



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y
AUTOMATIZACIÓN



GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA UNA MAQUINA PAPELERA

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar
al título de Ingeniero Mecánico*

Tutor académico:
Ing. Luis Sidorovas

Autor:
Valera R. Valsdher R.

Naguanagua, enero de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y
AUTOMATIZACIÓN



GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA UNA MAQUINA PAPELERA

Valera R. Valsdher R.

Naguanagua, enero de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado designado para evaluar el trabajo Especial de grado titulado **“Gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para una maquina papelera”**, realizado por el bachiller: Valera R. Valsdher R. C.I: 19.479.164, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Luis Sidorovas

Prof. Galo Ruiz

Prof. Ruben Osto

27 de enero de 2016

Agradecimientos

El siguiente trabajo de grado representa el logro de una de las metas más importantes que me he propuesto para la vida, es por esto que quiero agradecer a todos aquellos que, de una u otra forma, hicieron posible el cumplimiento de esta meta.

A DIOS, por permitirme ver la luz del día, cada día y por estar siempre a mi lado.

A MIS PADRES, por hacer todo lo posible para que pudiese cumplir con todas mis metas planteadas.

A MIS HERMANOS, ABUELOS Y DEMÁS FAMILIARES, por estar pendiente de mí, deseando siempre, cosas buenas para mi futuro.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE ESTUDIO, quienes han sido como hermanos para mí, siempre tendiéndome la mano al momento que lo necesitara, sin esperar nada a cambio.

A LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO, FACULTAD DE INGENIERIA Y SUS PROFESORES, por contribuir en mi formación, tanto académica como personal.

AL PROFESOR LUIS SIDOROVAS, por su asesoría académica, que hizo posible la realización de este trabajo de grado.

A PAPELES VENEZOLANOS, C.A., y su personal, por permitir el desarrollar este proyecto en sus instalaciones, en especial a Jorge Bencomo, Claudia Garcia, Simon Arcila, Yorgin Castillo, Ali Cardozo, Luis Machuca, Carlos Gonzalez, Ytali Silva, Victor Villegas, personal de los departamentos de ambiente y mantenimiento por facilitar toda la información necesaria para el desarrollo de este trabajo de grado.

A la empresa **Ademinsa C.A.**, por su colaboración prestada.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de grado, a Dios, por siempre estar a mi lado.

A mis padres, Juana Cristina y Marco Tulio, por traerme al mundo, brindarme todo su cariño, y hacer todo lo posible para darme la oportunidad de cumplir con todas mis metas a nivel personal y profesional.

También quiero dedicar este trabajo, de manera muy especial, a mis abuelos, María y Julio cuya amor incondicional han sido el pilar fundamental en mi formación como persona.

Índice General

Índice Figuras.....	viii
Índice de Tablas	ix
Índice de Graficas	x
Nomenclatura.....	xii
Resumen	xiii
Introducción.....	1
Capítulo I.....	3
Objeto de estudio.	3
1.1 Planteamiento del Problema:.....	3
1.2 Importancia:	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General del Trabajo:	5
1.3.2 Objetivos Específicos:	5
1.4 Limitaciones:.....	5
1.5 Alcance:.....	6
1.6 Justificación:	6
Capítulo II.....	7
Marco teórico	7
2.1 Introducción al mantenimiento	7
2.2 Tipos de mantenimiento	7
2.2.1 Mantenimiento correctivo	8
2.2.2 Mantenimiento preventivo.....	8
2.2.3 Rediseño	9
2.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).....	10

2.3 Índices básicos de Gestión del mantenimiento	17
2.3.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	17
2.3.2 Tiempo medio de funcionamiento entre fallas (<i>TPFS</i>).....	17
2.3.3 Tiempo medio entre fallas (MTTF).....	17
2.3.4 Disponibilidad	18
2.3.5 Confiabilidad	18
2.4 Planes de mantenimiento	19
2.5 Motores de inducción.....	20
Figura 2.3. Elementos de un motor eléctrico.	20
Capítulo III	23
Marco metodológico	23
3.1 Nivel de la investigación:	23
3.2 Tipo de investigación:.....	24
3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
3.3.1 Entrevistas	24
3.3.2 Observación	25
3.3.3 Revisión de bibliografía	25
3.4 Aspectos administrativos Recursos humanos, materiales y financieros	25
3.5 Diseño de etapas metodológicas de la investigación:	26
Capítulo IV.....	29
Resultados y Análisis	29
4.1 Situación actual.....	29
4.1.1 Operatividad y mantenimiento	29
4.1.2 Fallas recurrentes y sus repercusiones.....	31
4.2 Análisis AMEF (Análisis Modo y Efecto de falla), análisis de criticidad, impacto ambiental e impacto a la producción, a fin de determinar las fallas más críticas.	31
4.2.1 Criterios para elaborar matriz de criticidad	32
4.3 Evaluación del nivel de confiabilidad que poseen los equipos.....	45
4.3.1 Aspectos evaluados en el estudio de confiabilidad:	48

4.3.2 Plano de confiabilidad	66
4.4 Recursos disponibles:	68
4.5 Lineamientos Básicos a Considerar	68
4.6 Indicadores de control	69
4.6.1 Indicadores de costos actuales de mantenimiento respecto a costos de producción.....	69
4.6.2 Relación entre las horas de trabajo y los gastos asociados.	72
4.7 Diseño del plan de mantenimiento preventivo:.....	74
4.7.1 Mantenimiento preventivo:	74
4.7.2 Mantenimiento Predictivo	75
4.7.3 Análisis de vibraciones:	75
4.7.4 Termografía.....	79
4.7.5 Mantenimiento Rutinario:	80
4.7.6 Chequeo de Maquinas:.....	86
4.8 Análisis del plan de mantenimiento propuesto:.....	88
4.8.1 Confiabilidad:.....	88
4.8.2 Productividad asociada a la implementación de la gestión de mantenimiento:.....	94
4.8.3 Disponibilidad asociado a la gestión de mantenimiento:.....	96
4.8.4 Nivel de rendimiento que la actividad de mantenimiento alcanzara para llevar a cabo las actividades de reparación (Mantenibilidad).	99
4.8.5 Seguridad implícita asociada a la gestión de mantenimiento.	101
4.8.6 Impacto ambiental asociado a la gestión de mantenimiento:	101
Conclusiones.....	103
Recomendaciones.....	105
Bibliografía	107
Apéndice	110
Anexos.....	118

Índice Figuras

Figura 2.1. Diagrama del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	11
Figura 2.2. Las 7 preguntas del AMEF.	16
Figura 2.3. Elementos de un motor eléctrico.....	20
Figura 4.1: Esquema productivo de la empresa.....	30
Figura 4.2. Nivel de Riesgo: Criticidad vs. Frecuencia	34
Figura 4.3. Plano de confiabilidad.	67
Figura 4.4. Actividad de mantenimiento preventivo a motores eléctricos.....	76
Figura 4.5. Formato identificación motor eléctrico.	77
Figura 4.6. Formato análisis de vibración.	78
Figura 4.7. Formato análisis termo gráfico.	80
Figura 4.8. Formato orden de mantenimiento.	83
Figura 4.9. Notificación de mantenimiento.....	84
Figura 4.10. Formato mantenimiento correctivo.	85
Figura 4.11. Plano de confiabilidad luego de la intervención.	91

Índice de Tablas

Tabla 4.1. Criterio de observación.....	31
Tabla 4.2. Criterio de frecuencia	32
Tabla 4.3. Criterio de frecuencia	33
Tabla 4.4. Tipos de riesgo.	35
Tabla 4.5. Resumen AMEF.	36
Tabla 4.6. Valores de confiabilidad obtenidos en los agitadores.	51
Tabla 4.7. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.....	53
Tabla 4.8. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.....	55
Tabla 4.9. Valores de confiabilidad en pantallas.	57
Tabla 4.10. Valores de confiabilidad en refinadores.	58
Tabla 4.11. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.....	60
Tabla 4.13. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.....	63
Tabla 4.14. Tiempo medio entre fallas por área.	66
Tabla 4.15. Códigos de orden de trabajo.....	82
Tabla 4.16. Colores asociados a las tareas de mantenimiento.....	86
Tabla 4.17. Mantenimiento Agitadores.....	86
Tabla 4.18. Mantenimiento Pantallas.....	86
Tabla 4.19. Mantenimiento Bomba centrifuga.	87
Tabla 4.20. Mantenimiento Bomba de vacío.....	87
Tabla 4.21. Mantenimiento Rollos.	87
Tabla 4.22. Mantenimiento de refinador.....	87
Tabla 4.23. Mantenimiento Agitadores.....	87
Tabla 4.24. Sistema de accionamiento.....	87
Tabla 4.25. Numero de fallas antes y después del estudio.....	93
Apéndice 1.....	111
Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado.	118

Índice de Graficas

Grafica 4.1. Punto caliente: Posiciones técnicas vs frecuencia	39
Grafica 4.2. Carbones/ Escobillas defectuosas: Posiciones técnicas vs frecuencia.....	41
Grafica 4.3. Porcentaje de fallas totales para el año 2.014.....	46
Grafica 4.4. Porcentaje distribución de fallas año 2.014.....	47
Grafica 4.5. Porcentaje distribución de fallas año 2.014.....	48
Grafica 4.6. Porcentaje distribución de fallas motores eléctricos por renglón, año 2.014..	49
Grafico 4.7. Curva de confiabilidad obtenida en los agitadores.....	52
Grafico 4.8. Curva en papel semilogaritmico de confiabilidad obtenida en los agitadores.	52
Grafico 4.9. Curva de confiabilidad.....	54
Grafico 4.10. Curva en papel semilogaritmico	54
Grafico 4.11. Curva de confiabilidad obtenida.....	56
Grafico 4.12. Curva en papel semilogaritmico.....	56
Grafico 4.13. Curva de confiabilidad obtenida.....	57
Grafico 4.14. Curva en papel semilogaritmico.....	58
Grafico 4.15. Curva de confiabilidad obtenida.....	59
Grafico 4.16. Curva en papel semilogaritmico.....	59
Grafico 4.17. Curva de confiabilidad obtenida.....	60
Grafico 4.18. Curva en escala semilogaritmica.....	61
Grafico 4.19. Curva semilogaritmica obtenida.....	62
Grafico 4.20. Curva de confiabilidad.....	62
Grafico 4.21. Curva de confiabilidad obtenida.....	63
Grafico 4.22. Curva en escala semilogaritmica.....	63
Grafica 4.23. Confiabilidad por área.....	65
Grafica 4.24, Toneladas metricas empacadas año 2.014	69
Grafica 4.25, se muestran los costos de producción del año 2.014	70

Grafica 4.26. Costos producción 2.014 (cost/ton. empa).....	70
Grafica 4.27. Costos de mantenimiento 2.014.	71
Grafica 4.28. Costos de mantenimiento por tonelada empacada 2.014	71
Grafica 4.29. Sobre tiempo 2.014.	72
Grafica 4.30. Sobre tiempo 2.014.	73
Grafico 4.31. Gastos asociados al sobre tiempo.	73
Grafica 4.32. Costos de mantenimiento después del estudio.	94
Grafico 4.33. Producción anual en toneladas métricas.	96

Nomenclatura

TMEF = TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS

TMPF = TIEMPO MEDIO PARA LA FALLA

TREP= TIEMPO DE REPARACIÓN

TPFS = TIEMPO PROMEDIO FUERA DE SERVICIO

RPM = REVOLUCIONES POR MINUTO

HP = CABALLOS DE FUERZA

AMEF = ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

IBM BPCS = BUSINESS PLANNING AND CONTROL SYSTEM, PROGRAMA DE GESTIÓN EMPRESARIAL UTILIZADO EN PAVECA.

Resumen

El siguiente trabajo pertenece a la línea de mantenimiento adjunta al departamento de diseño y automatización. Fue realizado con la finalidad de diseñar un programa de mantenimiento basado en confiabilidad enfocado en mejorar la efectividad de los activos críticos de la planta Papeles Venezolanos C.A., a fin de disminuir las paradas no programadas, elevar la productividad del sistema y minimizar costos asociados al mantenimiento. Para lograr esto, primero se realizó un diagnóstico de la situación de activos y recopilación de información técnica en conjunto con un análisis de criticidad. Luego, se determinaron los equipos críticos a través de un Análisis de Modos y Efectos de falla a dichos equipos, para determinar los modos de falla recurrentes y sus consecuencias. Este análisis sirvió de base para determinar los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como por ejemplo la medición, rutas de muestreo, frecuencia de inspección, actividad rutinaria de inspección. Una vez diseñado el programa, se procedió a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente. Se observó un incremento del porcentaje de activos, en condiciones anormales, durante el tiempo de estudio, originado, en gran medida, por una programación inadecuada y la ejecución de las acciones de mantenimiento, recomendadas en los reportes generados, posterior a cada inspección. Se dispuso mejor el material en los almacenes mejorando su eficiencia tanto para repuestos como para las partes que salen de circulación. Se espera un aumento positivo en todos los indicadores de costos y producción durante el tiempo de implementación del programa de mantenimiento desarrollado, se recomienda crear en la empresa la cultura de la utilización de las herramientas de confiabilidad como punto importante en el desarrollo del estatus vanguardista de la empresa.

Introducción

El mantenimiento industrial puede definirse como un conjunto de técnicas y procedimientos orientados a preservar las funciones de los activos industriales, de forma segura, eficiente y confiable, garantizando la integridad del activo físico, seguridad personal, ambiental, la continuidad del proceso productivo y la calidad del producto final.

El mantenimiento ha sido objeto de continuos cambios, desde su aparición en el escenario industrial. En los años 40, surge lo que es llamado la primera generación del mantenimiento en la industria, cuya única técnica empleada era la reparación posterior a la falla (mantenimiento correctivo). A partir de la década del 50, nace una segunda generación, enfocada en aumentar la disponibilidad y aprovechar al máximo, la vida útil de los activos físicos, todo esto al más bajo costo posible. Para lograrlo, se desarrollaron actividades de mantenimiento preventivo, sistemas de planificación y control.

Esta evolución continuó avanzando progresivamente, dando origen a una tercera generación, que surge a partir de los años 80, cuyos esfuerzos están dirigidos a mejorar la calidad de los productos, aumentar la confiabilidad y efectividad de los activos físicos, mejorar la seguridad y cuidar el ambiente, es decir, hacer el proceso productivo más eficiente, empleando técnicas y procedimientos como, estudios de riesgos, análisis de confiabilidad, disponibilidad, efectividad y mantenimiento basado en condición, que permitieran alcanzar las metas propuestas. A todo esto, se han ido añadiendo nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, de tal forma que actualmente podemos hablar de una cuarta generación. El nuevo enfoque se centra en técnicas proactivas a fin de encontrar la causa raíz del fallo, para minimizar su ocurrencia.

El objetivo principal de una gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad es incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos, permitiendo que los equipos funcionen de forma eficiente y confiable dentro del contexto operacional, asegurando que

cumplan con todas sus funciones para las cuales fueron diseñadas, para esto se debe de tomar en cuenta las consecuencias de las fallas, la seguridad, el ambiente y operaciones.

La gerencia de planificación de la planta PAPELES VENEZOLANOS, C.A., se ha propuesto implementar un programa de mantenimiento basado en confiabilidad, en sus equipos críticos, con el propósito de lograr una disminución en los costos de mantenimiento, reducción de fallas inesperadas, disminuir el inventario de repuestos así como las actividades de mantenimiento preventivo rutinario, incrementar el tiempo entre falla, y por ende la efectividad de los activos. El trabajo de grado que se presenta a continuación, consta de cinco capítulos, los cuales se refieren a continuación.

En el **capítulo I**, se mencionan algunos aspectos generales de la empresa, se describe el problema por el cual atraviesa y en función a este, se establece el objetivo general que se persigue, junto a los objetivos específicos. En el **capítulo II** se presentan los antecedentes de esta investigación así como conceptos y principios básicos que permiten una mejor comprensión del tema. El **capítulo III** constituye la metodología a seguir para alcanzar los objetivos propuestos. En el **capítulo IV** se desarrolla el trabajo y se muestran los resultados obtenidos. Luego, se generan las conclusiones y recomendaciones del trabajo propuesto.

Capítulo I

Objeto de estudio.

1.1 Planteamiento del Problema:

La empresa Papeles Venezolanos C.A., PAVECA es una empresa productora de papel tisú (papel higiénico) ubicada en guácara estado Carabobo. El proceso productivo de la empresa está representado por distintos departamentos: Planta de pulpa, destintado, ambiente, efluentes, conversión y el objeto de estudio de esta investigación, molinos.

El departamento de Molinos es el área dentro de PAVECA donde se desarrolla el proceso central de producción de papel, obteniendo como resultado las bobinas de papel, para ser utilizadas en el área de conversión como materia prima para elaboración de los diferentes productos que se fabrican en la empresa.

En lo que compete a este trabajo, se hará énfasis en lo que respecta a Mantenimiento preventivo procurando extraer el mayor beneficio que este ofrece. Actualmente la planta, no cuenta con un sistema de mantenimiento programado, ya que cada uno de los trabajos que se realizan en esta área es de tipo correctivo y/o predictivo, existen rutas de mantenimiento, pero no se cuenta con un esquema planificado. Y esto se traduce en bajos niveles de eficiencia operativa.

En la actualidad es una realidad la dificultad en la obtención de repuestos, haciendo que garantizar el funcionamiento de equipos sea de suma importancia a fin de asegurar productos en el mercado, que en este caso, son de primera necesidad.

En la búsqueda de mejorar las condiciones actuales dentro del proceso productivo y garantizar la continuidad del proceso, disminuir al máximo eventos inesperados, es necesario optimizar la duración de los activos para que presten largos períodos de operación satisfactoria sin fallas durante su uso. En términos cuantitativos, una gestión eficiente de la confiabilidad, permitirá disminuir la incertidumbre en el proceso de control

de las fallas, ayudando a incrementar de forma paulatina, la vida útil de los activos industriales dentro de un sistema de producción.

Una mejora en materia de mantenimiento se hace con el propósito de tener a la disposición los datos más actuales y difundir estos por toda la organización para distintas gestiones.

El departamento de planificación es encargado de llevar un seguimiento de las paradas de planta, de los molinos, conversión, generación de energías, planta de pulpa y destintado, esto permite que al momento de realizar la misma, todo sea mediante un plan de trabajo que permita el orden, disciplina y ahorro de tiempo para todos y cada uno de los empleados que allí se involucran.

Actualmente en la empresa Papeles Venezolanos, C.A. se presentan dificultades para la consulta de información referente a los equipos operativos que pertenecen a la línea producción de bobinas de papel (Molinos), esto debido a la constante dinámica, crecimiento y evolución de la información técnica, la estructura interna y ubicación de los equipos.

Todo lo descrito anteriormente, determina un requerimiento de la empresa hacia el departamento de planificación de mantenimiento, para emprender un trabajo global de mantenimiento preventivo consolidado en un plan anual.

1.2 Importancia:

El departamento de molinos es esencial en la producción de papel, si se detiene la maquina acarrea pérdidas considerables a la empresa, ya que a partir de las bobinas de papel se elaboran los productos finales.

El plan de mantenimiento que se diseñara en este trabajo de grado puede servir como una herramienta de trabajo para los empleados de la empresa, facilitándole las labores de mantenimiento a los mismos y evitando así posibles accidentes en el ambiente de trabajo. Pudiendo además servir como instrumento para futuras consultas sobre el tema del mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General del Trabajo:

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para una maquina papelera en la Papeles Venezolanos, CA., con la finalidad de garantizar que la mismos cumplan con su función dentro del contexto operacional definido.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Recopilar información de la operatividad y mantenimiento actual de las máquinas objeto del mantenimiento.
- Determinar las condiciones actuales de confiabilidad, costo y productividad en las que se encuentran las máquinas y su existente plan de mantenimiento.
- Desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Implementar el plan propuesto.
- Comparar indicadores de confiabilidad, costo y productividad del plan de mantenimiento actual con el plan de mantenimiento desarrollado.
- Evaluar los parámetros de disponibilidad, mantenibilidad, seguridad e impacto ambiental del plan de mantenimiento desarrollado.
- Analizar las condiciones del plan de mantenimiento para que sean adecuadas según los parámetros evaluados.
- Recolección de datos e información para el desarrollo estadístico de las fallas ocurridas.

1.4 Limitaciones:

- Disponibilidad de información técnica de algunos equipos.

1.5 Alcance:

Con el presente trabajo se desea aplicar a la línea de máquinas que elaboraran bobinas de papel un plan de mantenimiento que logre establecer un cronograma de reparaciones, ajuste o remplazo en el menor tiempo posible de una pieza para qué, cuando ésta falle, todas las condiciones estén a favor de su pronta reactivación.

La implementación del plan piloto para una máquina papelera en Papeles Venezolanos, CA.

1.6 Justificación:

El departamento de molinos es esencial en la producción de papel, si se detiene la máquina acarrea pérdidas considerables a la empresa, ya que a partir de las bobinas de papel se elaboran los productos finales.

El plan de mantenimiento que se diseñará en este trabajo de grado puede servir como una herramienta de trabajo para los empleados de la empresa, facilitándole las labores de mantenimiento a los mismos y evitando así posibles accidentes en el ambiente de trabajo. Pudiendo además servir como instrumento para futuras consultas sobre el tema del mantenimiento centrado en confiabilidad, lograr mayor disponibilidad de equipos, reducción de costos en mantenimiento, mayor efectividad y eficiencia en producción, disminución de las fallas y evitar mantenimiento correctivo dado en paradas inesperadas.

Capítulo II

Marco teórico

El desarrollo de esta investigación tiene como fundamento teórico lo descrito a continuación

2.1 Introducción al mantenimiento

En sus inicios el mantenimiento podía definirse como las actividades necesarias dirigidas a devolver a su estado operativo, los equipos o sistemas productivos, es decir, reparar las fallas que atenten contra el funcionamiento correcto de estos equipos. Sin embargo, actualmente, el mantenimiento ha evolucionado y no se encuentra, únicamente, limitado al conjunto de actividades correctivas descritas anteriormente.

Hoy en día el mantenimiento se puede definir como todo un sistema capaz de restablecer, mejorar, evaluar y predecir el estado de los equipos y sistemas. Actualmente, el mantenimiento, se considerada un factor importante en la calidad de los productos y en los costos de producción, ya que los resultados obtenidos a través de su ejecución poseen un impacto significativo sobre dichos factores. Es responsabilidad del mantenimiento mantener la funcionalidad de los equipos de manera eficaz y eficiente produciendo aumentos en la productividad y disminuyendo el índice de paradas, cumpliendo con las normas de seguridad y del medio ambiente.

2.2 Tipos de mantenimiento

Existen diferentes estrategias que permiten, según sea la necesidad, desarrollar la programación y actividades relacionadas al mantenimiento de los sistemas y equipos.

Dichas estrategias son conocidas como los distintos tipos de mantenimiento. [1]

2.2.1 Mantenimiento correctivo

Esta estrategia comprende las acciones de reparación que se ejecutan una vez ha ocurrido la falla en algún equipo o sistema. Es la estrategia más simple del mantenimiento y generalmente es aplicada a equipos cuya pérdida de funcionalidad no repercute en el proceso productivo ni en la seguridad de los operadores, además de aquellos equipos cuyos costos de reparación no sean muy elevados. [1]

2.2.2 Mantenimiento preventivo

A su vez el mantenimiento preventivo como su nombre lo indica, es el encargado de prever las fallas en el funcionamiento de los equipos o sistemas que comprenden el proceso productivo. El proceso de prevención de las fallas se realiza mediante un monitoreo constante de los equipos que permiten adquirir información del mismo durante su operación, este monitoreo está comprendido en el llamado plan de mantenimiento del equipo. Con la aplicación de esta estrategia de mantenimiento se busca ampliar el tiempo de operación del equipo y por ende la disminución de las fallas. Generalmente esta política es aplicada en equipos que poseen una gran importancia en el proceso productivo, en la seguridad del personal o en el medio ambiente. [1]

Entre los beneficios que presenta la aplicación de esta estrategia se encuentran:

- Esta estrategia permite operar el equipo de una manera segura, al poder conocer sus condiciones de funcionamiento constantemente. [1]

- Se disminuye el tiempo de parada del sistema, al poder prever la falla del mismo. [1]

- Se prolonga la vida útil de los equipos. [1]

- Se posee un mayor conocimiento de los repuestos involucrados en las actividades del mantenimiento, lo cual, reduce los costos de almacenamiento y planificación de materiales. - Se reducen los costos en la ejecución del mantenimiento. [1]

Dependiendo de las acciones que se desean ejecutar para la aplicación del mantenimiento preventivo se pueden definir diferentes tipos de mantenimiento: mantenimiento preventivo basado en tiempo y mantenimiento preventivo basado en condiciones. [1]

El mantenimiento preventivo basado en tiempo se basa en la planificación de las actividades de acuerdo a intervalos de tiempo basado en calendario o, en función, de las horas de operación del equipo. Consiste en reparar o sustituir los componentes del sistema para prevenir las fallas del equipo y garantizar la operación regular del sistema. Dichas intervenciones del equipo se basan en periodos establecidos por el fabricante o por frecuencias estadísticas que permitan aprovechar la vida útil de los repuestos. [1]

El mantenimiento preventivo basado en condiciones o mantenimiento predictivo, se ejecuta de acuerdo a mediciones o inspecciones realizadas al sistema con la finalidad de evaluar el estado operativo de los componentes que lo conforman. Dichas inspecciones son llevadas a cabo en intervalos de tiempo determinados, lo que permite la pronta intervención de los activos previniendo las fallas futuras y la pérdida de las funciones del sistema. [1]

Las condiciones que se deben tomar en cuenta deben ser propias del equipo, ya que la toma de decisiones depende de la operación del mismo. Es de vital importancia que las variables se encuentren relacionadas al equipo y a la falla que se desea prevenir, es necesario conocer las condiciones de óptimo funcionamiento del sistema y establecer un intervalo de tiempo que permita ejecutar las acciones de mantenimiento obligatorias para asegurar la operación del sistema. [1]

2.2.3 Rediseño

El rediseño es la estrategia de mantenimiento menos usual en la aplicación del sistema de mantenimiento. Este consiste en la modificación del diseño de un equipo y/o

sistema si sus características físicas no permiten u obstaculizan el desarrollo de las actividades del mantenimiento. Esta estrategia de mantenimiento, contempla el cambio de las instalaciones y equipos si las fallas que se presentan en el sistema se deben a errores en la selección o cálculos de los procesos, lo cual aumenta la carga del sistema y aumenta la probabilidad de falla de la línea. [2]

2.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

El mantenimiento centrado en confiabilidad está enfocado en asegurar el cumplimiento de las funciones de los equipos de la planta y por ende garantizar la operatividad de la misma basándose en datos como historiales de fallas de los equipos, análisis de criticidad, análisis de modo y efectos de falla, la disponibilidad de los equipos, entre otros. [2]

2.2.4.1 Reseña Histórica

El MCC fue desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana y organismos del estado americano durante la década de 1960, con la finalidad de reducir los accidentes aéreos a través de la ejecución de acciones de mantenimiento dirigidas a mitigar las fallas recurrentes causantes de los accidentes, así como la planificación de dichas acciones mediante el análisis de la ocurrencia de las posibles fallas, sus modos de falla, causas y efectos en los sistemas. [2]

Habiendo disminuido considerablemente el número de accidentes y la operación segura de los aviones norteamericanos, se tornó indudable la eficiencia de esta teoría, cuyo más visible resultado es la disminución de los costos de mantenimiento, ya que permite reconocer y atacar el origen de la falla en los sistemas antes de que estas ocurran. Es por esto que esta teoría se ha expandido en diversos procesos productivos de la industria moderna. [2]

2.2.4.2 Definición

"El MCC se presenta como un enfoque del mantenimiento que combina armoniosamente prácticas y estrategias correctivas, preventivas y predictivas, con la finalidad de maximizar la vida de los activos y asegurar el cumplimiento de sus funciones. Su implementación puede considerarse como un proceso en el que se determinan los requerimientos de mantenimiento de los activos, teniendo en cuenta su contexto operacional". [2]

El mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en el procedimiento mostrado en la Figura. 2.1.

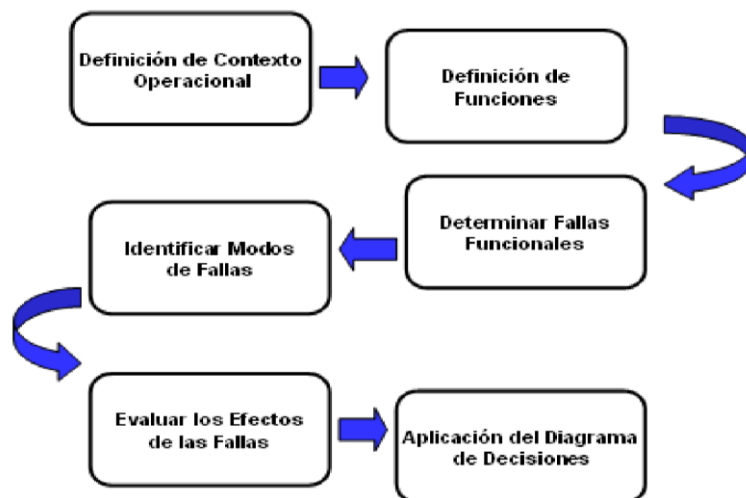


Figura 2.1. Diagrama del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. [5]

Contexto operacional.

