

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS
MÁQUINAS EN EL ÁREA DE LITOGRAFÍA EN UNA FÁBRICA
DE ENVASES DE HOJALATA**

TUTOR:

JAVIER ARRUTI

ELABORADO POR:

**PEÑALVER, LIOBA.
INFANTA, PEDRO.**

VALENCIA, OCTUBRE 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS
MÁQUINAS EN EL ÁREA DE LITOGRAFÍA EN UNA FÁBRICA
DE ENVASES DE HOJALATA**

Proyecto de grado presentado ante la ilustre
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
Para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

TUTOR:

JAVIER ARRUTI

ELABORADO POR:

**PEÑALVER, LIOBA.
INFANTA, PEDRO.**

VALENCIA, OCTUBRE 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado asignado para estudiar al trabajo de grado titulado: “*DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS EN EL ÁREA DE LITOGRAFÍA EN UNA FÁBRICA DE ENVASES DE HOJALATA*”, realizado por los bachilleres: **Peñalver Flügel Lioba Carolina C.I.- 16.579.340 e Infanta Figueroa Pedro Luis C.I.- 15.865.496**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Presidente de Jurados: Javier Arruti

Jurado: Luis Valles

Jurado: Fernando Montero

VALENCIA, OCTUBRE 2008

DEDICATORIA

A Dios por su creación y al Universo por brindarme esta oportunidad.

A mis padres, pero especialmente a mi madre Lioba Flügel, por su apoyo incondicional brindándome todos los recursos y herramientas que tuviese al alcance para contribuir con mi desarrollo personal, académico y profesional, guiando mis pasos y acciones justo cuando fue necesario, a ella le debo la persona que soy. A mi hermana, por ser mi amiga y apoyo en todo momento.

A mi novio Jean Grau, por ser mi compañero y amigo fiel en quien apoyarme en los momentos más difíciles, por estar conmigo siempre que lo he necesitado, en las buenas y en las malas. Por ser un gran apoyo durante todo el desarrollo de mi carrera, con sus inagotables esfuerzos desinteresados, a quien considero una persona sabia, justa y humilde. Una de las personas más importantes en mi vida y una digna de admiración.

A mi compañero de tesis Pedro Infanta, por haber extendido de forma espontánea el alcance y objetivos perseguidos en este trabajo de grado, además de su comprensión y apoyo a lo largo de toda la carrera. Un amigo y compañero incondicional con quien tengo la dicha de compartir gran parte de la filosofía de la vida.

A Ariadna Rodríguez, por ser una persona fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional, por todos los momentos invaluable que he pasado junto a ella, recordándome siempre lo importante en la vida y por nunca dudar de nuestra amistad.

A carolina Vilachá y Guillermo Rojas, por ser una pareja que me ha acompañado en muchos momentos durante la carrera y por ser grandes amigos a quienes valoro y aprecio.

A todos los amigos que han influido de una u otra manera en mi vida, quienes me han hecho crecer como persona y han permitido mi desarrollo profesional, académico y personal.

Lioba Peñalver

A Dios y a la vida, quienes juntos me dieron esta oportunidad para crecer y desarrollarme personal, académica y profesionalmente.

A mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente durante este largo y fuerte trecho de la vida. Permanecieron siempre a mi lado guiando mis pasos por el buen camino, y manteniendo en mí los valores y principios fundamentales de la existencia. Por darme todo su amor, a ellos les debo quien soy.

A mis hermanos, a quienes siempre he admirado por llevar consigo el interés de ser mejores personas cada día, por tomar decisiones inteligentes, y por llevar una vida sana. Me brindaron consejos en cada paso que he dado y me han hecho incluir la madurez y conciencia en mi formación personal.

A mi sobrino Cristian, quien ha llegado a ser mi amigo con el pasar del tiempo y me ha ayudado a ser una mejor persona cada día.

A mi abuelo Carlos, quien hubiese dado lo que esté su alcance por compartir con todos nosotros este momento de mi vida. Que en paz descanse.

A mi compañera de tesis y de estudio Lioba Peñalver. Por ser una persona perseverante, inteligente, y por ser capaz de tomar cualquier decisión que se le pueda presentar. Por tener una conducta intachable y porque hemos compartido juntos momentos únicos durante nuestra permanencia dentro de la Universidad de Carabobo.

A Brian Rujano, con quien he y compartido excelentes momentos durante la carrera. Por ser una persona sabia, humilde, y por acompañarme durante mis decisiones.

A Shirley O'Brien. Por estar presente como amiga y compañera durante toda la carrera. Por recordarme en todo momento que existe alguien en quién confiar.

A Carolyn Bermúdez. Por estar presente como amiga y compañera durante toda la carrera y por apoyarme en todo momento de mi vida.

A Jean Grau, quién a lo largo de la carrera nos brindó su ayuda en todo momento. Por ser una persona con un gran potencial en cualquier rama de la vida y por poseer una gran inteligencia.

A todos los amigos y compañeros que han influido de una u otra manera en mi vida, quienes me han hecho crecer como persona y han permitido mi desarrollo profesional, académico y personal; y sobretodo a aquellas personas que actualmente desarrollan su trabajo de grado.

Pedro Luis Infanta

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor académico el Prof. Javier Arruti, por su colaboración y dedicación, por todos los conocimientos adquiridos y por ser nuestra guía a lo largo de la elaboración de este trabajo.

A la Universidad de Carabobo, por ser nuestra Alma Mater y permitirnos desarrollarnos como profesionales.

Al supervisor de mantenimiento del área de litografía de la empresa Domínguez & Cía., Unesimo Venal, por ayudarnos y prestarnos su colaboración en todo momento y al Ing. Hugo Hernández gerente del área por ser nuestro facilitador y colaborador en el desarrollo de este trabajo especial de grado.

A Domínguez & Cía., por darnos la oportunidad de desarrollar el tema de este trabajo de tesis y darnos lo necesario para llevarla a cabo.

Al Prof. Luis Escalona por sus sabios consejos y ayudarnos en la entrega del anteproyecto.

A todos los profesores, que de una u otra forma no sólo brindaron sus conocimientos, sino permitieron nuestro desarrollo personal y profesional durante el desarrollo de nuestra carrera.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación resuelve la situación problemática en la empresa *Domínguez & Cía.*, de mejorar el comportamiento de los equipos de mayor criticidad del área de litografía, a través de la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Para ello se plantearon los objetivos de: recolectar información acerca del funcionamiento y los componentes de las máquinas de cada una de las líneas de producción; clasificar y analizar la información recopilada de acuerdo a cada una de las líneas de producción y máquinas; realizar el estudio de los componentes comparativos de la planta, los cuales son: confiabilidad, costos y productividad; desarrollar el plan de mantenimiento para las máquinas de la sección de litografía de la planta y realizar el estudio de los componentes evaluativos del plan de mantenimiento, los cuales son: disponibilidad, mantenibilidad, seguridad e impacto ambiental. La metodología a seguir será la que implementa el mantenimiento centrado en confiabilidad y la norma SAE JA1012 donde se comienza el estudio realizando un análisis de modos y efectos de falla (AMEF). A partir de éste se evalúan las consecuencias de las fallas, con lo que se establecen las bases para la selección de las políticas de manejo de éstas y las acciones de mantenimiento a seguir para reducir o evitar las consecuencias de falla. Una vez obtenidas las acciones, se elabora un plan de mantenimiento a partir de las mismas, estableciendo la frecuencia en que se van a realizar, horas hombre y personal requerido para éste. Se realiza el cálculo de confiabilidad, costos, productividad, mantenibilidad, disponibilidad, seguridad e impacto ambiental antes y después del estudio para comparar ambos resultados y establecer los beneficios obtenidos. Se diseña un software de mantenimiento que permita la evaluación y control del plan de mantenimiento a implementar, incluyendo el almacenamiento de información referente a fallas, acciones de mantenimiento llevadas a cabo, fechas, horas hombre, costos asociados a éstas. Finalmente se concluyó que ninguno de los modos de fallas de los equipos de la línea seleccionada generan consecuencias en la seguridad y ambiente, más si ocasionan consecuencias operacionales y no operacionales. El número de fallas estimadas luego de la elaboración del plan de mantenimiento es de 62 fallas en el periodo de un año, lo que indica una reducción aproximadamente del 75%. El tiempo promedio estimado para la falla (MTTF) del plan de mantenimiento es de 144,74 horas, esto representa un incremento de 4,5 días respecto a la situación actual. El valor de disponibilidad calculado para el plan de mantenimiento elaborado es 99,22%. El tiempo promedio de reparación (MTTR) para el plan de mantenimiento es de 1,12 horas. De implementarse el plan de mantenimiento, el valor promedio de la productividad sería 3650 bultos de láminas/trimestre, lo que significa un incremento de 2,5% en la producción, traducido en una ganancia para la empresa de 6.522.360,00 BsF/año.



INDICE GENERAL

RESUMEN	viii
Índice General	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tablas	xvi
NOMENCLATURA	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	5
1.1 Planteamiento del Problema	5
1.2 Objetivos	9
1.3 Justificación	9
1.4 Limitaciones	10
1.5 Alcances	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Antecedentes de la Investigación	13
2.2 Bases Teóricas	18
2.2.1 El Mantenimiento	18
2.2.2 Objetivos del Mantenimiento	20
2.2.3 Tipos de Mantenimiento	21
2.2.4 Confiabilidad	22
2.2.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	28
2.2.5.1 Funciones	29
2.2.5.2 Fallas Funcionales	32
2.2.5.3 Modos de Falla	33



2.2.5.4 Efectos de Falla	35
2.2.5.5 Consecuencias de Falla	38
2.2.5.6 Manejo de las Consecuencias de la Falla	43
2.2.5.7 Políticas de Manejo de Falla	44
2.2.5.8 Selección de las Políticas de Manejo de Fallas	52
2.2.6 Mantenibilidad	54
2.2.7 Disponibilidad	57
2.2.8 Definición de Términos Básicos	58
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	62
3.1 Nivel de la investigación	62
3.2 Diseño de la investigación	63
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	68
4.1 Definición de los sistemas y equipos para el estudio	68
4.1.2 Selección de la línea para el estudio	69
4.2 Descripción del funcionamiento de la línea de producción seleccionada	76
4.2.1 Alimentador	81
4.2.2 Prensa Litográfica	85
4.2.3 Barnizadora	89
4.2.4 Horno	92
4.2.5 Apilador	95
4.3 Diagrama de Análisis de Modos y efectos de falla (AMEF)	96
4.4 Evaluación actual de los componentes comparativos de la planta	98
4.4.1 Confiabilidad de la línea de producción seleccionada	98
4.4.2 Costos del Mantenimiento	112
4.4.3 Productividad	118



4.5 Consecuencias de falla de las prensas litográficas	120
4.6 Políticas de Manejo de Fallas	131
4.6.1 Selección de las Políticas de Manejo de Fallas	134
4.7 Elaboración del Plan de Mantenimiento	143
4.7.1 Inventario de los Equipos de Estudio	143
4.7.2 Codificación de los equipos de estudio	144
4.7.3 Acciones de Mantenimiento Preventivo	146
4.7.3.1 Determinación de las características para las acciones de mantenimiento	147
4.7.4 Estimación de la fuerza de mantenimiento necesaria para cumplir con el plan de mantenimiento	151
4.7.5 Control y evaluación de la aplicación del plan de mantenimiento elaborado	157
4.8 Evaluación de los componentes comparativos después de la realización del estudio	159
4.8.1 Confiabilidad	159
4.8.2 Costos de Mantenimiento	165
4.8.3 Productividad	168
4.9 Estudio de los Componentes Evaluativos de la Planta	172
4.9.1 Disponibilidad	172
4.9.2 Mantenibilidad	175
4.9.3 Seguridad	178
4.9.4 Impacto Ambiental	184
4.10 Elaboración del Software de Mantenimiento	186
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	192



ÍNDICE GENERAL



BIBLIOGRAFIA	196
ANEXO A	198
ANEXO B	245
ANEXO C	246
ANEXO D	250



INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1. Etapas del proceso productivo en <i>Domínguez & Cía.</i>	7
Figura N° 2.1. Recta de tiempo para el cálculo del MTTF.	25
Figura N° 2.2. Nuevas rectas de tiempo para el cálculo del MTTF.	28
Figura N° 2.3. Curva P-F.	46
Figura N° 2.4. Ejemplo Intervalo neto P-F.	47
Figura N° 2.5. Diagrama de Decisiones.	55
Figura. N° 4.1. Área de Litografía. <i>Domínguez & Cía.</i>	76
Figura. N° 4.2. Línea 6. Prensa Litográfica.	77
Figura. N° 4.3. Comienzo de la Línea 6 de Prensa Litográfica. Alimentador	77
Figura. N° 4.4. Bulto situado en la transportadora de rodillos. Alimentador	78
Figura. N° 4.5. Prensas Litográficas.	79
Figura. N° 4.6. Barnizadora.	80
Figura. N° 4.7. Entrada del Horno.	80
Figura. N° 4.8. Salida del horno.	81
Figura. N° 4.9. Elevador de Láminas. Alimentador.	82
Figura. N° 4.10. Chuponeras y sopladores. Alimentador.	83
Figura. N° 4.11. Distribuidor de vacío. Alimentador.	84
Figura. N° 4.12. Mecanismo de rechazo doble lámina.	85
Figura. N° 4.13. Distribución de rodillos dentro de cualquier prensa de la Línea 6.	87
Figura. N° 4.14. Cadenas transportadoras. Mesa de registro.	88
Figura. N° 4.15. Mesa de registro.	89
Figura. N° 4.16. Barnizadora.	90
Figura. N° 4.17. Diagrama de rodillos de la Barnizadora.	91
Figura. N° 4.18. Escuadras de la mesa de registro.	92



Figura. N° 4.19. Horno.	94
Figura N° 4.20. Apilador.	95
Figura N° 4.21. Curva de confiabilidad de la línea de producción.	110
Figura N° 4.22. Cantidad de fallas por equipo.	111
Figura N° 4.23. Cantidad de fallas por prensa.	113
Figura N° 4.24. Costos de mantenimiento línea 6.	114
Figura N° 4.25. Costos de operación línea 6.	115
Figura N° 4.26. Costos de mantenimiento línea 6. [33% Op].	116
Figura N° 4.27. Costos de mantenimiento línea 6. Vs. Costos de mantenimiento línea 6. [33% Op].	117
Figura N° 4.28. Producción Actual línea 6.	115
Figura N° 4.29. Diferencia porcentual entre los niveles de producción actual y el nivel nominal.	115
Figura N° 4.30. Diagrama de decisiones usado para la selección de la política de manejo de fallas.	133
Figura N° 4.31. Recta de tiempo para el cálculo del MTTF del modo de falla “Escuadra lateral defectuosa”.	138
Figura N° 4.32. Nuevas rectas de tiempo en el cálculo del MTTF. Del modo de falla “Escuadra lateral defectuosa”.	138
Figura N° 4.33. Curva de confiabilidad de la línea de producción.	164
Figura N° 4.34. Curva de confiabilidad actual de la línea Vs. Confiabilidad estimada de la línea.	165
Figura N° 4.35. Costos de implementar el nuevo plan elaborado.	166
Figura N° 4.36 Costos actuales de mantenimiento Vs. Costos de implementarse el plan elaborado.	167
Figura N° 4.37. Costos del plan elaborado Vs. 33% de los Costos de Operación.	168



