIENTO ACCESORIOS TRAMO 4, 50cm, 1" 6	Preventivo	EQ-Revisión / Inspección	SA
TAM01	1	MANTENIMIENTO TANQUE	Preventivo	MN-Manto	SA

Primera página [<<] Página anterior [<] Página siguiente [>] Última página [>>] Página 16 de 16

La generación de las órdenes se realiza en el menú OT; en su parte izquierda se encuentra el comando de GENERAR/ANALIZAR, en donde se debe ingresar el rango de fechas a analizar. Estos rangos son definidos por el encargado del mantenimiento. En muchas organizaciones se generan las órdenes el primer día de la semana para toda la semana, otras las generan al comienzo del mes para todo el mes.

Ilustración 44 Generación de las órdenes de trabajo en el software AM.

Analizar **Generar** **Regresar** Analizar / Generar

Rango de fechas a Analizar :

Desde

Hasta

Usuario

Datos de la última generación

Desde

Hasta

Usuario

Procedimiento general para Analizar y Generar Ordenes de Trabajo:

1. Hacer un respaldo de la base de datos. (Recomendado)
2. Digite el rango de fechas a analizar. (Se sugiere una semana)
3. Hacer 'Click' en el botón ANALIZAR.
4. Esperar a que el sistema muestre el mensaje de éxito, con el total de Ordenes detectadas.
5. Realizar impresiones para confirmar que el análisis es correcto. (Si es necesario)
6. Hacer 'Click' en el botón GENERAR. Esperar a que finalice el proceso.

La ilustración anterior muestra la ventana para analizar y generar órdenes de trabajo.

El análisis de las órdenes de trabajo permite visualizar sin generar las órdenes de trabajo y la generación establece las órdenes de trabajo como pendientes.

Ilustración 45 Listado de reportes disponibles.

Imprimir		Cerrar ventana de Impresión		Imprimir Análisis	
Número	Reportes Disponibles				
1	Actividades por Equipo y PM				
2	Actividades por Mes y Día				
3	Presupuesto programado				
4	Listado de repuestos				
5	Listado de repuestos detallado				
6	Listado de Oficios				
7	Listado de Oficios detallado				

La ilustración muestra un listado de los posibles reportes que se pueden imprimir al analizar las órdenes que se deber realizar en un rango de tiempo determinado.

Ilustración 46 Algunas órdenes de trabajo analizadas para el mes de mayo de 2006.

Mes generación		ACTIVIDADES POR MES Y DIA				
Día	Equipo	Tarea Descripción	Ubi.Fisica	Descripción PM.	Criterio	Frec.No.Hr.
PMPR2						
03/05/2006						
Desde: 2006/05/01 Hasta: 2006/05/31						
Mayo - 2006						
11	1101	1 Rotor 1	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ROTOR 1	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1201	1 Rotor 2	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ROTOR 2	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1401	1 Rotor 4	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ROTOR 4	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1601	1 Rotor 6	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ROTOR 6	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1202	1 Estator 2	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ESTATOR 2	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1502	1 Estator 5	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ESTATOR 5	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1602	1 Estator 6	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO ESTATOR 6	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1203	1 Conexión Eléctrica 2	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO CONEXION E	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1403	1 Conexión Eléctrica 4	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO CONEXION E	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1603	1 Conexión Eléctrica 6	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO CONEXION E	SA: Semanas del año (20)	0 0,00
11	1204	1 Rodamiento Impeler 2	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO RODAMIENT	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1404	1 Rodamiento Impeler 4	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO RODAMIENT	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1604	1 Rodamiento Impeler 6	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO RODAMIENT	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1205	1 Rodamiento Ventilador 2	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO RODAMIENT	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1405	1 Rodamiento Ventilador 4	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO RODAMIENT	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1605	1 Rodamiento Ventilador 6	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO RODAMIENT	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1206	1 Ventilador 2	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO VENTILAD	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1406	1 Ventilador 4	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO VENTILAD	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1606	1 Ventilador 6	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO VENTILAD	SA: Semanas del año (20)	4 0,00
11	1112	1 Sello Mecánico 1	Laboratorio hidraulica bloque 2	MANTENIMIENTO SELLO ME	SA: Semanas del año (20)	0 0,00

3.6 CONCLUSION

Los pasos que se deben seguirse para realizar la implementación y ejecución de un plan de mantenimiento preventivo son: definición de la máquina, mecanismo con sus partes y si es el caso componentes, realización de un instructivo las acciones a tomar y sus respectivas frecuencias de las acciones preventivas, el tiempo de ejecución de cada acción y la jerarquización de las acciones según el nivel de mantenimiento preventivo. Estos pasos permiten desarrollar un plan de mantenimiento que controle los tipos de falla mostrados en el capítulo 2.