Se refiere a las diferentes características bajo las cuales debe operar o se desea que opere el equipo o sistema sujeto al análisis. La definición clara y objetiva del contexto operacional posee gran importancia en el desarrollo de la metodología del MCC debido a que, el contexto en el cual se desenvuelve el activo interfiere en la operación del mismo y en la ejecución de sus funciones. Adicionalmente, el contexto operacional, se refiere a las características físicas del sistema necesarias para la realización del proceso. [5]

Función

Se refiere al propósito operativo que posee el equipo o sistema, es decir, representa las acciones o procesos por los cuales fueron adquiridos los activos. Ellos pueden poseer más de una función dentro del sistema productivo y poseen distintas funciones secundarias que deben cumplir para poder desempeñar su función primaria. Es por dicha razón que podemos identificar distintos tipos de funciones en los equipos. [5]

Falla

Se refiere a la finalización de la capacidad de un componente, equipo o sistema de realizar la función o funciones para la cual ha sido instalado. Las fallas son las causas del mantenimiento, debido a que estas modifican el estado operacional de los procesos productivos. [5]

Falla funcional

Se refiere a la incapacidad de un equipo o sistema de cumplir con sus funciones determinadas. La pérdida de la función puede ser total o parcial, nos referimos a una pérdida total cuando el activo no es capaz de desarrollar la función requerida para el proceso. Nos referimos a una pérdida parcial cuando el activo no es capaz de cumplir con ciertas características de los procesos, pero continúa realizando su función. [5]

Modo de falla

Se refiere a las razones físicas o causas por las cuales el equipo o sistema pierde su función y se enfoca en los motivos reales que la producen. Por ejemplo: desgaste, corrosión, vibración, abrasión, fractura, entre otros. [5]

Efecto de la falla

Son las acciones que pueden observarse si se presenta un modo de falla en el equipo o sistema a nivel de funcionamiento del equipo, daños secundarios, repercusiones sobre la seguridad, el medio ambiente y capacidad productiva. El efecto de la falla debe poseer

evidencia de la ocurrencia de la falla y sus consecuencias en la operación regular de los equipos, sistemas y línea productiva de los procesos. [5]

2.2.4.3 Selección del sistema y creación del contexto operacional

Previamente a la implantación de la metodología, se debe conocer de forma general cada una de las áreas de la empresa. El equipo de trabajo tiene que reconocer la importancia de cada una de las áreas, y seleccionar el sistema a estudiar teniendo en cuenta lo siguiente:

- Seleccionar el nivel de detalle requerido para realizar el análisis de modos y efectos de falla. [4]

- Definir el alcance del análisis en el área seleccionada; en caso de no realizar el análisis a todo el área, definir el método para seleccionar qué parte del área y con qué prioridad debe analizarse. [4]

Para poder definir el nivel de detalle debe conocerse el grado de división existente en la organización, esto es: corporación, plantas, departamentos, sistemas, equipos, componentes; que determinan la estructura de la organización. [4]

A continuación se definen los distintos niveles en los que puede estar conformada una organización. [4]

- Parte: Representa el nivel más bajo de detalle al cual un equipo puede ser desensamblado sin ser dañado o destruido. [4]

- Equipo: Es el nivel de detalle constituido por una colección de partes ubicadas dentro de un mismo conjunto identificable, el cual cumple al menos una función como ítem independiente. [4]

- Sistema: Es el nivel de detalle constituido por un grupo de equipos, los cuales cumplen una serie de funciones requeridas por una planta. En general esta división se realiza en función de los procesos más importantes de la planta. [4]

- Planta: Es el nivel de detalle constituido por todos los sistemas que funcionan en conjunto para proveer un producto por procesamiento y manipulación de los distintos recursos y materiales necesarios. [4]

Otro punto importante a tomar en cuenta en las primeras consideraciones del análisis, es el contexto operacional. Este abarca el conocimiento del sistema operativo, el personal y la división de procesos. Dentro del sistema operativo se analiza el propósito del sistema, la descripción del proceso y los equipos y el diagrama de entrada-proceso-salida (EPS). Debe conocerse el personal, los operadores y sus turnos, el departamento de mantenimiento, la gerencia, las operaciones y el proceso de calidad. Por último, debe definirse la división del proceso en sistemas, los límites, el listado de componentes para cada sistema y los dispositivos de seguridad e indicadores. [4]

Luego de seleccionar el sistema, viene la jerarquización del mismo. En este paso, el equipo natural debe identificar los sistemas seleccionados y jerarquizarlos de acuerdo a su criticidad. [4]

2.2.4.4 Análisis de Criticidad

Es un procedimiento que se realiza para jerarquizar instalaciones, sistemas, equipos y/o componentes, en función de su impacto global con la finalidad de optimizar los recursos, económicos, humanos y técnicos. La definición de “criticidad” dependerá del objetivo con el que se está tratando de jerarquizar, por lo cual no existe una definición o una regla para medir qué equipo es crítico y qué no. [10]

Para este análisis se discutió con el equipo de trabajo los aspectos a tomar en cuenta a la hora de realizar la evaluación y se establecieron 7 criterios: Seguridad, Medio Ambiente, Calidad, Régimen de Trabajo, Producción, Frecuencia de falla y Mantenimiento. [10]

Las ponderaciones dadas a los criterios fueron desde la “A” hasta la “C”, siendo la letra “A” la más crítica o criticidad alta, “B” criticidad media, “C” criticidad baja. [10]

• **Seguridad:** Utilizar la definición de criticidad de incidentes que resulta de la suma de Frecuencia + Probabilidad + Severidad; (1-4) criticidad C, (5-7) criticidad B y (8-10) criticidad A. [10]

Severidad: Se refiere a si la falla del equipo puede producir un accidente que ocasione daños a la salud del operador de la máquina. [10]

Frecuencia a la exposición: Este punto hace mención a la cantidad de gente que está expuesta al riesgo y la frecuencia con la que se encuentran en peligro. [10]

Probabilidad: Se refiere a si el personal expuesto al riesgo tiene capacitación para operar la máquina. [10]

• **Medio ambiente:** La criticidad ambiental depende del impacto ambiental que pueda causar: si el efecto de la falla en el equipo puede generar un impacto ambiental fuera de las instalaciones de la planta, es criticidad A. si el efecto de la falla en el equipo puede generar un impacto ambiental dentro de las instalaciones de la planta, en el área o afectando otras se considera criticidad B. si el efecto de la falla en el equipo puede generar un impacto ambiental solo en el lugar de ubicación del equipo, se considera criticidad C. [10]

• **Calidad:** Se debe analizar la consecuencia del daño en el equipo analizado, si el efecto de la falla genera producto fuera de especificación la criticidad se considera A. En el caso en el que la falla genera producto en rango de aceptación de calidad, se considera que el equipo analizado es C (es importante aclarar que para el criterio de Calidad, la valoración intermedia B no existe). [10]

• **Régimen de trabajo:** En este criterio se analiza si el equipo trabaja continuamente las 24 horas y no tiene equipo de respaldo, en este caso la criticidad es A; si trabaja 24 horas y/o por turnos con equipo de respaldo la valoración es criticidad B, y por último si es un equipo utilizado ocasionalmente la valoración de criticidad es C. [10]

• **Producción:** En este criterio se analiza el efecto de la falla en la continuidad de la producción. Si la interrupción es mayor a 168 horas la valoración de criticidad es A, si la interrupción es entre 24 horas y 168 horas la valoración de criticidad es B y si la interrupción es menor a 24 horas la criticidad es C. [10]

• **Frecuencia de falla:** En este criterio se analiza la cantidad de eventos (fallas del equipo) sucedidos en un período de tiempo determinado. Si se presenta un evento de falla en un mes la valoración de criticidad es A, si se tiene un evento de falla entre uno y seis meses la valoración de criticidad es B y si se presenta un evento de falla mayor a 6 meses es C. [10]

• **Mantenimiento:** Este criterio hace referencia al costo de la reparación. Si este costo es superior 10000 dólares la valoración de criticidad es A, si el costo está entre 2000 dólares y 10000 dólares la valoración de criticidad es B y si el costo de la reparación es menor a 2000 dólares la valoración de criticidad es C. [10]

Una vez definido y jerarquizado el sistema, se realiza el análisis de modos y efectos de falla que servirá de guía para el desarrollo de los planes de mantenimiento. [10]

2.2.4.5 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)

El AMEF es un método que permite identificar los probables modos de falla conocidos que puede presentar un activo. Esta herramienta metodológica permite enfocar los esfuerzos en el desarrollo de los distintos planes de acción dirigidos a mitigar la aparición de las fallas y sus efectos en el proceso productivo. Para lograr aplicar la herramienta del AMEF correctamente, es indispensable responder a las preguntas presentes en la figura 2.2 y deben ser atendidas en el orden que se muestra. [6]

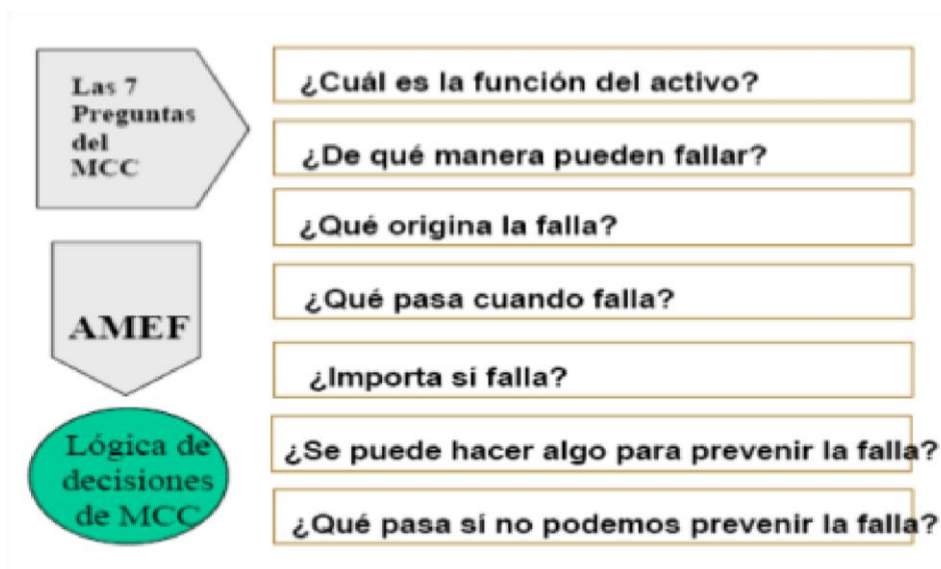


Figura 2.2. Las 7 preguntas del AMEF. [6]

2.3 Índices básicos de Gestión del mantenimiento

Cuando se analiza un proceso, se observan diversos estados en los cuales la productividad se encuentra dentro de los parámetros aceptables por la empresa, o por el contrario, periodos donde la productividad es nula, los cuales están relacionados directamente con la existencia o no de estados de falla en el sistema. Para definir estos estados de falla, han surgido diferentes parámetros que vinculan el estado de falla con la periodicidad de ocurrencia. A continuación se presentan los parámetros principales que definen cada estado de falla. [7]

2.3.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Se define como la sumatoria del tiempo entre fallas, entre el número de fallas presentes en el periodo en estudio. Ecuación 2.1.

$$TMEF = TMPF + TMR \quad (2.1)$$

2.3.2 Tiempo medio de funcionamiento entre fallas (TPFS)

Se define como la sumatoria de los tiempos operativos, entre el número de fallas, en el periodo en estudio.

$$TPFS = \frac{\text{Tiempo de falla}}{\# \text{ de fallas}} \quad (2.2)$$

2.3.3 Tiempo medio entre fallas (MTTF)

Se define como la sumatoria de los tiempos fuera de servicio, que incluye el tiempo para reparar y el tiempo fuera de operación, entre el número de fallas, durante el periodo en estudio. Ecuación 2.3.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

2.3.4 Disponibilidad

La disponibilidad es definida como, “la probabilidad de que un equipo se encuentre en condición de cumplir su misión en un instante cualquiera”. [7]

La disponibilidad constituye uno de los parámetros más representativos en la gestión de mantenimiento debido a que relaciona la mantenibilidad y la confiabilidad de un equipo, al vincular los tiempos operativos entre fallas y los tiempos de reparación. Las ecuaciones, que se muestra a continuación, es la utilizada para calcular la disponibilidad. [7]

$$Disponibilidad = \frac{MTTF}{MTTF + TPFS} \quad 2.4$$

2.3.5 Confiabilidad

Se refiere a la probabilidad que posee un equipo o sistema de operar, durante un periodo de tiempo determinado, sin presentar fallas. Generalmente se mide por el tiempo promedio entre fallas del activo. [7]

La confiabilidad es un concepto que permite:

- Predecir probabilísticamente la ocurrencia de las fallas en las líneas de los procesos productivos, ayudando a diseñar medidas preventivas que mitiguen su impacto.
- Explorar las implicaciones económicas de cada escenario, contribuyendo a la planificación de las acciones de mantenimiento.
- Predecir los escenarios de producción factibles modelando las incertidumbres que rigen dichos procesos. [7]

Probabilidad de supervivencia R(t)

Es el término sinónimo de confiabilidad.

Matemáticamente se obtiene de la siguiente manera: [3]

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(t) dt} \quad (2.5)$$

Para este caso particular que involucra el estudio, la función h(t) será una constante con respecto al tiempo, y esta función será sustituida de la siguiente manera: [3]

$$h(t) = \lambda \quad (2.6)$$

Cuando el valor de h(t) es una constante la ecuación de confiabilidad (o probabilidad de supervivencia) queda de la siguiente manera: [3]

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

2.4 Planes de mantenimiento

Los planes de mantenimiento son un conjunto de operaciones tales como: inspecciones, reparaciones y mediciones específicas de los equipos y/o sistemas dirigidas a mantener en operación los sistemas en estudio. Estos planes además, también establecen la frecuencia con la que se llevan a cabo estas operaciones, los materiales a utilizar en las mismas y permiten la planificación y organización de dichas tareas. [1]

2.5 Motores de inducción.

El motor de inducción recibe este nombre porque, al igual que el transformador, opera bajo el principio de inducción electromagnético. Un motor de inducción consta dos embobinados de. Estator, uno principal y otro auxiliar de arranque. Ambos bobinados se conectan en paralelo y la tensión de la red se aplica a ambos. Estos dos embobinados están separados por un espacio de 90 grados eléctricos a lo largo del estator, y el embobinado auxiliar está diseñado para desconectarse del circuito a una determinada velocidad mediante un interruptor centrífugo; Además, este embobinado está diseñado para tener un cociente resistencia / reactancia mayor que el embobinado principal, de tal manera que la corriente del embobinado auxiliar adelanta la corriente en el embobinado principal. Generalmente esta mayor relación se logra al utilizar alambre de menor diámetro para el embobinado auxiliar. Se permite este tipo de alambre allí porque se usa sólo para el arranque y por tanto no tiene que tomar continuamente corriente plena. [9]

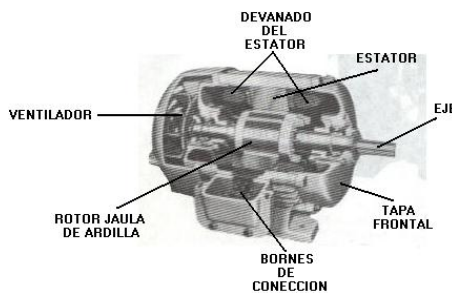


Figura 2.3. Elementos de un motor eléctrico. [9]

2.6 Antecedentes preliminares:

Gómez (I) realizó un estudio de análisis de fallas en equipos y componentes mecánicos importantes en correas transportadoras usadas en la minería de extracción de cobre con la finalidad de proponer esquemas de detección y aislación temprana destinados a dichos equipos y componentes, a partir de este análisis y de la investigación centrada en ingeniería, se proponen esquemas de detección y aislación temprana para los modos de falla establecidos. El aporte de este antecedente se refiere mayormente a la detección de posibles fallas y también sirve de referencia para la metodología.

Gómez y Hernández (II) diseñaron un plan de mantenimiento que permitiera lograr un aumento de la producción y reducción de los costos. Para tal fin realizaron una serie de acciones de manera de establecer soluciones integrales al problema. Inicialmente recopilaron toda la información técnica relacionada con los equipos instalados en las líneas de estudio para luego hacer un inventario de estos y hacer un estudio de confiabilidad de acuerdo a los reportes de falla. En base a todo esto y a especificaciones propias de la empresa se diseñó el plan de mantenimiento y con base en este se realizó un instructivo a seguir, dirigido a los técnicos encargados. Este estudio aporta referencias para la elaboración del manual de mantenimiento y la metodología a implementar.

Rodríguez y Rodríguez (III) diseñaron una metodología de mantenimiento que buscaba el incremento de los niveles de calidad, seguridad y confiabilidad del proceso de separación bifásica (crudo-gas) en las estaciones de flujo 1 y 4, del yacimiento Las Piedras, Distrito Piar, Edo. Monagas. Además se realizó una evaluación de nivel de riesgo y criticidad con la finalidad de identificar las áreas de mayor prioridad para la designación de recursos. También se contó con herramientas de evaluación de los resultados del plan de inspección a través del estudio de los indicadores de confiabilidad y un estudio de rentabilidad económica. Este trabajo de grado sirve de referencia para realizar la evaluación del plan a diseñar en comparación con el actual.

Bustamante y Vesquiz (IV) desarrollaron un plan de mantenimiento preventivo para una máquina de tratamiento térmico de una empresa fabricante de largueros para camiones basado en el estudio del análisis de falla de los equipos que componen la máquina mediante ecuaciones estadísticas, lo cual permitió determinar la condición de cada equipo y la frecuencia con la cual debe realizarse el mantenimiento preventivo. Como parte del trabajo se rediseñaron las partes móviles que presentaron fallas y deficiencias de lubricación y se hizo el estudio de factibilidad económica. Este trabajo es de gran aporte para el estudio de análisis de las fallas y para determinar la condición de cada equipo.

Burlando y Rodríguez (V) propusieron una investigación para definir las causas determinantes del estado operativo de las plantas de CADAPE, y elaboraron un sistema tecnológico que permite diseñar una estrategia intervenida del plan de operación y mantenimiento de ese año, cuyos cambios en las variables operacionales les permitiría mejorar el estado funcional de las plantas. Esta estrategia puede ser considerada como parte de un plan general de mantenimiento que adopte la gerencia de cada planta. Aporta una guía para la realización del plan de mantenimiento.

Capítulo III

Marco metodológico

Los pasos metodológicos para el desarrollo de esta investigación están descritos a continuación.

3.1 Nivel de la investigación:

La investigación realizada es de tipo no experimental, con diseño descriptivo y documental.

Es de tipo no experimental debido a que no se ejerce control ni manipulación alguna sobre las variables a estudiar, si no que se observa de manera no intrusiva intentando extraer explicaciones de cierta validez con el fin de obtener los resultados.

... “cuando se realiza un estudio sin manipular deliberadamente las variables. Se limita a observar los acontecimientos sin intervenir en los mismos”. [17]

Es de tipo descriptiva, ya que facilitará una mayor penetración y comprensión del problema que se enfrenta, trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Esta puede incluir los siguientes tipos de estudios: Encuestas, casos, exploratorios, causales, de desarrollo, predictivos, de Conjuntos, de correlación.

... “trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Esta puede incluir los siguientes tipos de estudios: Encuestas, Casos, Exploratorios”. [18]

3.2 Tipo de investigación:

Es de tipo documental debido a que la investigación se sustenta en revistas, catálogos, libros técnicos etc., relacionado con el problema objeto del estudio con la finalidad de extraer la información. Con relación a los antes mencionado. Define investigación documental como:

... conocer y explorar el conjunto de fuentes capaces de ser de gran utilidad. Estas fuentes pueden ser libros, artículos científicos, revistas, publicaciones, en general, toda variedad de material escrito donde frecuentemente pueda encontrarse un tema. [19]

En cuanto a la investigación, éste no es más que la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la presente investigación se clasifica en investigación de campo, dado el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Esto se hace presente en la búsqueda de características de tuberías y accesorios para la determinación de sus pérdidas hidráulicas, así como las propiedades del fluido y metodología aplicada para la obtención de resultados en una red de flujos.

3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.3.1 Entrevistas

Es de tipo no estructurada debido a que no se necesita tener por anticipado un formato de preguntas, esta aplicación se realizó teniendo como prioridad a los trabajadores del área involucrada, pretendiendo así obtener información requerida para el desarrollo de la investigación a través de las opiniones emitidas por los trabajadores. Cerro (1989) se refiere a la entrevista como:

...“es una conversación orientada hacia un objetivo definido: recoger, a través de preguntas al informante, datos para la investigación “. [20]

3.3.2 Observación

Se realizó mediante visitas al área donde se ejecutan las actividades con la finalidad de identificar, recabar y conocer la información necesaria para el desarrollo del trabajo, a través del contacto con las personas que ejecutan el mantenimiento e inspección del sistema eléctrico.

“ la observación no es solo una actividad cotidiana del hombre, sino una actividad fundamental de las investigación científica. Ella nos ayuda a percibir la realidad exterior, orientando la recolección de datos, definidos de acuerdo con el interés del investigador”.

[20]

3.3.3 Revisión de bibliografía

Gran parte de la investigación se sustentó en la revisión de registros manuales, informes, libros y otras fuentes bibliográficas que permitieron obtener información precisa durante la recolección de datos.

3.4 Aspectos administrativos Recursos humanos, materiales y financieros

Recursos materiales:

Computadora.

Artículos generales de oficina.

Recursos humanos:

Para la elaboración de este informe fue necesaria la colaboración del personal de la coordinación de mantenimiento, además de la colaboración de un tutor académico y un tutor industrial necesarios para el desarrollo eficiente de este estudio.

3.5 Diseño de etapas metodológicas de la investigación:

A continuación se presenta la metodología a desarrollar por etapas para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos de forma lógica y secuencial.

Fase I. Situación actual de servicios industriales molino en materia de mantenimiento.

Se realizarán entrevistas no estructuradas al personal (operadores y supervisores) encargados del mantenimiento, que permitan obtener información relativa a la situación del estudio.

Mediante la observación directa de los diferentes equipos, constatar las condiciones en las cuales se operan los equipos asociados.

Fase II. En base a la información tomada del personal del área y el histórico de los últimos 7 años, canalizar las fallas recurrentes y sus repercusiones.

Fase III. Ya con los datos e información del proceso, realizar un análisis AMEF (Análisis Modo y Efecto de falla), análisis de criticidad, impacto ambiental e impacto a la producción, a fin de determinar las fallas más críticas.

Fase VI. Elaboración plan de mantenimiento de una maquina papelera.

La elaboración del Plan de Mantenimiento se encuentra alineada con los objetivos establecidos y al plan de trabajo para llevar a cabo la ejecución de las actividades de mantenimiento, de acuerdo a lo siguiente:

- Análisis de confiabilidad

- Cuantificación de los elementos infraestructurales existentes en el área, a través de la observación directa.

Fase V. Diseñar los indicadores de control.

Se aplicó la técnica de revisión documental para obtener información escrita sobre los equipos y sistemas utilizados en el área de molinos e información sobre las variables que inciden en la gestión de mantenimiento de la misma, además permitirá describir las características principales del problema planteado vs. Las mejoras implementadas.

Capítulo IV

Resultados y Análisis

La información recabada en los capítulos anteriores sirve de base para la presentación de este capítulo. A continuación se procederá a describir los resultados y el análisis de los mismos a partir de la realidad constatada en referencia al mantenimiento de una maquina papelera en la Papeles Venezolanos, CA:

4.1 Situación actual de servicios industriales molino en materia de mantenimiento

4.1.1 Operatividad y mantenimiento

La empresa papeles venezolanos C.A. (PAVECA) tiene un proceso de manufactura continuo que en las mejores condiciones es capaz de producir 106000 toneladas anuales de papel higiénico, que además cuenta con 1600 trabajadores, datos suministrados por el departamento de recursos humanos de la empresa.

En cuanto a las facilidades industriales la empresa cuenta con tres turbinas para la autogestión de la electricidad, calderas de vapor para secar el papel, cuenta con sistemas de tratados de aguas y maquinarias necesarias para la producción de múltiples rubros. El proceso productivo de la empresa se puede expresar de manera resumida mediante el siguiente diagrama de flujo, en él se señalan las distintas etapas que conforman dicho proceso, desde que se recibe la materia prima hasta que se obtiene el producto final y es despachado a los clientes o consumidores. La figura 2.1 muestra el esquema productivo de la empresa.

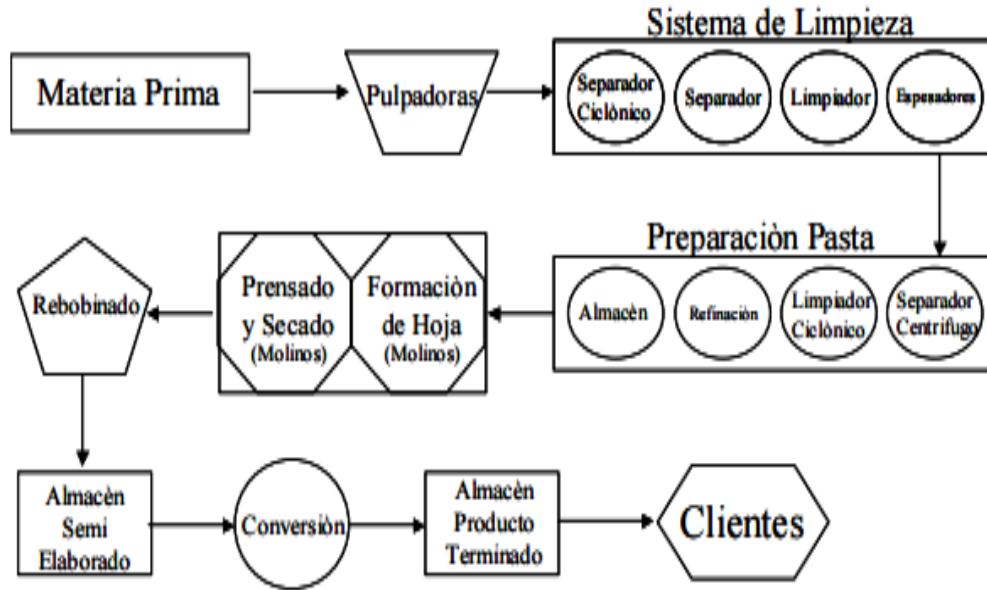


Figura 4.1: Esquema productivo de la empresa.

Fuente: Gerencia de producción (2015)

Mediante la observación directa y entrevistas con los gerentes en la planta se pudo constatar que la limitación en la cadena de suministros (materia prima, insumos y repuestos) amenaza constantemente la continuidad de las operaciones, afectando el oportuno mantenimiento de las unidades productivas y de generación de energía.

Aunque cabe destacar que PAVECA como organización estructurada realiza mantenimientos planificados a sus maquinarias, herramientas, sistemas e instalaciones con el fin de intervenir y prevenir o corregir accidentes. Aunque la realidad es que en su mayoría las paradas son correctivas, lo cual involucra costos directos, indirectos, generales, de tiempos perdidos y de posponer el mantenimiento, puesto a que en muchos casos por no poseer los elementos para que este se dé a tiempo, muchas veces debe postergarse.

El área donde se centró esta investigación fue el departamento de Molinos donde se desarrolla el proceso central de producción de papel, mediante la observación se evidenció que existen 6 molinos ver apéndice 1 para ver las características.

Hay que acotar que la puesta a punto del molino es ejecutada por los operarios en cada uno de los turnos de trabajo, siendo guiados por un control de especificaciones paramétricas que están organizadas y validadas por el personal técnico.

4.1.2 Fallas recurrentes y sus repercusiones

Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallas, por lo que precisan ser corregidos los cuales fueron determinados mediante la siguiente ficha de chequeo:

Tabla 4.1. Criterio de observación.

OBSERVACIONES	CRITERIOS		
	Muy Deficiente	Deficiente	Aceptable
FACTORES			
CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA			X
ORDEN Y LIMPIEZA	X		
ESPACIOS FÍSICOS DEL ÁREA			X
REPORTES DE FALLAS	X		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL MOLINO	X		
IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS		X	

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro anterior con la aplicación de la observación directa se pudo observar que los principales problemas destacados radican en el orden y limpieza del área, pues se observa pulpa y papel semielaborado desperdiciado en los alrededores de área, la no operacionalización de los reportes de fallas, no se evidencian formularios de gestión en cuanto a la eficiencia del molino y el plan inadecuado para los mantenimientos de orden preventivo para con los molinos.

4.2 Análisis AMEF (Análisis Modo y Efecto de falla), análisis de criticidad, impacto ambiental e impacto a la producción, a fin de determinar las fallas más críticas.

El Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF) es un conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un SISTEMA para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta. Este fue aplicado al área de molinos siguiendo los siguientes criterios:

4.2.1 Criterios para elaborar matriz de criticidad

1.- Categoría de las Frecuencias de Ocurrencia

Tabla 4.2. Criterio de frecuencia

Categoría	Tiempo Promedio entre Fallas, en años	Frecuencia: Número de Fallas por Año, λ	Interpretación
5	$TPEF < 0.5$	$\lambda > 10$	Es posible que ocurran varias fallas en 0.5 año
4	$0.5 \leq TPEF < 1$	$10 < \lambda \leq 5$	Es probable que ocurran varias fallas en 1 año, pero es poco probable que ocurra en 0.5 años
3	$1 \leq TPEF < 2$	$5 < \lambda \leq 3$	Es probable que ocurran fallas en 2 años, pero es poco probable que ocurran en 1 año
2	$2 \leq TPEF < 5$	$3 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 5 años, pero es poco probable que ocurra en 2 años
1	$TPEF \geq 5$	$\lambda \leq 1$	Es poco probable que ocurran fallas en menos de 5 años

Frec. Falla = Frecuencia de Falla

2.- Categorías de los Impactos – Consecuencia

Tabla 4.3. Criterio de frecuencia

Categoría	Daños al personal	Efecto en la Población	Impacto Ambiental
5	Muerte o Incapacidad total o permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa	Muerte o incapacidad total permanentemente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales
4	Incapacidad parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa	Incapacidad parcial permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población	Daños reversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas	Daños ambientales mitigables sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acometida
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones
1	Sin impacto en el personal de la planta	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones

Donde:

IP = Impacto en Producción

IP = (Producción Diferida x TPPR x Costo Unitario del Producto)

DI = Daños a la Instalación

DI = S(Costo Reparación + Reposición de Equipos Afectados)

CT = Consecuencia Total

CT = S(IP + DI + DP + EP + IA)

DP = Daño al Personal

EP = Efecto en la Población

IA = Impacto al Ambiente

CRITICIDAD = FRECUENCIA x CONSECUENCIA

Nivel de Riesgo

C5	B	B	A	A	A
C4	B	B	B	A	A
C3	C	B	B	B	A
C2	C	C	B	B	B
C1	C	C	C	B	B
	F1	F2	F3	F4	F5

Figura 4.2. Nivel de Riesgo: Criticidad vs. Frecuencia

CRITICIDAD = FRECUENCIA (F) x CONSECUENCIA (C)

Tabla 4.4. Tipos de riesgo.