Figura N° 4.38. Producción de la Línea 6 de implementarse el plan.	169
Figura N° 4.39. Producción con el nuevo plan de mantenimiento Vs. Producción. actual.	170
Figura N° 4.40. Disponibilidad Actual Vs. Estimada	174
Figura N° 4.41. Valores de M (t) actuales y estimados de implementarse el plan elaborado.	177
Figura N° 4.42. Guante protector tejido anticorte con punto PVC.	180
Figura N° 4.43. Respirador para vapores y olores molesto. Modelo 8210. Marca 3M.	182
Figura N° 4.44. Lente de protección con protección lateral.	182
Figura N° 4.45. Problemas en la seguridad del área de litografía.	183
Figura N° 4.46. Soluciones a los problemas en la seguridad del área de litografía.	184
Figura N° 4.47. Ventana de bienvenida del software de mantenimiento.	187
Figura N° 4.48. Inventario de equipos, pantalla del software de mantenimiento.	188
Figura N° 4.49. Cronograma de actividades, pantalla del software de mantenimiento	188
Figura N° 4.50 Registro de mantenimiento preventivo, pantalla del software de mantenimiento.	189
Figura N° 4.51. Registro de mantenimiento correctivo, pantalla del software de mantenimiento.	190
Figura N° 4.52. Consulta de AMEF, pantalla del software de mantenimiento.	191
Figura N° 4.53. Ayuda, pantalla del software de mantenimiento.	191



INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Modos de falla de un sistema de bombeo.	34
Tabla N° 2.2. Modos de falla en diferentes niveles de detalle.	36
Tabla N° 4.1. Posibles Soluciones.	70
Tabla N° 4.2. Aplicación de Restricciones.	71
Tabla N° 4.3. Soluciones.	71
Tabla N° 4.4. Ponderación de criterios.	74
Tabla N° 4.5. Ponderación de Soluciones.	74
Tabla N° 4.6. Selección de la línea de producción.	75
Tabla N° 4.7. Registro de paradas no planificadas. Línea 6.	99
Tabla N° 4.8. Códigos de paradas por fallas mecánicas.	106
Tabla N° 4.9. Códigos de paradas por fallas eléctricas.	106
Tabla N° 4.10. Resultados del cálculo de confiabilidad para la línea de estudio.	109
Tabla N° 4.11. Fallas de los equipos de la línea 6.	110
Tabla N° 4.12. Fallas de los equipos de la línea 6.	112
Tabla N° 4.13. Costos de mantenimiento línea 6.	114
Tabla N° 4.14. Costos de operación línea 6.	115
Tabla N° 4.15. Costos de mantenimiento línea 6. [33% Op].	116
Tabla N° 4.16. Producción actual línea 6.	118
Tabla N° 4.17. Consecuencias operacionales de las prensas litográficas.	124
Tabla N° 4.18. Consecuencias no operacionales de las prensas litográficas.	127
Tabla N° 4.19. Consecuencias de falla de la prensa litográfica.	130
Tabla N° 4.20. Modos de falla “escuadra lateral defectuosa”.	137
Tabla N° 4.21. MTTF de todos los modos de falla de la prensa 1.	139
Tabla N° 4.22. MTTF de todos los modos de falla de la prensa 2.	140



ÍNDICE DE TABLAS



Tabla N° 4.23. MTTF de todos los modos de falla de la prensa 3.	140
Tabla N° 4.24. Equipos de estudio.	143
Tabla N° 4.25. Codificación de área.	144
Tabla N° 4.26. Codificación de líneas	145
Tabla N° 4.27. Numeración de líneas de producción	145
Tabla N° 4.28. Codificación por tipo de equipo	146
Tabla N° 4.29. Codificación de rutinas	148
Tabla N° 4.30. Frecuencias de las actividades de mantenimiento	149
Tabla N° 4.31. Actividades de mantenimiento preventivo para la prensa 1.	152
Tabla N° 4.32. Actividades de mantenimiento preventivo para la prensa 2.	153
Tabla N° 4.33. Actividades de mantenimiento preventivo para la prensa 3.	154
Tabla N° 4.34. Horas hombres de personal mecánico necesarias para el plan de mantenimiento.	155
Tabla N° 4.35. Horas hombres de personal de lubricación necesarias para el plan de mantenimiento.	155
Tabla N° 4.36. Registro de paradas no planificadas estimadas. Línea 6.	160
Tabla N° 4.37. Resultados del cálculo de confiabilidad esperados para la línea de estudio.	164
Tabla N° 4.38. Costos de implementarse el nuevo plan de mantenimiento.	166
Tabla N° 4.39. Valores de M (t) actuales de la línea de estudio.	176
Tabla N° 4.40. Valores de M (t) de implementarse el plan de mantenimiento.	176
Tabla N° 4.41. Normas de seguridad <i>Domínguez & Cía.</i>	179



NOMENCLATURA

<i>VARIABLE</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDAD</i>
PC	Criterios Ponderados	No tiene
PP	Posibles soluciones ponderadas	No tiene
Hora inicio	Hora de inicio de la falla	hh:mm:ss
Hora final	Hora del final de la falla	hh:mm:ss
Fecha	Fecha de ocurrencia de la falla	DD/MM/AAAA
$r(t)$	Confiabilidad	%
λ	Rata de falla	1 / hr
MTTF	Tiempo promedio para la falla	hr
TF	Tiempo para la falla	hr
MTTR	Tiempo promedio para la reparación	hr
TR	Tiempo de Reparación	hr
COP	Costos de operación	BsF
CO	Consecuencia operacional	BsF
CNO	Consecuencia no operacional	BsF
D	Disponibilidad	%
M(t)	Mantenibilidad	%



INTRODUCCIÓN

La elaboración de un plan de mantenimiento para la empresa *Domínguez & Cía.*, representa una solución a los problemas generados por la carencia de un mantenimiento estructurado en el área de litografía de la misma. La implementación de dicho programa contribuiría a mejorar la eficiencia de la planta así como la disminución de los problemas existentes en la misma.

El plan de mantenimiento planteado, tiene sus bases en el mantenimiento centrado en confiabilidad, el cual es una de las herramientas más efectivas para lograr mejoras en el comportamiento de los equipos en cualquier proceso. Esto se logra a través de la disminución de fallas, mediante el análisis de las causas que promueven la aparición de las mismas. Para ello, se realiza un análisis de modos y efectos de falla (AMEF); éste se elabora en base a los parámetros descritos en la norma SAE JA1012, donde se describen detalladamente las funciones de los equipos, sus fallas funcionales, los modos y efectos de fallas asociados a cada una de éstas.

El mantenimiento centrado en confiabilidad permite disminuir los costos en cuanto a mantenimiento se refiere, incrementar la productividad, aumentar la confiabilidad de los procesos, así como la disponibilidad de los equipos. Además, permite mejorar la seguridad en los procesos, disminuyendo las fallas de los equipos y contribuye a la disminución de los daños al ambiente derivados de la implementación de un sistema de mantenimiento.

A continuación se presenta la estructura de los capítulos de la investigación:

En el primer capítulo se puede observar una breve descripción de la empresa, así como del proceso de fabricación utilizado en la generación de envases de hojalata



INTRODUCCIÓN



elaborados en la misma. Además se exponen los problemas que han ocurrido por la falta de un plan de mantenimiento en el área de litografía de esta empresa; se plantea también, los objetivos que llevarán a la solución del problema; la justificación de éste, así como las limitaciones y delimitaciones que tendrá el proyecto realizado.

En el segundo capítulo se encuentran las bases teóricas que sustentan la investigación realizada y que permiten desarrollar los tópicos planteados referentes al problema. Además se exponen los términos básicos necesarios para la comprensión del mismo, así como antecedentes que muestran el desarrollo de investigaciones anteriores que proporcionan información valiosa para el desarrollo del proyecto planteado.

En lo que respecta al capítulo tres, se plantea básicamente la metodología seguida durante el proyecto, conformada por el nivel de la investigación y el diseño de la misma, donde se reflejan las etapas que permiten llevar a cabo los objetivos planteados.

El capítulo cuatro expone el desarrollo del procedimiento metodológico planteado para la investigación. Éste comprende la selección de los sistemas y equipos de estudio; descripción detallada de la línea de estudio seleccionada; elaboración de los diagramas de modos y efectos de falla (AMEF); consecuencias de fallas de los equipos seleccionados, las cuales permiten la selección de las políticas de manejo de fallas a seguir para el plan de mantenimiento propuesto. Además, abarca la evaluación de los componentes comparativos antes y después de la implementación del plan de mantenimiento, así como los componentes evaluativos del mismo.



INTRODUCCIÓN



Por último, en este capítulo se encuentra el software desarrollado que permite la gestión del plan de mantenimiento elaborado.

En el capítulo cinco, se encuentran las conclusiones y recomendaciones derivadas de la elaboración de la investigación.



CAPITULO I

EL PROBLEMA



1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

La empresa *Domínguez & Cía.*, fundada en 1930, está dedicada a la elaboración de envases de hojalata, aluminio y plástico, con la finalidad de atender al mercado nacional y de exportación en los renglones de alimentos y bebidas, industrial y farmacéutico. Esta posee tres sedes (plantas) a nivel nacional, ubicadas en los estados Lara, Miranda y Carabobo.

La sede ubicada en Los Guayos – Edo. Carabobo es la encargada de la elaboración de los envases de hojalata. En esta planta, la fabricación de dichos envases se lleva a cabo mediante las siguientes etapas:

- ✓ **Recepción de materia prima:** consiste en la recepción de las bobinas de hojalata, provenientes de Siderúrgica del Orinoco (SIDOR), según las especificaciones requeridas, destinadas al proceso productivo.
- ✓ **Corte de bobinas:** las bobinas son cortadas en diversas dimensiones, según las especificaciones requeridas, a través de una máquina conocida como Littel, para luego formar bultos de aproximadamente una (1) tonelada de peso, compuestos de mil (1000) láminas.
- ✓ **Litografía:** las láminas destinadas a la elaboración de tapas, pasan por el proceso de barnizado, en el cual son recubiertas por una capa (barniz), la cual tiene la función de proteger al material. Luego éstas serán llevadas al área de ensamble.



Por otra parte, las láminas que conformarán los cuerpos de los envases, son litografiadas a través de prensas, las cuales corresponden a cada uno de los tintes necesarios en el producto, según los requerimientos del cliente. Luego las láminas, son recubiertas por una capa de barniz, cuya función es brindar protección y brillo a la lámina litografiada terminada.

- ✓ **Fabricación de tapas y fondos:** las láminas destinadas a la fabricación de fondos y tapas del envase, son cortadas en pequeñas tiras, las cuales alimentarán los balancines encargados del matrizado de las mismas. Las tapas terminadas, son luego empaquetadas, mientras que los fondos se llevan al sector de envases para ser fijados al cuerpo de los mismos.

- ✓ **Ensamble de envases:** las láminas provenientes del área de litografía, son enviadas al área de ensamble en donde las máquinas de cizalla se encargan de cortar las láminas de acuerdo a las dimensiones del producto a elaborar, obteniendo como resultado láminas de menor tamaño acordes al cuerpo del producto. Éstas luego alimentan al equipo formador de cuerpos (bodymaker), donde son dobladas y soldadas para formar cilindros, conocidos como cuerpos del producto. Inmediatamente se les coloca barniz protector, sólo al área soldada, con el fin de protegerla de la corrosión y luego los cuerpos son enviados a un horno encargado del secado del barniz. Posteriormente, se dirigen a la máquina tapadora, en la cual se fija cada fondo a su respectivo cuerpo.

Por último, se realiza la inspección del control de calidad y el empaque de los envases terminados, para su posterior despacho.

En la siguiente figura se aprecia las etapas del proceso productivo que se lleva a cabo en *Domínguez & Cía.*:

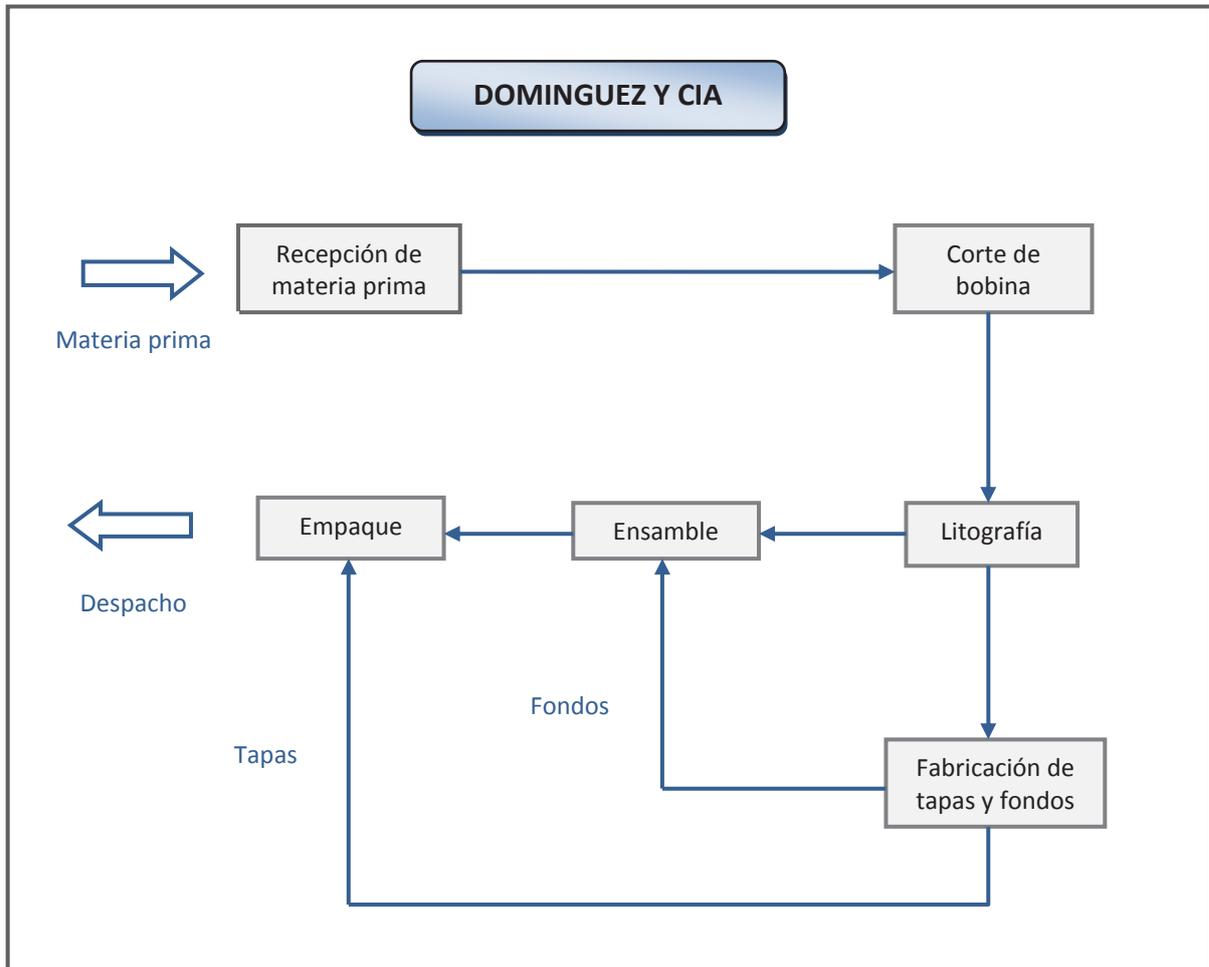


Figura N° 1.1. Etapas del proceso productivo en *Domínguez & Cía.*

El área de litografía consta de diez (10) líneas de producción, de las cuales siete (7) se atribuyen al proceso de prensa litográfica y las tres (3) restantes al barnizado.

La línea de prensa litográfica está conformada por: un alimentador, una, dos o tres prensas para cada uno, dos o tres colores respectivamente, una barnizadora, un horno y un apilador.

La línea barnizadora está conformada por: un alimentador, una barnizadora, un horno y un apilador.