Una forma eficaz para realizar la ejecución de las tareas de mantenimiento planeado es la implementación de dichas tareas en un software de administración de mantenimiento, para este caso, en particular se utilizó el software AM.

4. CONTROLES DE EJECUCION

4.1 OBJETIVO

Establecer los controles de cumplimiento de las tareas de mantenimiento mediante la ejecución del plan de mantenimiento en un lapso de dos meses.

4.2 INTRODUCCION

El capítulo muestra los controles de ejecución de mantenimiento que se realizan en el desarrollo del este proyecto. Estas acciones son en su mayoría correctivas y modificativas.

El control de las acciones de mantenimiento se realiza por medio de formatos que permiten registrar un historial para cada sistema de bombeo. Los formatos permiten hacer un mejor control de las órdenes de trabajo generadas en el software de administración de mantenimiento AM. Para lograr esto se definen criterios tales como la revisión de las acciones de mantenimiento generadas por componente y el seguimiento de los instructivos realizados en el plan de mantenimiento preventivo, igualmente se tendrán en cuenta las acciones de mantenimiento (correctivas, modificativas, preventivas y predictivas) realizadas sobre los componentes de los seis subsistemas.

4.2.1 Control de la calidad de los trabajos de mantenimiento.

El trabajo de mantenimiento difiere del trabajo de producción en que se trata de un trabajo no repetitivo y de mayor variabilidad. En los casos en los cuales las acciones de mantenimiento se vuelven no repetitivas y ocasionales es esencial controlar el proceso de mantenimiento.

En el control de mantenimiento de las máquinas es fundamental llevar un registro de la información de las acciones realizadas y el estado en que quedan las máquinas después de realizarse el mantenimiento.

En este sentido y teniendo en cuenta que los informes de trabajo son el soporte normal de la información que posteriormente se introduce en el medio escogido para llevar dicho control, es de vital importancia que los datos recogidos en el informe sean correctos y describan de forma resumida todo aquello que puede ser de interés técnico para el histórico de las máquinas.

El elemento básico de control de las máquinas es su código, es por esto que para un mejor control de los sistemas de bombeo será necesario que en los formatos de control esté presente el código de los elementos para los cuales se inicia el seguimiento de las órdenes generadas para cada componente y su sistema de bombeo. Sin código la información no tiene destinatario por lo que se perderá (CALABIA@,2003).

Para lograr esto se propone el siguiente formato, el cual es independiente para cada subsistema de bombeo y permite llevar el control de las acciones realizadas en cada uno de los componentes con su respectiva codificación, la cual es asignada en la implementación de las acciones de mantenimiento en el software AM.

Los criterios de control que se tienen en cuenta son.

- Identificación por sistema de bombeo.
- Fecha de generación de la orden de trabajo.
- Código del elemento al cual se realiza la acción de mantenimiento.

mantenimiento predictivo se realizó para observar si las modificaciones cumplían con los requerimientos esperados. Se realizaron mediciones de vibraciones, ruido etc.

4.2.3 Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 2.

Las acciones de mantenimiento realizadas en este sistema de bombeo y para las cuales se establecieron los controles de mantenimiento son.

Ilustración 49 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 2.

CONTROL DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO											
Sistema de bombeo N° 2											
Fecha generación	Código equipo	Orden de trabajo	Acción de mantenimiento				Descripción de la acción	Tiempo			Responsable
			Modificativo	Correctivo	Preventivo	Predictivo		DD	HH	MM	
26/10/2005	12XX	2005-7	X				Rediseño eje motor	26	3		Jhon Harvy Henao
25/11/2005	12XX	2005-13				X	Desmontaje para mediciones			45	Jhon Harvy Henao
10/02/2006	12XX	2006-4		X			Caída de presión y fuga en tuberías		1		Jhon Harvy Henao
16/02/2006	12XX	2006-7		X			Paro por bajo nivel en el tanque	1			Jhon Harvy Henao
24/02/2006	12XX	2006-13		X			Paro inesperado		1		Jhon Harvy Henao
10/03/2006	12XX	2006-19		X			Paro por apagón		1		Jhon Harvy Henao

4.2.4 Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 3.