Tipo	Riesgo
A	<p><u>Riesgo indeseable:</u> el riesgo requiere acción inmediata, el costo no debe ser una limitación y el no hacer nada no es una opción aceptable. Un riesgo tipo “A” representa una situación de emergencia y deben establecerse controles temporales inmediatos. La migración debe hacerse por medio de controles de ingeniería y/o factores humanos hasta reducirlos a Tipo B o de preferencia a tipo C en un lapso de tiempo menor a 60 días.</p>
B	<p><u>Riesgo indeseable:</u> el riesgo debe ser reducido y hay margen para investigar y analizar a más detalle. No obstante, deben establecerse controles temporales inmediatos en sitio, para reducir el riesgo. El riesgo es significativo, pero se pueden acompañar las acciones correctivas con el paro de instalaciones programadas. Para no presionar programas de trabajo y costos. Las medidas de solución para atender los hallazgos deben darse en los próximos 18 meses. La mitigación debe enfocarse en la disciplina operativa y en la confiabilidad de los sistemas de protección.</p>
C	<p><u>Riesgo razonablemente aceptable:</u> el riesgo requiere acción, pero es de bajo impacto y puede reprogramarse su atención y reducción conjuntamente con otras mejoras operativas.</p>

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el proceso de identificación, evaluación y prevención de deficiencias. Al aplicar la metodología para la jerarquización de los equipos de acuerdo a su criticidad, descrita en el capítulo anterior, obtenemos como resultado la siguiente matriz:

Mediante este análisis se obtuvo un conocimiento exacto y completo de la función del molino que se adoptó para estudiar mediante esta investigación, a continuación el resumen del AMEF, para ver detalle observar apéndice 2.

Tabla 4.5. Resumen AMEF.

ID EAM - Equipo Caracteristico	Modo de falla funcional	CRITICIDAD
854-093	PUNTO CALIENTE	ALTA
853-038	CARBONES/ESCOBILLAS DEFECTUOSAS	ALTA
855-241	ILUMINACION DEFECTUOSA (DEFICIENTE)	BAJA
855-098	ALIMENTACION ELECTRICA DEFECTUOSA	BAJA
852-047	ALARMA DEFECTUOSA	BAJA
853-076	INTERRUPTOR DEFECTUOSO	BAJA
855-052	TRANSFORMADOR DEFECTUOSO	BAJA
856-080	QUEMADOR DEFECTUOSO	BAJA
852-117	TABLERO ELECTRICO DEFECTUOSO	BAJA
853-005	FUSIBLE QUEMADO	BAJA
850-032	RESISTENCIA DEFECTUOSA	BAJA
853-106	UNIDAD TERMICA DEFECTUOSA	BAJA
850-032	FOTO CELDA DEFECTUOSA	BAJA
853-096	MICRO SWITCH DEFECTUOSO	BAJA
852-073	LIMPIEZA TABLERO ELECTRICO	BAJA
855-012	SENSOR DEFECTUOSO	BAJA
855-027	PRUEBAS AISLAMIENTO ELECTRICO	BAJA
855-262	ELEMENTOS ARRANQUE DEFECTUOSOS	BAJA
853-100	ELEMENTOS MEDICION DEFECTUOSOS	BAJA
855CE062	CONTROL VELOCIDAD DEFECTUOSO	BAJA
851-022	PROTECCION ELECTRICA DEFECTUOSA	BAJA
855-057	DA#O CAJA RODAMIENTO LADO FRENTE	BAJA
853-157	DA#O CAJA RODAMIENTO LADO ATRAS	BAJA
851-054	CARCAZA DEFECTUOSA	BAJA
853-036	RECUBRIMIENTO DA#ADO	BAJA
854-096	ALTA TEMPERATURA	BAJA
850-007	EJE ROTO	BAJA
854-219	FUGA ACEITE	BAJA
855-051	SISTEMA SELLADO DEFECTUOSO	BAJA
855-065	ALTO CONSUMO ACEITE	BAJA
856-010	CORREAS DEFECTUOSAS	BAJA
852-015	POLEA(S) DEFECTUOSA(S)	BAJA
854-126	PI#ON/ENGRANAJE DEFECTUOSO	BAJA
850-031	SISTEMA ENVOLTURA DEFECTUOSO	BAJA
851-114	EMBRAGUE DEFECTUOSO	BAJA

Tabla 4.5. Resumen AMEF (continuación).

ID EAM - Equipo Característico	Modo de falla funcional	CRITICIDAD
857-045	EQUIPO/PARTE DESCALIBRADO	BAJA
853-119	SISTEMA CORTE DEFECTUOSO	BAJA
851-114	BANDEJA(S) DEFECTUOSA(S)	BAJA
855-167	CADENA DEFECTUOSA	BAJA
853-104	REUBICACION EQUIPO	BAJA
850-007	RODILLO DEFECTUOSO	BAJA
854-007	ELEMENTO FILTRANTE DEFECTUOSO	BAJA
856-010	LIMPIEZA/MANTTO.PREVENT.EQUIPO MECANICO	BAJA
854-139	PROTECTOR DEFECTUOSO	BAJA
855-167	CADENA DEFECTUOSA	BAJA
852-116	REUBICACION EQUIPO	BAJA
851-065	RODILLO DEFECTUOSO	BAJA
854-007	ELEMENTO FILTRANTE DEFECTUOSO	BAJA
855-140	SISTEMA LUBRICACION DEFECTUOSO	BAJA
850-007	SISTEMA HIDRAULICO DEFECTUOSO	BAJA
852-059	LUBRICANTE CONTAMINADO	BAJA
854-041	UNIDAD F.R.L. CON DEFECTO	BAJA
854NIC003	LAZO DE CONTROL DEFECTUOSO	BAJA
854-101	TARJETA PLC DEFECTUOSA	BAJA
856-079	CONTADOR DEFECTUOSO	BAJA
854-006	VARIADOR DEFECTUOSO	BAJA
853-166	CONTROL ELECTRONICO DEFECTUOSO	BAJA
856-064	CAUCHO DEFECTUOSO	BAJA
853-272	MANGUERA HIDRAULICA DA#ADA	BAJA
854-222	TUBERIA/CABLEADO DEFECTUOSO	MEDIA
853-017	CAJA CONEXION MOTOR DEFECTUOSA	MEDIA
853-287	ELEMENTOS RODANTES DEFECTUOSOS	MEDIA
854-100	ALTA VIBRACION	MEDIA
854-207	EMPAQUE O SELLOS DEFECTUOSOS	MEDIA
853-061	EQUIPO DESALINEADO	MEDIA
851-005	EQUIPO CON ALTO RUIDO	MEDIA
855-141	ACOPLE DEFECTUOSO	MEDIA
851-106	TUBERIA MECANICA OBSTRUIDA/DEFECTUOSA	MEDIA
852-113	EJE DEFECTUOSO	MEDIA
850-007	ELEMENTOS FIJACION DEFECTUOSOS	MEDIA
852-083	MANGUERA/TUBERIA DEFECTUOSA	MEDIA
855-121	MOTOR QUEMADO	MEDIA

Tabla 4.5. Resumen AMEF (continuación).		
ID EAM - Equipo Característico	Modo de falla funcional	CRITICIDAD
852-011	EQUIPO CON BAJA EFICIENCIA	MEDIA
851-065	PROTECTOR DEFECTUOSO	MEDIA
854-079	EQUIPO CON BAJA EFICIENCIA	MEDIA
855FIC018	VALVULA DEFECTUOSA	MEDIA
856XHD066	CILINDRO NEUMATICO/HIDR. DEFECTUOSO	MEDIA
855-194	SISTEMA NEUMATICO DEFECTUOSO	MEDIA
851-106	FUGA AIRE	MEDIA
856-032	BOOSTER DEFECTUOSO	MEDIA

Las áreas con riesgo indeseable, el cual es el riesgo requiere acción inmediata, el costo no debe ser una limitación y el no hacer nada no es una opción aceptable, pues representa una situación de emergencia y deben establecerse controles temporales inmediatos, son:

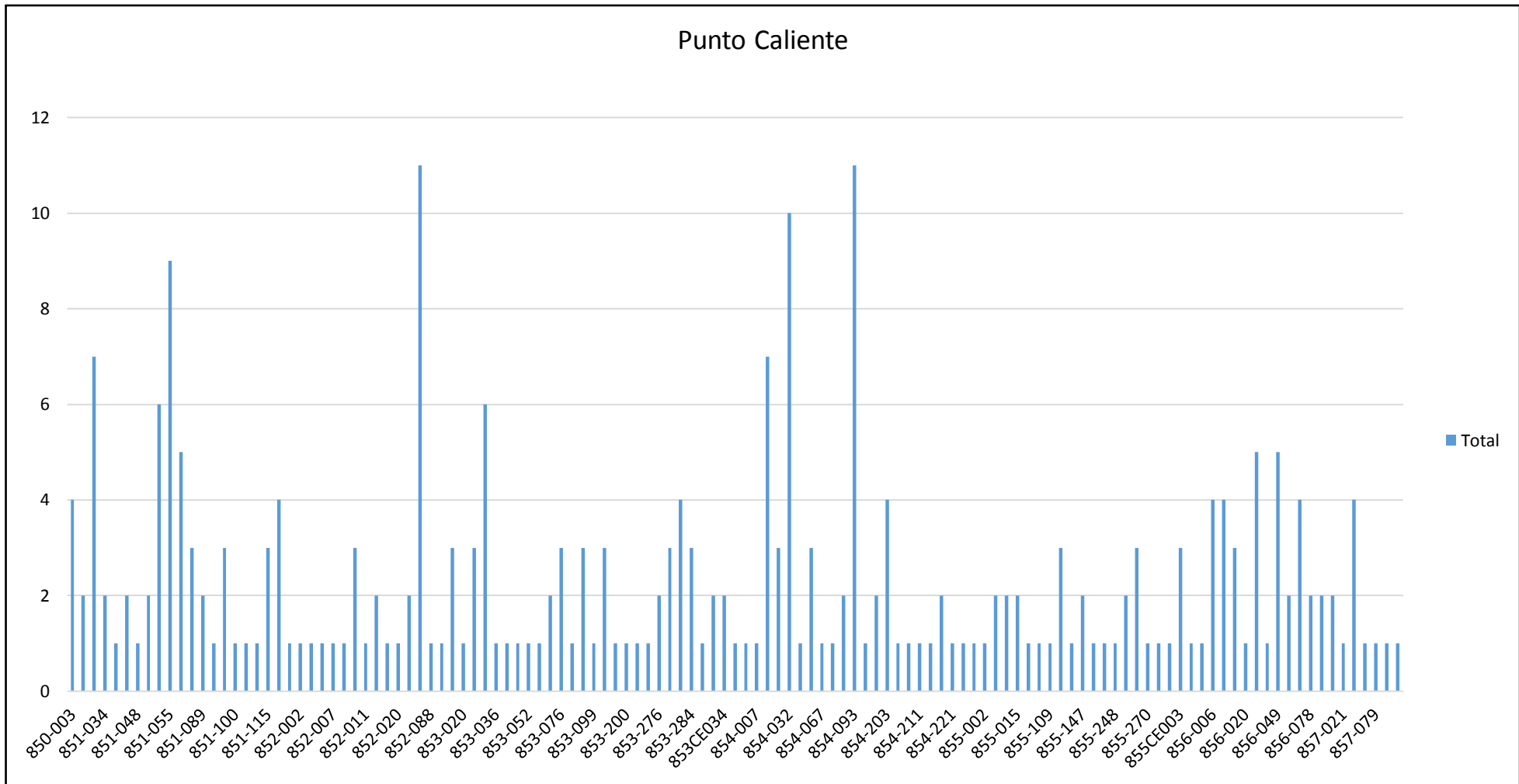
Punto Caliente

Falla que ha estado presente en la siguiente incidencia, según muestra en el gráfico 4.1 y se refiere a los aumentos de temperaturas máximos que experimentan los molinos. Uno de los factores que afectan la vida útil de las maquinas, en especial de sus aislamientos es la temperatura. Estos puntos calientes son producidos principalmente por las pérdidas en las uniones o conexiones que producen calentamiento del motor que puede resultar en problemas de ineficiencia y de alta peligrosidad.

Carbones/Escobillas defectuosas

Falla que ha estado presente en la siguiente incidencia, según la gráfica 4.2, este en particular cuando se habla de fallos o problemas de servicio en el comportamiento de las escobillas, hay que pensar que no toda anomalía del estado ideal significa un fallo.

Grafica 4.1. Punto caliente: Posiciones técnicas vs frecuencia



Hay que diferenciar entre fenómenos que representan un peligro para la máquina y el servicio (p.ej. chispeo fuerte en las escobillas) o que requieren un mantenimiento fuera de lo común (p.ej. desgaste de escobilla elevado y desigual) y problemas que más o menos se pueden ver como fallos de aspecto (p.ej. pátina irregular). Tales “anomalías” no se deben sobrevalorar, si una máquina a pesar de ello trabaja sin problemas.

Estos problemas se resuelven si se Lijan las escobillas para retirar la posible suciedad. En caso de desgaste excesivo cambiar por unas nuevas. Comprobar que la escobilla esté efectuando la presión adecuada contra el colector de del gas, Comprobar que el porta escobillas respecto al colector de del gas no queden separados más de 1,5 mm.

Cabe destacar que como de un historial de fallas del todo eficiente esta información es obtenida a partir de los reportes de los operarios escritos a mano.

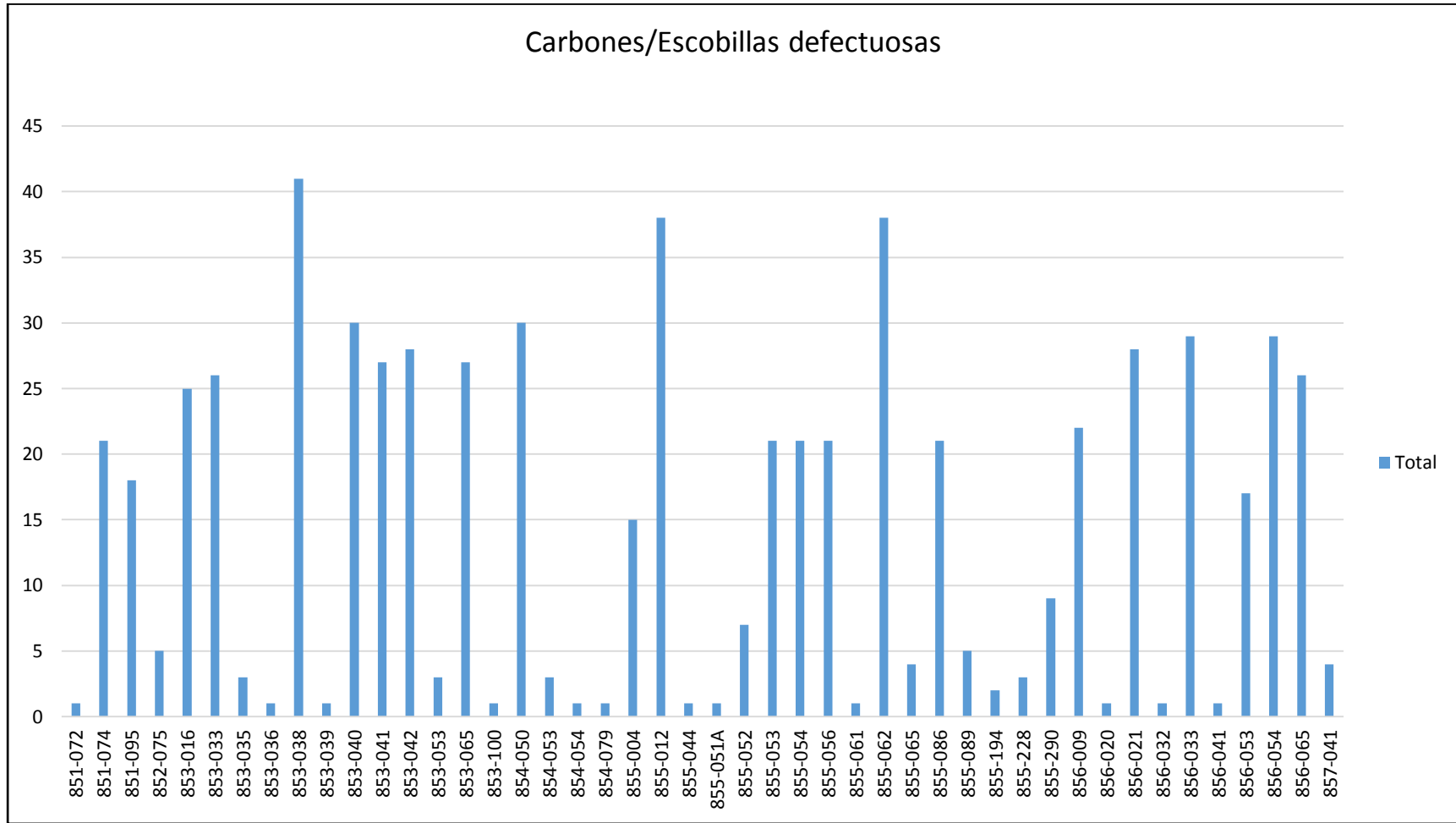
Entre los que están en riesgo indeseable, es decir, el riesgo debe ser reducido y hay margen para investigar y analizar a más detalle. No obstante, deben establecerse controles temporales inmediatos en sitio, para reducir el riesgo. el riesgo es significativo, pero se pueden acompañar las acciones correctivas con el paro de instalaciones programadas. Para no presionar programas de trabajo y costos. Las medidas de solución para atender los hallazgos deben darse en los próximos 18 meses.

La mitigación debe enfocarse en la disciplina operativa y en la confiabilidad de los sistemas de protección. Son los siguientes aspectos:

Tubería/Cableado Defectuoso

Este es considerado como un problema común, tal como cables que no se insertan lo suficiente en el enchufe, interconexiones defectuosas, malas condiciones del tubo, conexiones demasiado apretadas, y el tendido de líneas muy cerrado o muy ajustado, lo que ocasiona fallas en el equipo, estas tienen deberían tener un periodo de revisión regular para evitar fallas en los molinos.

Grafica 4.2. Carbones/ Escobillas defectuosas: Posiciones técnicas vs frecuencia



La definición de cada una de las posiciones técnicas está en el **Apéndice 1** pagina 108, por ejemplo 851-072 es una bomba de vacío.

Alta Vibración

Estas pueden causar desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruido etc. Las vibraciones en una maquinaria están directamente relacionadas con su vida útil de dos maneras: por un lado un bajo nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina se encamina hacia algún tipo de falla.

Empaque O Sellos Defectuosos

Los sellos de válvulas son una de las razones más comunes, estos sellos limitan el paso de aceite que se puede presentar por el vástago de la válvula cuando el aceite se acumula en la parte superior del cabezote.

Equipo Desalineado

El desbalanceo mecánico es la fuente de vibración más común en sistemas con elementos rotativos, todo rotor mantiene un nivel de desbalanceo residual, el hecho de que estos generen vibraciones o no, dependen básicamente de que estos operen dentro de las tolerancias de calidad establecidas en las normas para las características y velocidades del rotor en cuestión, que está presente en muchas maquinarias del área de molinos.

Equipo Con Alto Ruido

La maquinaria siempre ha de presentar niveles tolerables de ruido, pero cuando este se incrementa como es el caso el ruido puede ocasionar tensión e impedir la concentración.

Puede provocar problemas crónicos de salud y también ocasionar accidentes al dificultar la comunicación y las señales de alarma y puede ser señal de desperfectos en la máquina.

Acople Defectuoso

Los acoplamientos tienen por función prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí. Cuando estos fallan la máquina pierde eficacia y trabaja a un menor nivel hasta averiarse.

Eje Defectuoso

Como el eje es el encargado de guiar el movimiento de rotación a una pieza o de un conjunto de piezas, como una rueda o un engranaje, cuando este presenta algún tipo de fallas, limita los movimientos y precisión del molino. Esto se presenta por varios tipos de fallas, como lubricación, deformaciones o elementos incorrectos entre otros.

Elementos Fijación Defectuosos

Cuando las piezas destinadas a la unión de estructuras metálicas dentro del molino falla, o estas defectuosas generan en el movimientos y desajustes así como la posibilidad de que estas se suelten lo que a futuros podría generar accidentes.

Motor Quemado

Las causas típicas por las que se queman los motores son las siguientes:

a) Sobrecarga.- Una carga mecánica excesiva o daños en los rodamientos, permite alto amperaje en el motor, al igual que el rotor mecánicamente bloqueado. Aquí debería operar el relevador de sobrecarga. Pero si no existe, o está mal ajustado, el motor está en riesgo.

b) Pérdida de Fase.- Esto origina que la carga total del motor sea manejada por solo dos fases aumentando la corriente en ellas. Nuevamente el relevador OL debería operar.

c) Picos de tensión.- Los picos de tensión originados por cierres y aperturas de interruptores, así como descargas atmosféricas en las cercanías, perforan los delicados aislamientos en las bobinas del motor originando cortocircuitos o fallas a tierra.

Válvula Defectuosa

En ocasiones la válvula no cierra correctamente. Los gases de combustión que pasan por el asiento de la válvula calientan el platillo de la válvula. El platillo se calienta entonces excesivamente y se quema en el área de asiento.

Cilindro Neumático/Hidraulico Defectuoso

Es posible encontrar Erosión y cavitación en los cilindros es debido al Mantenimiento incorrecto del sistema de enfriamiento, aire en el sistema de enfriamiento e insuficientes anticorrosivos en el refrigerante del motor.

Sistema Neumático Defectuoso

Las piezas desgastadas o dañadas, deben ser reparadas de inmediato cuando estas se presentan ya que este sistema es delicado. También por la escasez de activos que limpien esos equipos se han utilizado fluidos y disolventes no compatibles con las piezas húmedas del equipo por lo que se dañan con mayor frecuencia.

Booster Defectuoso

Esto se debe en ocasiones a Conexiones o tuberías de vacío averiadas, lo que ocasiona que el molino en ciertos casos no opere como es debido.

4.3 Evaluación del nivel de confiabilidad que poseen los equipos.

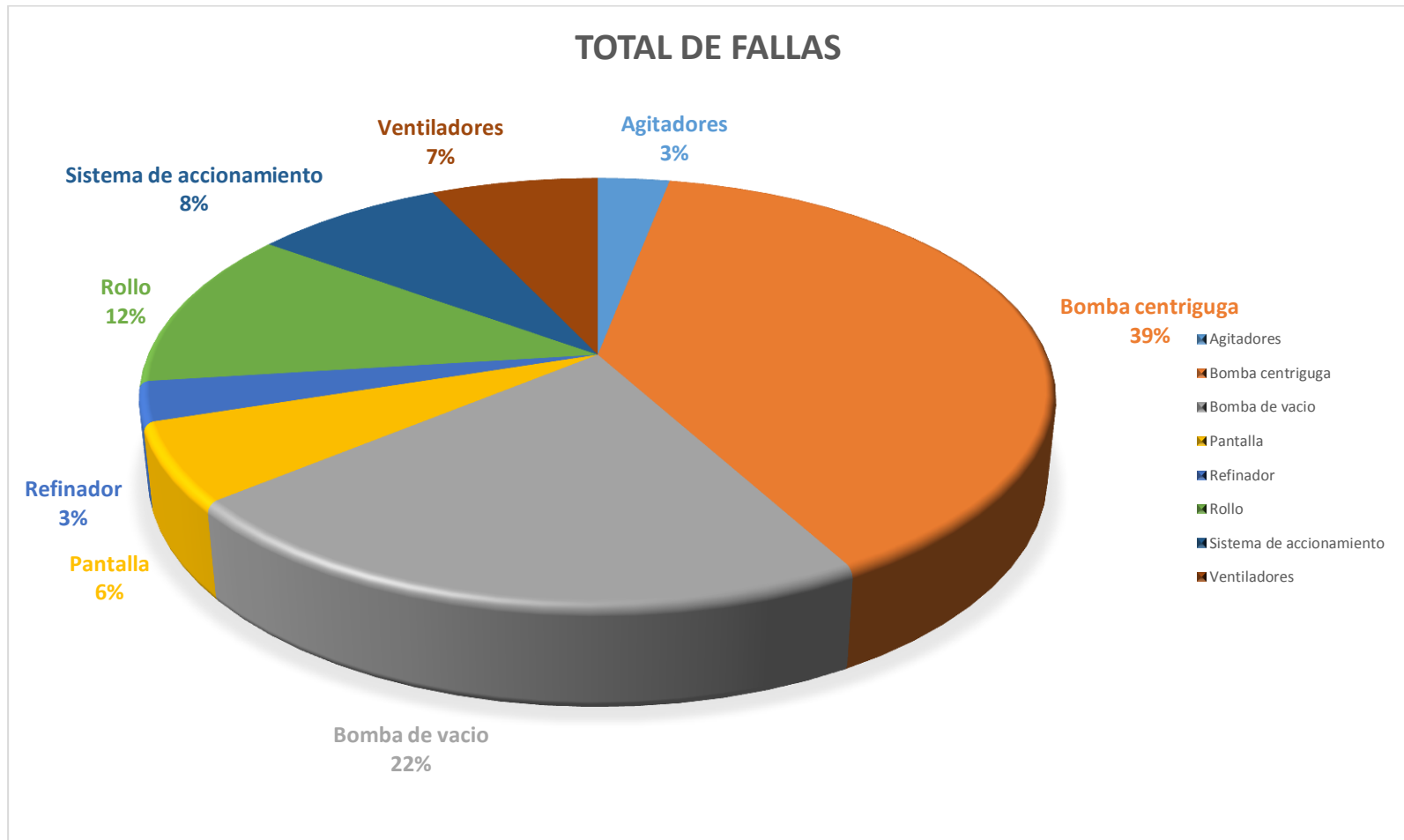
Para realizar esta evaluación es necesario realizar una serie de pasos previos, el cumplimiento de estos nos ofrecen una buena calidad en el estudio que se realiza, uno de los primeros pasos fue la realización de un análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), pero dado en inmenso universo de equipos y el tiempo para desarrollar esta investigación, para el análisis de confiabilidad se tomaran en cuenta la línea 5 y 6, por ser recientes, con las que se cuenta mayor información y por ser las que más aportan a la producción de bobinas de papel. En el AMEF se reflejan las razones de las posibles fallas de estos equipos. Para el AMEF que aquí se menciona, se tomaran en cuenta los diferentes elementos que conforman los motores, agitadores, ventiladores, rollos, pantallas, sistemas de accionamiento y bombas que conforman la línea y se destacaron en cada grafica las partes que fallaron. Para el año 2.014 el comportamiento de las fallas de los diferentes equipos de la línea se presentan en la gráfica 4.3 y 4.4.

Para este año la cantidad total de fallas registradas en las líneas fueron 1260, mientras que para el 2.014 la cantidad de fallas habían aumentado en un porcentaje considerable (en un 30%), tomando en cuenta que los registros que se generaron y encontraron durante la investigación son bastante inexactos y no reflejan la totalidad real de fallas (solo las transferidas al sistema)

Estas fallas son de las que se encontró existencia y es de gran importancia tener en cuenta que la falta de registro genera una desinformación tan grave que no permite tener claro la situación real de estos equipos, además de tener una falsa imagen de la labores de mantenimiento, en lo que a estos equipos se refiere.

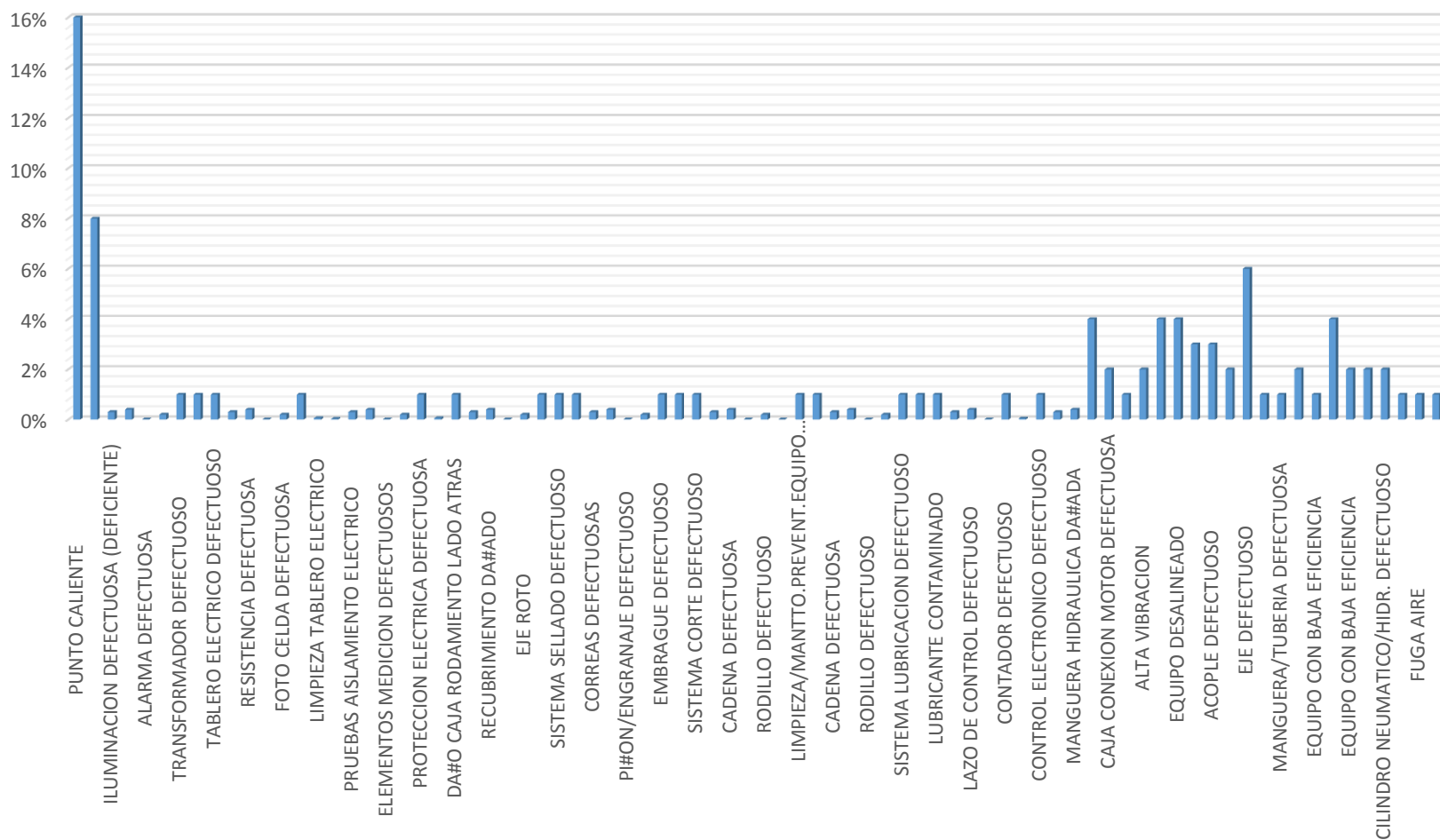
A pesar de todo esto, en los registros que se encontraron para este año y los que se pudieron recopilar por otras fuentes, se logró reflejar los resultados de los que aquí se dan cuenta, en los que se pueden observar una mínima diferencia con respecto al 2.014

Grafica 4.3. Porcentaje de fallas totales para el año 2014.