Actualmente, este área presenta deficiencia en el mantenimiento de las máquinas que conforman las líneas de producción, debido a que:

- ✓ El registro de los historiales de falla de los equipos no es llevado a cabo correctamente; éste no se encuentra clasificado por equipos y además contiene información derivada de la producción de la línea, dificultando la consulta de la data necesaria para llevar un seguimiento del comportamiento de los equipos y con ello planificar su mantenimiento.
- ✓ Carecen de formatos o fichas técnicas que contengan la información acerca de los equipos y sus componentes, lo que dificulta la obtención de la información de una manera rápida y sencilla.
- ✓ No existe un registro histórico del mantenimiento preventivo, ello impide evaluar las acciones de mantenimiento aplicadas actualmente en la empresa.

Por lo mencionado, este área ha experimentado paradas no programadas, mal funcionamiento de las máquinas, aumento del consumo horas-hombre debido a reparaciones, aumentos de costos en reparaciones, entre otros.

Debido a esto la empresa ha mostrado interés en implementar un programa de mantenimiento estructurado el cual, permita:

- ✓ Reducir costos de producción.
- ✓ Mejorar la disponibilidad de los equipos para la producción.
- ✓ Incrementar la vida útil de los equipos.
- ✓ Ejecutar y/o alcanzar las metas en un período que resulte rentable.



De éste modo, la implementación de dicho programa contribuiría a mejorar la eficiencia de la planta así como la disminución de los problemas existentes en la misma y en su producción.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento para las máquinas del área de litografía en una fábrica de envases de hojalata.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Recolectar información acerca del funcionamiento de los componentes de las máquinas de cada una de las líneas de producción.
- ✓ Clasificar y analizar la información recopilada de acuerdo a cada una de las líneas de producción y máquinas.
- ✓ Realizar el estudio de los componentes comparativos de la planta, los cuales son: Confiabilidad, Costos y Productividad.
- ✓ Desarrollar el plan de mantenimiento para las máquinas de la sección de litografía de la planta.
- ✓ Realizar el estudio de los componentes evaluativos del plan de mantenimiento, los cuales son: Disponibilidad, Mantenibilidad, Seguridad e Impacto ambiental.

1.3 Justificación

Actualmente, muchas empresas manufactureras en Venezuela presentan problemas en la sección de mantenimiento, como es el caso de *Domínguez & Cía.*,



específicamente porque sólo llevan a cabo en sus equipos un mantenimiento correctivo, desorganizado y no planificado, siendo el mismo insuficiente para optar por un rendimiento máximo en la capacidad de producción de la planta, lo cual conlleva a una serie de gastos innecesarios que se traducen en pérdidas económicas.

El diseño de un plan de mantenimiento y la implementación de éste sobre las máquinas del área de litografía en una fábrica de envases de hojalata, aumentaría la eficiencia de este área así como la de la empresa en general, incrementaría la seguridad laboral para los usuarios de las máquinas, generaría ahorros en repuestos para equipos y evitaría las paradas no planificadas, lo que se traduce finalmente en una mejoría para la producción.

1.4 Limitaciones

- ✓ El manejo de la información, referente al proceso productivo, índices, estadísticas, entre otros, se encuentran sujetos a la política de la empresa, referida a la confidencialidad.
- ✓ Falta de información técnica de los equipos y sus componentes.
- ✓ El tiempo para el diseño del plan de mantenimiento.

1.5 Alcance

El proyecto comprende el diseño, más no la implementación del plan de mantenimiento a una de las líneas pertenecientes al área de litografía.

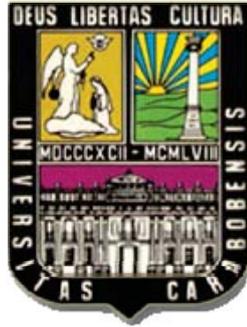
La línea de prensa litográfica está conformada por:



- ✓ Un (1) alimentador.
- ✓ Una (1), dos (2) o tres (3) prensas litográficas.
- ✓ Una (1) barnizadora.
- ✓ Un (1) horno.
- ✓ Un (1) Apilador.

La línea barnizadora costa de los siguientes equipos:

- ✓ Un (1) alimentador.
- ✓ Una (1) barnizadora.
- ✓ Un (1) horno.
- ✓ Un (1) Apilador.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A modo de guía y provecho para nuestro proyecto, se revisaron algunas investigaciones realizadas, cuyas temáticas guardan relación con la presente, las cuales se analizan a continuación:

-**Gotera, E. (1998)**, en su monografía titulada: “¿Qué es lo último que hemos aplicado en mantenimiento?” Se propuso hacer una revisión de la evolución histórica experimentada por el mantenimiento, para una mejor comprensión de la evolución y desarrollo del mantenimiento desde sus inicios y hasta nuestros días.

En este sentido, se refiere a tres etapas o generaciones, a saber:

Primera generación: El que cubre el periodo hasta el final de la II Guerra Mundial, en esta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples, fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Los volúmenes de producción eran bajos, por lo que los tiempos de parada no eran importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial, y solo se le aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación.

Segunda generación: La que nace como resultado de la guerra, se incorporaron maquinarias más complejas, y el tiempo improductivo comenzó a preocupar ya que se dejaban de percibir ganancias por efectos de demanda, de allí la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y debían prevenir, idea que tomaría el nombre de mantenimiento preventivo. Además se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, o sea las revisiones a intervalos fijos.



Tercera generación: se inicia a mediados de la década de los setenta donde los cambios, a raíz del avance tecnológico y de nuevas investigaciones, se aceleran. Aumenta la mecanización y la automatización de la industria, se opera con volúmenes de producción más altos, se le da importancia a los tiempos de parada debido a los costos por pérdida de producción, alcanzan mayor complejidad las maquinarias y aumenta nuestra dependencia de ellas, se exigen productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo del mantenimiento preventivo.

Con esta monografía se estudian y conocen las bases históricas del mantenimiento, aspecto importante a la hora de realizar cualquier tipo de actividad relacionada al tema.

-Lanza V. Ángel. (2000), llevó a cabo un trabajo investigativo al que le dio por título “Estudio de Factibilidad para la Estandarización de Sellos Mecánicos de Bombas Centrífugas y Evaluación de Fallas”, para determinar su confiabilidad, cuyo objetivo general consistió en hallar y preparar estrategias para mejorar el desempeño de los sellos mecánicos instalados en las bombas centrífugas de la Refinería El Palito.

Los reemplazos de sellos mecánicos por causa de falla de los rodamientos y por contaminación del aceite se deben a la falta de implementación de un plan de inspección rutinaria del aceite de los mismos y las alteraciones en las condiciones de operación del sello mecánico, sin realizar el estudio de compatibilidad, representa el 10% de los costos por reemplazo no deseado de los sellos mecánicos.

El aporte de este trabajo investigativo consiste en el manejo de bases de datos de manera de determinar el tiempo medio entre fallas de equipos y sus componentes.



A los fines de poder determinar estos tiempos, en un primer momento, se procedió a identificar las áreas de gestión de la empresa que presentaban deficiencias, mediante la aplicación de la norma COVENIN 1980-89. Luego se utilizó otra norma (2500-93 de COVENIN) con el propósito de diagnosticar el estado que presentaba la gestión de mantenimiento, mediante la evaluación de cada una de las sub.-áreas que la componen.

Como respuesta a este diagnóstico se formularon procedimientos y diseñaron formatos cuya implementación le permitiese a la empresa subsanar sus fallas y así, superar el problema.

Durante el desarrollo de la investigación, se determinó que la gestión mantenimiento era inadecuada y le impedía a la empresa incrementar la productividad de sus operaciones.

Este trabajo sirve como base para investigación ya que a partir de una base de datos se puede determinar de forma automática el tiempo medio entre fallas para un equipo o sus componentes, además de que la labor de mantenimiento llevada a cabo en una empresa, influye directamente en la productividad de la misma.

- **Feo, Gustavo A.; Novoa, Carlos M. (1978)**, llevaron a cabo un trabajo investigativo que tiene por título “Plan de Mantenimiento en la Sección de Preparación de Astillas de una Planta de Aglomerados de Maderas de Sistema Continuo Bison – Mende”, cuyo objetivo general era el diseño de un programa de mantenimiento en una industria que produce tableros aglomerados de madera comprimida, a partir de virutas o astillas de madera, el cual permitiera maximizar la vida útil de los equipos, reducir los costos de producción y con ello mejorar la



eficiencia. Se tomó como base para el estudio, la industria Partículas Comprimadas de Madera C.A; (PARCOMACA).

Para el logro del objetivo planteado, procedieron a realizar un análisis del proceso de producción y la organización existente de mantenimiento, para luego efectuar un inventario de los equipos e instalaciones que integran la planta. Posteriormente, elaboraron instrucciones técnicas de los servicios de mantenimiento de los equipos e instalaciones, y con ello estimar la mano de obra necesaria para la realización de los trabajos requeridos para éstos. Por último, efectuaron la organización y control del almacén y piezas de repuesto.

El desarrollo del programa de mantenimiento, estuvo apoyado en formatos, tales como: control diario y mensual de paradas de producción, distribución de horas/hombre disponibles para trabajos a realizar, ordenes de trabajo, entre otros.

Por otra parte, realizaron el control de los costos de mantenimiento, lo que permitió el análisis de la gestión realizada, a través del estudio de costos: directos e indirectos, de conservación, de reparaciones, tiempo muerto, manufactura y seguridad industrial.

En su trabajo concluyen, la importancia de la programación cuidadosa de un plan de mantenimiento correctivo y preventivo, el cual conlleva numerosos beneficios, reflejados en la disminución de costos de producción, optimización de los equipos, y en el incremento de la vida útil de los mismos.

Además, señalan la relevancia de que el personal de mantenimiento conozca los objetivos planteados con el plan realizado, a fin de que trabaje en pro del mismo.



- **Padrón, Yamira C.; Moreno, Trina E. (1978)**, realizaron un trabajo de investigación Titulado “Plan de mantenimiento preventivo para una empresa Metal-mecánica, Factocam” la realización de dicho proyecto se llevó a cabo en la Empresa Factorías Campesinas (FACTOCAM), dedicada ésta a la elaboración de implementos agrícolas. El objetivo de la implementación de un plan de mantenimiento a dicha empresa se vio reflejado por el interés de la empresa de reducir los costos de producción, garantizar seguridad laboral y garantizar la continuidad de los procesos productivos, entre otros.

Para el desarrollo de dicho trabajo se realizó un procedimiento para la obtención del plan de mantenimiento. Éste procedimiento empieza primero por un “Análisis del proceso de producción y de la organización existente del mantenimiento”, el cual explica que antes de iniciar la planificación del mantenimiento es indispensable que el personal destinado a realizarlo tenga conocimiento cabal del proceso de producción, de las implicaciones de éste en la operación, funcionamiento y mantenimiento de los equipos e instalaciones de la planta y del nivel de mantenimiento existente en los mismos. Seguido de este análisis, se debe realizar un inventario de los equipos e instalaciones que integran la planta. Se creó este paso porque es necesario poseer un conocimiento de los equipos existentes en cuanto a su número y a la ubicación que tenga dentro del área de la planta. En la información obtenida, deben estar incluidas las características físicas de los citados equipos, además de sus necesidades en lo referente a la cantidad esperada de piezas de repuesto requeridas cuando el equipo está funcionando en sus condiciones normales de operación.

El paso tercero habla de establecer los requerimientos y la frecuencia de operaciones de mantenimiento para todo el equipo, y el mismo resume que es importante determinar los equipos que se deben inspeccionar, y cada cuanto tiempo se deben inspeccionar. Luego de este paso viene lo que se le llama “establecimiento



de normas y procedimientos para la programación y la información de los trabajos de mantenimiento”. Este es la base fundamental para la aplicación y control de las normas de mantenimiento, y consiste en el establecimiento de procedimientos de programación de los trabajos a realizar y de información sobre labores cumplidas.

El quinto paso es Inspeccionar, basándose en la programación definida. Esta inspección planeada es un método sistemático que permite a los directores del mantenimiento conocer las condiciones en las que se encuentra la planta.

También se incluye el “factor humano”. Se obliga a seleccionar y adiestrar cuidadosamente al personal responsable de su ejecución. Y por último hay que cumplir con mantener bien informado a todo el personal directivo involucrado en el problema.

En su trabajo concluyen, que mediante la elaboración de programas de inspección y revisiones periódicas de los equipos, es posible prevenir posibles fallas aún cuando no se puedan evitar, se puede disminuir el nivel de riesgo que las mismas ocasionen al equipo o componente.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 El Mantenimiento

El *mantenimiento* no es una función "miscelánea" , produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Debido a que el ingreso siempre provino de la venta de un producto o servicio, esta visión primaria llevó a la empresa a centrar sus esfuerzos de mejora, y con ello los recursos, en la función de producción. El *mantenimiento* fue "un problema" que surgió al querer producir continuamente, de ahí que fue visto como un mal necesario,



una función subordinada a la producción cuya finalidad era reparar desperfectos en forma rápida y barata.

Ahora bien, ¿cuál es la participación del mantenimiento en el éxito o fracaso de una empresa? Por estudios comprobados se sabe que incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto o servicio.
- Capacidad operacional.
- Capacidad de respuesta de la empresa como un ente organizado e integrado: por ejemplo, al generar e implantar soluciones innovadoras y manejar oportuna y eficazmente situaciones de cambio.
- Higiene y seguridad industrial.
- Calidad de vida de los colaboradores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía.

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, y el equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

Con la finalidad de optimizar la disponibilidad de los equipos productores, hace ya varias décadas, los departamentos de mantenimiento de las empresas están introduciendo a su gestión, programas de mantenimiento preventivo y correctivo.



Posteriormente, la necesidad de minimizar los costos propios de mantenimiento acentúa esta necesidad de organización mediante la introducción de controles adecuados de costos.

Más recientemente, la exigencia a que la industria está sometida de optimizar todos sus aspectos, tanto de costos, como de calidad, como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento.

2.2.2. Objetivos del mantenimiento

El diseño e implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior informatización debe siempre tener presente que está al servicio de unos determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

En el caso del mantenimiento, su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

El mantenimiento agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones y también alcanzar otra gama de objetivos como:



- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o parada de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

2.2.3 Tipos de mantenimiento

Se puede decir que existen cuatro tipos de mantenimiento:

- Correctivo.
- Preventivo.
- Predictivo.
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

Mantenimiento correctivo

Por mantenimiento correctivo se considera la actividad desarrollada para corregir una falla presentada en un equipo o sistema después de un paro previsto.



Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo, engloba a una serie de actividades planeadas y programadas con el objeto de ajustar, reparar o cambiar partes en equipos antes de que ocurra una falla o daños mayores, eliminando o reduciendo al mínimo los gastos de mantenimiento, es decir, que es necesario establecer controles con la finalidad de aumentar la productividad.

Mantenimiento predictivo

Este mantenimiento se realiza llevando a cabo tareas o acciones que predigan si una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrencia.

Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de los modos de falla que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional dado.

Este mantenimiento centra su atención en la Confiabilidad de los equipos o el sistema sometido a estudio.

2.2.4 CONFIABILIDAD

La Confiabilidad del componente en el tiempo t , es la probabilidad de que el componente esté en su estado normal desde el tiempo 0 hasta el tiempo t , dado que el componente fuera nuevo o tan bueno como en el tiempo cero.



Se dice que un equipo es confiable cuando funciona cada vez que se necesita y hace bien el trabajo para el cual fue diseñado, de otra manera, se dice que es desconfiable.