Las acciones correctivas, modificativas y predictivas realizadas en el sistema de bombeo 3 se vienen ejecutando desde el 26 de octubre de 2005 a la fecha. Estas acciones comprenden desde rediseños de elementos del sistema hasta la medición de dichas modificaciones, además de acciones inesperadas en el sistema que conllevaron a su paro parcial o total.

Ilustración 50 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 3.

CONTROL DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO											
Sistema de bombeo N° 3											
Fecha generación	Código equipo	Orden de trabajo	Acción de mantenimiento				Descripción de la acción	Tiempo			Responsable
			Modificativo	Correctivo	Preventivo	Predictivo		DD	HH	MM	
26/10/2005	13XX	2005-8	X				Rediseño eje motor	26	3		Jhon Harvy Henao
25/11/2005	13XX	2005-14				X	Desmontaje para mediciones			45	Jhon Harvy Henao
16/02/2006	13XX	2006-8		X			Paro por bajo nivel del tanque	1			Jhon Harvy Henao
24/02/2006	13XX	2006-14		X			Paro inesperado		1		Jhon Harvy Henao
10/03/2006	13XX	2006-20		X			Paro por apagón		1		Jhon Harvy Henao

4.2.5 Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 4.

El mantenimiento predictivo realizado en cada uno de los sistema de bombeo después de las acciones modificativas descritas en el capítulo 2 numeral 2.7, permitieron comprobar que las modificaciones cumplieran con los requerimientos esperados por el proyecto. Las mediciones comprendieron análisis de vibraciones, ruido y comportamiento del motor y de la bomba bajo condiciones normales de operación. Igualmente se realizaron acciones correctivas.

Ilustración 51 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 4.

CONTROL DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO											
Sistema de bombeo N° 4											
Fecha generación	Código equipo	Orden de trabajo	Acción de mantenimiento				Descripción de la acción	Tiempo			Responsable
			Modificativo	Correctivo	Preventivo	Predictivo		DD	HH	MM	
26/10/2005	14XX	2005-9	X				Rediseño eje motor	26	3		Jhon Harvy Henao
25/11/2005	14XX	2005-15				X	Desmontaje para mediciones			45	Jhon Harvy Henao
24/02/2006	14XX	2006-5		X			Bomba sin ceba		1		Jhon Harvy Henao
16/02/2006	14XX	2006-9		X			Paro por bajo nivel del tanque	1			Jhon Harvy Henao
24/02/2006	14XX	2006-15		X			Paro inesperado		1		Jhon Harvy Henao
10/03/2006	14XX	2006-21		X			Paro por apagón		1		Jhon Harvy Henao

4.2.6 Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 5.

El control de las acciones de mantenimiento realizado para el sistema de bombeo 5 comprende la documentación física de las acciones realizadas. Esta información permite, por parte del encargado de la investigación, auditar si las tareas de mantenimiento se realizan según los planes de mantenimiento y el control de las acciones de mantenimiento correctivo y modificativo que se pueden presentar en el transcurso del normal funcionamiento del sistema.

Ilustración 52 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 5.

CONTROL DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO											
Sistema de bombeo N° 5											
Fecha generación	Código equipo	Orden de trabajo	Acción de mantenimiento				Descripción de la acción	Tiempo			Responsable
			Modificativo	Correctivo	Preventivo	Predictivo		DD	HH	MM	
26/10/2005	15XX	2005-10	X				Rediseño eje motor	26	3		Jhon Harvy Henao
25/11/2005	15XX	2005-16				X	Desmontaje para mediciones			45	Jhon Harvy Henao
21/02/2006	15XX	2006-2		X			Paro por fuga en tubería		1		Jhon Harvy Henao
20/01/2006	15XX	2006-3		X			Fallo por válvula cerrada			20	Jhon Harvy Henao
16/02/2006	15XX	2006-10		X			Paro por bajo nivel del tanque	1			Jhon Harvy Henao
24/02/2006	15XX	2006-16		X			Paro inesperado		1		Jhon Harvy Henao
10/03/2006	15XX	2006-22		X			Paro por apagón		1		Jhon Harvy Henao

4.2.7 Control de acciones de mantenimiento del subsistema de bombeo 6.

Las acciones de mantenimiento ejecutadas en el transcurso del proyecto para el subsistema de bombeo 6 comprenden acciones modificativas, correctivas y predictivas para las cuales se realizan controles de documentación que sirven para realizar un historial detallado de cada uno de los sistemas de bombeo.