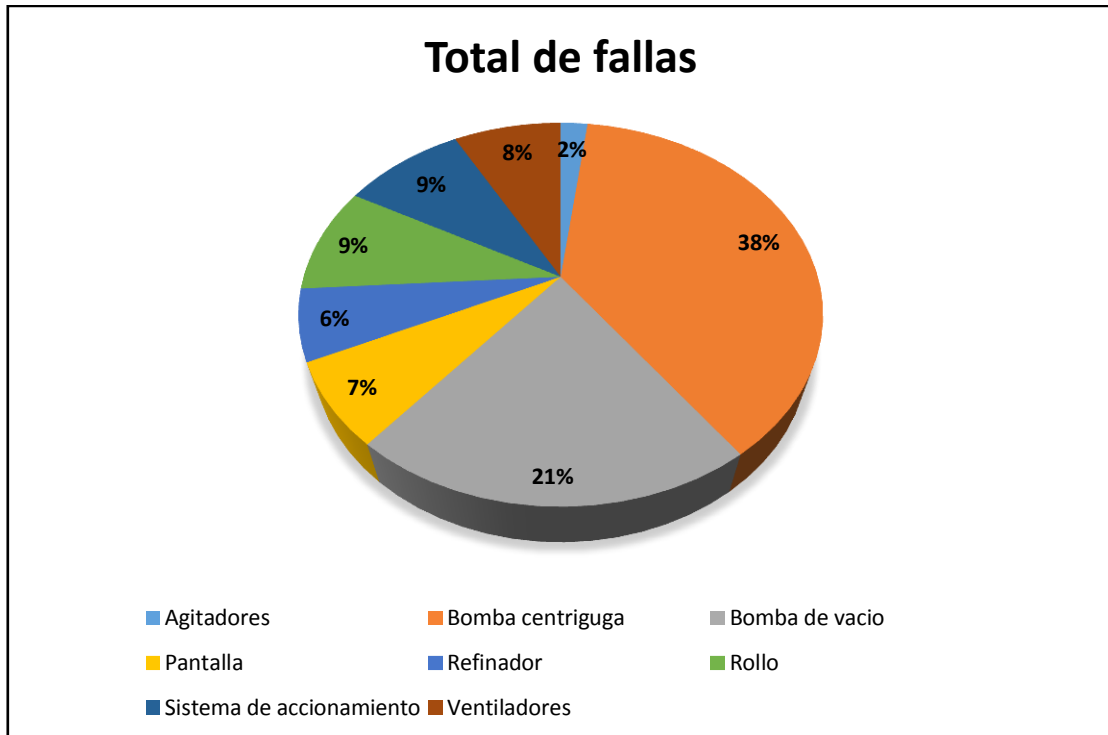
Grafica 4.4. Porcentaje distribución de fallas año 2.014

Distribucion de las fallas



Estos registros no reflejan la cantidad real de las fallas y a pesar de esto, la cantidad de fallas va aumentar un poco más como se puede ver, y además para el mes de febrero ya habían registrado 392 fallas lo que refleja un aumento de 33% de las fallas que se tenían para el año anterior y se distribuyen de la siguiente manera:

Grafica 4.5. Porcentaje distribución de fallas año 2.015.



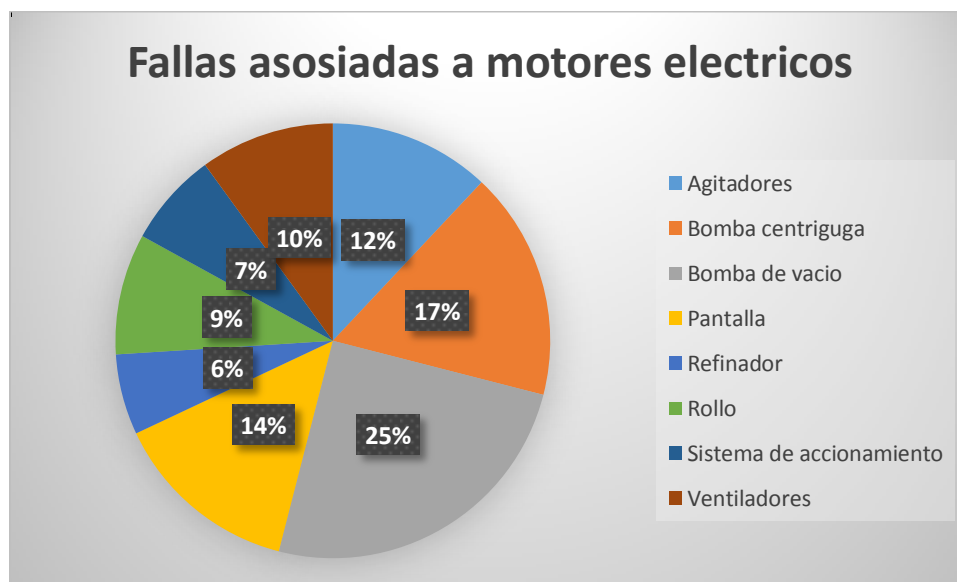
En las gráficas anteriores se puede observar la distribución de eventos de fallas y que hasta un 60% en general son fallas asociadas a motores eléctricos bien sea por puntos calientes, falla en los rodamientos, ejes, problemas en las caja de conexiones y la manera de disminuir esta cantidad considerable de anomalías en los motores, implica primeramente atacando estos eventos imprevistos realizando un mantenimiento apropiado.

4.3.1 Aspectos evaluados en el estudio de confiabilidad:

Como se observó en la sección anterior los diferentes componentes de la línea un 60% tienden a fallar por defectos asociados a motores eléctricos, hecho del que se partirá

para continuar el análisis de confiabilidad. En la información que se recopiló, vemos reflejada los diferentes componentes de la línea que intervienen en el proceso productivo tratándolas como un sistema cada una de ellas, el cual conforma por cierta cantidad de motores cada una, se pueden visualizar una cantidad de fallas determinada con las cuales se pretende realizar el estudio de confiabilidad. Para las líneas 5 y 6, la cantidad de fallas de las cuales se tuvieron registro fueron 235 en total, estas se encontraron distribuidas tal como la muestra la siguiente gráfica 4.6:

Gráfica 4.6. Porcentaje distribución de fallas motores eléctricos por renglón, año 2.014.



Estos valores representan en su totalidad la cantidad de fallas de las que se encontraron registros durante el año 2.014 y representan la base de datos más completa con la que contamos para realizar el estudio de confiabilidad. Los valores históricos de fallas de las líneas en general se estudiarán de acuerdo a los renglones descritos en el gráfico debido a la diversidad de sus condiciones operativas, "... cuando las tasas de fallas se utilizan en los cálculos de la confiabilidad, se debe tener cuidado de que la tasa se base en los datos obtenidos bajo condiciones funcionales y ambientales similares, sino idénticas." [3]

En base a este principio, se toma en cuenta cada renglón por separado, se relejo los tiempos de ocurrencia de las fallas en días, evaluando cada año como un periodo de tiempo y de estudio independiente entre estos, de todos estos valores y datos se utilizó básicamente

el tiempo medio entre fallas; para obtener este valor se debe revisar la confiabilidad de los equipos, para a partir de ahí poder obtener este. Por otra parte en los cálculos de confiabilidad que se realizaron y se muestran más adelante, se asumió una tasa de falla constante, esto debido a diversos criterios, en donde primeramente por ser sistemas conformados por sub sistemas cada uno con tasa de fallas diferentes, la tasa de riesgo del componente es aproximadamente una constante. “... cuando un componente esta hecho de un número de sub-componentes con diferentes ratas de falla, el efecto es obtener una rata de falla constante para el componente.” [3]

Para el cálculo de la tasa de falla constante se involucró dos aspectos fundamentales, la cantidad de fallas que hay en las líneas y la cantidad de horas de operación que tienen los equipos en cada zona. Para realizar este cálculo de confiabilidad se toma la ecuación 2.1, como se presentó en el capítulo 2.

Para los agitadores debido a que esta zona está conformada por 15 motores, y la cantidad de 10, el cálculo de la rata de falla quedara de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{10}{8760 \text{ hr}} = 1.141552511 \times 10^{-3} \text{ fallas/hr}$$

Assumiendo que la situación más crítica que se presenta, es que hay (8) motores de estos (15) de los agitadores, de los cuales se registran dos fallas por cada uno de los (8) mencionados. Entonces sabiendo que esta es la situación más crítica, para el cálculo de la rata de falla se hará de la siguiente manera, para un solo motor de estos críticos:

$$\lambda = \frac{1}{8760 \text{ hr}} = 5.707762557 \times 10^{-5} \text{ fallas/hr}$$

Con este valor de λ y que 720 horas, que es igual a un mes, se obtiene una confiabilidad del 61,81%, lo que indica que existe un 61,81% de probabilidad de que no haya una falla en el sistema en un mes y por consiguiente un 38,19% de probabilidad que el sistema falle, partiendo de ahí y sustituyendo en la ecuación de confiabilidad se obtiene:

$$r t = e^{-0.00005707762557 \times 720 \times t}$$

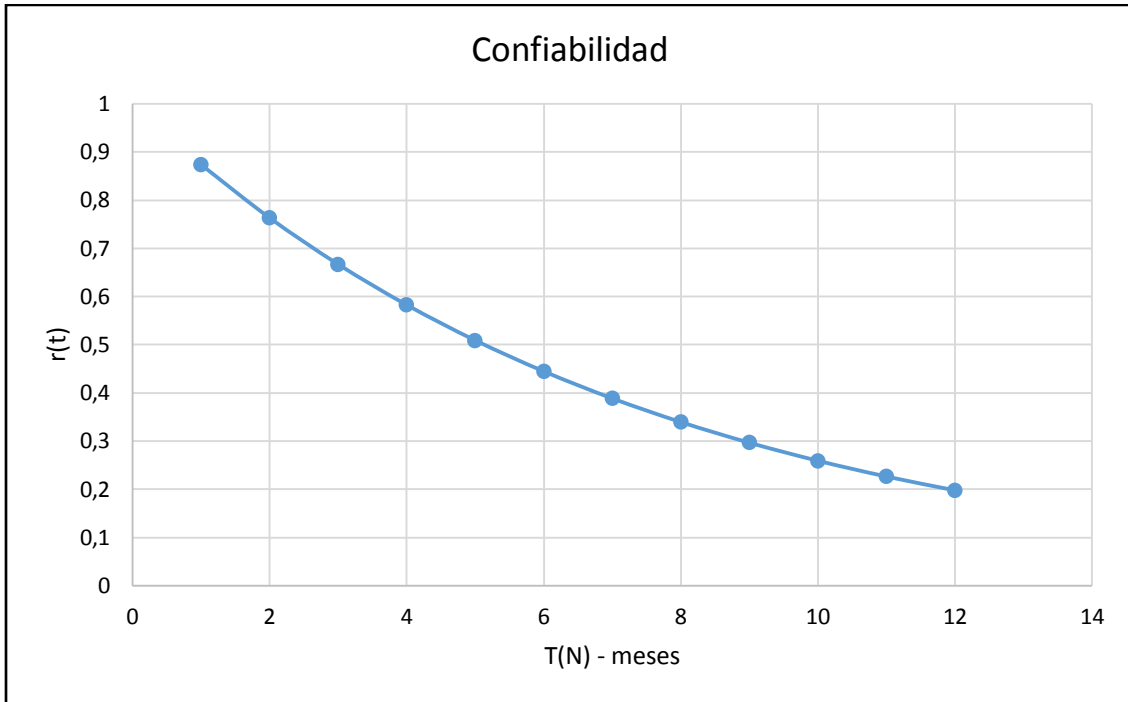
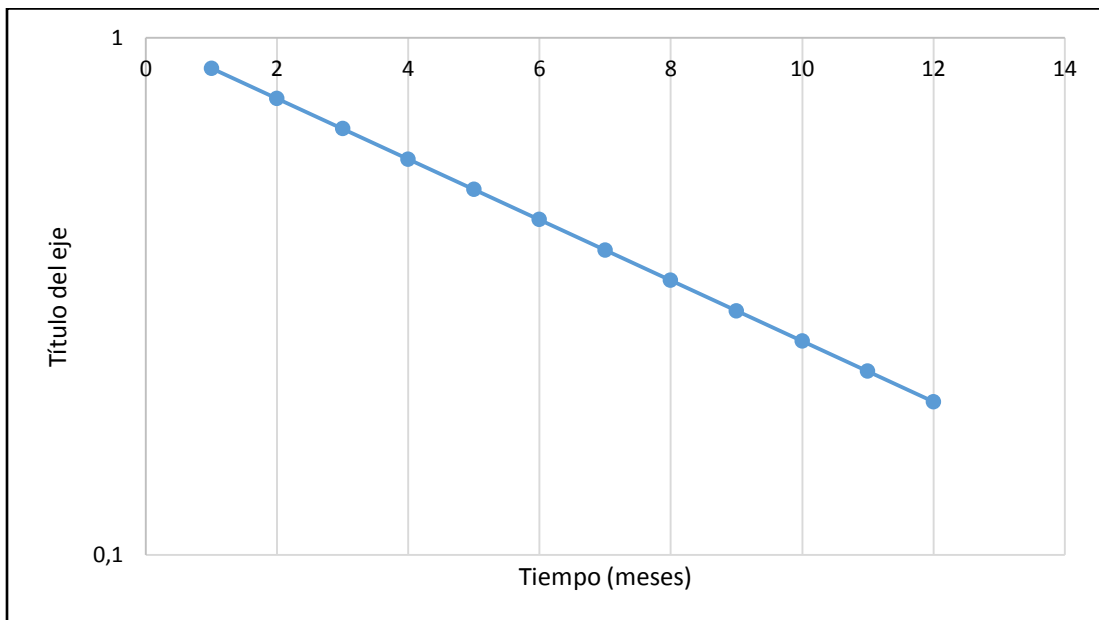
Entonces, con la ecuación anterior, se tiene que la confiabilidad para el primer mes en los agitadores será la siguiente:

$$r_t = 0.9597$$

Tabla 4.6. Valores de confiabilidad obtenidos en los agitadores.

mes	r(t)
1	0.9597
2	0.9211
3	0.8840
4	0.8484
5	0.8143
6	0.7815
7	0.7500
8	0.7198
9	0.6908
10	0.6630
11	0.6363
12	0.6107

Graficando estos puntos se obtienen las curvas 4.7 y 4.8.

Grafico 4.7. Curva de confiabilidad obtenida en los agitadores.**Grafico 4.8. Curva en papel semilogaritmico de confiabilidad obtenida en los agitadores.**

De los valores anteriores se evidencia que los valores de confiabilidad disminuyen constantemente y paulatinamente se harán cero.

Además se localiza, inmediatamente después de la primera grafica la línea recta que se presenta en a grafica 4.8. Y en donde se puede corroborar la tendencia derivada en una función exponencial.

Bomba Centrífuga:

$$r t = e^{-0.000114155x720x(1)} = 0.921095$$

Los valores obtenidos para los subsecuentes meses se muestran la tabla 4.7:

Tabla 4.7. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.

mes	r(t)
1	0.9211
2	0.8484
3	0.7814
4	0.7198
5	0.6630
6	0.6109
7	0.5625
8	0.5181
9	0.4772
10	0.4395
11	0.4049
12	0.3729

Graficando estos puntos se obtienen las curvas 4.9 y 4.10.

Grafico 4.9. Curva de confiabilidad.

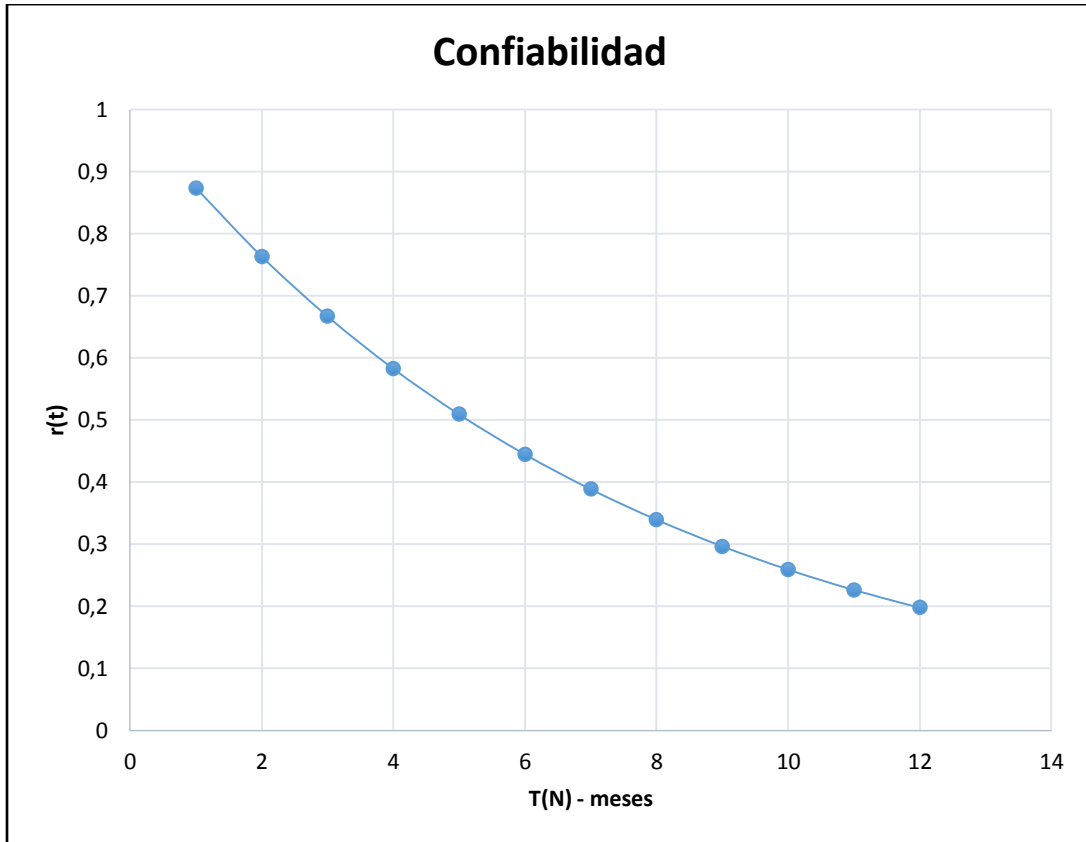
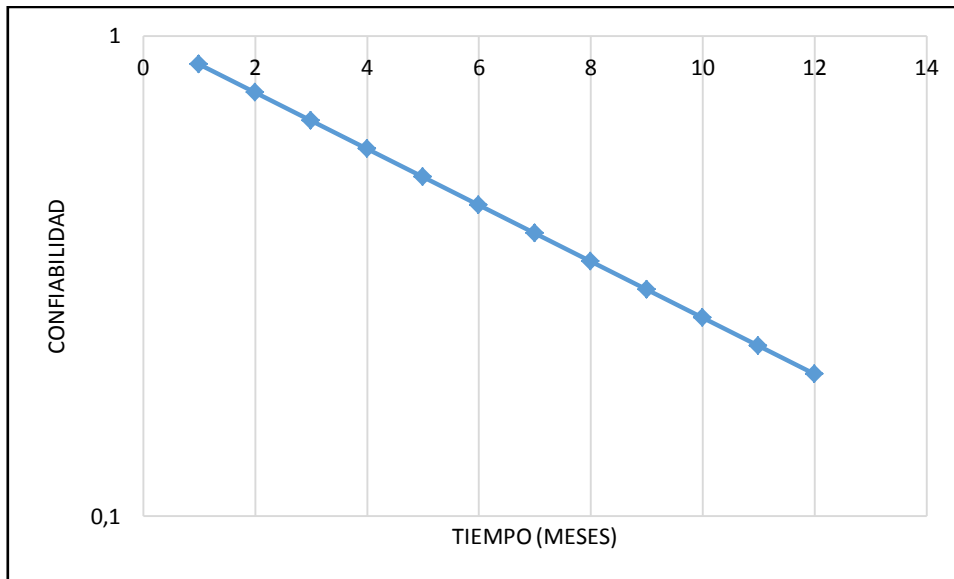


Grafico 4.10. Curva en papel semilogaritmico.



Bomba de vacío:

$$r t = e^{-0.00034247x720x(1)} = 0.781470$$

Tabla 4.8. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.

mes	r(t)
1	0.7815
2	0.6107
3	0.4772
4	0.3729
5	0.2914
6	0.2277
7	0.1779
8	0.1391
9	0.1087
10	0.0849
11	0.0664
12	0.0519

Grafico 4.11. Curva de confiabilidad obtenida.

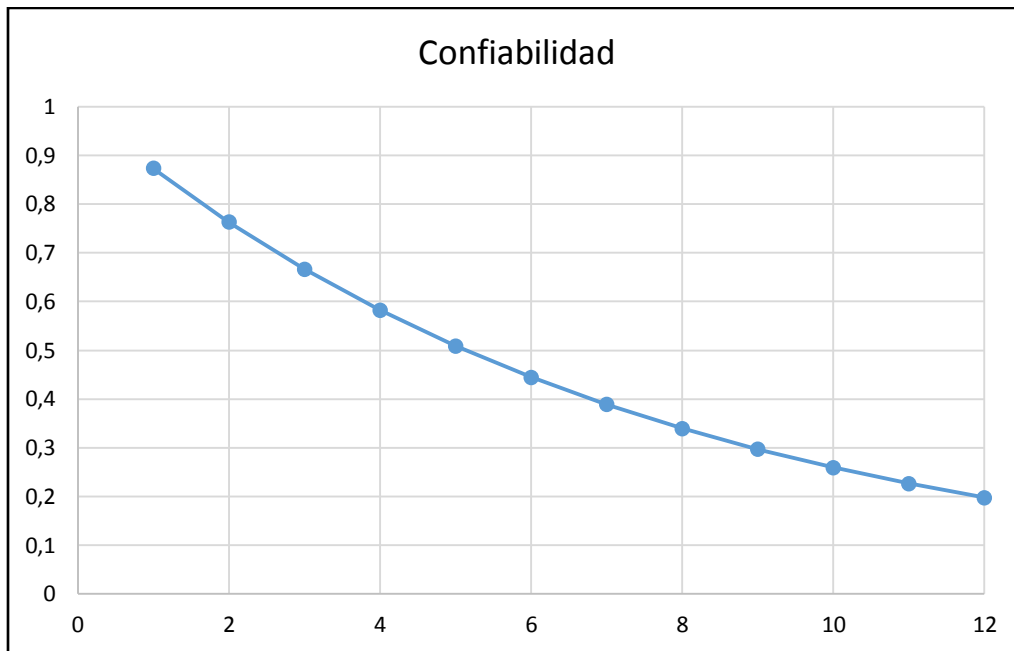
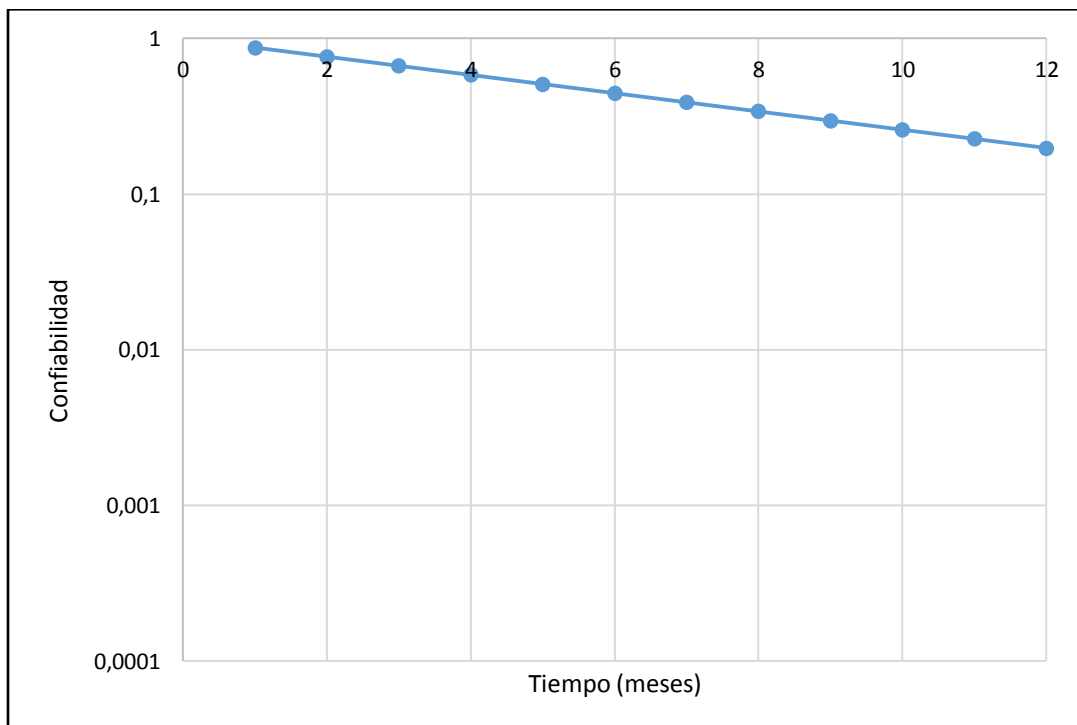


Grafico 4.12. Curva en papel semilogaritmico.



Pantalla:

$$r t = e^{-0.00011416x720x(1)} = 0.925214$$

Tabla 4.9. Valores de confiabilidad en pantallas.

mes	r(t)
1	0.925214
2	0.848411
3	0.786464
4	0.715698
5	0.669521
6	0.615632
7	0.567459
8	0.511239
9	0.474587
10	0.434125
11	0.407856
12	0.374587

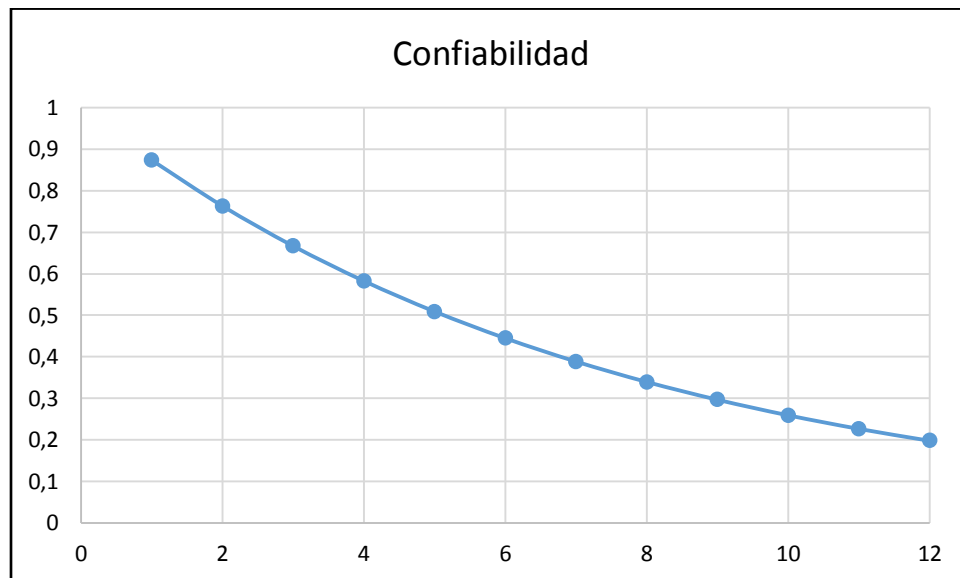
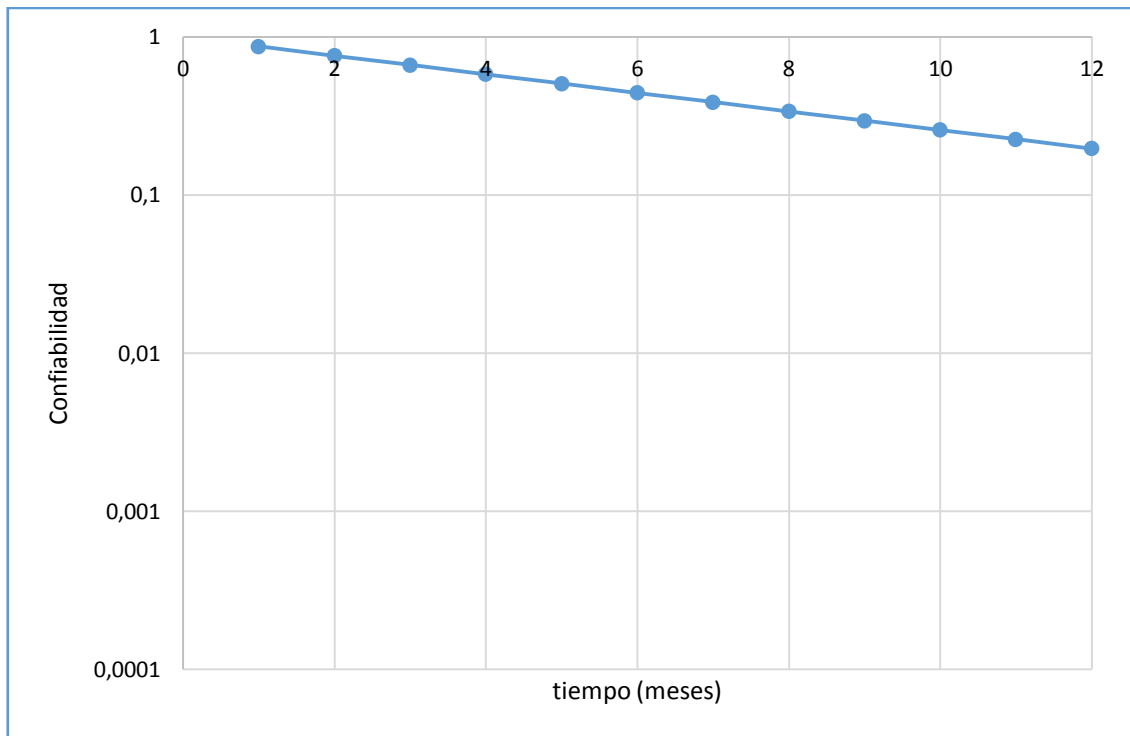
Grafico 4.13. Curva de confiabilidad obtenida.

Grafico 4.14. Curva en papel semilogaritmico.

**Refinadores:**

$$r t = e^{-0.0005478265 \times 720 \times (1)} = 0.674060722$$

Tabla 4.10. Valores de confiabilidad en refinadores.

mes	r(t)
1	0.674060722
2	0.454357857
3	0.306264785
4	0.206441062
5	0.139153812
6	0.093798119
7	0.063225628
8	0.042617912
9	0.028727061
10	0.019363783
11	0.013052366
12	0.008798087

Grafico 4.15. Curva de confiabilidad obtenida.