La *no Confiabilidad*, es el complemento de la Confiabilidad. Si la Confiabilidad en el tiempo t es $r(t)$, entonces la no confiabilidad en el tiempo t , denotada $u(t)$, viene dada por:

$$u(t) = 1 - r(t) \quad \text{Ecuación 2.1 [1]}$$

Considere los N componentes supuestamente idénticos. Todos los N componentes son nuevos o tan buenos como los nuevos para el tiempo cero. Dejemos que los componentes $N-n$ fallen en cualquier momento entre los tiempos 0 y t . La Confiabilidad del componente en el tiempo t viene dada por:

$$r(t) = \frac{n}{N} \quad \text{Ecuación 2.2 [1]}$$

Otra ecuación para la función confiabilidad es la siguiente:

$$r(t) = e^{(-\lambda t)} \quad \text{Ecuación 2.3 [1]}$$

Donde:

$r(t)$: Confiabilidad en el tiempo t .

λ : Rata de riesgo.

t : Valor en un instante de tiempo.



Vida esperada

La vida esperada de un componente es el valor estimado del tiempo para el cual el componente fallará, dado que era nuevo o tan bueno como el nuevo (no se considera ninguna reparación). Esto también se conoce como el tiempo medio para la falla (MTTF) y es dado por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} r(t) dt \quad \text{Ecuación 2.4 [1]}$$

Un procedimiento comúnmente utilizado para el cálculo del *MTTF* se describe a continuación:

Primero que todo es necesario establecer un período de tiempo de estudio del componente a analizar. Luego, es preciso obtener cierta data referente a las fallas que le ocurrieron al componente durante ese período de tiempo, la cual está compuesta por el número de fallas, tiempo de inicio de cada falla, y tiempos de reparación. Otro dato importante es conocer el tiempo del final de cada falla, que no es más que el tiempo de inicio más su tiempo de reparación.

Obtenido esto, se procede a plasmar esta información en una recta de tiempo como se muestra en la figura 2.1. Las unidades de tiempo pueden ser en minutos, horas, días, semanas, meses o años. Esto depende de la conveniencia al momento de realizar el análisis en el componente.

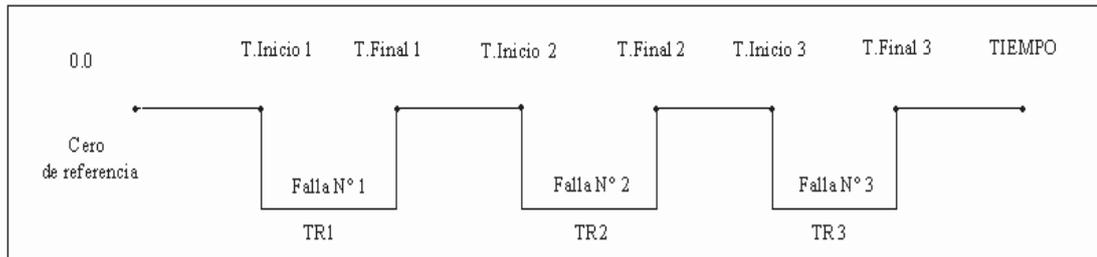


Figura N° 2.1. Recta de tiempo para el cálculo del MTTF.

Donde:

T. Inicio 1: Tiempo inicio de la falla N° 1.

T. Inicio 2: Tiempo inicio de la falla N° 2.

T. Inicio 3: Tiempo inicio de la falla N° 3.

T. Final 1: Tiempo final de la falla N° 1.

T. Final 2: Tiempo final de la falla N° 2.

T. Final 3: Tiempo final de la falla N° 3.

TR1: Tiempo de reparación de la falla N° 1.

TR2: Tiempo de reparación de la falla N° 2.

TR2: Tiempo de reparación de la falla N° 3.

“Un componente se considera tan bueno como el nuevo después de la reparación; entonces, al instante de tiempo después de la reparación se puede volver a colocar $t = 0$, como si fuera un componente nuevo” (Ingeniería de la Confiabilidad, Vallés, p54). De esta manera la figura 2.1 se convierte en la figura 2.2. En la figura 2.2a se muestra la primera falla y la primera reparación del componente. En la figura 2.2b, se muestra la historia de la reparación y falla del componente después de la primera reparación. Esencialmente, el origen se cambia a T.Final 1, el cual es el instante de tiempo cuando el primer componente se restaura para el servicio después de la reparación. La falla en la figura 2.2b ocurre para:



$$T.Inicio 2' = [T.Inicio 2 - T.Final 1] \quad \text{Ecuación 2.5}$$

El tiempo en que se restaura el componente para el servicio en la figura 2.2b es:

$$T.Final 2' = [T.Inicio 2' + TR2] \quad \text{Ecuación 2.6}$$

La figura 2.2c, se traza de manera similar.

$$T.Inicio 3' = [T.Inicio 3 - T.Final 2] \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$T.Final 3' = [T.Inicio 3' + TR3] \quad \text{Ecuación 2.8}$$

El MTTF se obtiene promediando el tiempo de inicio de falla ($T.Inicio 1'$, $T.Inicio 2'$ y $T.Inicio 3'$) en cada uno de los 3 casos, “a”, “b” y “c”, mostrados en la figura 2.2. De la misma manera se puede obtener este valor sin importar la cantidad de fallas que existan en el componente sometido a estudio obteniéndose como ecuación general la siguiente:

$$MTTF = \frac{\sum \text{tiempodefalla}}{n} \quad \text{Ecuación 2.9 [1]}$$

Siendo “n” el número de fallas que se presentaron en un período determinado de tiempo.

Finalmente, para obtener el valor del MTTF, la sumatoria de los tiempos de inicio de falla es la suma de los tiempos nombrados con anterioridad. De esta manera, la ecuación 2.9 se convierte en la ecuación 2.10.



$$MTTF = \frac{T.Inicio1 + T.Inicio2' + T.Inicio3'}{3} \quad \text{Ecuación 2.10 [1]}$$

Tiempo de reparación

El tiempo de reparación (TR), es el intervalo de tiempo desde el instante en que se produce la falla hasta el instante en que se restaura el componente para el servicio después de efectuada la reparación. El valor estimado del tiempo de reparación (tiempo para la reparación) se llama tiempo de reparación medio o tiempo medio para la reparación (MTTR). Este se puede computar como el promedio de los tiempos de reparación.

$$MTTR = \frac{\sum TR}{n} \quad \text{Ecuación 2.11 [1]}$$

Donde,

$\sum TR =$ Sumatoria de los tiempos de reparación.

$n =$ Número de reparaciones.

Rata de riesgo constante

Si dejamos que la función de riesgo $h(t)$ sea una constante con respecto al tiempo, y llamemos a la rata de riesgo λ , entonces:

$$h(t) = \lambda \quad \text{Ecuación 2.12 [1]}$$

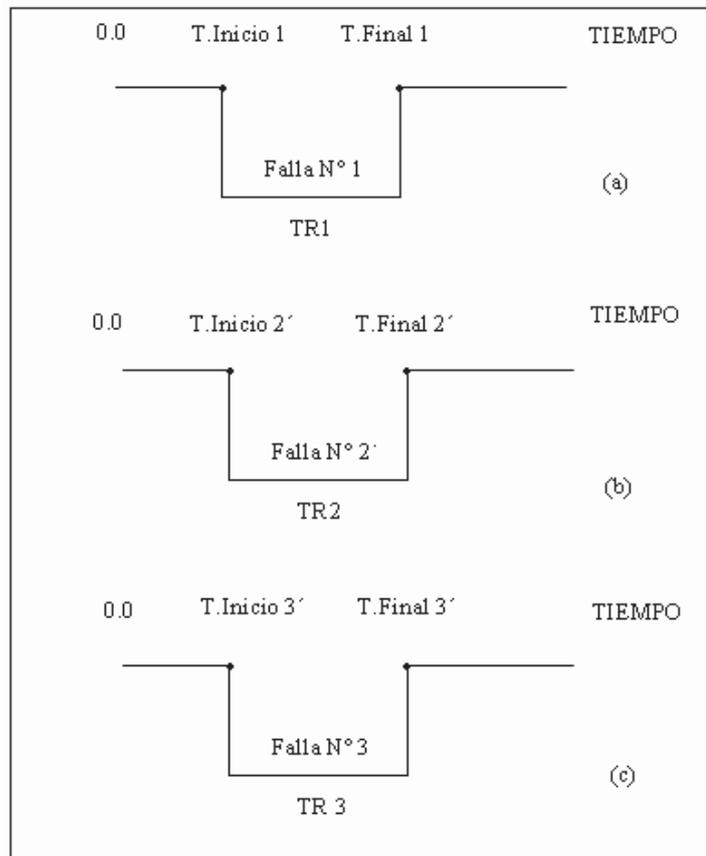


Figura N° 2.2. Nuevas rectas de tiempo para el cálculo del MTTF.

Sustituyendo la ecuación 2.3 en la ecuación 2.4, se obtiene:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Ecuación 2.13 [1]}$$

2.2.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)

El M.C.C. es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción. Esta metodología demanda una revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso determinado, las formas en que pueden



dejar de cumplirse tales funciones (fallas) y sus causas, las consecuencias de las fallas funcionales, las tareas de mantenimiento óptimas para cada situación (predictivo, preventivo, etc.) en función del impacto (seguridad, ambiente, económicas, unidades de producción).

Para identificar apropiadamente las políticas de manejo de fallas de un activo físico o sistema, se debe definir el activo o sistema. Esto incluye la selección del activo/sistema, la definición de sus límites, y la identificación del nivel de detalle más apropiado al cual se llevará a cabo el sistema.

2.2.5.1 FUNCIONES

Un proceso que es elaborado conforme a la norma SAE JA1012 comienza por preguntarse “¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?”. A continuación se discuten cinco conceptos claves concernientes a la definición de las funciones.

Función

Una función se define como lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema.

Funciones primarias y secundarias

Se deben identificar todas las funciones del activo/sistema (primarias y secundarias, incluyendo todas las funciones de los dispositivos de protección).

Las funciones deben ser divididas en dos categorías: primarias y secundarias.



a. *Funciones primarias*: La razón por la cual la organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas.

b. *Funciones secundarias*: Se espera que la mayoría de los activos desarrollen otras funciones, además de las primarias. Estas son conocidas como las funciones secundarias. Normalmente son menos obvias que las primeras. Pero la pérdida de una función secundaria también puede tener serias consecuencias, en ocasiones más serias que la pérdida de la función primaria.

Quando se identifican las funciones secundarias, se debe velar de no descuidar lo siguiente:

- Integridad ambiental.
- Integridad de seguridad/estructural.
- Control/contención/confort.
- Apariencia.
- Dispositivos y sistemas protectores.
- Economía/eficiencia.
- Superfluos.

Enunciado de la función

Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso en que se pueda hacer).

Estándares de desempeño

Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema.



Una vez que el desempeño de un activo cae por debajo del valor mínimo aceptable para el usuario, el activo ha fallado.

Como sabemos, el deterioro es inevitable, por lo tanto debe estar permitido. Esto significa que cuando algún activo entra en servicio, debe estar disponible para entregar el estándar de desempeño mínimo deseado por el usuario. Lo que el activo esta disponible a entregar en este punto se conoce como capacidad inicial. Esto significa que el desempeño puede ser definido de dos maneras:

- Desempeño deseado (que desea el usuario que haga el activo)
- Capacidad inicial (que puede hacer)

El margen de deterioro debe ser suficientemente extenso para permitir un tiempo de uso razonable antes de que los componentes se degraden hacia una falla funcional, pero no tan extenso para que el sistema esté sobre diseñado y sea también demasiado costoso.

Sin embargo, si el desempeño deseado es más alto que la capacidad inicial, ninguna cantidad de mantenimiento podrá entregar el desempeño deseado, en ese caso el activo no es mantenible.

Esto implica que para saber si un activo debe ser mantenido, necesitamos saber ambos tipos de comportamientos: capacidad inicial del activo y el desempeño mínimo que el usuario está dispuesto aceptar en el contexto en el cual el activo será utilizado. Este desempeño mínimo es el desempeño estándar que debe ser incorporado en los enunciados de la función.



Los estándares de desempeño deben ser cuantificados en los casos en que sea posible, ya que los estándares cuantitativos son más claros y más precisos que los cualitativos.

2.2.5.2 FALLAS FUNCIONALES

Definir la falla en términos de la pérdida de las funciones resulta más preciso que definir la falla de un activo como un todo. Por esto, un proceso MCC responde a la siguiente pregunta, ¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?

Un activo falla si es incapaz de hacer lo que el usuario desea que haga. El activo debe estar definido como una función, y cada activo tiene más de una (y frecuentemente varias) función diferente. Como para cada una de estas diferentes funciones existe la posibilidad de fallar, cualquier activo puede sufrir una variedad de estados de falla.

Dos puntos adicionales que se deben considerar cuando se definen las fallas funcionales son: falla parcial y total, y los límites superiores e inferiores.

Falla total y parcial

Una falla total es aquella que imposibilita al activo o sistema de llevar a cabo su función en su totalidad.

El segundo estado de falla se conoce como “falla parcial”. Estas fallas necesitan identificarse separadamente porque ellas son causadas casi siempre por modos de falla diferentes de las fallas totales, y porque las consecuencias casi siempre son también diferentes.



Límites superiores e inferiores

Estos límites implican que el activo ha fallado si opera por encima del límite superior o por debajo de límite inferior.

2.2.5.3 MODOS DE FALLA

Un proceso MCC que cumple con la norma SAE JA1012 responde a la pregunta, ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?. Esta sección discute los siguientes cinco conceptos claves:

- Identificar los modos de falla.
- Establecer que se entiende por “probable”.
- Niveles de causalidad.
- Fuentes de información.
- Tipos de modos de falla.

Identificar los modos de falla

En esta sección se menciona que el MCC distingue entre el estado de falla del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de falla (modos de falla). Es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente que se entiende por “falla”. En la tabla 2.1 se muestra la manera usual de documentar esto para cualquier función del activo o sistema tomando como ejemplo un sistema de bombeo con su respectiva función, falla funcional y algunos modos de falla. También esta tabla muestra que la descripción de un modo de falla debe contener al menos un pronombre y un verbo.



Tabla N° 2.1. Modos de falla de un sistema de bombeo.

ACTIVO: Sistema de bombeo		
FUNCIÓN	FALLA (Pérdida de la función)	Modo de Falla (Causa de la falla)
1. Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto.	A. No disponible para transferir ninguna cantidad de agua	1. Cojinete atascado 2. Motor quemado 3. Impulsor suelto
	B. Transfiere menos de 800 litros por minuto.	1. Impulsor desgastado 2. Línea de succión parcialmente bloqueada.

Estableciendo cuál es el significado de “probable”

El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla “probable” debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo.

Primero se deben identificar todos los modos de fallas probables que pueden causar una falla funcional. Si las personas entrenadas para utilizar el MCC, y quienes conocen el activo en su contexto operacional, acuerdan que la probabilidad a la que un modo de falla específico puede ocurrir es suficientemente alta para que requiera un análisis extenso entonces, el modo de falla debe ser listado.

Niveles de causalidad

Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de falla apropiada.



Los modos de falla deben ser descritos con suficiente detalle para hacer posible la selección de una política de manejo de falla apropiada, pero no en tanto detalle que se invierta demasiado tiempo en el proceso del análisis.

La magnitud a la cual los modos de falla se deben describir en diferentes niveles de detalle se ilustra en la tabla 2.2, basada en la bomba cuyas funciones y fallas funcionales fueron descritas en la tabla 2.1.

Fuentes de información de los modos de falla

Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente debido a la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables.

Tipos de modos de falla

Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que puedan ser causados por operadores o mantenedores.

2.2.5.4 EFECTOS DE FALLA

Un proceso MCC que está conforme con la norma SAE JA1012 debe preguntarse ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?. Se discuten a continuación los conceptos claves:

- Suposiciones Básicas.
- Información necesaria.