Ilustración 53 Control de mantenimiento del subsistema de bombeo 6.

CONTROL DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO											
Sistema de bombeo N° 6											
Fecha generación	Código equipo	Orden de trabajo	Acción de mantenimiento				Descripción de la acción	Tiempo			Responsable
			Modificativo	Correctivo	Preventivo	Predictivo		DD	HH	MM	
26/10/2005	16XX	2005-11	X				Rediseño eje motor	26	3		Jhon Harvy Henao
25/11/2005	16XX	2005-17				X	Desmontaje para mediciones			45	Jhon Harvy Henao
24/02/2006	16XX	2006-6		X			Bomba sin ceba		1		Jhon Harvy Henao
16/02/2006	16XX	2006-11		X			Paro por bajo nivel del tanque	1			Jhon Harvy Henao
24/02/2006	16XX	2006-17		X			Paro inesperado		1		Jhon Harvy Henao
10/03/2006	16XX	2006-23		X			Paro por apagón		1		Jhon Harvy Henao

4.3 CONCLUSION

El control de las acciones de mantenimiento permite construir un historial de cada sistema. Este formato debe tener los siguientes elementos: la orden de trabajo bajo la cual se realizó la acción de mantenimiento, el responsable de la generación de la orden de trabajo, la fecha de generaron de la orden, el tiempo de duración, la descripción de la acción de mantenimiento y el tipo de acción realizada en el sistema. La construcción del historial con la ayuda de este formato de control de acciones de mantenimiento permite elaborar un seguimiento del comportamiento de los subsistemas en el tiempo, así como la elaboración de parámetros e indicadores que permitirán pronosticar posibles fallos potenciales.

5. CONCLUSIONES

5.1 OBJETIVO

Concluir los principales objetivos de este proyecto de grado.

5.2 INTRODUCCION

El capítulo muestra las conclusiones con respecto al desarrollo de la metodología completa de análisis de fallas *FMECA* para el sistema GCB, con el fin de determinar las tareas de mantenimiento mediante el uso del *RPN*.

5.3 CONCLUSIONES GENERALES

El análisis *FMECA* muestra que los modos de falla más críticos son aquellos que requieren acciones modificativas debido a que tienen defectos de diseño o montaje del sistema. Estos modos de falla se centran en los elementos relacionados con el acople que existe entre el motor y la bomba.

El Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas (*FMECA*) es una metodología que permite identificar los modos de falla potenciales para un equipo, máquina y proceso.

El *FMECA* permite determinar el riesgo mediante el cálculo del *RPN* asociado a los modos de falla presentados en los equipos, máquinas y procesos industriales; además permite realizar una jerarquización para alinear las fallas en términos de su importancia y para identificar y realizar acciones correctivas, preventivas,

modificativas y preventivas con el fin de proponer tareas y acciones de mantenimiento que permitan aumentar la confiabilidad en el sistema de bombeo.

En el sistema de bombeo, la aplicación de la metodología *FMECA* permite jerarquizar y atacar las fallas más críticas eliminando y disminuyendo las más ocurrentes mediante la ejecución de tareas modificativas que permiten un mejor cumplimiento de las funciones del equipo objeto de estudio.

Las fallas más críticas en el primer cálculo del RPN se centran en el acople, debido a que produce modos de falla críticas tales como desalineación entre la bomba y el motor, eje torcido del acople, sobrecalentamiento en el motor, pérdida de eficiencia en la bomba, sello defectuoso y baja velocidad en el sistema.

El resultado del primer cálculo del RPN consiste en realizar un rediseño en el modo de acoplar la bomba y el motor. El rediseño que se realizó en todos los seis sistemas de bombeo fue acoplar directamente el eje del motor con la bomba, mediante unas modificaciones en el eje del motor, el chasis del motor y el chasis de la bomba, permitiendo mayor rigidez y un desgaste normal del sello mecánico de la bomba.

El acople directo mejoró, notablemente el sistema; una prueba de esto es que desde la implementación de las modificaciones no se han presentado paros repentinos del sistema debido a problemas mecánicos asociados al acople.