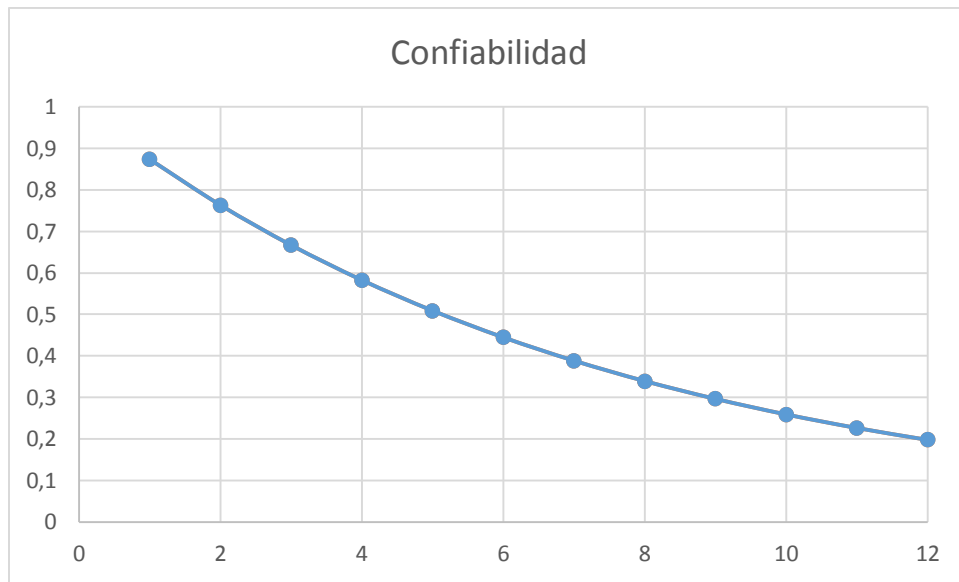
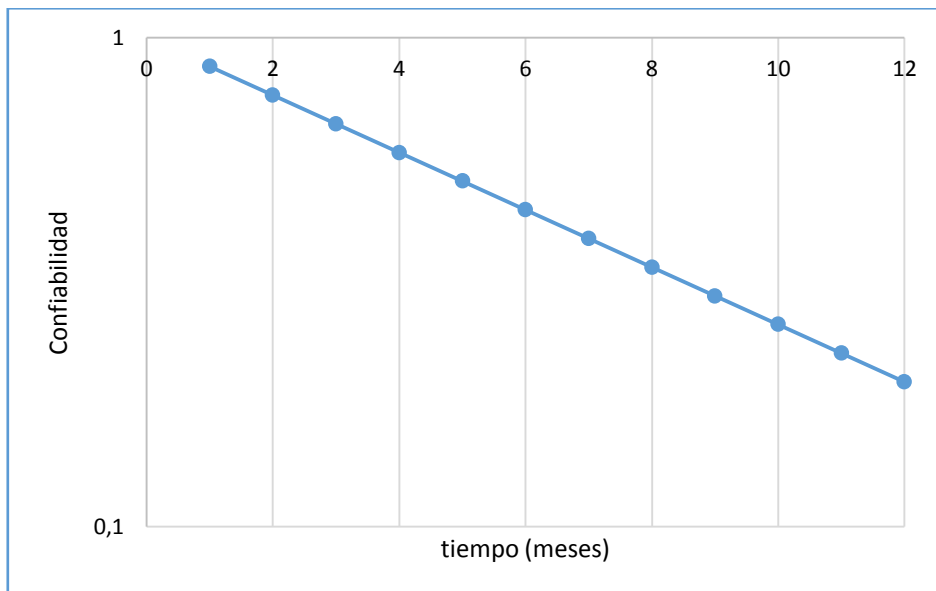


Grafico 4.16. Curva en papel semilogaritmico.



Rollo:

$$r t = e^{-0.0003365874 \times 720x(1)} = 0.784787006$$

Los valores obtenidos para los subsecuentes meses se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.11. Valores de confiabilidad en bombas centrifugas.

mes	r(t)
1	0.784787006
2	0.615890645
3	0.483342975
4	0.379321286
5	0.297686417
6	0.233620432
7	0.183342279
8	0.143884638
9	0.112918794
10	0.088617203
11	0.069545629
12	0.054578506

Gráfico 4.17. Curva de confiabilidad obtenida.

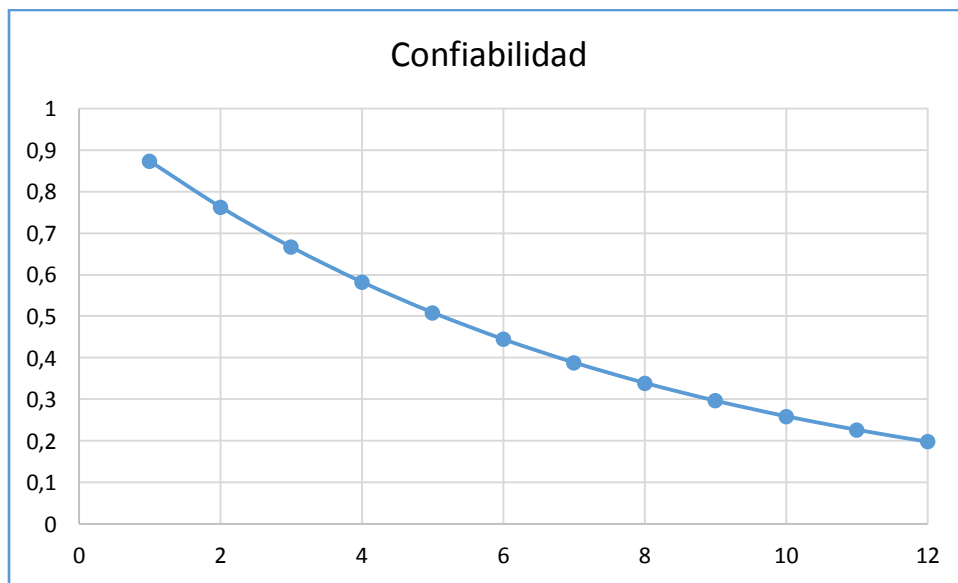
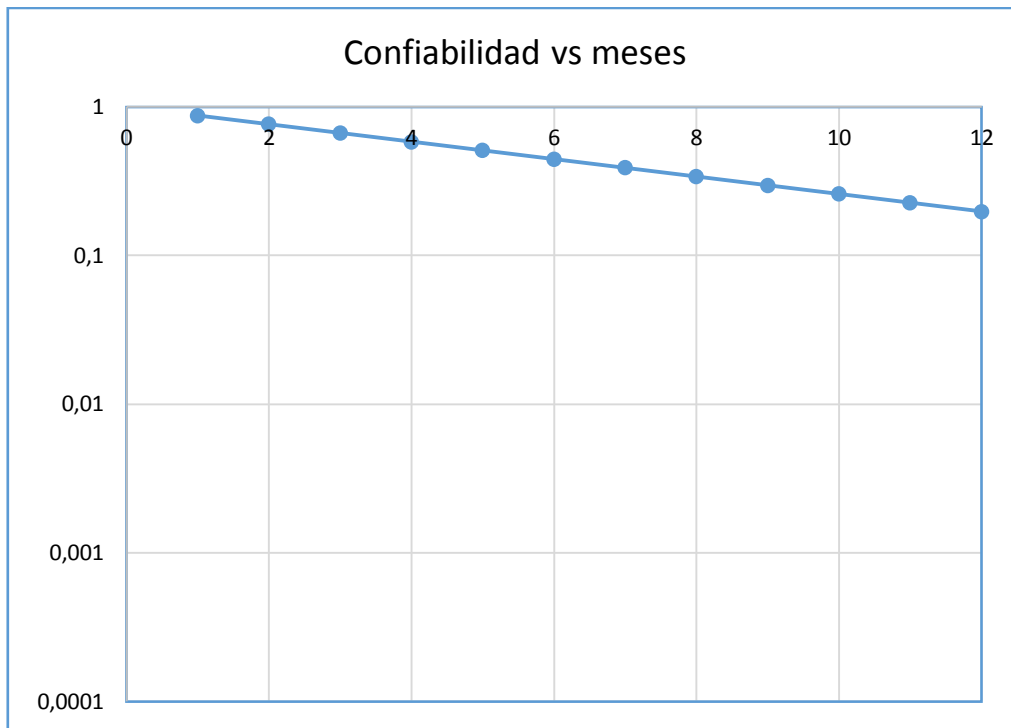


Grafico 4.18. Curva en escala semilogaritmica.

**Sistema de accionamiento:**

$$r t = e^{-0.00041589632 \times 720 \times (1)} = 0.741229229$$

Tabla 4.12. Valores de confiabilidad en sistemas de accionamiento.

mes	r(t)
1	0.741229229
2	0.54942077
3	0.407246734
4	0.301863183
5	0.223749814
6	0.165849902
7	0.122932795
8	0.091121381
9	0.067541831
10	0.050063979
11	0.037108885
12	0.02750619

Grafico 4.19. Curva semilogaritmica obtenida.

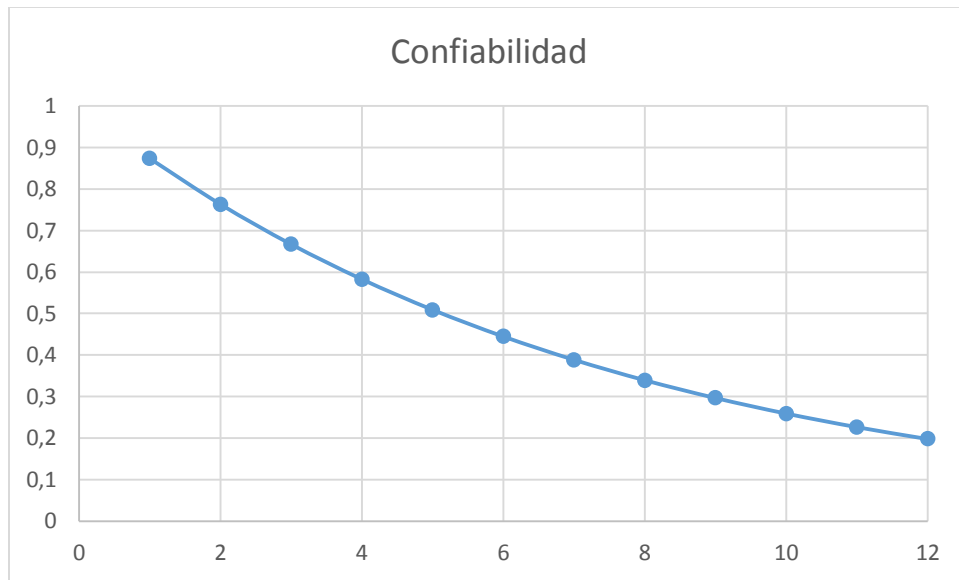
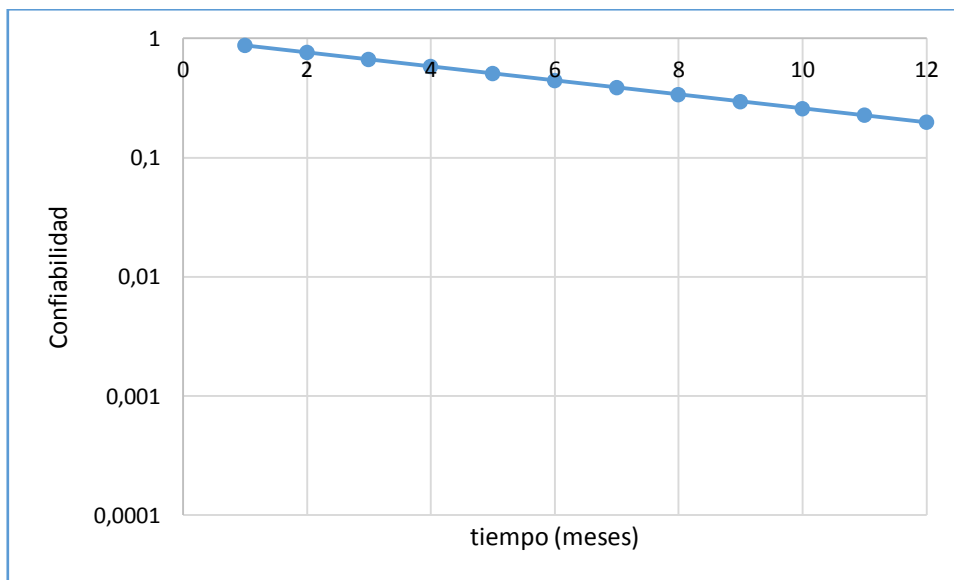


Grafico 4.20. Curva de confiabilidad.



Ventilador:

$$r t = e^{-0.0001875422x720x(1)} = 0.873689365$$

Tabla 4.13. Valores de confiabilidad en bombas centrífugas.

mes	r(t)
1	0.873689365
2	0.763333107
3	0.666916017
4	0.582677432
5	0.509079075
6	0.444776974
7	0.388596912
8	0.33951299
9	0.296628888
10	0.259161505
11	0.226426651
12	0.197826557

Gráfico 4.21. Curva de confiabilidad obtenida.

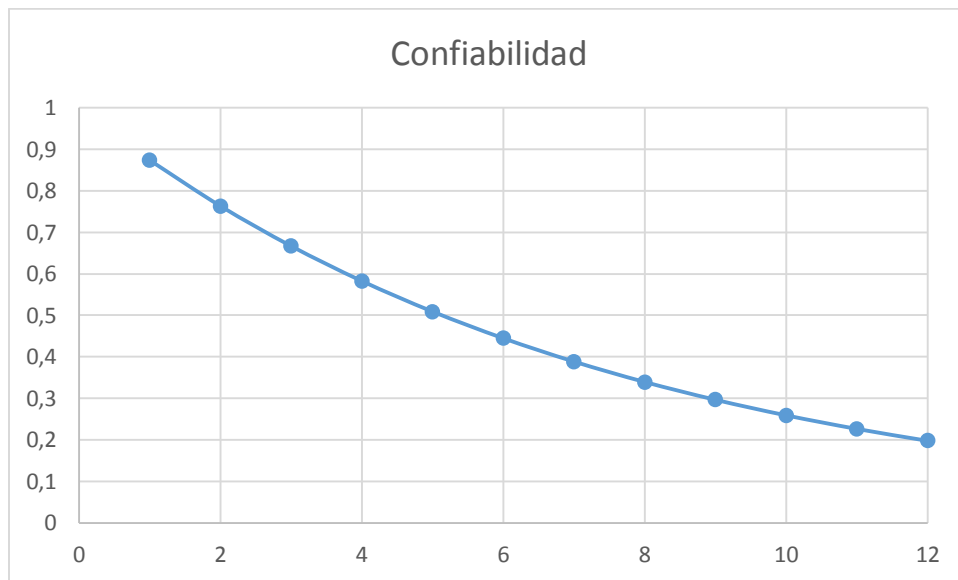
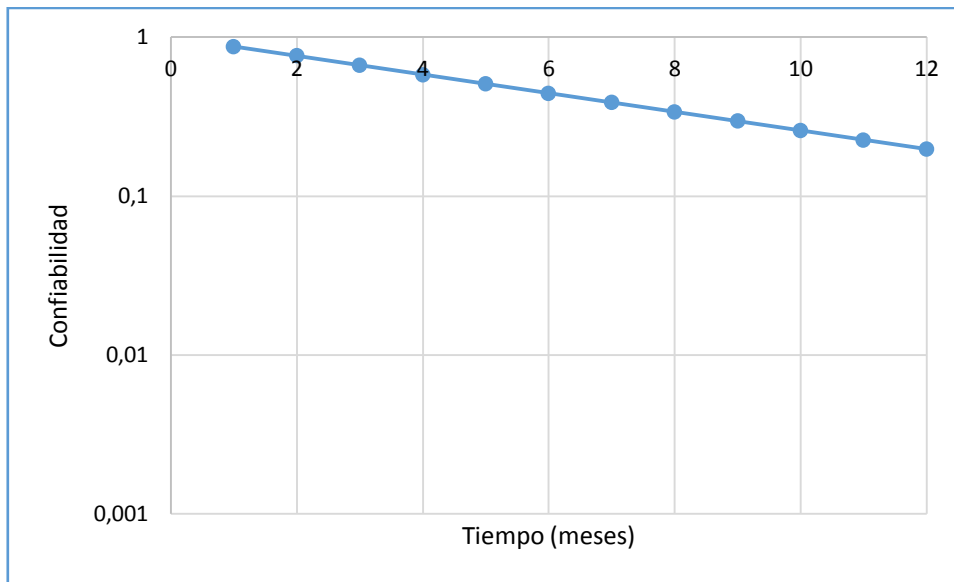
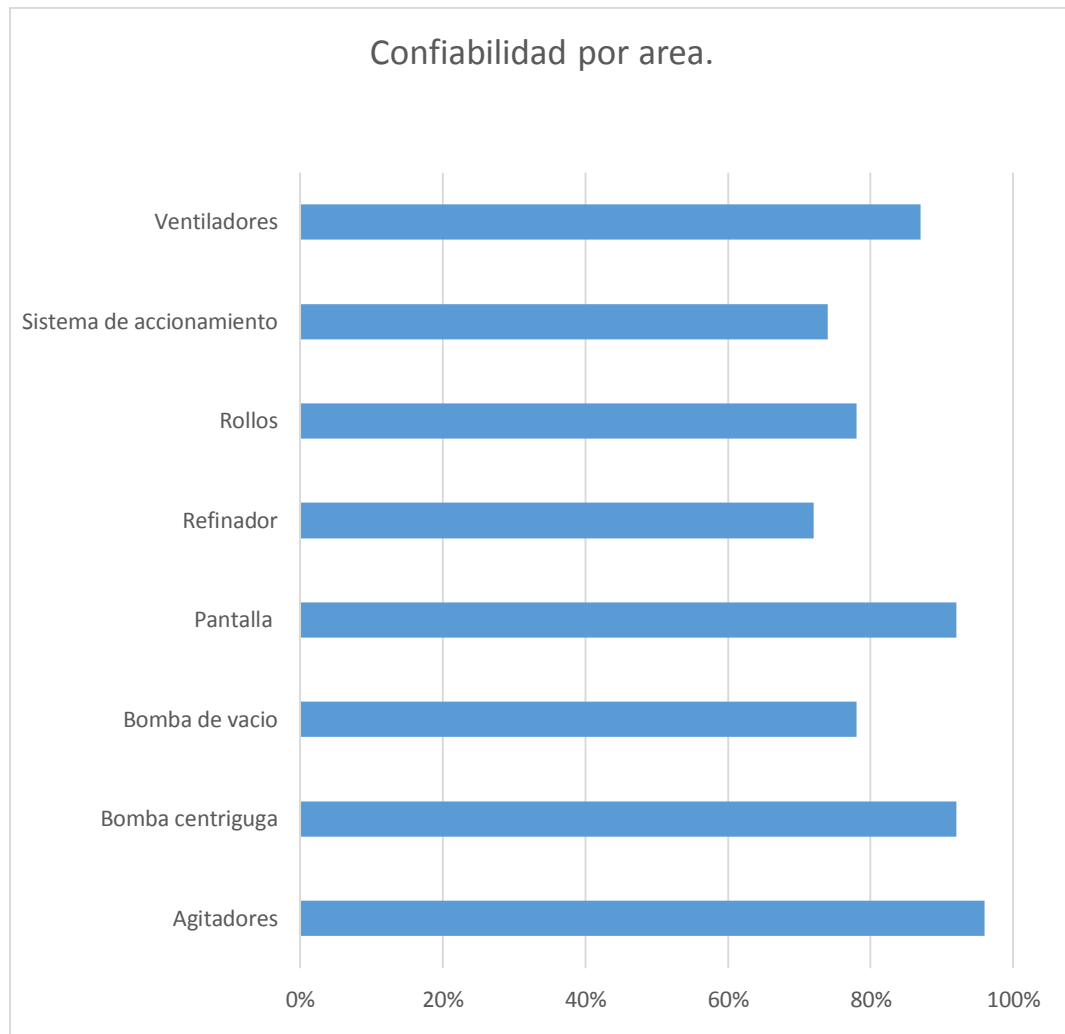


Grafico 4.22. Curva en escala semilogaritmica.



Se aprecia que los valores de confiabilidad que se muestran en las gráficas anteriores permiten apreciar la situación que puede ser ampliamente mejorada, como se comentó previamente, en las que, con el breve periodo de observación expuesto, se observa que al final del periodo de un año, los motores de las diferentes zonas, manifiestan una confiabilidad baja que varían entre 5% y un 37%, lo que significa que los equipos si ya no han fallado lo harán en cualquier momento.

A pesar de esto, al principio del estudio (enero del 2.014), la confiabilidad que se mostraba para las diferentes zonas de producción fue la siguiente, para cada área:

Grafica 4.23. Confiabilidad por área.

Estos valores se corresponde a las condiciones de confiabilidad iniciales, obtenidos de la escasa información que se encontró y que por consiguiente, no generan la certeza consiguiente aunque la noción general permite tomarlo como punto de partida para estar alerta de las áreas con baja confiabilidad principalmente, pero en general de todas.

Para combatir elevados niveles de incertidumbre, son las rutinas de mantenimiento, son las rutinas de mantenimiento a la cual se pretende someter los equipos de las diferentes áreas, los registro y datos que se pretenden tomar serán un aspecto importante para determinar diferentes índices que permitirán una evaluación de la situación, uno de tales índices es el tiempo entre el cual se ejecutara cada una de las rutinas, este será determinado por el tiempo entre fallas (MTTF), clave para establecer la frecuencia de mantenimiento asociado a cada área.

Para agitadores, utilizando la ecuación 2.4, obtenemos:

$$Mttf = \frac{1}{\lambda} = 17543.86 \text{ hr} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} = 731 \text{ dias}$$

Tabla 4.14. Tiempo medio entre fallas por área.

Área:	λ	MTTF(horas)	MTTF (Días)
Agitadores	0.000057	17543.86	731
Bomba centrífuga	0.000114	8771.93	366
Bomba de vacío	0.000342	2923.98	122
Pantalla	0.000121	8264.46	345
Refinador	0.000547	1828.15	77
Rollos	0.000336	2976.19	125
Sistema de accionamiento	0.000415	2409.64	100
Ventiladores	0.000187	5347.59	222

4.3.2 Plano de confiabilidad

Con los valores de confiabilidad, es necesario como objetivo de estudio, mostrar la información de una forma accesible con el que se pueda manejar la información en relación a variable e índices de confiabilidad.

El plano de confiabilidad se muestra en la figura 4.3.

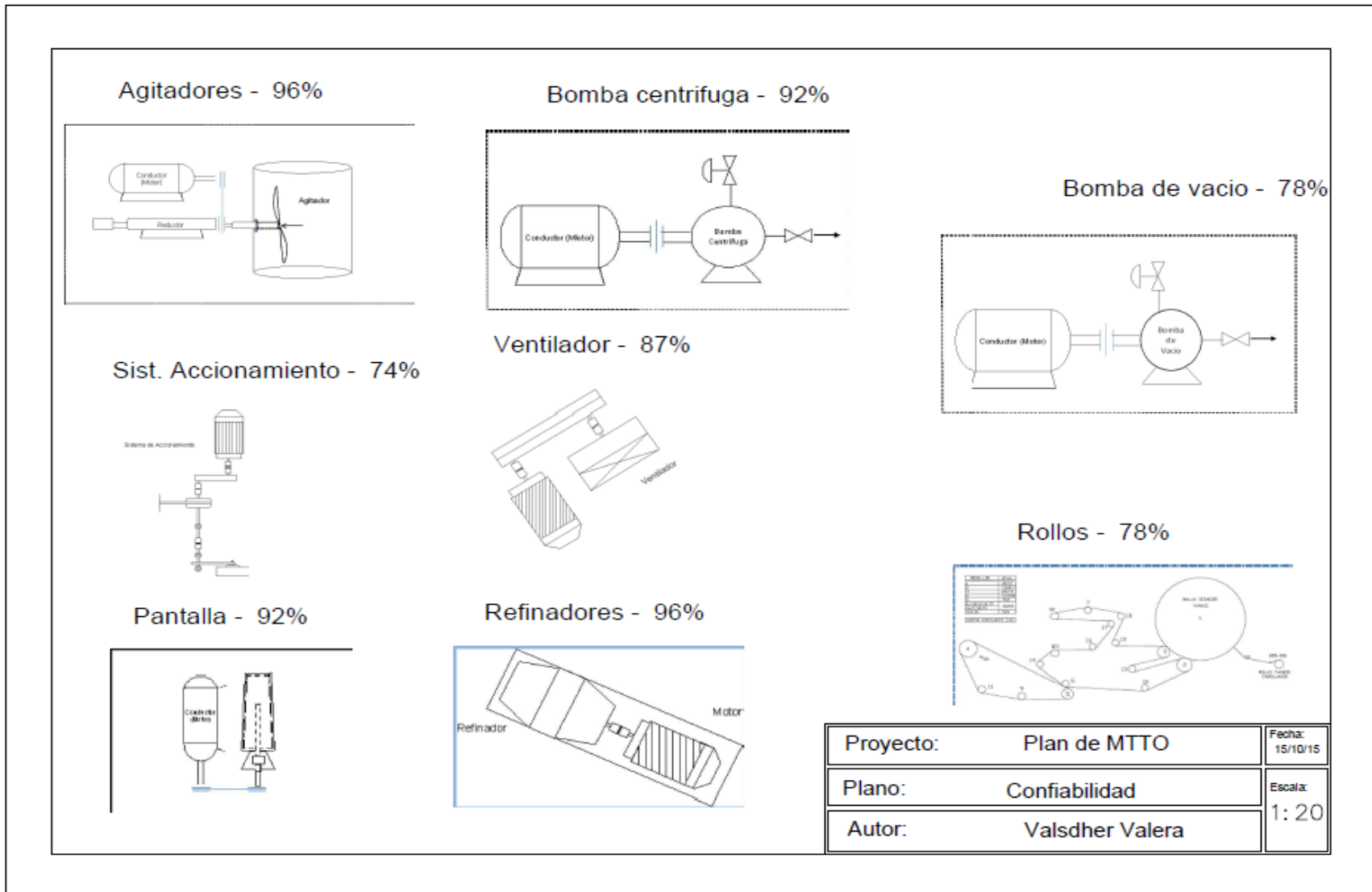


Figura 4.3. Plano de confiabilidad.

4.4 Recursos disponibles:

- **Humanos:** Actualmente PAVECA cuenta con personas adecuadas y capacitadas para realizar las actividades y tareas previstas siendo un total de 1400 trabajadores, entre mecánicos, operarios, obreros y personal administrativo, por lo que dispone de apoyo o de agentes de desarrollo. Para que la participación y el compromiso de cada una de las partes sea efectivo, es indispensable que ambas estén en capacidad de hacerlo. Siempre hay que dejar en claro el papel de cada uno de los miembros del grupo y el hecho de que asumir tareas diferentes no quiere decir necesariamente que se establezca en vertical o dominante de una parte sobre la otra.
- **Económicos:** Este aspecto que comprende la inversión, la proyección de los ingresos y de los gastos y las formas de financiamiento que se prevén para todo el período de su ejecución y de su operación. Como PAVECA ya dispone de recursos para la realización de este mantenimiento el costo será depreciable prácticamente ya que saldrá del mismo solo se reformara la aplicación.
- **Técnicos:** Los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc. Ya están disponibles en PAVECA, los cuales son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto.

4.5 Lineamientos Básicos a Considerar

Planificación Administrativa de los Trabajos de Mantenimiento: Para llevar a cabo la planificación administrativa de los trabajos a ejecutarse en el área de mantenimiento, específicamente en el are de molinos, se consideran el seguimiento de los siguientes pasos:

Asignación y entrenamiento de personal técnico: Planificadores, Técnicos y Operarios involucrados en el mantenimiento y mecánicos.

Adecuación del área de planificación: implica la restauración de la capacidad de la planificación existente.

4.6 Indicadores de control

Después de analizar el estado del proceso de mantenimiento de la empresa se señalan los siguientes indicadores de control para la misma:

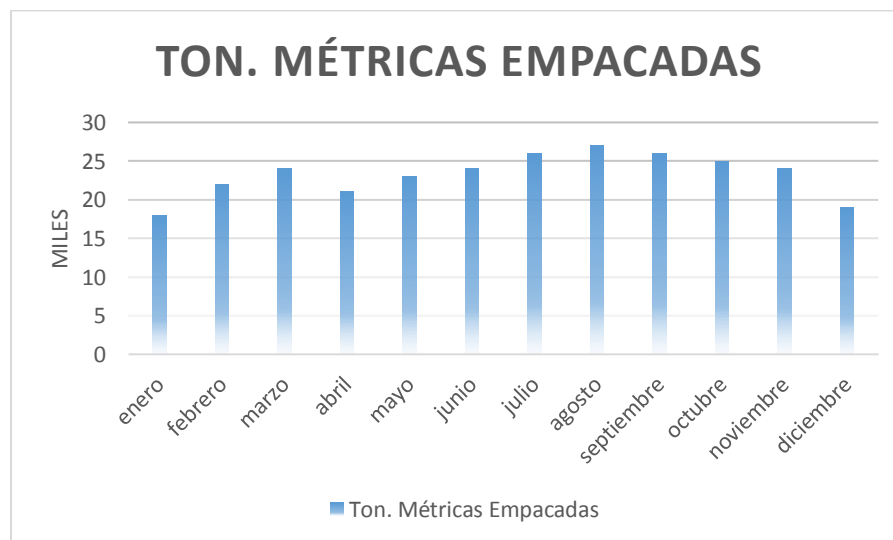
4.6.1 Indicadores de costos actuales de mantenimiento respecto a costos de producción.

Los costos a los que se hacen referencia corresponden al año 2.014, tomando en cuenta los cargos asociados a la producción como lo son: materia prima, personal, costos operativos, etc. Dichos datos son reportados el departamento de planificación y producción en molinos.