Tabla N° 2.2. Modos de falla en diferentes niveles de detalle.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
Falla el conjunto de la bomba	Falla de la bomba	Falla del impulsor	Tuerca del impulsor suelta	Montaje de la tuerca desecho Tuerca del impulsor fracturada
		Falla del sello de la bomba	Bomba trabaja en seco	Ver “fallas de suministro de agua” debajo
		Ruptura de la cabeza	Pernos de la carcaza sueltos Pernos sueltos por vibración	Objeto extraño entra al sistema
	Falla de la línea de succión	Etc.	Etc.	
	Falla del motor	Etc.		

Suposiciones básicas

Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.

Una definición de efecto de falla describe lo que puede pasar si ocurre el modo de falla. MCC hace una distinción clara entre un efecto de falla (que pasa) y una consecuencia de falla (como, y cuanto, afecta el modo de falla).



Información necesaria

Los efectos de falla deben incluir toda la información necesaria para sustentar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como:

✓ *Evidencia de que ha ocurrido la falla:* Una definición de efecto de falla debe describir si hay alguna evidencia de que el modo de falla en consideración ha ocurrido. Si es así, la misma debe describir que forma toma esta evidencia.

✓ *Amenazas a la seguridad y al ambiente:* Si hay alguna posibilidad que alguien pueda ser herido o muerto como resultado directo del modo de falla, o se viola una norma de regulación ambiental, el efecto de falla debe describir como podría ser esto, una lista seleccionada de ejemplos incluye:

- a. Incremento del riesgo de fuego o explosión.
- b. El escape de químicos peligrosos.
- c. Electrocuación.
- d. Accidentes vehiculares o descarrilamientos.
- e. Otros.

✓ *Efecto en la producción o en las operaciones:* Las descripciones de los efectos de falla deberían indicar como se afecta la producción o las operaciones, y por cuanto tiempo.

a. Tiempo fuera de servicio: cuanto tiempo el activo podría estar fuera de servicio debido a ese modo de falla.

b. Velocidad de operación: si el equipo ha bajado su velocidad como resultado de ese modo de falla.



c. Calidad: si el modo de falla afecta la calidad para la cual está configurada la función, tales como la guía de precisión o los sistemas de control, los parámetros de calidad del producto, e inclusive los asuntos de servicio al consumidor. También debe indicar si el modo de falla incrementa los desechos, causa un aborto de la misión, o incurre en penalidades financieras.

d. Otros sistemas: si otro equipo o proceso se ha detenido, bajado su velocidad, o esta afectado de cualquier otra manera por el modo de falla.

e. Costos de operación globales: si el modo de falla causa cualquier otro incremento en los costos operacionales, tales como consumo extra de energía o desgaste excesivo de los materiales del proceso.

✓ *Daño secundario*: Si el modo de falla en consideración causa daños significativos a otros componentes o sistemas, los efectos de este daño secundario también se deben registrar.

✓ *Acción correctiva requerida*: La descripción de los efectos de falla debe incluir una breve descripción de la acción que se requiere para corregir el modo de falla después que este ha ocurrido.

2.2.5.5 CONSECUENCIAS DE FALLAS

Las consecuencias de cada modo de falla deben ser formalmente categorizadas. Después que se ha identificado cada modo de falla y sus efectos a un nivel de detalle apropiado, el siguiente paso en el MCC es evaluar las consecuencias de cada modo de falla. La fuente primordial de información utilizada para evaluar las consecuencias de falla es la descripción de los efectos de falla.



Si las consecuencias son muy serias, entonces se deberán hacer esfuerzos considerables para prevenir el modo de falla, o al menos para anticiparlo en el tiempo con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias.

Estas consecuencias se encuentran divididas en cuatro categorías en dos fases. La primera fase separa las fallas ocultas de las evidentes.

Fallas evidentes y ocultas

Una falla oculta es un modo de falla cuyos efectos no son apreciables para el equipo de operadores en circunstancias normales si el modo de falla ocurre aislado. Recíprocamente, una falla evidente es un modo de falla cuyos efectos son apreciables para el equipo de operadores en circunstancias normales si el modo de falla ocurre aislado.

Fallas ocultas y protección

La función de cualquier protección es asegurar que las consecuencias de la falla de la función protegida sean mucho menos serias de lo que hubiesen sido si no tuviese protección. Así, cualquier función protectora es, de hecho parte de un sistema con al menos dos componentes:

- ✓ La función protectora.
- ✓ La función protegida.

La existencia de tales sistemas crea dos conjuntos de posibilidades de falla, dependiendo si la falla de la protección es evidente o no.



Fallas evidentes de las funciones protectoras

En este contexto, una falla “evidente” de una función protectora es aquella mediante la cual los efectos del modo de falla aislado se vuelven apreciables para el equipo de operadores en circunstancias normales. La existencia de tales modos de falla crea tres escenarios posibles en cualquier período, como sigue.

La *primera posibilidad* es que ni la función protectora ni la función protegida fallen. En ese caso todo procede normalmente.

La *segunda posibilidad* es que la función protegida falle antes de la protección. En ese caso la protección llevará a cabo su función, y dependiendo de la naturaleza de la protección, las consecuencias de falla de la función protegida son reducidas o eliminadas.

La *tercera posibilidad* es que la función protectora falle antes que la función protegida. Debido a que esta falla es “evidente”, la pérdida de la protección se debe convertir en aparente. En esta situación, la posibilidad de que la función protegida falle mientras la función protectora está en estado de falla, debe ser casi eliminada, bien sea por el paro de la función protegida o por proveer una protección alternativa hasta que se restaure la función protectora que falló. Esto implica a su vez, que las consecuencias de una falla evidente de una función protectora normalmente entran en las categorías “operacional” o “no operacional”.

Funciones Protectoras cuya Falla no es Evidente

Las fallas ocultas se pueden identificar al hacerse la siguiente pregunta:



¿Algunos de los efectos de este modo de falla se harán evidentes para el equipo de operaciones en circunstancias normales si el modo de falla ocurre aislado?

Si la respuesta a esta pregunta es no, el modo de falla es oculto. Si la respuesta es si, es evidente. Nótese que en este contexto, “aislado” significa que nada más ha fallado.

La existencia de tales modos de falla crea cuatro escenarios posibles en cualquier período, los cuales también se aplican a las fallas evidentes de las funciones protectoras.

La *primera posibilidad* es que ninguna función falla, en cuyo caso todo procede normalmente como antes.

La *segunda posibilidad* es que la función protegida falla cuando la protección está funcionando, en ese caso las consecuencias de fallas de la función protegida son de nuevo reducidas o eliminadas del todo.

La *tercera posibilidad* es que falle la protección mientras la protegida está operando. No hay consecuencias directas. De hecho nadie sabe que la protección está en estado de falla.

La *cuarta posibilidad* durante cualquier ciclo es que falle la protección, entonces la función protegida falla mientras la protección está en estado de falla. Esta situación se conoce como falla múltiple.



Consecuencias en la seguridad, el ambiente, operacionales y no operacionales

El proceso de categorización de consecuencias debe distinguir claramente los eventos (modos de falla y fallas múltiples) que tengan consecuencias en la seguridad y/o en el ambiente de los que sólo tengan consecuencias económicas (operacionales y no operacionales). A lo largo de este tópico, “falla” se refiere a un modo de falla o una falla múltiple.

Consecuencias en la seguridad

Una falla tiene consecuencias en la seguridad si existe una probabilidad intolerable de que pueda matar o dañar a un ser humano.

Consecuencias ambientales

Una falla tiene consecuencias ambientales si existe una probabilidad intolerable de que puede violar cualquier norma o regulación ambiental conocida.

Consecuencias operacionales

En general, las fallas afectan las operaciones de cuatro maneras:

- a. Afectan el rendimiento o la producción total.
- b. Afectan la calidad del producto.
- c. Afectan el servicio al consumidor (posibles penalidades financieras).
- d. Incrementan los costos operacionales en adición a los costos directos de reparación.



Por ésta razón, si una falla evidente no constituye una amenaza a la seguridad o al ambiente, el proceso MCC se enfoca luego en las consecuencias operacionales de la falla.

Consecuencias no operacionales

Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación de las mismas y de cualquier daño secundario, entonces estas consecuencias son también económicas.

2.2.5.6 MANEJO DE LAS CONSECUENCIAS DE FALLA

Modos de falla evidente con consecuencias en el ambiente o en la seguridad

En el caso de que un modo de falla evidente tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.

Modos de falla oculta con consecuencias en la seguridad y en el ambiente

En el caso de un modo de falla oculta en el que la falla múltiple asociada tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla oculta a una magnitud que disminuya la probabilidad de la falla múltiple asociada a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.

Modos de falla evidente con consecuencias económicas

En el caso de un modo de falla evidente que no tenga consecuencias en la seguridad o el ambiente, los costos directos o indirectos de la tarea deben ser menores



que los costos directos o indirectos del modo de falla cuando se calculan en períodos de tiempo comparables.

Para evaluar la viabilidad económica de cualquier tarea, es necesario comparar el costo total del modo de falla en un período dado con el costo total de la política de manejo de falla en el mismo período.

Si el costo de realizar la tarea en ese período es menor que el costo total del modo de falla, entonces vale la pena hacerla.

2.2.5.7 POLÍTICAS DE MANEJO DE FALLAS

TAREAS PROGRAMADAS

A. Tareas basadas en condición

Cualquier tarea basada en condición que se seleccione debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- a. Debe existir una falla potencial claramente definida.
- b. Debe existir un intervalo P-F identificable.
- c. El intervalo de la tarea debe ser menor que el intervalo P-F probable más corto.
- d. Debe ser físicamente posible realizar una tarea en intervalos menores que el intervalo P-F.
- e. El tiempo más corto entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional debe ser suficientemente largo para predeterminedar la acción a ser tomada.



Falla potencial

Una falla potencial se define como una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrencia. Si esta condición puede ser detectada, podría ser posible tomar una acción para prevenir que el elemento falle completamente y/o evitar la consecuencia del modo de falla.

En la figura 2.3 se ilustra lo que ocurre en las fases finales del proceso de falla. Esta curva se llama P-F. Si se detecta una falla funcional entre el punto P y el punto F de esta figura, este es el punto en el cual podría ser posible tomar una acción para prevenir la falla funcional y/o evitar sus consecuencias. Las tareas diseñadas para detectar las fallas potenciales se conocen como tareas basadas en condición. Esto se conoce también como *mantenimiento predictivo* porque se trata de predecir si el elemento va a fallar en base a su comportamiento actual, o *mantenimiento basado en condición* porque la necesidad de una acción correctiva para evitar consecuencias está basada en una evaluación de la condición del elemento.

El intervalo P-F

En adición a la falla potencial, también es necesario considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto en el cual ocurre la falla potencial y el punto en el que se deteriora hacia una falla funcional.

El intervalo P-F determina que tan frecuente se deben hacer las tareas basadas en condición. Para detectar la falla potencial antes que se convierta en una falla funcional, el intervalo entre revisiones debe ser menor que el intervalo P-F. También es necesario que la condición de falla potencial sea lo suficientemente clara para tener la certeza de que se detectará esta falla siempre y cuando ocurra.

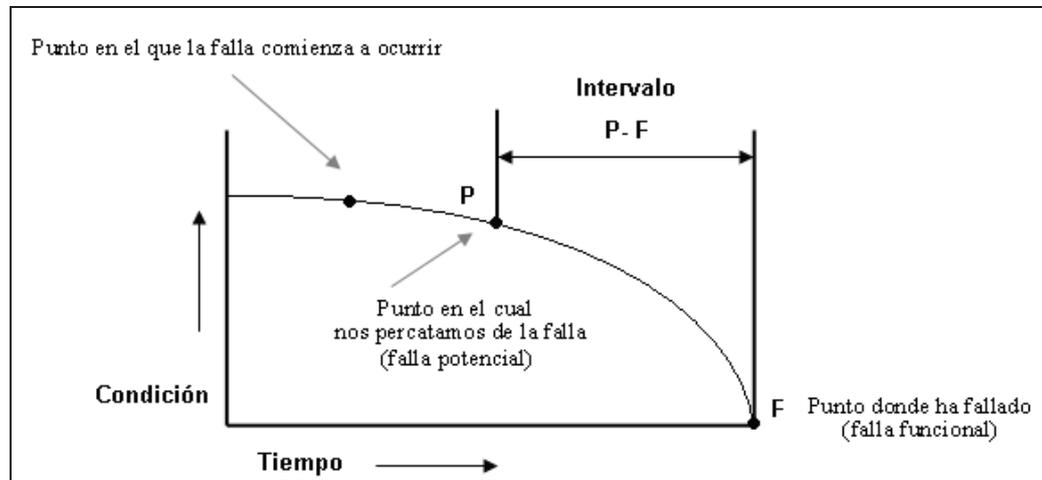


Figura N° 2.3. Curva P-F.

Algunas veces es apropiado seleccionar intervalos de tarea que representen una fracción del intervalo P-F. Esto se puede regir por el intervalo P-F neto requerido, o puede ser porque el usuario tiene datos históricos relevantes que dictaminan que una fracción diferente es apropiada.

Intervalo neto P-F

El intervalo neto P-F es el intervalo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional. Este se ilustra en la figura 2.4, la cual muestra un proceso de falla con un intervalo P-F de nueve meses. La figura muestra que si el elemento es revisado mensualmente, el intervalo P-F neto es de 8 meses. Por otro lado, si es revisado semestralmente, el intervalo neto P-F debería ser de 3 meses. Entonces, en el primer caso el tiempo mínimo disponible para realizar cualquier tarea con respecto a la falla potencial es cinco meses mayor que en el segundo, pero la tarea basada en condición tiene que ser realizada con una frecuencia seis meses mayor.



La relación entre el intervalo P-F y la longevidad

Cuando se aplican estos principios por primera vez, las personas frecuentemente tienen la dificultad de distinguir entre la “vida” de un componente y el intervalo P-F. Esto los lleva a basar las frecuencias de las tareas basadas en condición en la “vida” real o imaginaria del elemento. Esta vida es mucho mayor que el intervalo P-F, de modo que la tarea logra poco o nada. En la realidad, la vida del componente puede comenzar a medirse a partir del momento en que entra en servicio. En cambio el intervalo P-F se mide partiendo desde el momento en que sucede la falla funcional descontando tiempo a lo largo de su vida útil. La distinción es importante ya que los modos de falla no están relacionados con la longevidad. Este es el caso en los componentes cuyas fallas son aleatorias.

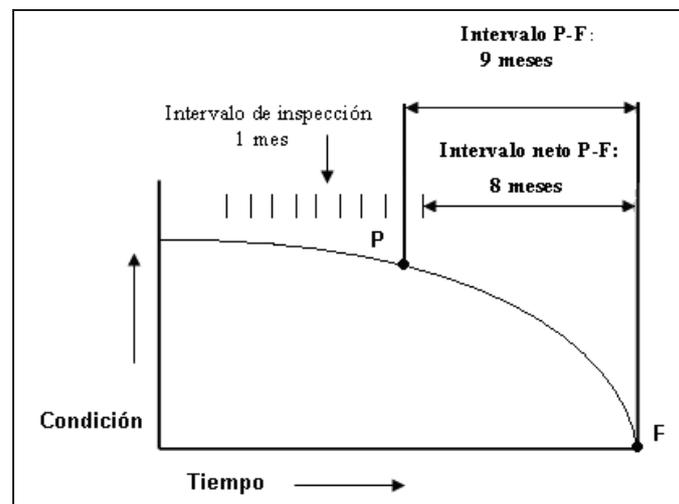


Figura N° 2.4. Ejemplo Intervalo neto P-F.