El segundo cálculo del RPN muestra que los modos de falla con mayor criticidad son: disparo de sobrecarga de motor defectuoso, impulsor o carcasa obstruida, filtraciones en el tanque, nivel del tanque por debajo del nivel de succión y válvula de aforo dañada. Todos estos modos de falla pueden ser controlados mediante acciones preventivas

El propósito del mantenimiento preventivo desarrollado para el sistema de bombeo es evitar que las fallas y sus consecuencias aumenten debido a una mala planeación de mantenimiento. Para hacer esto se proponen inspecciones y mantenimientos planeados cuyo fin es que los seis sistemas de bombeo puedan operar de manera normal, sin interrupciones, el mayor tiempo posible. Un adecuado mantenimiento preventivo de los sistemas de bombeo evitará también que los costos del proyecto se eleven.

Las principales ventajas que provee un software de mantenimiento para la administración del mantenimiento de equipos, máquinas y procesos industriales son: la consulta remota de información de tareas planadas de mantenimiento, así como la ejecución de órdenes de trabajo de tareas correctivas o modificativas desde cualquier lugar, así como la facilidad de elaborar rutinas que incluyan diagramas explicativos sobre procesos de mantenimiento.

Otra ventaja significativa del Software de mantenimiento es que permite llevar un control amplio de los equipos mediante el seguimiento de las ordenes de trabajo, la realización de un historial detallado que contenga descripción y tipo de fallas, reparaciones, acciones de mantenimiento, tiempos muertos, tiempos de reparación, costos de la reparación y frecuencias de mantenimiento.

La implementación del plan de mantenimiento preventivo y el control de las acciones de mantenimiento predictivas y correctivas en el software de administración de mantenimiento AM permiten lograr el control total de las operaciones de mantenimiento realizados en los seis sistemas de bombeo y además permite llevar un mejor control de planeación y monitoreo del trabajo y de los recursos del proyecto, permitiendo la optimización de la gestión de mantenimiento, de repuestos y materiales.

Un sistema eficaz de operación y control de las acciones de mantenimiento es la columna vertebral de una sólida administración de mantenimiento. Por esta razón es importante realizar un formato de control de dichas acciones que permitan llevar un historial detallado de los quipos para los cuales se realizan las acciones de mantenimiento planeado, correctivo o modificativo.

El sistema de control planteado para las órdenes de trabajo mediante un formato detallado para los seis sistemas de bombeo es el vehículo para planear y controlar el trabajo de mantenimiento y de las acciones realizadas en dichos sistemas; así mismo este control también proporciona la información necesaria para vigilar e informar acerca del trabajo de mantenimiento realizado sobre los sistema de bombeo.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1 REFERENCIAS CLASICAS

DUFFUAA, S.O. Ben-Daya, S. Maintenance and quality: the mission link.. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Volumen 1 Número 1. 1995. West Yorkshire. England. ISSN: 1355-2511.

DUFFUAA.S.O. Sistemas de mantenimiento "Plantación y control". Primera edición. Editorial Limusa, S.A. 2000. ISBN: 968-18-5918-9.

ESTUPIÑAN, Edgar. Notas de la charla "Técnicas de mantenimiento predictivo". Universidad EAFIT. Febrero 11 de 2003

GUTIERREZ, Esteban. Investigación grupo GEMI.2006

HARRIS, Gray W. Living with Murphy's law. Research-Technology Management, Vol.37,Iss.1 10-13. USA. 1994

HENAO. Jhon Harvy. Mora Gutierrez, Luis Alberto (Director). Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA) aplicado al sistema de bombeo GEMI. Monografía de Postgrado en Mantenimiento Industrial. Universidad EAFIT. Colombia. 2006.

_____. Presentación Power Point "Mantenimiento Preventivo". En: Acciones Preventivas. Asignatura de especialización en mantenimiento industrial de la universidad EAFIT. Julio-Noviembre. 2005.

KECECIOGLU, Dimitri.. Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering. Editorial Prentice-Hall Professional Technical. New Jersey. USA. September. 1995. ISBN: 0135736277.

LATINO, Charles. 'Hidden Treasures: Eliminating Chronic Failures Can Cut Maintenance Cost Up to 60%'. Plant Engineering. Cahners Publishing Co. 1996.

MANRIQUE, Jorge A. Dibujo mecánico y geometría descriptiva. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, Pág. 224. 1999. ISBN: 958-6990-48-X.

MCNAUGHTON, Kenneth J. Bombas. McGraw – Hill. México, 1992. Pág. 122-128. ISBN: 9684220367.

MORA, Luis Alberto y Otros. Proyecto de Investigación: Diseño para la medición de confiabilidad, MANTENIBILIDAD y DISPONIBILIDAD (CMD) de equipos en mantenimiento industrial. Medellín Colombia. 2005.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Editorial AMG. Colombia. 2005. ISBN: 95833-8218-3.