La gráfica 4.24 y 4.25. Se presentan las toneladas métricas empacadas en molinos durante el año 2.014:

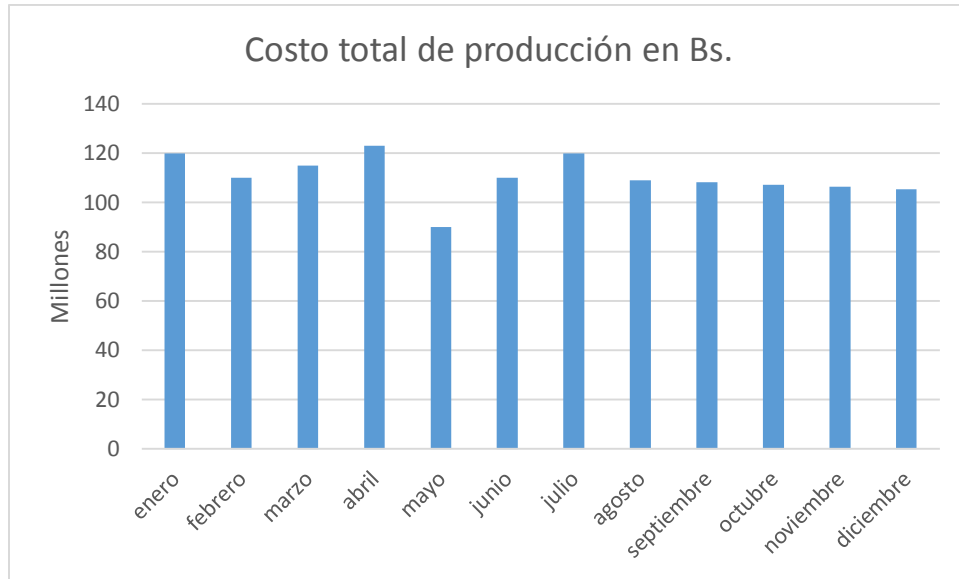
Grafica 4.24, Toneladas metricas empacadas año 2.014

Fuente: Planificacion de mantenimiento.



Grafica 4.25, se muestran los costos de producción del año 2.014

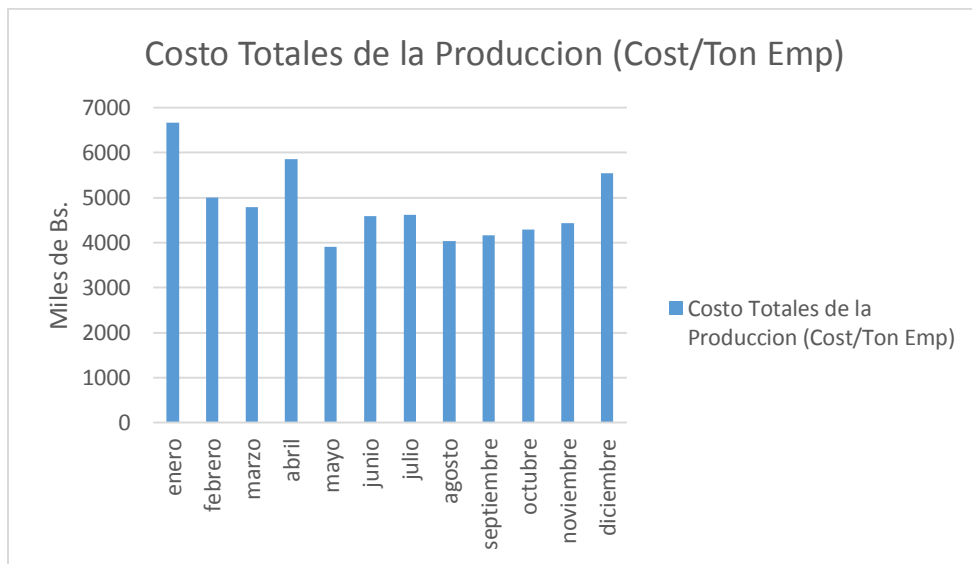
Fuente: Planificación de mantenimiento.



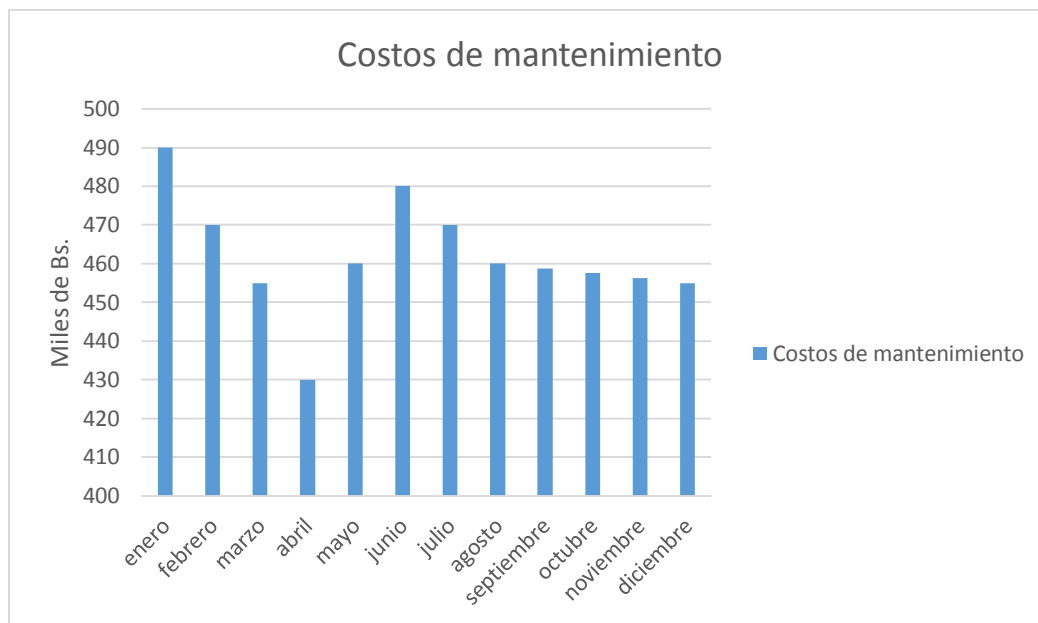
Para tener mejor visión de estos datos, es necesario establecer las relaciones entre ellos, por ello en la gráfica 4.26, se muestra el costo por tonelada empacada:

Grafica 4.26. Costos producción 2.014 (cost/ton. emp).

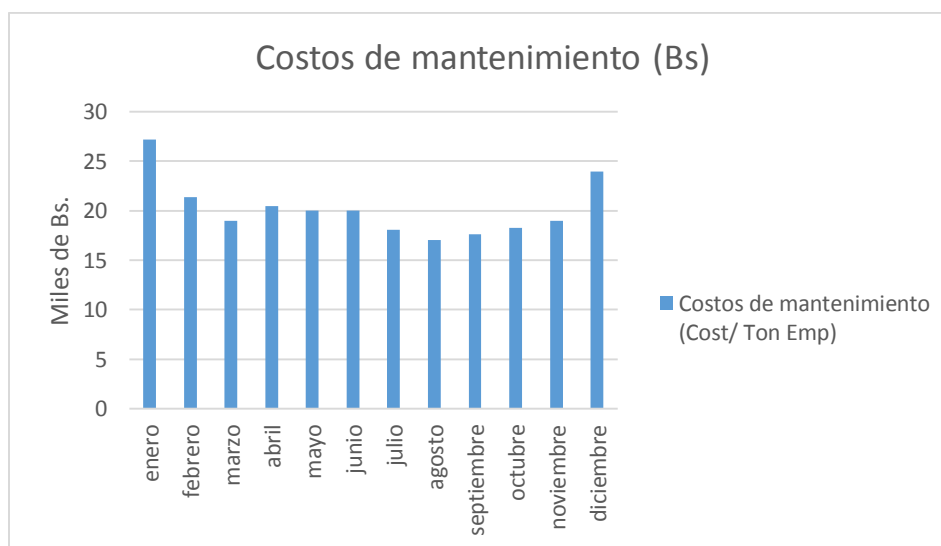
Fuente: Planificación de mantenimiento.



Es importante conocer los costos de mantenimiento en la planta.

Grafica 4.27. Costos de mantenimiento 2.014.**Fuente: Planificacion de mantenimiento.**

Para tener una mejor visión de estos datos, es necesario establecer las relaciones entre ellos, por se presenta el siguiente gráfico:

Grafica 4.28. Costos de mantenimiento por tonelada empacada 2.014**Fuente: Planificacion de mantenimiento.**

De acuerdo a estos datos, las toneladas empacadas tiene comportamiento irregulares durante ciertos trimestres del año, ya que las operaciones de mantenimiento incluyen

paradas planificadas durante estas fechas que afectan la producción de la planta. Además debido a que no se lleva un plan de mantenimiento programado, la producción no es constante a lo largo del año, se realizan paradas inesperadas que influyen en la eficiencia de la planta, interrumpen la continuidad del proceso lo que también genera daños a los equipos y mucho tiempo perdido de arranque.

Los costos de producción también presentan un comportamiento irregular a lo largo del año (debido en su mayoría a paradas inesperadas), teniendo intervalos de cada tres meses en donde los costos van aumentando hasta disminuir paulatinamente al siguiente mes. Esto se debe además de las fluctuaciones de los precios y costos de materiales, servicios, etc., a la falta de mantenimiento preventivo en los equipos, lo que produce inestabilidad en el funcionamiento de estos.

4.6.2 Relación entre las horas de trabajo y los gastos asociados.

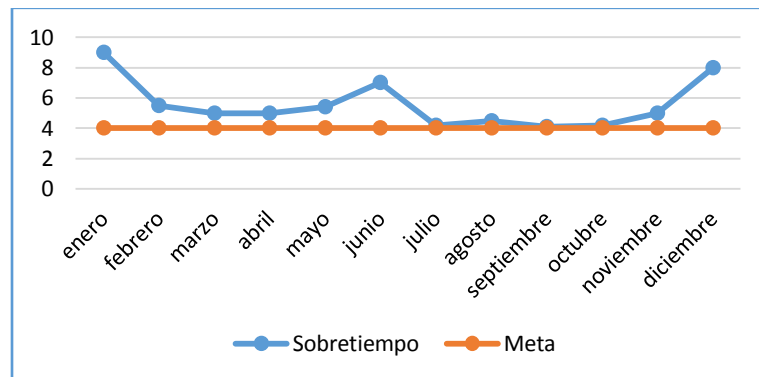
Los datos a lo que hace referencia son del 2.014 y considerando los cargos asociados a las horas de trabajo involucrados en mantenimiento.

Estos datos son reportados por la gerencia de planificación de mantenimiento.

El sobre tiempo es una variable importante al analizar las labores de mantenimiento (La grafica 4.29 muestra los porcentajes de éste con respecto al 100% de las horas laborables en horario normal):

Grafica 4.29. Sobre tiempo 2.014.

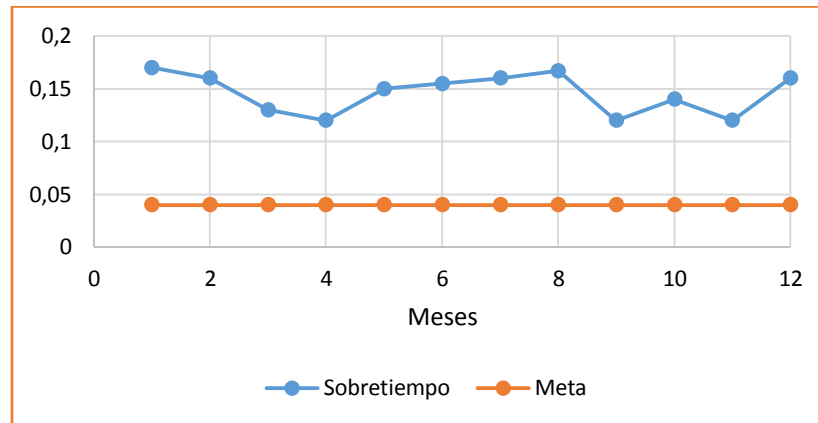
Fuente: Planificacion de mantenimiento.



El tiempo perdido de producción es un indicativo claro de la situación del mantenimiento en la planta (a continuación se muestran los porcentajes de este con respecto al 100% del tiempo total de producción):

Grafica 4.30. Sobre tiempo 2.014.

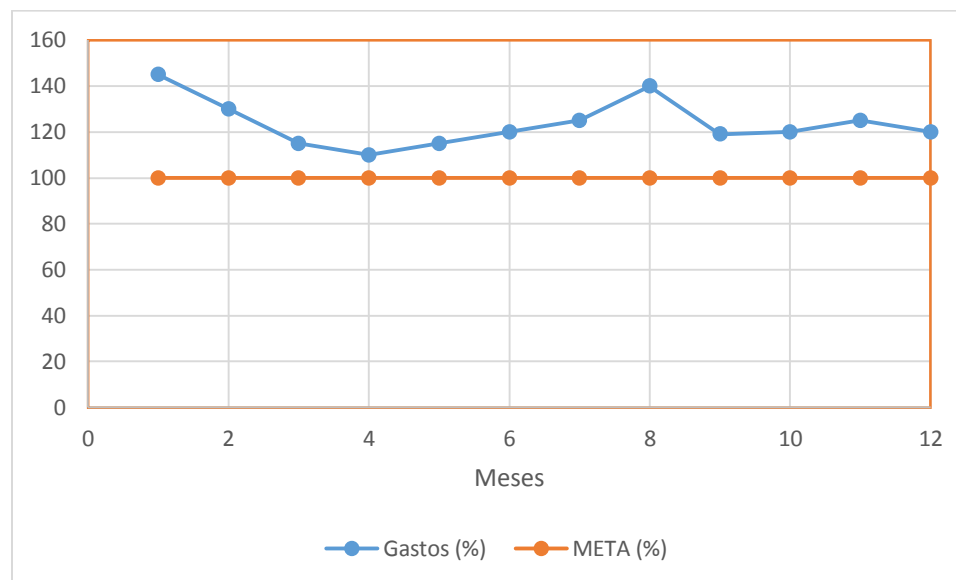
Fuente: Planificación de mantenimiento.



Y por consiguiente, los sobretiempos y tiempos perdidos, generan una serie de gastos importantes que influyen en la eficiencia de la plantan, en el siguiente gráfico:

Grafico 4.31. Gastos asociados al sobre tiempo.

Fuente: Planificación de mantenimiento.



Las estadísticas de sobretiempos en el área de mantenimiento, se tiene una idea clara de las horas-hombre invertidas en este aspecto la meta de sobretiempos de la empresa mensual es de 4% de las horas-hombres en jornadas regulares. En ningún mes del año se cumplió la meta, teniendo picos acentuados al comienzo y al final de año, debido a paradas planificadas que se realizan en planta y las fallas inesperadas que ameritan el uso de horas hombres no estipuladas en el estudio de meta.

Estas condiciones generan tiempos perdidos que afectan la producción de la planta. Al igual que el sobretiempos la planta estableció un porcentaje meta de tiempo perdido de menor de 0.4% basado en estadísticas de años anteriores. Esta meta no se cumplió a lo largo de año, superando con creces los límites establecidos hasta cuatro veces el valor del mismo. Por supuesto la falta de mantenimiento preventivo genera toda una serie de eventos imprevistos acarreado consigo tiempos perdidos que afectan la eficiencia eficacia de la planta.

El sobretiempos y los tiempos perdidos, generan una serie de gastos que influyen directamente en el presupuesto asignado a cumplir las actividades de mantenimiento y al tener variaciones tan altas se entiende que los gastos metas tampoco fueron alcanzados.

4.7 Diseño del plan de mantenimiento preventivo:

Rutina de mantenimiento para motores eléctricos.

Se establecieron tres tipos de mantenimiento que cubren las necesidades de los equipos:

1. Mantenimiento Preventivo.
2. Mantenimiento Predictivo.
3. Mantenimiento rutinario.

A continuación los parámetros a seguir con cada uno:

4.7.1 Mantenimiento preventivo:

A través de un flujograma se hará el mantenimiento a cada motor. Para el desarrollo del mantenimiento preventivo que incluiría tanto la parte mecánica como la parte eléctrica,

se contó para su diseño una rutina sencilla con la supervisión del ingeniero supervisor de mantenimiento preventivo basado en el ambiente bajo el que se desenvuelven los equipos.

Al realizar este tipo de mantenimiento es necesario desmontar el motor, por lo que este será sustituido por los equipos disponibles en el taller especializado, de manera de mantener en funcionamiento la línea de producción.

Aquí se trabaja tanto con el rotor como con el estator separadamente, ya que requieren de diferentes áreas de trabajo.

Una vez que el rotor y el estator hayan pasado por esta serie de procedimientos se procederá al armado del motor

Según las tareas a realizar y tomando en cuenta la completa disposición de los trabajadores para hacer estas labores, se calcula que este diagrama de flujo se puede cumplir en un lapso de 4,5 horas por motor.

4.7.2 Mantenimiento Predictivo

En el departamento de preventivo con el que se cuenta en la empresa para realizar técnicas y ensayos de mantenimiento preventivo se cuenta con: análisis de vibraciones y termografía. Con la aplicación de estas técnicas se pueden realizar un mantenimiento predictivo completo que cumpla con las especificaciones del plan de mantenimiento.

4.7.3 Análisis de vibraciones:

Este análisis se realiza con un vibrometro. Los medidores de vibración se emplean para medir vibraciones y oscilaciones en muchas maquinas e instalaciones. La medición proporciona los siguientes parámetros: aceleración de la vibración y variación de vibración. De este modo se caracterizan las vibraciones con precisión.

Se medirán dos variables: la velocidad de vibración (RMS) y la aceleración de vibración (PEAK).

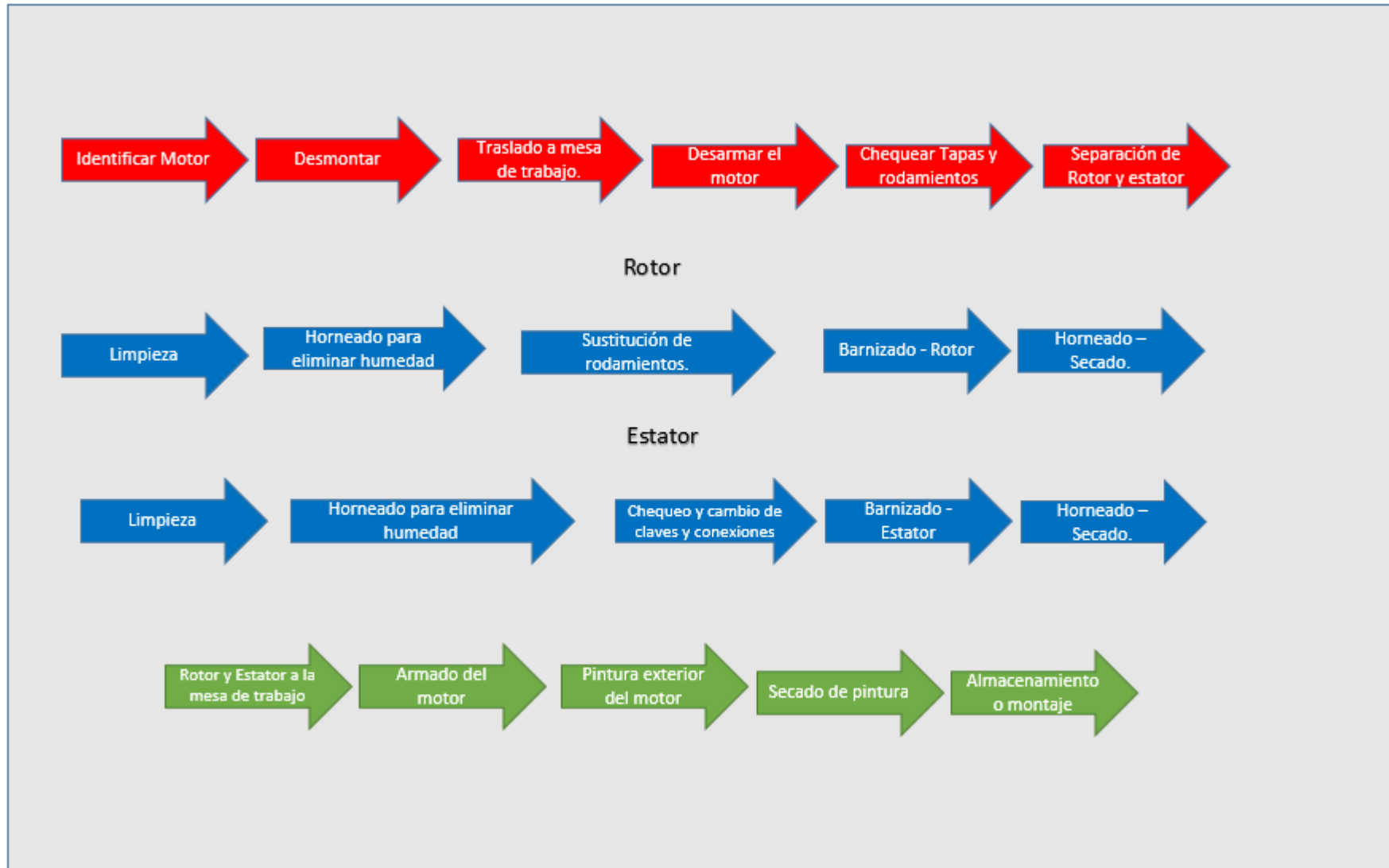


Figura 4.4. Actividad de mantenimiento preventivo a motores eléctricos.

Procedimiento:

- Determinar de los puntos de medición de a máquina para efectuar el diagnostico.
- Tomar los datos del equipo, potencia, consumo eléctrico, rpm, frame del motor, tipo de acople, base en el cual está instalado, tipo de rodamiento utilizados.
- Toma de los aspectos de vibraciones en los puntos determinados.
- Descargar aspectos de vibración en la base de datos.
- Análisis de los aspectos de vibración (Interpretación y Diagnostico de valores obtenidos).
- Redactar informe del análisis de los espectros de vibración.
- Verificación de resultados contra valores de la NORMA ISO 10816-1.
(Ver formato, Anexo 2)

Codigo:		Localizacion:			Fecha:
		Fabricante	Frame/Modelo	Potencia	RPM/Relacion
Area de ubicación del equipo					
Tension	Amperaje	Lubriacion:	Acople:	Observaciones:	
Rodamiento		Motivo de analisis			
		<input type="checkbox"/> MTTto Preventivo <input type="checkbox"/> Falla reportada <input type="checkbox"/> Otro			
Instrumento:	Marca:	Modelo:	Sensor		

Figura 4.5. Formato identificación motor eléctrico.


		Planificación de mantenimiento	
Posicion del Sensor	Over-all (mm/seg)	Nivel de seguridad	Aceleracion
1V			
1H			
1A			
2V			
2H			
2A			
Codigo Motor	Fecha:	Responsable	Analisis de vibracion

Figura 4.6. Formato análisis de vibración.

Las posiciones del sensor consisten en:

- 1V-2V: se refiere a una posición vertical, tanto en la parte anterior como en la parte posterior del motor.
- 1H – 2H: se refiere a una posición horizontal, tanto en la parte anterior como en la parte posterior del motor.
- 1A – 2A: se refiere a una posición axial, tanto en la parte anterior como en la parte posterior del motor.

El análisis de los datos se determinara según la tabla de la norma ISO 10816-1 (ver Anexo 2).

Según la clasificación de la norma ISO 2372 (ver anexo 3), la clasificación corresponde a este tipo de equipos es la **Clase II**

Este tipo de análisis será aplicado a los motores cuya potencia sea igual o mayor a 300 kW, debido a disposiciones de la empresa, por ser este tipo de motores los que ameritan este tipo de estudio.

4.7.4 Termografía

La termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Este tipo de mantenimiento se realiza según los siguientes pasos:

- Determinación de los puntos de medición de la máquina para efectuar el diagnóstico.
- Tomar los datos del equipo, potencia, consumo eléctrico, rpm, frame del motor, tipos de acople, base en la cual está instalado, tipo de rodamientos utilizados.
- Toma de foto en los puntos determinados.
- Almacenar foto en memoria de equipo.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Redactar informe del análisis.
- Verificación de resultados contra valores permitidos por el fabricante del equipo.

Para especificar la información relacionada con el análisis termigráfico se utilizará el formato mostrado en la figura 4.7.

Esta técnica de termografía, será aplicada a las zonas de Bombas centrifugas, bombas de vacío, rollos y agitadores, por ser zonas de altas temperaturas y por lo tanto los motores más susceptibles a recalentamiento.

Figura 4.7. Formato análisis termo gráfico.

 Planificación de mantenimiento			
Punto a estudiar	Temperatura Medida	Nivel de Severidad	Temperatura Permitida
Código Motor	Fecha:	Responsable:	Análisis Termografico

4.7.5 Mantenimiento Rutinario:

Ahora, ya que las tareas de mantenimiento predictivo se establecieron para cierto tipo de motores, a los demás motores se le aplicara mantenimiento rutinario que complemente las acciones preventivas a tomar. Las zonas a las cuales se le aplicara esta rutina: Refinadores, Ventiladores, sistemas de accionamientos y rollos.

Instrucciones a seguir:

- Verificar las conexiones de la caja de bornes (cables pelados, tuercas flojas)
- Verificar la tensión en los bornes del motor.

- Examinar las escobillas y porta escobillas (verificar la presión, la correa posición y el desgaste. Las escobillas que están desgastadas a más de la mitad deben ser sustituidas).
- Escuchar el motor a plena velocidad de carga y prestar atención a eventuales ruidos mecánicos, luego desde parado, mover el eje para averiguar eventuales desgastes de los cojinetes.
- Verificar pernos que sujetan la base del motor, los tornillos que sujetan la placa, los escudos, las tapas de los cojinetes y las tapas de protección.
- Inspeccionar el estado de los aparatos de control (arreglar los contactos estropeados y apretar bien las conexiones, verificar el estado de los resortes de los contactos).
- Verificar si por algún fusible quemado, el motor no está trabajando con las tres fases.
- Limpiar suciedad del motor.
- Verificar el grado de aislamiento del motor. Si la lectura es inferior a un megohmio ($1 \text{ M}\Omega$) y se presume que el motor está muy húmedo, se debe tomar acciones correctivas, como desmontar el motor y colocarlo al horno.
- Verificar el nivel de aceite de los cojinetes.

Esta rutina se estableció a estas zonas por ser motores de fácil acceso y además porque se encuentra en sitios de notoria suciedad.

Para implementar estas secuencias y agilizar su ejecución se creó la siguiente leyenda:

Tabla 4.15. Códigos de orden de trabajo.

TIPO DE MTTO		CODIG	AREA
1	MTTO Preventivo	A	Agitadores
2	MTTO Preventivo (Análisis de vibraciones)	B	Bomba centrifuga
3	MTTO Preventivo (termografía)	C	Bomba de vacío
4	MTTO Rutinario	D	Pantalla
		E	Refinador
		F	Rollos
		G	Sistema de accionamiento
		H	Ventiladores

Por ejemplo: una orden de trabajo con código 2B, significa que es un mantenimiento Preventivo (Análisis de vibraciones) y que corresponde a una bomba centrifuga.

La orden de trabajo tendrá que ser llenada por el ejecutor y tendrá la siguiente información:

Cod. Mant.: Código del equipo al cual se va a realizar el mantenimiento.

Cod. Equipo: Código del tipo de mantenimiento.

Fecha: Fecha en la que se va a realizar la tarea.

Observaciones: Comentarios sobre las tareas efectuadas, inconvenientes, detalles, etc.

H – H: Horas-hombre empleadas

TFS: En caso de haber desmontado el motor, especificar el tiempo fuera de servicio.

Planificación de mantenimiento						
						
Orden de mantenimiento						
Cód. Mant.	Cód. Equipo	Observaciones	Fecha	H-H	TFS	Reponsable

Figura 4.8. Formato orden de mantenimiento.

La orden de trabajo será generada por los planificadores de mantenimiento de molinos, previa autorización de los supervisores de mantenimiento.

El supervisor del área debe notificar la intendencia de molinos cuando, donde y que tipo de mantenimiento debe ser aplicado.

 Planificación de mantenimiento	
Supervisor de mantenimiento:	
Fecha de notificación:	Departamento encargado
Cod. De MTTO	Zona:
Observaciones:	
Super intendente de Molinos	
Observaciones:	
Fecha de inicio:	Ejecutado por:
Fecha de conclusion:	
Horas hombre:	
Costo Material	
Costo total	

Figura 4.9. Notificación de mantenimiento.

Este formato tiene como objetivo informar al departamento un mantenimiento en específico y también realizar el reporte de los resultados obtenidos.

En caso de ocurrir un incidente aislado y se deba realizar un mantenimiento correctivo se deberá llenar el siguiente formato:

 Planificación de mantenimiento		
Supervisor de Mantenimiento:		
Fecha de notificación:	Código de equipo:	
	Tipo de falla:	
Zona:		
Observaciones:		
Superintendencia de Molinos		
Tipo de falla:		Ejecutado por:
Horas - Hombre:	Costo Material:	Costo total:
Datos para el cálculo de confiabilidad		
Fecha de parada:		
Fecha de puesta en marcha:		
Fecha inicio reparación:		
Fecha fin reparación:		

Figura 4.10. Formato mantenimiento correctivo.

A continuación se determinara la frecuencia del mantenimiento y que tipo de mantenimiento debe ser aplicado a cada motor por área:

En las tablas mostradas a continuación se identificó el tipo de mantenimiento por medio de colores, para su fácil reconocimiento:

Tabla 4.16. Colores asociados a las tareas de mantenimiento.

Tipo de mantenimiento:	Color
Mantenimiento preventivo:	1
Mantenimiento Predictivo (análisis de vibraciones)	2
Mantenimiento Predictivo (Termografía)	3
Mantenimiento Rutinario	4

Luego se establecieron las fechas en las cuales deberán ser realizadas las tareas, se especifican por mes y la semana según su número en el año.

4.7.6 Chequeo de Maquinas:

A continuación se presentan las fechas de mantenimiento en el departamento de taller especializado.

Tabla 4.17. Mantenimiento Agitadores.

Mes	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre	Enero
Semana	9-12	18	26	33-36	42	2
Agitadores	1	4	4	1	4	4

Tabla 4.18. Mantenimiento Pantallas.

Mes	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Febrero
Semana	13-16	22	30	37-40	44	5
Pantalla	1	4	4	1	4	4

Tabla 4.19. Mantenimiento Bomba centrífuga.

Mes	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Febrero
Semana	13-16	22	30	37-40	44	5
Bomba centrífuga	1	3	2	1	2	3

Tabla 4.20. Mantenimiento Bomba de vacío.

Mes	Abril	Junio	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Diciembre	Febrero
Semana	13-16	22	23	30	37-40	44	45	5
Bomba Vacío	1	2	3	3	1	1	3	3

Tabla 4.21. Mantenimiento Rollos.

Mes	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre	Enero
Semana	10	17-20	26	34	41-44	2
Rollos	3	1	2	3	1	3

Tabla 4.22. Mantenimiento de refinador.