Sin embargo, esto no significa que las tareas basadas en condición aplican sólo a elementos que fallan sobre una base aleatoria. Estas también se deben aplicar a elementos que sufren modos de falla relacionados con la longevidad.



Si un elemento se deteriora de una manera más o menos lineal a lo largo de su vida, está supuesto razonar que las fases finales de deterioro serán también más o menos lineales. Esto es probable que sea verdadero para modos de falla relacionados con la longevidad.

En general, el deterioro entre “P” y “F” probablemente sólo se encuentra en los casos en los cuales los mecanismos de falla estén intrínsecamente relacionados con la longevidad.

Categorías de técnicas basadas en condición:

a. *Las técnicas basadas en las variaciones de la calidad del producto:* En muchos casos, la emergencia de un defecto en un artículo producido por una máquina está directamente relacionada a un modo de falla de la misma.

b. *Técnicas de monitoreo de efectos primarios:* Los efectos primarios (velocidad, caudal, presión, temperatura, potencia, etc.) son otras fuentes de información acerca de la condición del equipo. Los efectos pueden ser monitoreados a través de la lectura de un indicador, por computador, entre otros.

c. *Técnicas basadas en los sentidos humanos:* observar, escuchar, sentir y oler.

d. *Técnicas de monitoreo de condición:* Involucran el uso de equipo especializado, el cual algunas veces se incorpora al equipo que se está monitoreando.

B. Tareas de desincorporación programada y restauración programada

La desincorporación programada significa desincorporar un componente a (o antes de) un límite de longevidad especificado. Indiferentemente de su condición en



el momento. Esto se hace en el supuesto de que al reemplazar un viejo componente con uno nuevo se restaurará la resistencia original a fallar.

Cualquier tarea de desincorporación programada seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

a. Debe estar claramente definida la longevidad en la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.

b. Debe existir una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de falla después de esta longevidad para reducir la probabilidad de una falla prematura a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.

La restauración programada vincula la toma de acciones periódicas para restaurar la capacidad de un elemento a (antes de) un intervalo especificado (límite de longevidad) indiferentemente de su condición en el momento, a un nivel que provea una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final o hasta otro intervalo especificado.

Cualquier tarea de restauración programada seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

c. Debe estar claramente definida la longevidad en la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.

d. Debe existir una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de falla después de esta longevidad para reducir la probabilidad de una falla prematura a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.



e. La tarea debe restaurar la resistencia a fallar (condición) del componente a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.

TAREAS NO PROGRAMADAS

A. Cambio de especificaciones

El término “cambio de especificaciones” se utiliza para referirse a estas intervenciones porque normalmente se hacen una sola vez en cualquier sistema específico, como oposición a las tareas programadas las cuales se realizan en intervalos regulares.

En los casos donde las tareas programadas no estén disponibles, pueden ser necesarios cambios de especificaciones del activo o sistema, sujetos a los siguientes criterios:

a. En los casos donde la falla es oculta, y la falla múltiple asociada tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, son mandatarios cambios de especificaciones que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.

b. En los casos donde el modo de falla es evidente y tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente.

c. En casos donde el modo de falla es oculto y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio de especificaciones debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.



d. En casos donde el modo de falla es evidente y no tiene consecuencias en la seguridad o en el ambiente, cualquier cambio de especificaciones debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.

Si un modo de falla puede afectar la seguridad o el ambiente y no se puede encontrar una tarea programada o una combinación de tareas que reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerable, se debe cambiar algo, simplemente porque estamos tratando con una amenaza a la seguridad o el ambiente que no puede ser prevenida adecuadamente. En estos casos, normalmente se emprende un rediseño.

Para algunos modos de falla con consecuencias operacionales y no operacionales, la política de manejo de fallas más costo-efectiva podría ser cambiar el sistema para reducir los costos totales.

B. Operar hasta fallar

Cualquier política de operar hasta fallar seleccionada debe satisfacer los criterios apropiados como sigue:

a. En casos donde la falla es oculta y no hay ninguna tarea programada apropiada, la falla múltiple asociada no debe tener consecuencias en la seguridad o en el ambiente.

b. En casos donde la falla es evidente y no ha ninguna tarea programada, el modo de falla asociado no debe tener consecuencias en la seguridad o ambiente.

En el caso de algunas fallas que son evidentes y que no afectan la seguridad o el ambiente, o que son ocultas y la falla múltiple no afecta la seguridad o el ambiente, la política de manejo de fallas más costo-efectiva podría ser simplemente permitir que



las fallas ocurran y entonces tomar pasos apropiados para repararlas. En otras palabras “operar hasta fallar” es válido solo si:

- a. No se puede encontrar una tarea programada conveniente para una falla oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad o ambiente.
- b. No se puede encontrar una tarea proactiva costo-efectiva para fallas con consecuencias operacionales y no operacionales.

2.2.5.8 SELECCIÓN DE LAS POLÍTICAS DE MANEJO DE FALLAS

La relación entre longevidad y falla

Uno de los factores mas importantes que afecta la selección de cualquier política de manejo de fallas es la relación entre la longevidad y la falla.

En general, los patrones de falla relacionados a la longevidad aplican a elementos que son muy simples, o elementos muy complejos que sufren un modo de falla dominante. En la práctica, están comúnmente asociados con el desgaste directo, fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

Técnicamente factible y vale la pena hacerlo

Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y deben valer la pena hacerlas.

Cualquier tarea programada vale la pena hacerla sólo si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla a una magnitud que justifique los costos directos o indirectos de realizar la tarea.



Si no se puede hallar una tarea programada apropiada, y si las consecuencias del modo de falla no son aceptadas por el dueño o usuario del activo, entonces se debe encontrar alguna otra manera de manejar las consecuencias de falla.

Efectividad de costo

Si dos o más políticas de manejo de falla propuestas son técnicamente factibles y valen la pena hacerlas, se debe seleccionar la política que sea más costo-efectiva. El trabajo está en siempre seleccionar la política que maneje satisfactoriamente las consecuencias del modo de falla en la forma más económica, antes que aquella que sea más sofisticada técnicamente.

Dos aproximaciones

Se pueden utilizar dos aproximaciones distintas para seleccionar las políticas de manejo de fallas.

1. Aproximación rigurosa

Requiere que los usuarios, al evaluar las consecuencias económicas y en la seguridad/ambiente de cada modo de falla, consideren todas las opciones de políticas de manejo de fallas técnicamente factibles que se puedan aplicar a cada modo de falla, y seleccionen una política de manejo de fallas que se ajuste más efectivamente tanto a las consecuencias económicas como a las consecuencias en seguridad/ambiente.



2. Aproximación del diagrama de decisiones

Todas las aproximaciones hacia el MCC del diagrama de decisión están basadas en la suposición de que las consecuencias en la seguridad/ambiente deben estar previamente ajustadas con las consecuencias económicas. Otra suposición es que algunas categorías de las políticas de manejo de fallas siempre son más costo-efectivas que otras.

Las tareas basadas en condición se consideran en primer lugar en el proceso de selección de tareas. Si no se puede encontrar una tarea basada en condición conveniente para una falla en particular, la próxima opción es una tarea de desincorporación programada y restauración programada.

Por último, de no encontrar una de las dos tareas antes mencionadas, permitir que el modo de falla ocurra sería menos costoso, y de ahora en adelante se debe seleccionar el permitir que ocurra el modo de falla (operar hasta fallar) como una política de manejo de fallas apropiada.

Los diagramas de decisión hacia el MCC buscan obtener el desempeño deseado de cualquier sistema en su configuración actual antes de intentar cambiar la configuración del sistema (cambio de especificaciones). En la figura 2.5, se ilustra el diagrama de decisiones para un MCC.

2.2.6 MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos establecidos.



La mantenibilidad, es entonces la función de eficiencia que mide la capacidad de un componente o equipo de cambiar de un estado inoperante a un estado de operación satisfactorio.

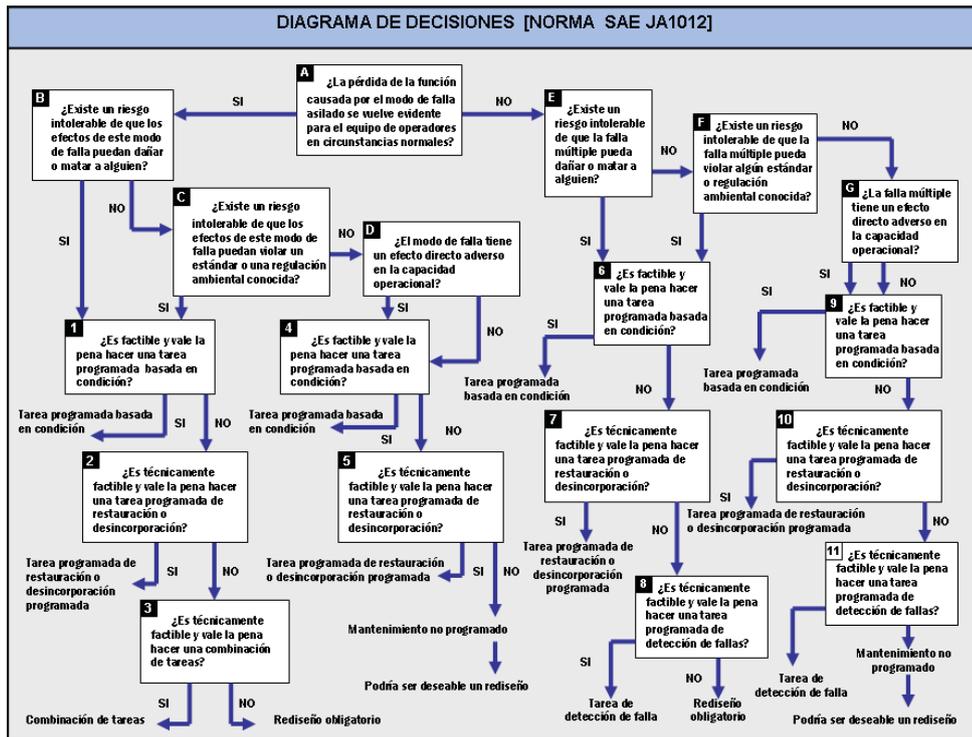


Figura N° 2.5. Diagrama de Decisiones.

Factores principales

La buena mantenibilidad es una función de varios factores, los cuales se pueden agrupar en operacionales y de diseño.

Operacionales

Estos factores generalmente se relacionan con el factor humano encargado del equipo y de mantenerlo, así también con lo asociado al medio ambiente. A éstos



pertenecen equipos de levantamiento y manejo, políticas y normas de mantenimiento preventivo, disponibilidad de repuestos, espacio para trabajar, destrezas del personal, sistema de control de trabajo, calidad de la supervisión, comunicaciones, técnicas usadas para corregir las fallas y el soporte logístico.

El tipo de entrenamiento y aptitud del personal, es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta. Personal sin entrenamiento, no sólo retarda la acción de mantenimiento, sino que a causa de su desconocimiento del equipo, puede originar serias dificultades en el sistema.

Para la obtención de buenos resultados con los factores mencionados, la mantenibilidad debe ser diseñada durante la fase de especificaciones y selección de equipos.

Diseño

Las consideraciones que durante la fase de diseño se hagan sobre la distribución física y accesibilidad del equipo, modulación, intercambio y reemplazo, normalización y niveles iniciales de repuestos, tienen una influencia significativa, no sólo sobre el nivel mismo de la mantenibilidad del sistema, sino también sobre el potencial de mejoramiento de dicha mantenibilidad.

Cálculo de la Mantenibilidad

El cálculo de la Mantenibilidad se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$M(t) = 1 - e^{(-t / MTTR)} \quad \text{Ecuación 2.14 [7]}$$



Donde:

$M(t)$ = *Mantenibilidad en un determinado tiempo.*

t = *Valor en un instante de tiempo.*

$MTTR$ = *Tiempo promedio para la reparación,*

2.2.7 DISPONIBILIDAD

La disponibilidad se define como la probabilidad de que un equipo esté operando, o sea, disponible para su uso, durante un periodo de tiempo determinado.

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo este disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

Cálculo de la disponibilidad

El cálculo de la disponibilidad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \text{Ecuación 2.15 [1]}$$

Donde:

D = *Disponibilidad.*

$MTTF$: *Tiempo medio para la falla.*

$MTTR$: *Tiempo medio para la reparación.*



La disponibilidad calculada de esta manera, representa aquella función del tiempo total durante la cual el equipo es operable, o sea, la razón que existe entre el tiempo de servicio y el tiempo total.

La disponibilidad es la mejor cifra mérito para la utilidad de un equipo, es un índice cuantitativo y puede ser especificado en la etapa de diseño.

2.2.8 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Consecuencias ambientales: Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias ambientales si puede violar cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional e internacional.

Consecuencias de falla: Los efectos que puede provocar un modo de falla o falla múltiple.

Consecuencias en la seguridad: Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias en la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano.

Consecuencias no operacionales: Una categoría de consecuencias de falla que no afecta adversamente la seguridad, el ambiente o las operaciones, y que sólo requiere reparación o reemplazo de cualquier elemento (s) que podría ser afectado por la falla.

Consecuencias operacionales: Una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al consumidor, entre otros).



Desincorporación programada: Una tarea programada que trae consigo la desincorporación de un componente en o antes de un límite de longevidad específico sin tener en cuenta su condición en el momento.

Dueño o Usuario: Una persona u organización que puede sufrir o acarrear la responsabilidad de las consecuencias de un modo de falla en virtud de la propiedad del activo o sistema.

Efecto de falla: Lo que pasa cuando ocurre un modo de falla.

Falla evidente: Un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.

Falla oculta: Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.

Falla potencial: Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está proceso de ocurrir.

Longevidad: Una medida de exposición al esfuerzo calculada desde el momento en el cual un elemento o componente entra en servicio cuando nuevo o vuelve a entrar en servicio después de una tarea designada para restaurar su capacidad inicial, y puede ser medida en términos de tiempo de calendario, tiempo de operación, distancia, ciclos, entre otros.

Modo de falla: Evento único que causa una falla funcional.

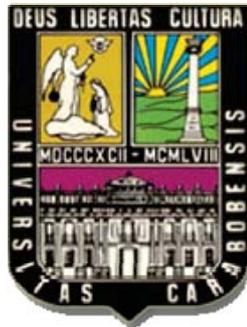
Operar hasta fallar: Una política de manejo de fallas que permite que un modo de falla específico ocurra sin ningún esfuerzo para anticiparla o prevenirla.



Restauración programada: Una tarea programada que restaura la capacidad de un elemento en (o antes) un intervalo especificado (límite de longevidad), sin tener en cuenta su condición en el momento, a un nivel que proporciona una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final de otro intervalo especificado

Tarea basada en condición: Una tarea programada usada para detectar una falla potencial.

Tiempo de reparación: Es el intervalo de tiempo desde el instante en que produce la falla hasta el instante en que se restaura el componente para el servicio después de efectuada la reparación.



CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO



3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de la investigación

En atención a las características que presenta el siguiente trabajo especial de grado y los objetivos que persigue, el mismo se considera como proyecto factible. Al respecto, el Manual de La Universidad Experimental Libertador (1998) manifiesta que:

“El proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de una organización o grupo social. La propuesta debe tener apoyo, en una investigación de tipo documental y debe referirse a la formulación de políticas, programas, métodos y procesos”.

De igual manera, el estudio está apoyado en una investigación de tipo descriptiva, la cual consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Este tipo de investigación tiene como objetivo, brindar una percepción del funcionamiento de un fenómeno y de las maneras en que se comportan las variables, factores o elementos que lo componen.