MOSLEH, A. *"Procedures for treating common cause failures in safety reliability studies"*. U.S Nuclear Regulatory Commission and Electric Power Research Institute by Pickard, Lowe and Garrick, Inc. 1988.

OMDAHL, T. P. Reliability availability and maintainability dictionary. Milwaukee: ASQC Quality Press. Ed. 1988. ISBN: 0873890450

PARRA, Carlos. Optimización de la producción a partir de la implementación del MCC, Centro de educación continua, EAFIT , Medellín, Colombia, 1999.

PATTON, Joseph D. Jr. Preventive Maintenance. The International Society for Measurement and Control. Instrument Society of America. Second Edition. USA. 1995. ISBN: 1-55617-533-7

PINILLA, Pablo. Presentación Power Point "52_EMI_EAFIT_Presentación _tema_2005". En: Sistemas de Información. Asignatura de especialización en mantenimiento industrial de la universidad EAFIT. Julio-Noviembre. 2005

STAMATIS, D.H. Failure, Mode and Effect Analysis. FMEA from Theory to Execution. ASQC American Society for Quality. Quality Press Edit. Wisconsin. USA. September 1995. ISBN: 0-87389-300-X

VELASQUEZ, Diego José y KAMEL, Snaider Yasin. Monitoreo de la condición de las máquinas. Medellín, 2002. Proyecto de grado (ingeniero mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica.

WINSOFTWARE, Asociados Ltda. Manual AM. Capitulo1 y 9, 2006.

6.2 REFERENCIAS DE INTERNET

CALABIA@,2003.

Sistema integral de mantenimiento mantéala. Página web: <http://mto.calabia.com/ayuda.htm>. España. 2003

DIAGNETICS@,1998.

Diagnetics. What is Proactive Maintenance?. Página web: <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/OilAnalysis/oa-what.htm> USA. 1998.

FITCH@,2002.

Fitch, Jim - Proactive Maintenance's Unruly Cousin - Machinery Lubrication Magazine. Página web: <http://www.machinerylubrication>.

com/articledetail.asp?articleid=335&relatedbookgroup=ContaminationControl.

USA. 2002.

GUDE@,1998.

Gude Internet. Empirical studies. Condition-based Preventive Maintenance. Varios autores: Gude, etc. Página web: <http://exp-1.arb-phys.uni.dortmund.de/mtnance/induce.htm>. Preventive Maintenance: experiment, condition. USA. 1998.

INTERNAL@, 2006 .

¿Que es un CMMS? Página web: http://internal.dstm.com.ar/foro/mm/EC2002/PONENCIA_files/frame.htm#slide0046.htm, Argentina, 2006.

J.O.@,2001.

J. O. 'FMECA' 1999. Página web: www.fmeca.com. USA. 2001.

LATINO@2006.

LATINO C, Kenneth. *'Failure Modes And Effects Analysis (a modified Approach)'*. National Petroleum Refineries Association (NPRA) Maintenance Conference. May 1996. Página web: <http://www.reliability.com>. USA. 2001.

NESTLE@,2005

Táctica proactiva de Nestlé - Página web: www.sisteplant.com/Noticias/nestle.pdf. USA. 2005.

ROTOPLAS@,2006.

Distribuidor de valvulas de pie. Pagina web: http://www.rotoplas.com/linea_resitec_valvula_pie.html. Mexico, 2006.

WINSOFTWARE@, 2005.

Proveedor software de mantenimiento AM. Página web: www.winsoftware.com.co. Colombia. 2006.