Mes	Marzo	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Enero
Semana	9-12	17	21-24	29	33-36	41	45-48	2
Refinadores	1	4	1	4	1	4	1	4

Tabla 4.23. Mantenimiento Agitadores.

Mes	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Febrero
Semana	13-16	22	30	37-40	44	5
Ventiladores	1	4	4	1	4	4

Tabla 4.24. Sistema de accionamiento.

Mes	Abril	Junio	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Diciembre	Febrero
Semana	13-16	22	23	30	37-40	44	45	5
Sist. Accion.	1	2	3	3	1	2	3	3

4.8 Análisis del plan de mantenimiento propuesto:

Una vez realizadas las tareas de mantenimiento, es importante determinar cuan efectiva han sido éstas, por lo que los indicadores de gestión a utilizar serán: Confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, costos, productividad, seguridad e impacto ambiental.

4.8.1 Confiabilidad:

Los estudios realizados reflejan una baja confiabilidad que poseen las diferentes áreas de estudio, en cuanto a motores eléctricos se refiere, debido en gran parte como ya se mencionó con anterioridad a la falta de un plan de mantenimiento consolidado para estos equipos, sistemas de trabajo claramente definidos, i procedimientos estrictos que involucran a estos equipos.

Según las condiciones de funcionamiento de los motores, cada zona tendrá un nivel de confiabilidad determinado por las características ambientales y de operación a las que son sometidos los diferentes equipos, y una vez aplicadas las rutinas de mantenimiento que serán generadas en este estudio, el nivel de confiabilidad aumentara notoriamente, este aumento que será gradual conforme se lleguen a aplicar y mantener estas rutinas, se podrá observar a través de los años.

Para poder obtener una noción clara de los valores de confiabilidad esperados, al menos para el primer año, se desarrollara en este punto una simulación, es decir se reflejara como se encontraría la estadística relacionada con las fallas de los motores eléctricos en un tiempo determinado, todo esto a partir de diferentes estudios preliminares y de situaciones normales de funcionamiento, en las que deberían de desarrollarse las operaciones de estos equipos, todo esto documentado y con asesoría de la ingeniero del departamento de mantenimiento preventivo y la empresa Ademinsa C.A., la cual fue pieza clave en la predicción de confiabilidad que se desarrollara.

Al momento de evaluar la confiabilidad que se presentara en la planta, tomamos lógicamente las áreas de trabajo que se estudió para poder comparar con los resultados anteriores y de esta manera evaluar los resultados posibles que estas acciones, repercutirán con resultados a corto y mediano plazo.

Las áreas de estudio fueron nuevamente las siguientes:

Agitadores: Para esta zona se tiene que tomar en cuenta que los motores están sometidos a una gran cantidad de elementos químicos en polvo que pudiera obstruir las aspas, aparte de esto, destacar que esta zona es una de las que más presenta fallas asociadas a rodamientos, debido al polvo, aspas obstruidas y fallas de estator por la corrosión del ambiente. Después de realizar el mantenimiento propuesto los expertos indican que al cabo del primer año deberían disminuir las fallas con un mantenimiento rutinario propuesto más que todo, mientras que para los demás años se estimas sigan disminuyendo siempre y cuando se siga el mantenimiento. Con las ecuaciones 2.1 Y 2.2 con una cantidad de fallas de 17, ahora:

Con los valores de falla disminuyendo, aumenta la confiabilidad, sacando un promedio de la cantidad de fallas entre el número de motores, se obtiene:

$$\# \text{ de fallas} = \frac{17}{26} = 0.653846$$

$$\lambda = \frac{0.65}{8760 \text{ hr}} = 0.00007464 \text{ fallas}_{hr}$$

Con este valor de λ sustituyendo el valor en la ecuación de confiabilidad tenemos el nuevo valor:

$$r \ t = e^{-0.00007464 \times 720 \times t}$$

Con la disminución de las fallas, para el primer año la cantidad de fallas y la confiabilidad para esta zona quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Confiabilidad} = 94\%$$

Bomba centrífuga, bombas de vacío y rollos: Se unifica estas tres áreas pues trabajan en condiciones muy similares, alta corrosión debido a la humedad a la que se someten y las altas temperaturas, sobre todo en el caso de las bombas que se encuentran en el sótano con temperaturas que oscilan alrededor de los 45°C y es el mantenimiento rígido y continuo, respetando los tiempos estimados para cada uno de ellos, lo que permitirá la disminución de las fallas en cada área. Es importante hacer notar que las condiciones de funcionamiento, por la temperatura a la que se someten, se obligan a inspeccionar bien la zona de rodamientos del motor, hay que tener en cuenta cualquier recomendación especial para cada caso. Considerando los diferentes aspectos que vincula a la confiabilidad se puede proyectar que a partir del primer año la rata de fallas disminuya 10 puntos porcentuales, y que conforme se regularice la aplicación de las rutinas de mantenimiento esta rata de fallas disminuirá, además se puede proyectar que la confiabilidad estimada para el 2.016, cifra que ir aumentando en el transcurso de los años

Confiabilidad = 91%

Sistemas de accionamiento, Ventiladores, pantalla y refinadores: Es importante destacar que son las áreas con mayor cantidad de motores eléctricos, instalados funcionando y es debido a esta cantidad de motores y la posibilidad que se presenta con este estudio, la oportunidad de organizar y controlar las labores de mantenimiento de estos diferentes activos, lo que representa, para toda la línea y específicamente para las zonas de estudio la posibilidad de reducir de una manera significativa las fallas presentadas y aumentar de manera considerable la confiabilidad de estas y por ende de la línea. En relacionado con esto los estudios indican que ejecutando las rutinas de mantenimiento propuestas podrían disminuir hasta un 14% para el primer año y con esto lograr valores de confiabilidad más aceptables.

Confiabilidad =89%

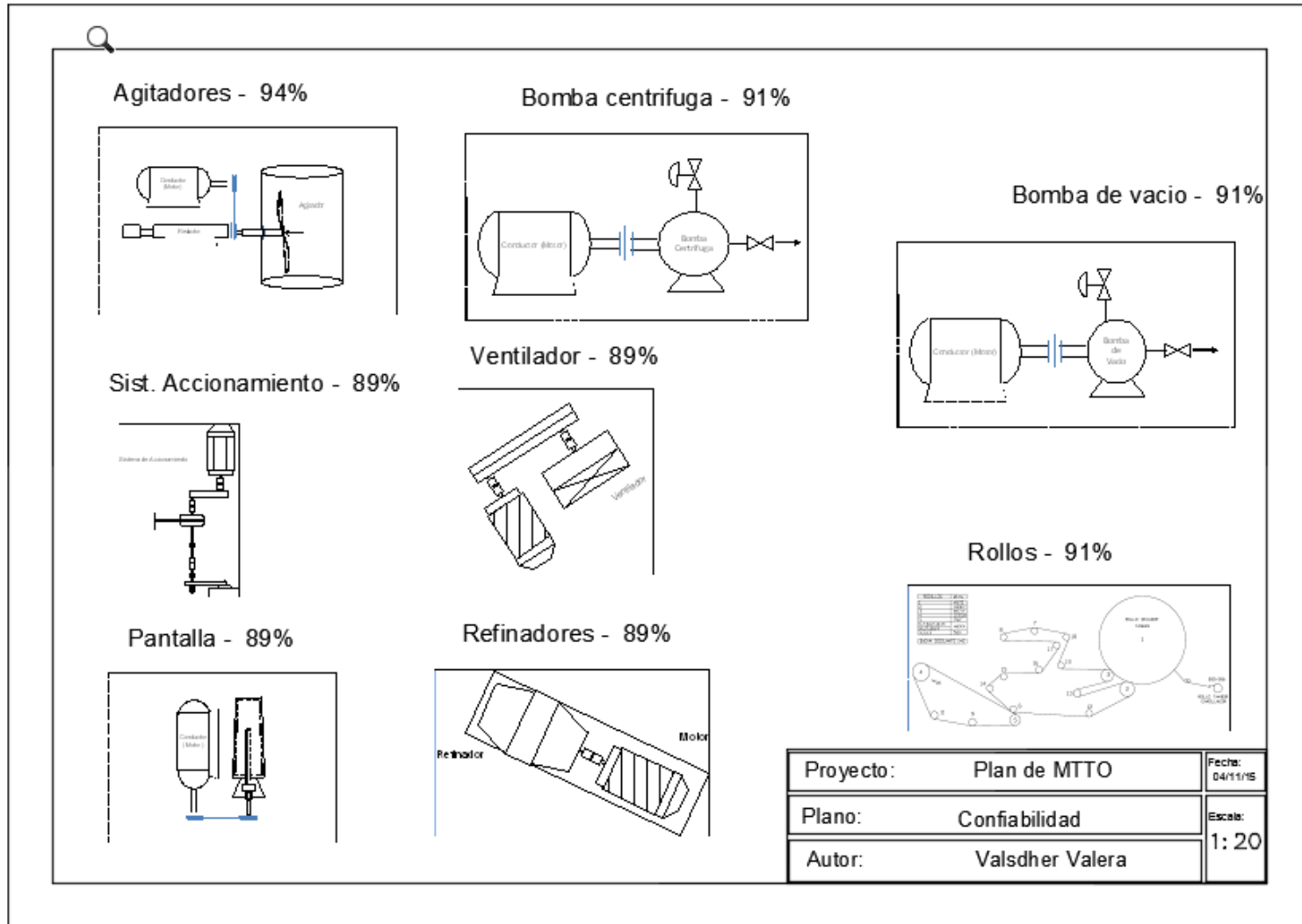


Figura 4.11. Plano de confiabilidad luego de la intervención.

Comparando los planos de confiabilidad, se puede apreciar como algunas áreas muestran una mejora sustancial con respecto a otras que representan que sencillamente no ha mejorado, pero hay que tomar en consideración de que la implementación de la gestión de mantenimiento sugerida, es para mostrar mejoras paulatinas a partir del primer año de su implementación y para el momento de la recolección de información solo habían pasado 6 meses. Se espera que al cabo de un año mejoren los porcentajes y continúen aumentando en años próximos, cumpliéndose rigurosamente y afinando cualquier detalle que se considere pertinente.

4.8.2 Costos:

Una de las mejoras primordiales que la empresa busca al realizar esta investigación es la reducción de costos asociados a su proceso de producción, en este caso la vía por la cual se busca este objetivo es la del mejoramiento de la gestión de mantenimiento tan importante en esta y tan influyente en los costos finales de producción. Una vez establecidos las rutinas y cumpliendo con todas las especificaciones mostradas en este estudio, la reducción de costos es un efecto inmediato que afectara positivamente la gestión integral de la empresa.

Como se mostró previamente, las estadísticas manejadas de sobretiempos y tiempo perdido utilizado sobrepasan notoriamente las metas establecidas. Por supuesto estos datos se reducirían con la implementación del plan de mantenimiento lográndose estar lo más cercano a la meta de los recursos destinados de antemano a esto. En el año 2014 se utilizó 2.8 veces más de sobretiempos de la meta establecida, en este mismo sentido para el tiempo perdido se tuvo 3.8 veces más recursos utilizados que los esperados. Luego de todo esto y según datos proporcionados por los departamentos involucrados el mantenimiento se reduciría en un 7%. Esta reducción según la gerencia de la empresa sería notablemente significativa y representa resultados concretos y altamente efectivos.

Luego de esto las estadísticas mostradas anteriormente de costos asociados a mantenimiento son modificadas por las acciones tomadas en el plan de mantenimiento. Las gráficas mostradas tienen una característica a resaltar y es la no uniformidad en los costos asociados al mantenimiento durante el año. Este punto es uno de los factores que más

preocupa a la gerencia de planificación ya que crea incertidumbre a la hora de estimar costos. Por supuesto con las mejoras incluidas en el plan de mantenimiento se podrá lograr uniformidad en los costos asociados a éste. Según estimaciones realizadas por la empresa Ademinsa C.A., la ingeniero de preventivo y el autor de esta investigación, se llegó a la conclusión que la disminución de los costos involucrados a reparación de fallas y otras actividades relacionadas a estas se puede estimar de la siguiente manera.

En el año 2.014 se obtuvo 141 fallas por motores eléctricos, luego del estudio estas se podrían reducir a 116 fallas, es decir 25 fallas menos. Según información del departamento de compras el promedio de gastos asociados a la reparación de un motor ya sea dentro de la empresa o por parte de una contratista es de Bs. 300.000.

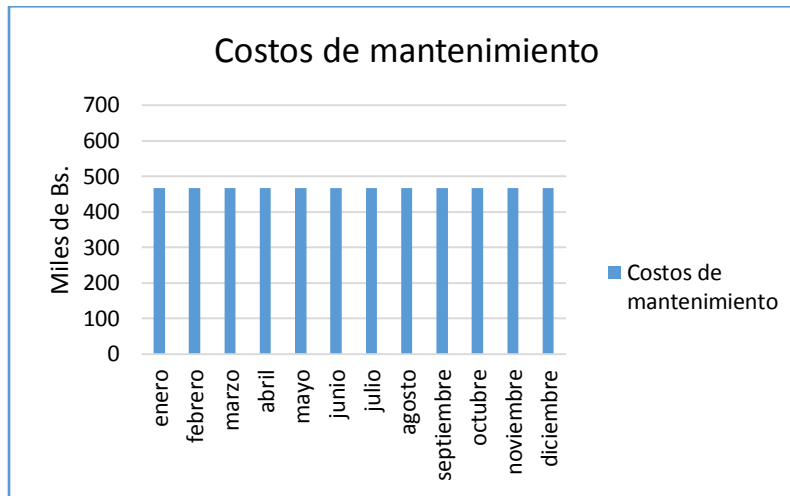
Dicho esto se calculó los gastos implicados:

Tabla 4.25. Numero de fallas antes y después del estudio.

	Numero de fallas	Costos por falla (Bs.)	Costos por falla (Bs.)
Antes del estudio	141	300,000.000	42,300,000.000
Luego del estudio	116	300,000.000	34,800,000.000

Por lo que se tendría un ahorro anual de Bs. 7.500.000,000 por línea de producción y tomando en cuenta que son 6 líneas de producción, el ahorro es significativo.

Uniando los ahorros por mano de obra y por materiales utilizados se tiene que el plan de mantenimiento según estimaciones representaría una reducción de 3% en los costos totales de mantenimiento.

Grafica 4.32. Costos de mantenimiento después del estudio.

4.8.3 Productividad asociada a la implementación de la gestión de mantenimiento:

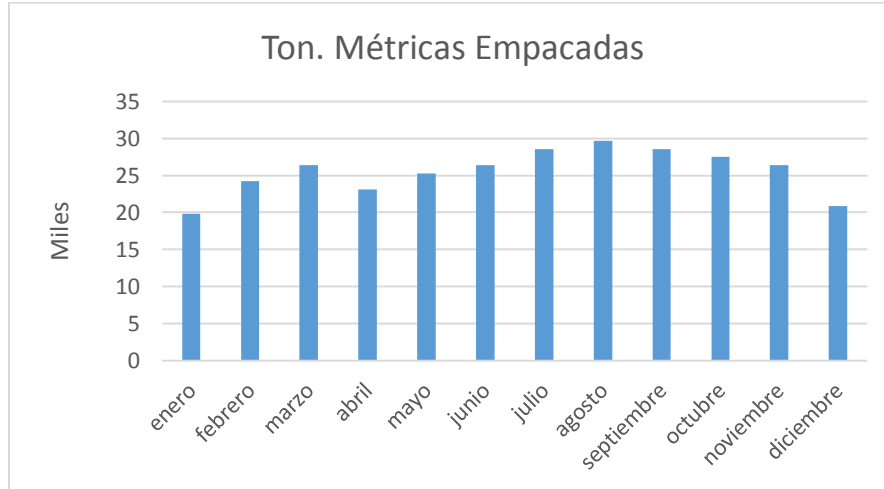
Es de gran importancia hacer notar que cotidianamente cualquier gestión de mantenimiento con este tipo de procederes vea necesario una reconversión para implementar métodos que aseguren que cualquier persona que cuente con acceso a procedimientos escritos, con nivel de responsabilidad previamente definido y con la actitud y aptitud apropiadas, pueda resolver cualquier incidente. Porque la calidad se obtiene como resultado orden lógico, no de la improvisación.

Cuando se desarrolla una gestión de mantenimiento debe primar el concepto de que debe tener control sobre los equipos y no que los equipos adquieran el control sobre nosotros. Todo esto se logra cuando todos comprenden que la solución es poseer la documentación clara, el buscar siempre hacer las cosas de la mejor manera proporcionando constante conocimiento y capacitación a quienes lo requieren y teniendo en cuenta que no siempre se llega a la solución óptima de un problema en la primera oportunidad. De allí que en el proceso de calidad es importante conceptualizar que la mejora continua es una forma de vida y una manera de como impactara de diversas formas en aspectos relacionados con las mejoras, es decir, una buena gestión de mantenimiento traerá consigo una reducción de

fallas de motores eléctricos, que en algún momento detuvieron o redujeron la producción, debido al tipo de motor y la zona ocurrió la falla, afectaron en mayor o menor grado a la producción o a la calidad del producto final. Para ser siempre convencidos de que la mejora continua origina altos niveles de calidad en nuestras labores que se reflejan de una forma u otra en el producto que se está elaborando, es necesario en nuestro medio habitual plantear una culturización de todos los individuos en el quehacer de mantenimiento, procurando definir:

- Formas de trabajo afines y claras.
- Documentación común, reveladora y a disposición de los usuarios.
- Técnicas de análisis de problemas como herramientas de uso general.
- Integración de trabajo en equipo.
- Sistematización, entre otros.

Es importante resaltar que es necesario que la empresa disponga de una mínima inversión, la cual se verá retribuida una vez se implementen los planes de mantenimiento y las consecuencias de una buena organización y distribución de actividades empiecen a ver sus efectos con aumento en la producción que se estima aquí es proyectando en valores que giran alrededor de 10 % del promedio calculado y que con el pasar de los años, y haciendo los ajustes requeridos se pudiera ajustar en valores levemente mayores de la producción, siempre y cuando sea adecuado conveniente para la empresa.

Gráfico 4.33. Producción anual en toneladas métricas.

Se puede observar que los valores de producción anual, presentan un aumento controlado de 11% superior en promedio se empacan 24 mil toneladas métricas en comparación a las 22mil tenidas antes del estudio, siendo esto un valor estimado en condiciones operativas similares y siempre cuando las variables que se refleje sean positivamente con valores de disponibilidad similares a los que se obtienen en cálculos presentados en los puntos siguientes.

4.8.4 Disponibilidad asociado a la gestión de mantenimiento:

La disponibilidad es de suma importancia para evaluar la efectividad del sistema, ya que influye directamente en el funcionamiento integral de este.

A continuación se calculara la disponibilidad a los motores de cada una de las zonas determinadas en la línea de producción:

Ejemplo de cálculo:

Agitadores:

Numero de fallas: 17.

Tomando en cuenta que es un proceso continuo y los motores trabajan las 24 horas del día, los 7 días de la semana tenemos que el tiempo de operación es de 8760 horas al año. (Ecu 2.4)

$$TPEF = \frac{8760 \text{ horas}}{17} = 515.29 \text{ horas}$$

Y tomando en cuenta que fueron 17 fallas las ocurridas y que el tiempo de falla es de 76.5 horas (Ecu 2.5), se tiene que:

$$TPFS = \frac{76.5 \text{ horas}}{17} = 4.5 \text{ horas}$$

Por lo que (Ecu 2.6):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{515.5 \text{ horas}}{515.29 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.13\% \text{ horas}$$

Bombas centrifugas:

Numero de fallas: 17.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$\text{Disponibilidad} = \frac{2190 \text{ horas}}{2190 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.79\% \text{ horas}$$

Bombas de vacío

Numero de fallas: 5.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$\text{Disponibilidad} = \frac{1752 \text{ horas}}{1752 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.74\% \text{ horas}$$

Pantalla:

Numero de fallas: 8.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$Disponibilidad = \frac{1095 \text{ horas}}{1095 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.59\% \text{ horas}$$

Refinador:

Numero de fallas: 9.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$Disponibilidad = \frac{973,33 \text{ horas}}{973,33 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.53\% \text{ horas}$$

Rollos:

Numero de fallas: 13.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$Disponibilidad = \frac{673,84 \text{ horas}}{673,84 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.33\% \text{ horas}$$

Sistema de accionamiento:

Numero de fallas: 13.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$Disponibilidad = \frac{673,84 \text{ horas}}{673,84 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.33\% \text{ horas}$$

Ventiladores:

Numero de fallas: 7.

Tiempo de operación: 8760 horas.

Tiempo promedio: 4.5 horas

$$Disponibilidad = \frac{1251,42 \text{ horas}}{1251,42 \text{ horas} + 4.5 \text{ horas}} = 99.64\% \text{ horas}$$

4.8.5 Nivel de rendimiento que la actividad de mantenimiento alcanzara para llevar a cabo las actividades de reparación (Mantenibilidad).

El factor de mantenibilidad que tomamos en cuenta y que es necesario evaluar en cada estudio que involucre el mantenimiento, viene estrechamente relacionado con los otros aspectos que hemos presentado anteriormente, además de la disponibilidad, ambos aspectos ofrecen ciertos índices de gran relevancia que permiten observar el desenvolvimiento de la gestión de mantenimiento. En cuanto a la Mantenibilidad, este se encargara de ofrecernos detalles del tiempo que transcurre desde que el motor eléctrico detiene sus operaciones por una falla que imposibilite seguir operando o por un mantenimiento profundo que de igual forma lo haga detener sus funcionamientos normales, este tiempo que el motor eléctrico, independientemente de la zona, se mantiene inoperativo hasta que regrese a sus funciones normales es el tiempo medio para la reparación o MTTR y es el principal índice que evalúa la Mantenibilidad.

La ecuación que permite calcular el tiempo medio para la reparación es la siguiente (Ecu2.8):

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR_i}{n}$$

En donde para cada zona es necesario tomar la cantidad de tiempo que se utilizó para reparación (TPR). Aunque el objetivo del estudio sea solo evaluar a el motor eléctrico, es importante evaluar las condiciones de la falla de cada zona y por ende conseguir los tiempos para reparación que se generen en cada una de estas.

Para los agitadores se tiene que:

$$MTTR = \frac{522.5}{18} = 29,027 \text{ hr}$$

De donde tenemos que el valor del tiempo para la reparación de los motores actualmente es de aproximadamente 29 horas en agitadores.

Los valores del tiempo promedio que se calcularon para cada reparación en las demás zonas de trabajo de la línea fueron:

Agitadores:

$$MTTR = \frac{1066}{26} = 41 \text{ hr}$$

Bomba centrífuga:

$$MTTR = \frac{271,52}{6} = 45,253 \text{ hr}$$

Bomba de vacío:

$$MTTR = \frac{604,3}{10} = 60,43 \text{ hr}$$

Pantalla:

$$MTTR = \frac{188,55}{5} = 37,71 \text{ hr}$$

Refinadores:

$$MTTR = \frac{315,95}{11} = 28,72 \text{ hr}$$

Rollos:

$$MTTR = \frac{330,76}{10} = 33,076 \text{ hr}$$

Sistema de accionamiento:

$$MTTR = \frac{1311,35}{31} = 42,30 \text{ hr}$$

Sistema de ventiladores:

$$MTTR = \frac{987,12}{20} = 49,356 \text{ hr}$$

Los tiempos obtenidos para este momento reflejan muchos factores involucrados, como la accesibilidad a los equipos, la capacidad de intercambiar y reemplazar piezas y componentes del motor y diferentes aspectos que tienen que ver con el diseño del sistema y las líneas de producción en general, factores que en la mayoría de los casos no podrán ser manipulados a no ser que se modifiquen condiciones de operación y funcionamiento de la planta, evento que no se tiene estipulado realizar.

4.8.9 Seguridad implícita asociada a la gestión de mantenimiento.

La seguridad necesaria para ejecutar la labor de mantenimiento, dependerá enormemente de la manera en que la información es recibida por el operario y todos aquellos que se relacionan de una manera u otra con la gestión de mantenimiento, en mayor o menor grado, dependerá del estrato y el vínculo que este individuo tenga con la gestión y el nivel de responsabilidad, la seguridad se verá comprometida o respaldada, en otras palabras, es solo inherente de los responsables de la gestión de mantenimiento descritas en este trabajo sean garantizadas desde el punto de vista laboral, aunque son importantes seguir ciertas recomendaciones que son descritas más adelante.

La adecuada disposición de procedimientos y la sistematización de los procesos, así como un adecuado entrenamiento del personal, asegurando la responsabilidad de las acciones con lo cual garantiza la calidad y se solventa la necesidad del cliente.

4.8.10 Impacto ambiental asociado a la gestión de mantenimiento:

La empresa Papeles Venezolanos, CA. En orden con cumplir con normativas y legislaciones ambientales como lo es la norma ISO 14001, garante del cuidado del medio ambiente y la preservación de este, mediante procesos y técnicas de trabajo ambientales seguras, lo que obliga a cualquier proceso, plan o proyecto que se pretenda desarrollar, cumplir con estos estandartes que requiere la empresa.

Los motores generan una cantidad de material y de equipos que se desincorporan, lo que genera una gran incertidumbre en cuanto a la información, la hora de querer empezar a controlar estos desechos. El manejo de estos equipos para su desecho y material relacionado ha sido recolectado, almacenado y distribuido para su destrucción o

recuperación por las empresas contratistas seleccionadas para tal fin. Con el plan de mantenimiento desarrollado, se mantiene la responsabilidad de la recolección y desechos a la misma contratista, con la diferencia que la desincorporación de activos se va a cuantificar que permitirá reducir el uso descontrolado de materiales, equipos y desecho.

El consumo de kW se ha mantenido elevado, el hecho de que el mantenimiento no se haya efectuado, no solo produce que los motores reduzcan su periodo de funcionamiento, sino que el consumo de kW sea mayor por motor y por ende, el consumo de potencia se ve muy afectado al multiplicarse por cada moto, consumiendo de esta manera una cantidad elevada cantidad de energía dentro de la planta, haciendo que las turbinas generadoras consuman una cantidad mayor de combustible, que no solo se traduce en consumo sino en emisión que aunque está dentro de los límites establecidos por las legislaciones ambientales podrían ser menor.

Las estimaciones realizadas por las analistas e ingenieros del departamento de ambiente, permite estimar una reducción de un 6% del consumo de potencia anual, se estiman una reducción del alrededor de 8.000 kW para el primer año.

La recolección de datos e información para el desarrollo estadístico de las fallas, se tomó de la plataforma IBM PCSC, programa que maneja toda la información concerniente a registro de fallas en planta, con la ayuda del departamento de sistemas y autorización de la gerencia de planificación de mantenimiento, se pudo obtener la información y la asesoría de la ingeniero de preventivo su subsecuente interpretación, de la que se desprende todos los resultados plasmados a lo largo del capítulo.

Conclusiones

La información encontrada en la base datos de la empresa, satisface los requerimientos necesarios para el análisis de confiabilidad. No obstante se deben depurar los datos para optimizar la base de datos de mantenimiento.

La confiabilidad actual en los equipos es medianamente aceptable (87%) y en forma general mejoro un 4% colocándose en 91% después de implementar el plan.

Los costos de mantenimiento eran fluctuantes y al aplicar el plan se estabilizaron, con una leve disminución, además se observó una mejora en la producción de 5%., todo esto, estimado para condiciones de funcionamiento normales en la empresa.

Los indicadores mejoraron levemente con el plan de mantenimiento desarrollado lo cual indica que con el tiempo y su continua utilización incrementen aún más.

Luego de realizar el análisis de criticidad y saber cuáles son los activos que requieren mayor asignación de recursos.

El plan de mantenimiento se diseñó orientado a incrementar la confiabilidad de los equipos en planta pero su ejecución depende en algunos casos de la disponibilidad de algunos componentes en el almacén de repuestas.

Al establecer las rutinas, instrucciones y responsabilidades en el plan, se cubren las necesidades básicas en cuanto a mantenimiento en los equipos a tratar y, logrando obtener control y manejo de la información relacionada a estos (análisis de fallas), se produce la condición necesaria para tener los resultados buscados.

Al aplicar el plan de mantenimiento significo la reducción de material en tránsito, luego de su desincorporación en las labores de mantenimiento.

Se evidenciaron notables mejoras en relación con el aspecto ambiental, lo cual define el programa enmarcado en el desarrollo sustentable.

Recomendaciones

Cuando se realiza una modificación en la planta, es necesario realizarla también en el software de la empresa, para eliminar las posibles diferencias que existan entre la realidad de la planta y lo que se encuentra cargado en el sistema.

Se recomienda al Ingeniero de Mantenimiento el uso de los catálogos de fallas creadas para los equipos, esto con el objetivo de apreciar la frecuencia de falla de los mismos y de esta manera ir perfeccionando los planes de mantenimientos creados.

Impartir cursos de adiestramiento continuamente a los técnicos encargados de las tareas de mantenimiento de manera de tener un equipo altamente competitivo y al tanto de los avances tecnológicos en su área e informar a todos los departamentos encargados del mantenimiento de todos los equipos y maquinarias de la empresa, del alcance de este estudio para poder desarrollar estrategias que permiten obtener resultados parecidos a los alcanzados en este estudio en las otras áreas de la empresa.

Crear en la empresa la cultura de la utilización de las herramientas de confiabilidad como punto importante en el desarrollo del estatus vanguardista de la empresa.

Implementar cada uno de los sistemas y planes desarrollos en este estudio de manera de llevar a la gestión a niveles deseados.

Incluir en el análisis y modo y efecto de fallas todo aquel defecto que ocurra.

Bibliografía

- [1] Duffuaa, S.; Raouf, A.; Dixon, J. “Sistemas de mantenimiento planeación y control”, Limusa Wiley, Traducido México (2007).
- [2] García, Javier. 2004. “Mejora en la confiabilidad operacional de las Plantas de generación de energía eléctrica: Desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM).” Universidad Pontificia Comillas. Disponible en Internet en: <http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-04-007.pdf>, consultado el 16 de Junio de 2015.
- [3] Nava, José (2004) Teoría de Mantenimiento “Fiabilidad”. Departamento de publicaciones Universidad de los Andes.
- [4] C. Parra. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Ingecon. 2008.
- [5] Muñoz, E. (2008). *Sistema de Gestión de Mantenimiento de Planta de Tratamiento*. Caracas: Universidad Simón bolívar.
- [6] Amendola, Luis. 2011.- “*Curso confiabilidad operacional*” Disponible en internet en: <http://www.emagister.com/curso-confiabilidad-operacional/aplicacion-rcm>
- [7] C. Parra. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Ingecon. 2011.
- [8] Papeles Venezolanos, página oficial. Disponible en internet: <http://www.paveca.com.ve>, consultado el 20 de Agosto de 2015.
- [9] S. Chapman (2000). “Maquinas eléctricas”. McGrawn Hills, Tercera edición.
- [10] Página web:
http://apredizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Criticidad.pdf
(consultado: 12/10/2015).