El desarrollo de la investigación descriptiva, se llevará a cabo a través de las herramientas del mantenimiento centrado en confiabilidad, y mediante el análisis de los componentes comparativos y evaluativos del área en estudio.



3.2 Diseño de la investigación

Para la ejecución del trabajo se lleva a cabo un procedimiento metodológico, estructurado en fases, las cuales se mencionan a continuación:

Fase 1.- Definición de los sistemas y equipos para el estudio

Inicialmente, es necesario conocer los equipos existentes en la planta, su función, cantidad y ubicación dentro de la misma. Esta fase también comprende la evaluación de criterios, los cuales en base a la información recolectada, permitirán seleccionar los sistemas y equipos que formarán parte del estudio a realizar.

Fase 2.- Análisis y clasificación de la información recolectada

Luego de haber definido los sistemas y equipos de estudio, es necesario realizar el análisis de los datos recabados, esto se llevará a cabo mediante la organización y clasificación de la información obtenida. Esta fase comprende además la digitalización de los datos históricos de falla correspondientes a los equipos del estudio.

Fase 3.- Elaboración del diagrama de análisis de modos y efectos de falla. (AMEF)

Para la elaboración de este diagrama, es necesario seguir una serie de pasos, los cuales se mencionan a continuación:

- Realizar el análisis funcional

En este paso, se definen todas y cada una de las funciones que cumple cada equipo dentro del sistema al cual pertenece.



- *Establecer las fallas funcionales*

Consiste en determinar las formas en las que cada equipo puede dejar de ejecutar cada una de sus funciones.

- *Determinar los modos de falla*

Se refiere a precisar todos los eventos que causan las fallas funcionales de los equipos en estudio; incluyendo modos de fallas que han ocurrido, ocurren y los que se crean probables de ocurrencia.

- *Determinar los efectos de la Falla*

Se refiere a determinar todos los posibles efectos que puede ocasionar un modo de falla en particular.

Fase 4.- Evaluación de los componentes comparativos de la planta en la situación actual.

En esta fase se realiza la evaluación de tres parámetros, los cuales se mencionan a continuación:

- *Confiabilidad*

Mediante los valores suministrados por los datos históricos de falla y a través de la modelación matemática, con base en la Ley exponencial de la confiabilidad se procede al cálculo de la misma. Posteriormente se grafica el comportamiento de la Confiabilidad vs. Tiempo, del estudio realizado.



- *Costos del mantenimiento*

En esta sección se evalúan los costos actuales del mantenimiento para la planta en estudio, es decir, cual es el costo de las acciones de mantenimiento llevadas a cabo y cuanto deberían ser.

- *Productividad*

En este punto se evalúa la gestión de mantenimiento en términos de producción y operaciones, así como los niveles deseados para que la empresa permanezca competitiva ante el sector económico.

Fase 5.- Consecuencias de las fallas

Para cada modo de falla listado y en base a los efectos de falla de los equipos de estudio se evalúan las consecuencias de la ocurrencia de la falla; con esto se establecerán las bases para la selección de las políticas de manejo de fallas.

Fase 6.- Políticas de manejo de fallas

Una vez que se han elaborado las consecuencias para los modos de falla, se establecen las acciones de mantenimiento a seguir para reducir o evitar las consecuencias de cada modo de falla en particular a un nivel tolerable para la empresa y los usuarios de los equipos.

Fase 7.- Elaboración del plan de mantenimiento

Luego de seleccionar las políticas de manejo de fallas para los equipos en estudio, en esta fase se establecen las frecuencias de las acciones de mantenimiento a seguir; el esfuerzo requerido de personal para llevar a cabo estas acciones; descripción de las actividades y su planificación en base anual.



Fase 8.- Evaluación de los componentes comparativos después de la implementación del plan de mantenimiento

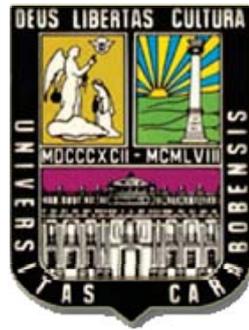
En esta fase se estiman los valores de confiabilidad, costos y productividad de la planta, que se obtendrán con la implementación del plan de mantenimiento.

Fase 9.- Realizar el estudio de los componentes evaluativos del plan de mantenimiento

Comprende el estudio de Disponibilidad, Mantenibilidad, Seguridad e Impacto ambiental, de los equipos y sistemas en estudio antes y después de la elaboración el plan de mantenimiento.

Fase 10.- Elaboración del software de mantenimiento.

En esta etapa se diseña un software, que permita la gestión de los registros de mantenimiento correctivo y preventivo y el inventario de equipos indispensables para la implementación del plan de mantenimiento desarrollado.



CAPITULO IV

DESARROLLO



4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Definición de los sistemas y equipos para el estudio

Para el desarrollo de nuestro trabajo especial de grado, nos dirigimos a la empresa *Domínguez & Cía.*, donde fuimos remitidos al departamento de mantenimiento perteneciente al área de Litografía. En este área, la gerencia nos propuso la elaboración de un plan de mantenimiento dirigido a las diez (10) líneas de producción que forman parte de esta sección de la empresa.

Dado que realizar un plan de mantenimiento a las diez líneas de producción sería un estudio sumamente extenso debido a que los equipos que componen éstas líneas son similares, se decidió trabajar con una sola línea de producción. La escogencia de ésta línea requirió de un proceso de evaluación y selección apropiado de manera de poder determinar cuál sería la más importante tanto para el área de Litografía como para nuestro estudio. De igual manera, el plan de mantenimiento elaborado debió ser compatible para todas las líneas de producción de éste área.

Ante esto, se procedió a recabar la información necesaria de las líneas de producción, esto gracias a la colaboración del gerente de área y del supervisor de mantenimiento, el cual brindó información valiosa acerca de la situación actual y el funcionamiento de los equipos que conforman el estudio. De igual manera, se entrevistó al personal encargado de ejecutar el mantenimiento de dicha área.

Mediante la visita a la empresa y la información obtenida a través del personal que labora en ella, se procedió a evaluar los equipos y sistemas que conformarían la muestra de estudio.



El proceso de evaluación y selección de la línea de producción con la cual se llevaría a cabo la elaboración del plan de mantenimiento se explica de manera detallada en la sección siguiente:

4.1.2 Selección de la línea para el estudio (evaluación de los equipos en planta)

Con el fin de poder seleccionar la línea de producción que conformaría la muestra del estudio realizado, se aplicó el procedimiento de ponderación de criterios descrito en el texto “Estrategias creativas en el diseño mecánico” (Vílchez, 2006, p 63).

Método de Ponderación de Criterios

Este método consta de tres fases:

a. **FASE I.** Posibles soluciones (PS)

Se identifica como “posibles soluciones” aquellas alternativas que a simple vista cumplen con las características de estudio sin entrar en un análisis detallado de cada una.

Las Posibles Soluciones en este trabajo de grado son todas las líneas de producción concernientes al área de Litografía y se muestran en la tabla 4.1.

b. **FASE II.** Restricciones

La aplicación de “restricciones” permite eliminar “posibles soluciones” sin necesidad de compararlas entre sí. La finalidad es que luego de aplicar restricciones, se haya realizado un pequeño proceso de filtrado a las alternativas planteadas y por



ende se descarten soluciones poco viables. Para que una “posible solución” se convierta en “solución” es necesario que cumpla con todas las restricciones del problema. Esto es manejado fácilmente mediante una tabla donde se reflejan las *Posibles soluciones Vs. Restricciones*. En el recuadro donde una posible solución cumpla con una restricción se coloca un “SI”, en el caso de no cumplir se coloca un “NO”. De esta manera el diseñador se puede dar cuenta de cuales son las posibles soluciones descartadas y las soluciones determinadas.

El análisis que se lleva a cabo en este trabajo de grado es en *modo funcional* y no en *modo estacionario*, por ende, la restricción a plantear es que las líneas de producción se encuentren operativas.

Tabla N° 4.1. Posibles Soluciones

Posibles Soluciones	
PS-1	Línea 1
PS-2	Línea 2
PS-3	Línea 3
PS-4	Línea 4
PS-5	Línea 5
PS-6	Línea 6
PS-7	Línea 7
PS-8	Línea 8
PS-9	Línea 9
PS-10	Línea 10

Restricción

R: Operatividad de la línea de producción



Para conocer si la posible solución cumple con la restricción, se puede formular la siguiente pregunta. *¿Está en operación la línea de producción indicada?*

Entonces es realizado el primer estudio. (Ver tabla 4.2)

Tabla N° 4.2. Aplicación de estricciones.

RESTRICCIONES	POSIBLES SOLUCIONES									
	PS-1	PS-2	PS-3	PS-4	PS-5	PS-6	PS-7	PS-8	PS-9	PS-10
R	Si	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si

Como resultado, en la tabla 4.3 se tabulan las soluciones determinadas

Tabla N° 4.3. Soluciones

Soluciones	
S-1	Línea 1
S-2	Línea 4
S-3	Línea 6
S-4	Línea 8
S-5	Línea 9
S-6	Línea 10

c. **FASE III.** Aplicación de *criterios* a la Soluciones

Esta etapa consta de tres pasos:

- *Ponderación de criterios (C)*

Es necesario primero establecer criterios, que permitan la escogencia de la línea de producción adecuada para realizar el estudio; en base a esto se tomaron en cuenta los siguientes:



- Historial de fallas completo (C-1): Para realizar un análisis centrado en confiabilidad, un requisito indispensable es contar con historiales de fallas de los equipos a estudiar. De lo contrario, se debería recurrir a la búsqueda de historiales de equipos similares o crear un historial de fallas de los equipos en planta; un estudio como el mencionado se lleva a cabo durante cierto período de tiempo, por lo general meses o años para obtener mayor precisión y exactitud en los resultados”. Esto depende del sistema a estudiar y la finalidad es obtener la cantidad de fallas que ocurrieron durante éste período de tiempo: tiempos de ocurrencia de la falla, tiempos de reparación, y observaciones que describan lo mejor posible estas fallas para poder realizar los pertinentes cálculos de Confiabilidad.

Por lo mencionado anteriormente, es de suma importancia contar con los historiales de fallas de los equipos sometidos a estudio ya que ahorrarían una gran inversión de tiempo y trabajo en el análisis Centrado en Confiabilidad.

- Manuales de mantenimiento de los equipos (C-2): Dentro de un estudio de mantenimiento centrado en confiabilidad se encuentra el “*análisis de modos y efectos de falla*”, comúnmente llamado “AMEF” por sus iniciales. Durante este análisis, se describen todas las fallas y modos de falla que ocurren en los equipos y en sus componentes. Contar con manuales de mantenimiento ayudaría de gran manera a construir el AMEF, ya que dentro de los mismos se encuentra información detallada tanto de la existencia de los equipos y sus componentes como de su funcionamiento.

- Importancia para la producción (C-3): La producción juega un papel importante dentro de la escogencia de la línea de estudio. Las líneas más críticas tomando en cuenta a este criterio, serían las que mayor producción realizan, es decir, las que más producen en cuanto a cantidad y las que mejor producen en cuanto a calidad en determinado tiempo. Por ende, las fallas que ocurran en estos equipos críticos ocasionarían mayores pérdidas para la empresa.



- Número de equipos en la línea (C-4): Mientras más equipos posea una línea de producción mayor es el número de componentes propensos a fallar. Por esto, se expresará como línea crítica la que posea mayor número de equipos.

Ya establecidos los criterios, es necesario crear una escala para la ponderación. Ésta será del uno al diez [1-10], donde a mayor valor asignado, el criterio será más relevante.

Historial de fallas completo (C-1): Ya que contar con un historial de fallas completo es de suma importancia para un análisis centrado en confiabilidad, se le otorgó un valor de Diez (10).

Importancia para la producción (C-3): Aunque la producción juega un papel importante a la hora de seleccionar la criticidad de las líneas, el criterio anterior tiene mayor importancia. En ese caso la ponderación equivalente es de Ocho (8).

Número de equipos de la línea (C-4): A este criterio se le asigna un valor ponderado de Siete (7). Esto debido a que los dos criterios anteriores son más relevantes.

Manuales de mantenimiento de los equipos (C-2): Este criterio es el último en la ponderación y lleva un valor de cinco (5). El análisis centrado en confiabilidad aunque se pueda dificultar por la falta de estos manuales, podría llevarse a cabo de contarse con información suministrada por supervisores del área o por el personal técnico que labore en la misma.

A continuación se refleja en la tabla 4.4 la ponderación de cada uno de los criterios establecidos:



Tabla N° 4.4. Ponderación de criterios

Criterios	Ponderación
C-1	10
C-2	5
C-3	8
C-4	7

- *Ponderación de Soluciones de acuerdo a cada Criterio*

Durante este paso, las soluciones determinadas son ponderadas de acuerdo al grado de aceptación de cada criterio. Dentro de una escala numérica previamente establecida, se asigna un valor a cada una de las soluciones. El mayor valor corresponderá a la mejor solución respecto a cada criterio.

La escala de ponderación de soluciones será igualmente del uno al diez [1-10] y se ilustra en la tabla 4.5.

Tabla N° 4.5. Ponderación de Soluciones.

Soluciones (S-n)		Criterio (C-1)	Criterio (C-2)	Criterio (C-3)	Criterio (C-4)
		Ponderación	Ponderación	Ponderación	Ponderación
S-1	Línea 1	2	6	5	8
S-2	Línea 4	7	5	5	8
S-3	Línea 6	10	10	10	9
S-4	Línea 8	4	5	5	8
S-5	Línea 9	5	10	5	8
S-6	Línea 10	3	2	5	1



- *Ponderación final de Soluciones*

Se efectúan las siguientes sumatorias para cada una de las soluciones. La mejor solución será aquella cuya sumatoria sea mayor.

A continuación se presenta la respectiva tabulación de las sumatorias y un ejemplo de cálculo tipo:

$$\sum_1^4 PCxPP = \sum total \quad \text{Ecuación 4.1 [6]}$$

✓ *PC: Criterios Ponderados* (ver tabla 4.4).

✓ *PP: Posibles Soluciones Ponderadas* (ver tabla 4.5).

$$\sum(S-1) = (10 \times 2) + (5 \times 6) + (8 \times 5) + (7 \times 8) = 146 \quad \text{Ecuación 4.2 [6]}$$

En base a estos resultados (ver tabla 4.6), la línea seleccionada para el análisis centrado en confiabilidad es la línea Seis (6) la cual corresponde a una línea de prensa litográfica.

Tabla N° 4.6. Selección de la línea de producción.

Criterios Soluciones	C-1 <i>PC = 10</i>	C-2 <i>PC = 5</i>	C-3 <i>PC = 8</i>	C-4 <i>PC = 7</i>	Σ
	1	2	3	4	
PP(Línea 1)	2	6	5	8	146
PP(Línea 4)	7	5	5	8	191
PP(Línea 6)	10	10	10	9	293
PP(Línea 8)	10	9	10	9	288
PP(Línea 9)	4	5	5	8	161
PP(Línea 10)	3	2	5	1	87



4.2 Descripción del funcionamiento de la línea de producción seleccionada

La línea seis (6) de prensa litográfica (ver figura 4.2) está encargada del proceso de litografiado de láminas donde se imprime la imagen del diseño requerida por el cliente. Esta línea está integrada por: un (1) alimentador, tres (3) prensas litográficas, una (1) barnizadora, un (1) horno y un (1) apilador.



Figura. N° 4.1. Área de Litografía. *Domínguez & Cía.*

Este proceso se inicia, cuando el bulto de láminas de aproximadamente una tonelada de peso proveniente del área de corte (Littel), es transportado mediante un montacargas al área de litografía (ver figura 4.1); en ella, el bulto es colocado en un transportador de rodillos (figura 4.3 y 4.4), el cual conduce el mismo a la entrada de la línea de producción. Posterior a esto, un operario, realizando un movimiento de palanqueo, con un tubo metálico desliza el bulto de láminas y éstas quedan situadas en el mecanismo elevador del alimentador.