ANEXOS

1. Programa en MATLAB 6.5

```
% Matriz_de_riesgos(S,D,O) Programa para graficar la matriz de riesgos
% Entradas: S = Vector con los valores de Severidad (n*1)
%          D = Vector con los valores de Detencion (n*1)
%          O = Vector con los valores de Ocurrencia (n*1)
%          Donde n es el numero de modos de fallo

function ()=Matriz_de_riesgos(S,D,O)

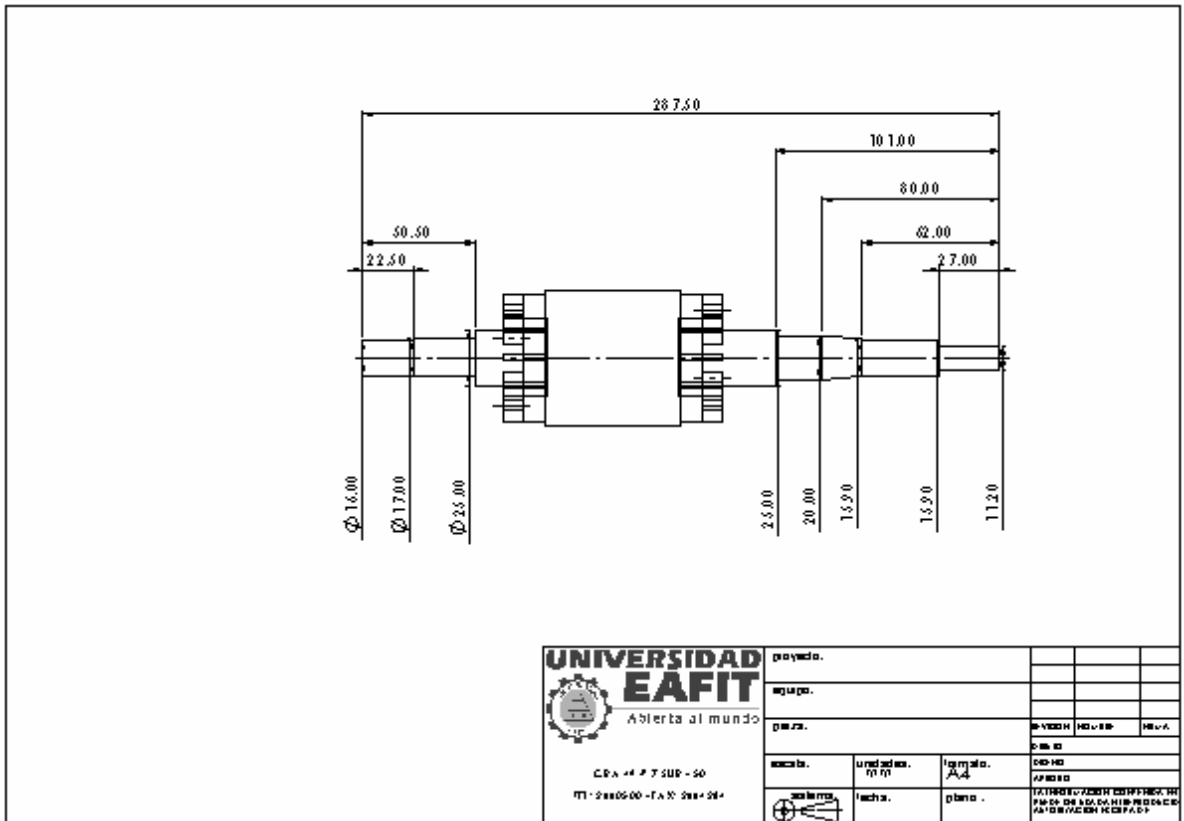
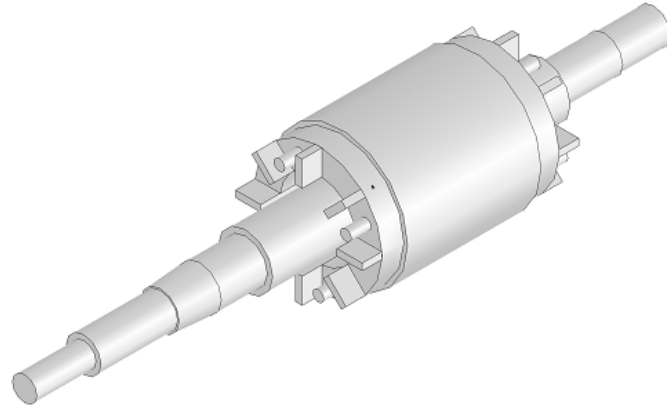
S = S.*3./max(S) + 1; % Escalamiento de los valores de severidad para que esten
entre 1 y 4.
for z=1:4
    X=[1 1];
    Y=[1 4];
    Z=[z z];
    hold on
    plot3(Y,X,Z,'k')
    plot3(Z,X,Y,'k')
    plot3(X,Y,Z,'k')
    plot3(X,Z,Y,'k')
    X=[4 4];
    plot3(Z,Y,X,'k')
    plot3(Y,Z,X,'k')
end
hold on
Z(1:size(S,2))=[4];
plot3(O,S,Z,'k*')
hold on
Y(1:size(S,2))=[1];
plot3(O,Y,D,'k*')
X(1:size(S,2))=[1];
plot3(X,S,D,'k*'), view(-45,30)
xlabel('OCURRENCIA'), ylabel('SEVERIDAD'), zlabel('DETENCION')
```