- [11] Burlando L. y Rodríguez J. (2006). Diseño y evaluación de un plan de mantenimiento para turbinas de gas. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Bárbula, Edo. Carabobo.
- [12] Bustamante C. y Vesquiz K. (2006). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una máquina de temple. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Bárbula, Edo. Carabobo.
- [13] Gómez E. y Hernández J. (2007). Diseño de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad para una empresa procesadora de frutas y vegetales. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Bárbula, Edo. Carabobo.
- [14] Gómez H. (2008). Análisis de fallas en maquinaria de minería. Trabajo de grado. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- [15] Rodríguez B. y Rodríguez A. (2009). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para estaciones de flujo bifásico en función de asegurar la calidad, confiabilidad y seguridad del proceso de separación. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Bárbula, Edo. Carabobo.
- [16] Ademinsa C.A (2014) Informe técnico de la situación actual de los equipos en planta.
- [17] Bunge M (1960) La ciencia, su método y su filosofía.
- [18] Grajales T. (2000). Metodología de la investigación.
- [19] Sabino C. (1992). El proceso de la investigación. Editorial Panamericana. Caracas.
- [20] Cervo y Bervian. (1989). Metodología científica (5ta. Ed.). McGrawn Hills, Mexico.

Apéndice

Apéndice 1. Universo de equipos en molinos.

Equipo	Descripción	Marca	Modelo	Frame	RPM	Potencia	Corriente	Voltaje	Marca	Modelo	RPM
851-006	Bomba para tanque de mezcla	BALDO	10L084X2486 1	284T	1200	15 Hp	18,7 A	460V	GOULDS	3175S	1200
851-016	Ventilador Sótano Externo Húmedo	BROWN BOBERI	QUX132MB- 4	132T	1800	12Hp	16/32	220/440	0	0	0
851-036	Vibrador de rechazo	SIEMENS	0	2158T	1800	20Hp	0	230/460V	BIRD	8" JONSSON	0
851-039	Bomba Fosa Caja Succión	BALDOR	0	286T	1170	20Hp	24,9A	480V	GOULDS	3196MTX	0
851-043	Ducha Oscilante Recoge Pasta	SEW	R87R62DT80 N6	0	1100/20 RPM	0,55WA TT	0	0	0	0	0
851-045	Bomba Agua Reforzadora	WEG	1800TOZ	254T	3520RP M	15Hp	37A	460V	GOULDS	3175S	0
851-068	Rodillo 15 rollo retorno tela	REDUCTOR (FALK)	2080Y1L	0	TORQ UE (1200)	250Hp	0	0	0	0	0
851-089	Ventilador Circulación Quemador	BALDOR	0	449T	1800	250Hp	0	480V	0	0	0
851-101	Sistema motriz Rollo Retorno tela	U.S. MOTORS	15060	449T	1200	200Hp	0	480V	0	0	0
851-102	Sistema Motriz Rollo Reel	BALDOR	M4308T	364T	1200	40Hp	49A	460V	FALK	2050YIK	0
851-106	Bomba Tanque Condensado	WEG	0	215T	1730RP M	7,5Hp	10,5A	450V	GOULDS	3196MTX	0
851-110	Bomba Lubricación #01	U.S. MOTORS	0	145TC	1200	1Hp	2,3A	440V	0	0	0
853-022	Desintegrador Extremo Seco	U. S. MOTORS	TCE	404T	1200	60Hp	72,5A	460V	0	0	0
854-101	Ventilador Aspirador Campana	BALDOR	0	256T	1800	20Hp	0	440V	0	0	0
855-104	Ventilador Combustión Quemador Extremo seco	A. E. G.	0	0	1200	145Hp	370/175	208/440	0	0	0
855-103	Ventana Aspirador Campana	B. B. C.	0	0	1200	150Hp	0	480V	0	0	0
851-034	Bomba de Circulación	U.S. MOTORS	0	449T	1200	200Hp	208A	480V	GOULDS	3415S	0
854-006	Bomba/Circulación	ABB	M2CA400ML ABB3	400MLA	900	380Hp	485A	480V	GOULDS	3415M	0
855-012	Bomba Circulación	MARATHON	445TSF57103 AAW	445TS	888RP M	100Hp	150A	480V	WARREN	30-DLB-31	0
856-009	Bomba Circulación	ABB	DMG 2525	0	1550RP M	356Hp	0	420V	0	0	0

Apéndice 1. Universo de equipos en molinos. (continuación)

851-022	Refinador # 1	U.S.M	N	0	885	350Hp	0	2300	0	0	0
851-023	Refinador # 2	U.S.M	N	N	3500	1,5Hp	2,5A	440V	0	OSDM	0
851-120	Ducha Oscilante Interna Pos.11	SEW EURODRIVE R	0	0	1200	0,75	13,5A	480V	0	0	0
852-005	Bomba Circulación (Caja de Entrada)	CANADIAN. E	0	447T	1200	150Hp	0	450V	GOULDS	3415S	0
852-008	Bomba Efluente Sótano	GENERALS ELECTRICS	50BC03.1	286T	1200	20Hp	0	480V	GORMA	T6A3-B	0
852-010	Bomba Fosa Agua Vacío	U.S. MOTORS	0	364T	1180	50Hp	49,2A	480V	0	0	0
852-030	Bomba Fosa Agua Vacío Recogepasta	GENERAL ELECTRICS	0	254T	1800	15Hp	0	0	GORMAN RUPP	T3A3-B	0
852-038	Agitador Tanque Principal	WESTINGHOUSE	HSB	254T	1750	15Hp	19,6A	480V	0	0	0
852-059	Refinador Tanque de Mezcla	U. ELECTRICAL MOTORS	0	445T	1185	200Hp	238A	460V	CAJA DE RODAMIENTOS REFINADOR BELOI	DD4000	0
852-070	Ventilador Aspirador Campana	U. S. ELECTRICAL MOTORS	EF30025	215T	1740	10Hp	14,8A	460	0	0	0
852-072	Vent. Sótano Extremo Húmedo	GENERALS ELECTRICS	5K284K316	284U	1200	10Hp	0	480V	0	0	0
852-073	Sistema Accionamiento Rollo Secador Yankee	GENERAL ELECTRICS	0	447T	1800	200Hp	242/121A	230/460V	REDUCTOR LINK	HS 1300-65	0
852-097	Rollo Perforado	ABB	0	0	0	0	0	0	0	0	0
852-107	Sistema Transp. Rollo recl	U. S. MOTORS	0	E324T	1200	25Hp	0	230/460V	0	0	0
852-115	Ducha 16	ABB	0	909	1800	1Hp	0	480V	0	0	0
852-126	Tanque Lubricación central #02	U.E. MOTORS	0	145T	1800	2Hp	3,3A	440V	0	0	0
852-129	Bomba Lubricación Cadena #01	BALDO	0	145T	1800	2Hp	2,8A	440V	VIKING	G432	0
853-002	Agitador Tanque Principal	U.E.M	0	326U	1800	30Hp	0	480V	0	0	0
853-010	Bomba Depurador Secundario	G.E	0	200L	1800	40Hp	53A	440V	VOITH	L-270-GIII/12E	0

Apéndice 1. Universo de equipos en molinos. (continuación)

853-012	Bomba Tanque Mezcla Fosa Rollo Retorno	G.E	0	160L	1800	25Hp	33,3A	440V	GOULDS	3175S	0
853-023	Bomba Desintegrador Extremo Seco	U.E.M	B015FLF2LI K	254T	1750	15Hp	0	460V	VOITH	SL-225-GIII	0
853-038	Rodillo 1, Secador Yankee	RELIANCE	0	B5010AT Z	1150/16 00	500Hp	2,9/13,0A	240/500V	0	0	0
853-043	Bomba de Vacío	U.E.M	105060	449T	1200	200Hp	23A	460V	VOITH	L-270- GIII/12E	0
853-054	Ventilador Estación Eléctrica	ABB	0	286T	1780	30Hp	35A	480V	0	0	0
853-056	Ventilador Sótano Extremo Seco	U.E.M	0	286T	1800	30Hp	36A	460V	0	0	0
853-062	Bomba #02 Sistema Lubricación de Maquina	G. E.	0	112M	1780	3Hp	4,65A	440V	0	0	0
853-071	Bomba Depurador Secundario	BALDOR	VM3158	56C	3450	3Hp	8/4A	230/460V	VOITH	5S-230-GIV	0
853-072	Bomba Sist. Hidráulico Rodillo Formador	G.E	0	112M	1800	4HP	0	760V	0	0	0
853-099	Ventilador Aspirador Separador Polvo	U. S. MOTORS	0	256T	1765	20Hp	25,3/50,6 A	230/460V	0	0	0
853-104	Bomba Efluente Sótano #02	U.E.M	0	E324T	1170	25Hp	28/58A	230/460V	GORMA	T6A3-B	0
853-100	Ventilador Circulación Quemadores	SIEMENS	122	507U	1170	400Hp	95A	2300V	0	0	0
853-101	Ventilador Aspirador Campana	US ELECTRICA L MOTORS	CT	405T	1780	100Hp	240/120A	230/460V	0	0	0
853-005	Refinador Tanque Mezcla	U. S. ELECTRICA L MOTORS	0	5809ML	900	350Hp	0	0	0	0	0
853-115	Refinador Tanque Principal	U. S. ELECTRICA L MOTORS	0	5809ML	900	350Hp	0	0	BELOI	0	0
853-261	Agitador Tanque Mezcla	U.E.M	0	326T	1200	30Hp	0	480V	0	0	0
853-269	Bomba Tanque Desintegrador	I.C.M	HTCCVE	256T	1200RPM	10Hp	30/15A	220/440V	0	0	0
853-277	Bomba Tanque Filtro Disco	G. E	0	254T	1200	10Hp	15A	460V	VOITH	L-250-GIII	0
853-281	Bomba Tanque Agua Nublada	BALDO	10C151X433 H1	286T	1800	30Hp	0	460V	VOITH	SL-285GIII	0
853-286	Bomba Tanque Agua Clara	U.S. MOTORS	0	364T	1780	60Hp	143/71,5A	230/460V	GOULDS	3175S	0

Apéndice 1. Universo de equipos en molinos. (continuación)

855-171	Bomba #02 Lubricación Cadena	U.E.M.	0	145T	1800RP M	1,5Hp	2,6A	480V	0	0	0
855-182	Ventilador Circulación Extremo Húmedo	U. E. M.	0	254T	1800	15Hp	0	480V	0	0	0
855-241	Desintegrador Virgen	BALDO	0	5009L	1800	500Hp	0	2300V	0	0	0
855-244	Bomba Desintegrador Tanque reserva	U. E. M.	0	444T	1180	100Hp	123A	440V	WARREN	10-PL-18	0
855-243	Sistema Lubricación Desintegrador Virgen	U. E. M	0	184T	1800	5Hp	0	480V	0	0	0
855-248	Bomba Tanque Fibra Larga Tanque Mezcla	U.S.M.	0	324T	1765	40Hp	49A	480V	GOULDS	3175S	0
855-262	Agitador Tanque Mezcla	WESTINGHO USE	0	326T	1700RP M	50Hp	48A	480V	GREEY	2-VS-50	0
855-276	Bomba Tanque Agua Nublada	U.E.M.	0	364T	1200RP M	40Hp	0	480V	WARREN	4-PH-12	0
854-003	Bomba Tanque Principal	U.S.M	0	324T	1800	40Hp	0	480V	GOULDS	3175S	0
854-031	Bomba de Vacío	U. E. M.	0	449T	1200	250Hp	0	460V	NASH	904L2	0
854-032	Bomba de Vacío	U. E. M.	H4406T-4	445T	1800	150Hp	0	460V	VOITH	L-270-GIII	0
854-052	Tanque Lubricación Cadena	U.E.M	0	143T	1800	2Hp	6,6/3,3A	230/460V	0	0	0
854-053	Sistema Accionamiento Secador Yankee	RELIANCE	0	B508ATZ	1150/16 00	300Hp	481A	500V	0	0	0
854-054	Bomba Lubricación #02 Tanque Central	BALDOR	CP3587T5	142T	1740	2HP	2,8A	460V	0	0	0
854-055	Bomba Lubricación #01 Tanque Central	BALDOR	CP3587T4	145T	1740	2Hp	2,8A	460V	0	0	0
854-060	Bomba tanque Condensado	U. S. M.	0	213T	1800	7,5Hp	0	480V	0	0	0
854-066	Bomba Fosa Rollo Retorno	U. S. M.	0	364T	1200	40Hp	49A	460V	GOULDS	3175S	0
854-068	Bomba Desintegrador Tanque Reserva	U. E. M.	0	256T	1765	20Hp	24,4A	460V	GOULDS	3175S	0
854-073	Ventilador Sótano Exterior Húmedo	G.E.	0	284U	1200	10Hp	14,3A	440V	WESTI	FE92215-1	0
854-080	Rodillo 13	G. E.	0	0	1150/18 00	200Hp	8,0/3,40A	500V	REDUCTOR FALK	2050Y1-LB	0
854-099	Ventilador Aspirador	BALDOR	0	256T	1800	20Hp	0	440V	0	0	0
854-103	Bomba de Vacío Rollo Pecho	U. S. M.	0	445T	1780	150Hp	171A	460V	NASH	CL2001	0

Apéndice 1. Universo de equipos en molinos. (continuación)

854-100	Ventilador de Circulación	BALDOR	0	5011L	1200	400Hp	0	2300V	0	0	0
854-097	Ventilador Combustión	U.S.M	0	286T	3550	25HP	36A	460V	0	0	0
854-139	Sistema Accionamiento Rollo Retorno Tela	U.S.M	0	447T	1780	200Hp	224A	460V	0	0	0
854-157	Bomba Fibra Recuperadora	U.S.M	0	256T	1200	10Hp	14A	480V	GOULDS	3175S	0
854-206	Agitador Tanque Desintegrador	G.E.	0	364U	1175	25Hp	31,5A	460V	0	0	0
854-207	Bomba Tanque Desintegrador	G.E.	0	286U	1800	20Hp	26,1A	480V	0	0	0
854-212	Bomba Tanque Mezcla	U.S.M	0	286T	1200	30Hp	0	480V	GOULDS	3175S	0
854-215	Refinador Tanque Mezcla	U.S.M	S/M	5809ML	890	350Hp	93A	2300V	0	0	0
854-219	Bomba Tanque Agua Clara	G. E.	SK4363A2	364U	1800	40Hp	99,4/49,7 A	220/440V	WARREN	6/5-PH-15	0
854-222	Bomba Efluente Sótano #02	U.E.M	0	364T	1175	40Hp	48A	480V	0	0	0
856-010	Pantalla	ABB	M2AA225SM B6	225 S/M	1185RPM	45Hp	59A	480V	TOSCH	S/M	0
856-011	Tamiz Vibratorio Rechazo	BALDOR	0	0	1800RPM	3Hp	0	440V	TOSCH	S/M	0
856-014	Bomba Fosa Rollo Retorno	U.E.M.	0	236T	1760RPM	30Hp	35A	460V	ROBUS	0	0
856-021	Sistema Accionamiento	ABB	S/M	0	1800RPM	170HP	11A	480V	TOSCH	0	0
856-033	Sistema Accionamiento Prensa succión	ABB	DMP1804D	0	1800RPM	190Hp	10,13A	480V	TOSCH	0	0
856-047	Bomba de Vacío	ABB	M2CA315SA 4B3	315S	1800RPM	170Hp	200A	480V	NASH	0	0
856-049	Bomba de Vacío	ABB	M2CA315SA 4B3	315S	1800RPM	170Hp	200A	480V	NASH	0	0
856-052	Bomba Fosa de Vacío	ABB	M180L	180L	1800RPM	30Hp	41A	480V	GORMA	0	0
856-065	Sistema de Accionamiento	ABB	DHP180-45	0	1100RPM	60Hp	6,36A	480V	0	0	0
856-084	Sistema Accionamiento Carrete Enrollador	AC FLANGE	MA132R2	0	3500RPM	10Hp	26,3/15,2 A	480V	0	0	0
Apéndice 1. Universo de equipos en molinos. (continuación)											

856-091	Bomba Tanque Agua Fresca	AC TEC	AM1180M2	180M	3500RPM	30Hp	35,4/20,4 A	480V	ROBUS	0	0
856-101	Bomba Tanque Agua Clara	U.E.M	A13089 (AC)	284T	1800RPM	25Hp	29A	480V	ROBUS	0	0
856-105	Bomba Tanque Lodo	ABB	M2AA 225 SKA-4 (AC)	225 S/M	1800RPM	50Hp	72A	480V	0	0	0
856-107	Bomba Alta presión	ABB	M2A160M4 (AC)	160M	1800RPM	15Hp	22,5A	480V	ROBUS	0	0
130-019	Bomba Tanque Agua Clarificada Ducha Alta presión	U.E. MOTORS	0	445TS	3500	150Hp	170A	480V	GOULDS	3316M	0
131-035	Bomba Alta presión Sunflo	U. S. MOTORS	CTTE	286T	1800	30Hp	70/35A	230/460V	0	P-3000 P3-AVL	0
132-019	Bomba Tanque Molino	ABB	0	444T	1800	65Hp	80A	440V	GOULDS	3175S	0

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado.

			Frecuencia (Falla/año) λ	Tiempo Promedio Entre Falla en días (TPEF)	Categoría de Frecuencia	Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) (hrs)	Consecuencias								Total Impactos Consecuencias	Nivel de Críticidad	Categoría de la Críticidad	Posición en la matriz
Equipo mas representativo		Modo de Falla funcional característico	Fuente	Fuente			Daños al Personal		Efecto en la Población		Impacto Ambiental		Impacto en producción (tiempo perdido) USD					
ID EAM	Descripción del Equipo		Evidencia	Evidencia			Criterio	Categoría	Criterio	Categoría	Criterio	Categoría	Criterio	Categoría				
854-093	BOMBA DE VACIO	PUNTO CALIENTE	43.1666667	8.5	5	4.00	Incapacidad parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa	4	Incapacidad parcial permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población	4	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	12	60	ALTA	5-12
855-241	Desintegrador virgen	ILUMINACION DEFECTUOSA (DEFICIENTE)	44.6666667	8.2	5	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	5	25	BAJA	5-5
854-222	Bomba efluente Sotano	TUBERIA/CABLEADO DEFECTUOSO	59.6666667	6.1	5	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-076	Ventilador enfriamiento motor AC Maquina	INTERRUPTOR DEFECTUOSO	6.428571429	56.8	4	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6
855-052	Rodillo 5	TRANSFORMADOR DEFECTUOSO	0.571428571	638.8	1	4.00	Incapacidad parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa	4	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas	3	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	11	11	BAJA	1-11
856-080	Quemador	QUEMADOR DEFECTUOSO	2.857142857	127.8	2	4.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	6	12	BAJA	2-6
852-117	Ducha oscilante Posicion II	TABLERO ELECTRICO DEFECTUOSO	2.142857143	170.3	2	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	5	10	BAJA	2-5

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-005	Refinador tanque mezcla	FUSIBLE QUEMADO	0.142857 143	2555.0	1	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	6	BAJA	1-6
850-032	Envolvedora automatica	RESISTENCIA DEFECTUOSA	0.285714 286	1277.5	1	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	6	BAJA	1-6
853-106	Tanque lubricacion cadena	UNIDAD TERMICA DEFECTUOSA	1	365.0	1	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	6	BAJA	1-6
850-032	Envolvedora automatica	FOTO CELDA DEFECTUOSA	1	365.0	1	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	6	BAJA	1-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-017	Pantalla maquina	CAJA CONEXION MOTOR DEFECTUOSA	106.7142 857	3.4	5	1.00	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación . Requiere suspensión laboral	3	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	7	35	MEDIA	5-7
852-073	Sistema accionamineto Rollo Secador Yankee	LIMPIEZA TABLERO ELECTRICO	0.142857 143	2555.0	1	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	5	5	BAJA	1-5
853-038	Rodillo 1 Secador Yankee	CARBONES/ESCOBILLAS DEFECTUOSAS	85	4.3	5	4.00	Incapacida d parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa	4	Puede resultar en la hospitalizac ión de al menos 3 personas	3	Daños ambiental es mitigables sin violación de leyes y regulacion es, la restauraci ón puede ser acometida	3	Hasta 10 mil	1	12	60	ALTA	5-12

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

855-012	Bomba de circulacion	SENSOR DEFECTUOSO	6.857142857	53.2	4	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	5	20	BAJA	4-5
855-027	Bomba vacio prensa succion	PRUEBAS AISLAMIENTO ELECTRICO	1.714285714	212.9	2	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	6	12	BAJA	2-6
855-262	Agitador tanque-mezcla	ELEMENTOS ARRANQUE DEFECTUOSOS	0.428571429	851.7	1	2.00	El personal de la planta requiere tratamient o médico o primeros auxilios	2	Puede resultar en heridas o enfermedad es que requieren tratamiento medico o primeros auxilios	2	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	7	7	BAJA	1-7

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-100	Ventilador circulacion quemador	ELEMENTOS MEDICION DEFECTUOSOS	4.571428 571	79.8	3	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	5	15	BAJA	3-5
855CE062		CONTROL VELOCIDAD DEFECTUOSO	1.285714 286	283.9	2	2.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Puede resultar en heridas o enfermedad es que requieren tratamiento medico o primeros auxilios	2	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	8	16	BAJA	2-8
851-022	Refinador #1	PROTECCION ELECTRICA DEFECTUOSA	4.285714 286	85.2	3	1.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Puede resultar en heridas o enfermedad es que requieren tratamiento medico o primeros auxilios	2	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	8	24	BAJA	3-8

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-287	Bomba alta presión ducha maquina	ELEMENTOS RODANTES DEFECTUOSOS	166.8571429	2.2	5	3.00	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral	3	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	2	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	8	40	MEDIA	5-8
853-157	Rodillo 17	DA#O CAJA RODAMIENTO LADO ATRAS	0.142857143	2555.0	1	4.00	Incapacidad parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa	4	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	2	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	9	9	BAJA	1-9
851-054	Bomba vacío auxiliar fieltro	CARCAZA DEFECTUOSA	10.14285714	36.0	5	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	5	25	BAJA	5-5

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-036	Rodillo 3	RECUBRIMIENTO DA#ADO	9	40.6	4	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6
854-096		ALTA TEMPERATURA	1.571428 571	232.3	2	2.00	El personal de la planta requiere tratamient o médico o primeros auxilios	2	Puede resultar en heridas o enfermedad es que requieren tratamiento medico o primeros auxilios	2	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	7	14	BAJA	2-7
854-100	Ventilador de circulacion	ALTA VIBRACION	11.14285 714	32.8	5	2.00	El personal de la planta requiere tratamient o médico o primeros auxilios	2	Puede resultar en heridas o enfermedad es que requieren tratamiento medico o primeros auxilios	2	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	8	40	MEDIA	5-8

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

854-207	Bomba tanque desintegrador	EMPAQUE O SELLOS DEFECTUOSOS	240.5714 286	1.5	5	4.00	Incapacidad parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa	4	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	9	45	MEDIA	5-9
853-061	Bomba #1 lubricacion Yankee	EQUIPO DESALINEADO	16.57142 857	22.0	5	3.00	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral	3	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	7	35	MEDIA	5-7
851-005	Bomba tanque agua clara	EQUIPO CON ALTO RUIDO	18.14285 714	20.1	5	2.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

850-007		EJE ROTO	5.142857 143	71.0	4	4.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6
855-141	Bomba #1 lubricacion yankee	ACOPLE DEFECTUOSO	38.57142 857	9.5	5	2.00	Incapacidad parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa	4	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	8	40	MEDIA	5-8
854-219	Bomba tanque agua clara	FUGA ACEITE	8.571428 571	42.6	4	2.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

851-106	Bomba tanque condensado	TUBERIA MECANICA OBSTRUIDA/DEFECTUOSA	91.57142857	4.0	5	3.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6
855-051	Rodillo 4	SISTEMA SELLADO DEFECTUOSO	0.285714286	1277.5	1	4.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	2	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	7	7	BAJA	1-7
852-113	Sistema de Accionamiento	EJE DEFECTUOSO	25.14285714	14.5	5	3.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

850-007		ELEMENTOS FIJACION DEFECTUOSOS	84.71428 571	4.3	5	3.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	7	35	MEDIA	5-7
855-065	Sistema Accionamiento	ALTO CONSUMO ACEITE	0.285714 286	1277.5	1	3.00	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación . Requiere suspensión laboral	3	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	8	8	BAJA	1-8
852-083	Rodillo 3 PRENSA SUCCION	MANGUERA/TUBERIA DEFECTUOSA	42.85714 286	8.5	5	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

856-010	Pantalla	CORREAS DEFECTUOSAS	5.013698 63	72.8	4	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6
855-121	Ventilador Aire Motores DC	MOTOR QUEMADO	81.57142 857	4.5	5	4.00	Incapacida d parcial permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa	4	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	9	45	MEDIA	5-9
852-015	Bomba Vacío Caja Succión	POLEA(S) DEFECTUOSA(S)	7.285714 286	50.1	4	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

854-126	Rodillo 8	PI#ON/ENGRANAJE DEFECTUOSO	5.428571429	67.2	4	3.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	7	28	BAJA	4-7
850-031		SISTEMA ENVOLTURA DEFECTUOSO	0.285714286	1277.5	1	3.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	6	BAJA	1-6
851-114	Rebobinadora # 1	EMBRAGUE DEFECTUOSO	0.142857143	2555.0	1	3.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	6	BAJA	1-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-119	Rebobinadora Maquina	SISTEMA CORTE DEFECTUOSO	0.714285714	511.0	1	2.00	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral	3	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	7	7	BAJA	1-7
851-114	Rebobinadora # 1	BANDEJA(S) DEFECTUOSA(S)	3.714285714	98.3	3	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	5	15	BAJA	3-5
855-167		CADENA DEFECTUOSA	5.285714286	69.1	4	3.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-104	Bomba Efluente Sótano #02	REUBICACION EQUIPO	3.428571 429	106.5	3	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	5	15	BAJA	3-5
854-007	Pantalla Maquina	ELEMENTO FILTRANTE DEFECTUOSO	1.857142 857	196.5	2	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	5	10	BAJA	2-5
856-010	Pantalla	LIMPIEZA/MANTTO.PREVENT. EQUIPO MECANICO	87.85714 286	4.2	5	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	5	25	BAJA	5-5

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

854-139	Sistema Accionamiento Rollo	PROTECTOR DEFECTUOSO	32.28571429	11.3	5	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	5	25	BAJA	5-5
852-011	Bomba Vacío Aux. Maquina	EQUIPO CON BAJA EFICIENCIA	84.14285714	4.3	5	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6
851-065	Rodillo 17 Rollo Pecho	RODILLO DEFECTUOSO	56.71428571	6.4	5	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	5	25	BAJA	5-5

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

854-007	Pantalla Maquina	ELEMENTO FILTRANTE DEFECTUOSO	1.857142857	196.5	2	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	12	BAJA	2-6
851-065	Rodillo 17 Rollo Pecho	PROTECTOR DEFECTUOSO	32.14285714	11.4	5	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6
854-079	Rodillo 2 PRENSA SUCCION	EQUIPO CON BAJA EFICIENCIA	84.14285714	4.3	5	1.00	El personal de la planta requiere tratamient o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambiental es ni violación de leyes y regulacion es	1	Hasta 10 mil	1	6	30	MEDIA	5-6

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

855-140	Tanque Sistema Lubricación	SISTEMA LUBRICACION DEFECTUOSO	8.285714 286	44.1	4	2.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	24	BAJA	4-6
852-059	Refinador Tanque de Mezcla	LUBRICANTE CONTAMINADO	2	182.5	2	3.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	12	BAJA	2-6
855-194	Rodillo 7	SISTEMA NEUMATICO DEFECTUOSO	10.42857 143	35.0	5	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambientales es sin violación de leyes y regulaciones	2	Hasta 10 mil	1	7	35	MEDIA	5-7

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

851-106	Bomba Tanque Condensado	FUGA AIRE	5.142857 143	71.0	4	1.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	8	32	MEDIA	4-8
856-032	Prensa Succión	BOOSTER DEFECTUOSO	16.14285 714	22.6	5	2.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	2	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	8	40	MEDIA	5-8
854-101	Ventilador Aspirador	TARJETA PLC DEFECTUOSA	2.142857 143	170.3	2	2.00	El personal de la planta requiere tratamiento o médico o primeros auxilios	3	Sin efecto en la población	3	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	3	Hasta 10 mil	1	12	24	BAJA	2-12

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

856-079	Ventilador Circulación	CONTADOR DEFECTUOSO	0.142857 143	2555.0	1	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	7	7	BAJA	1-7
854-006	Bomba/Circula ción	VARIADOR DEFECTUOSO	3.857142 857	94.6	3	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	7	21	BAJA	3-7
856-064	Rollo Tambor Enrollador	CAUCHO DEFECTUOSO	2.142857 143	170.3	2	2.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños ambiental es sin violación de leyes y regulacion es	2	Hasta 10 mil	1	7	14	BAJA	2-7

Apéndice 2. Análisis de Modo y Efecto de Falla Detallado (continuación).

853-272	Filtro Disco Maquina	MANGUERA HIDRAULICA DA#ADA	1.142857 143	319.4	2	1.00	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones	1	Hasta 10 mil	1	6	12	BAJA	2-6
---------	----------------------	----------------------------	-----------------	-------	---	------	---	---	----------------------------	---	--	---	--------------	---	---	----	------	-----

Anexos

Anexo 1. Tabla de norma I.S.O. 10816-1

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes ISO Standard 10816-1			
mm/s RMS	in/s PEAK	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02	Good	Good	Good	Good
0.45	0.03				
0.71	0.04	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1.12	0.06				
1.80	0.10	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)
2.80	0.16				
4.50	0.25	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
7.10	0.40				
11.20	0.62	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
18.00	1.00				
28.00	1.56	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
45.00	2.51				

Anexo 2. Tabla de norma ISO 2372

Clase	Descripción
Clase I	Equipos pequeños hasta 15 kW.
Clase II	Equipos medios, de 15 a 75 kW o hasta 300 kW con cimentación especial.
Clase III	Equipos grandes, por encima de 75 kW con cimentación rígida o de 300 kW con cimentación especial.
Clase IV	Turbomaquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).