(MATLAB 6.5)

2. Planos partes modificadas

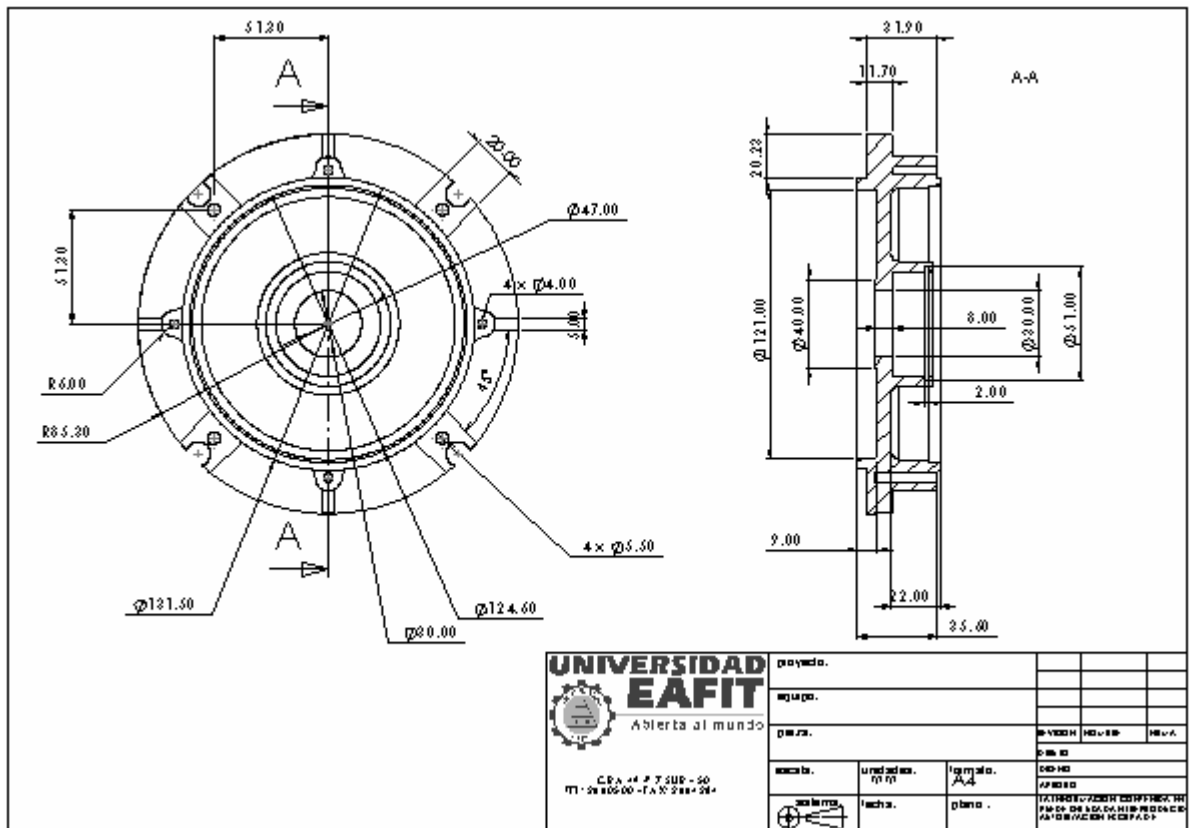
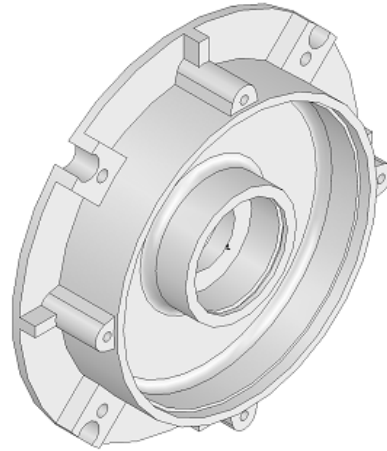
2.1 Eje (Rotor)

Ilustración 54 Plano del Rotor.



2.2 Tapa carcasa del motor

Ilustración 55 Plano del la tapa de la carcasa del motor.



2.3. Tapa carcaza bomba

Ilustración 56 Plano del la tapa de la carcaza de la bomba.