Figura. N° 4.2. Línea 6. Prensa Litográfica.



Figura. N° 4.3. Comienzo de la Línea 6 de Prensa Litográfica. Alimentador

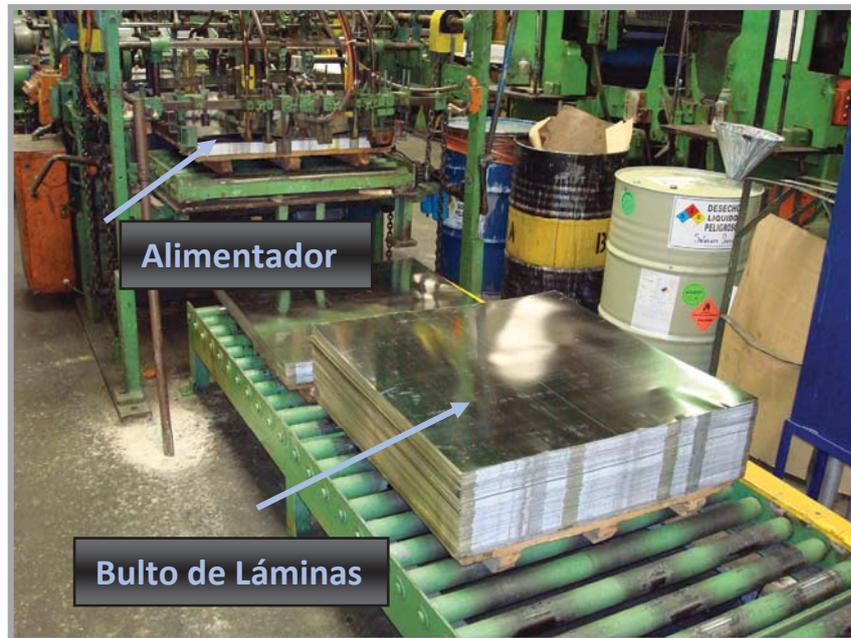


Figura. N° 4.4. Bulto situado en el transportador de rodillos. Alimentador

Una vez situado el bulto en el mecanismo elevador, y a través de la orden del operador, este mecanismo se encarga de colocar las láminas a la altura de trabajo de la línea. Luego de esto comienza el suministro de láminas de manera individual a razón de 3200 láminas/hora, para las siguientes etapas del proceso.

Ahora las láminas que se suministran por el alimentador son conducidas a la primera prensa (figura 4.5), donde se imprime de modo indirecto el primer color requerido en el diseño; luego, la lámina es conducida hacia la segunda prensa, donde es impreso el siguiente color y por último hacia la tercera prensa de la línea para aplicar el tercer color.

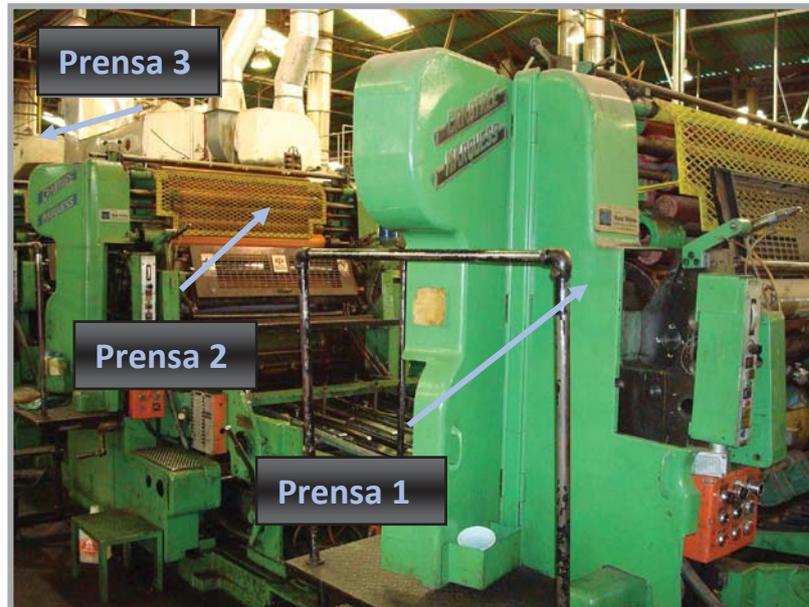


Figura. N° 4.5. Prensas Litográficas.

Al salir de la tercera y última prensa de la línea, la lámina es conducida hacia una barnizadora (figura 4.6), la cual se encarga de proteger los colores ya impresos en las láminas y darle brillo al diseño, mediante la aplicación de barniz a éstas. Posteriormente las láminas son conducidas a un horno, como se muestra en la figura 4.7, el cual es el encargado del secado del tinte y barniz aplicado anteriormente, a una temperatura que oscila entre 375°F y 400°F dependiendo de las especificaciones de tinte y barniz que han sido aplicados a las láminas. A la salida de éste (figura 4.8), las láminas son conducidas al apilador, el cual almacena las láminas provenientes del horno, culminando así el proceso de litografiado.

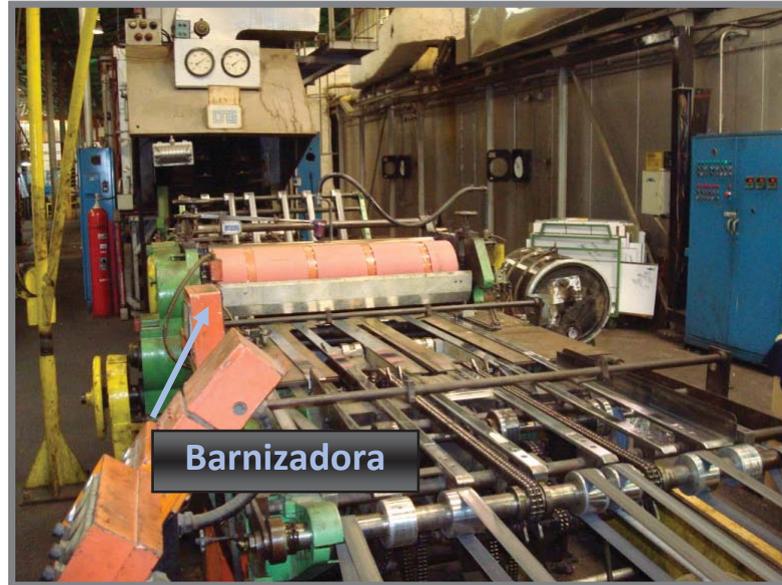


Figura. N° 4.6. Barnizadora.



Figura. N° 4.7. Entrada del Horno.



Figura. N° 4.8. Salida del horno.

Con el fin de comprender más ampliamente el proceso productivo descrito anteriormente, se realiza una descripción detallada de las funciones de cada uno de los equipos que conforman la línea de prensa litográfica. Esta descripción es indispensable para lograr el objetivo del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). *“El objetivo del proceso MCC es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema en consideración, a los estándares de desempeño que son aceptables para el dueño/usuario. Como resultado, el proceso MCC comienza por la definición de todas las funciones del activo/s en consideración.”* (SAE JA1012, p 9)

4.2.1 Alimentador

Este equipo es el encargado del suministro de láminas a la línea de producción y cumple con ciertas funciones, las cuales se describen a continuación:

- *Elevación y descenso del bulto de láminas:*



Esta función es llevada a cabo por medio de un mecanismo elevador, el cual se encarga de colocar el bulto de láminas al nivel de trabajo de la línea; este funciona a través de cuatro cadenas, situadas en parejas en los soportes laterales del alimentador, impulsadas por un motor eléctrico. Este mecanismo posee además un sistema de control de nivel de altura que sube o baja la plataforma de manera precisa, esto se logra a través de unos sensores llamados micro y un disyuntor, que juntos envían la señal a un contactor, el cual se encarga de encender el motor que provoca el ascenso de la plataforma cuando ya ha disminuido el nivel de láminas del bulto y de apagar el motor, cuando las láminas hayan alcanzado nuevamente el nivel de trabajo de la línea. Los componentes de Alimentador se pueden observar en la figura 4.9.

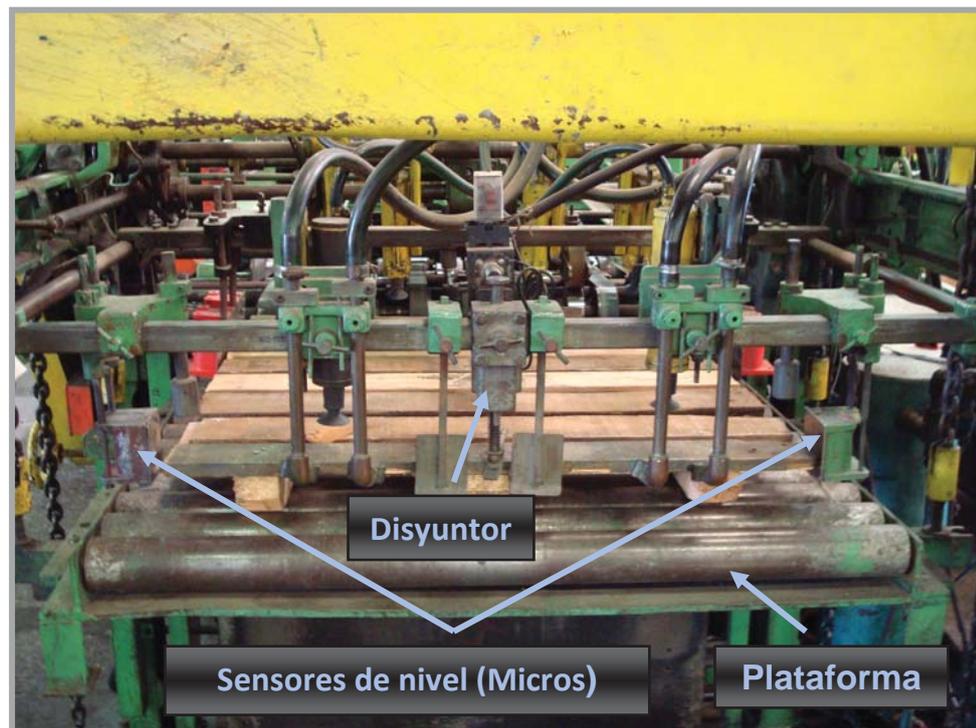


Fig. N° 4.9ura. Elevador de Láminas. Alimentador.

- *Agarre y traslado de láminas:*



Un mecanismo de chuponeras (figura 4.10) es el encargado de la movilización de láminas individuales del bulto hacia la alimentación de la línea. Este mecanismo posee dos filas de chuponeras, las anteriores las cuales sujetan las láminas y las posteriores las cuales sujetan y además trasladan las mismas. Estas filas trabajan sincronizadamente por medio de un dispositivo llamado distribuidor de vacío (figura 4.11), el cual mediante presión de vacío succiona aire comprimido por medio de mangueras, primero a la línea anterior de chuponeras y luego a la línea posterior.

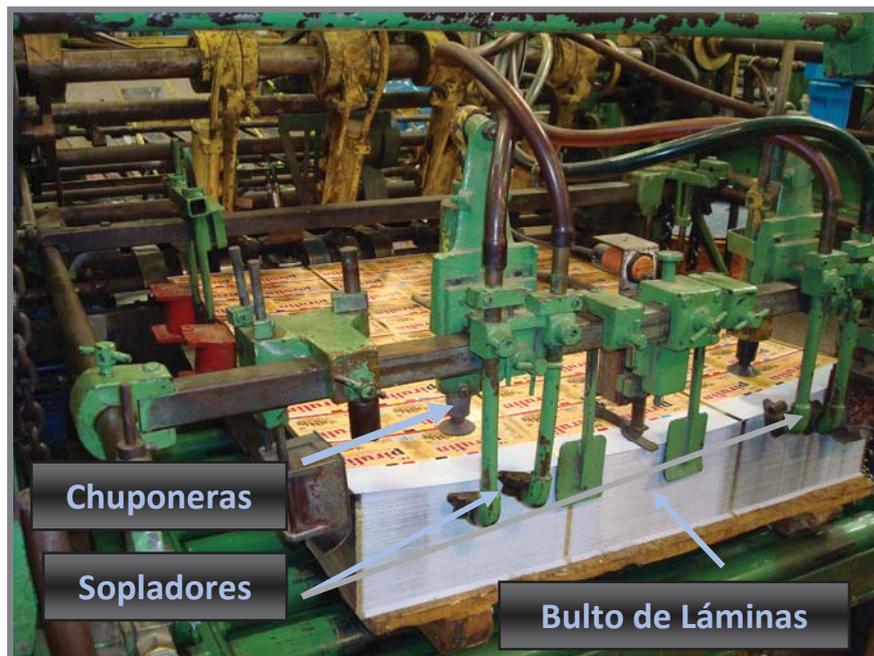


Figura. N° 4.10. Chuponeras y sopladores. Alimentador

- *Suministro de aire de separación:*

A fin de complementar el mecanismo de agarre y traslado, el alimentador posee dos dispositivos que suministran aire al bulto de láminas, con ello se facilita la separación de cada lámina individual del bulto en la plataforma de elevación, lo que



permite incrementar la efectividad del proceso de alimentación de la línea, disminuyendo el número de láminas adheridas.



Figura. N° 4.11. Distribuidor de vacío. Alimentador

- *Rechazo de doble lámina:*

Cuando por alguna razón el sistema de chuponeras sujeta dos láminas juntas, este equipo posee un sensor que al detectar el espesor doble, envía una señal, la cual se traduce en el movimiento de unas uñas, las cuales desvían las láminas hacia una rejilla ubicada por encima del nivel de trabajo de la línea, evitando así ser conducidas hacia la prensa y la interrupción del proceso productivo. Este mecanismo se aprecia en la figura 4.12.



Figura. N° 4.12. Mecanismo de rechazo doble lámina.

4.2.2 Prensa Litográfica

Este equipo se encarga de imprimir de modo indirecto la imagen del diseño bajo especificaciones del cliente, en cada una de las láminas y para ello lleva a cabo funciones, las cuales se especifican a continuación:

- *Litografiado de láminas:*

Este proceso es llevado a cabo mediante un conjunto de veinticinco (25) rodillos los cuales se describen y cuantifican a continuación:

✓ Rodillo distribuidor (1): Es el rodillo encargado de traspasar la tinta en conjunto con los rodillos entintadores hacia los rodillos formadores.



✓ Rodillos entintadores (12): Son los encargados de traspasar la tinta en conjunto con el rodillo distribuidor hacia los rodillos formadores.

✓ Rodillos mojadores (5): Son los encargados de cómo su nombre lo indica, mojar la lámina de modo que no sea litografiada en la parte del diseño donde no lleva imagen impresa. Estos rodillos pertenecen a la sección del Epic delta.

✓ Rodillos formadores (4): Su función es la de traspasar la tinta proveniente de los rodillos entintadores al rodillo porta placa.

✓ Rodillo porta-placa (1): este rodillo como su nombre lo indica porta la placa que lleva la imagen del diseño que se va a litografiar en la lámina.

✓ Rodillo de mantilla (1): este rodillo es el encargado de tomar el diseño a partir del rodillo porta-placa para traspasarlo mediante contacto al rodillo impresor.

✓ Rodillo de impresión (1): este es el encargado de litografiar finalmente la cara de la lámina que llevará el diseño bajo especificaciones del cliente.

En la figura 4.13 se puede apreciar un esquema de la distribución y ubicación de los cilindros dentro de cualquiera de las tres prensas de la línea 6 del área de Litografía.

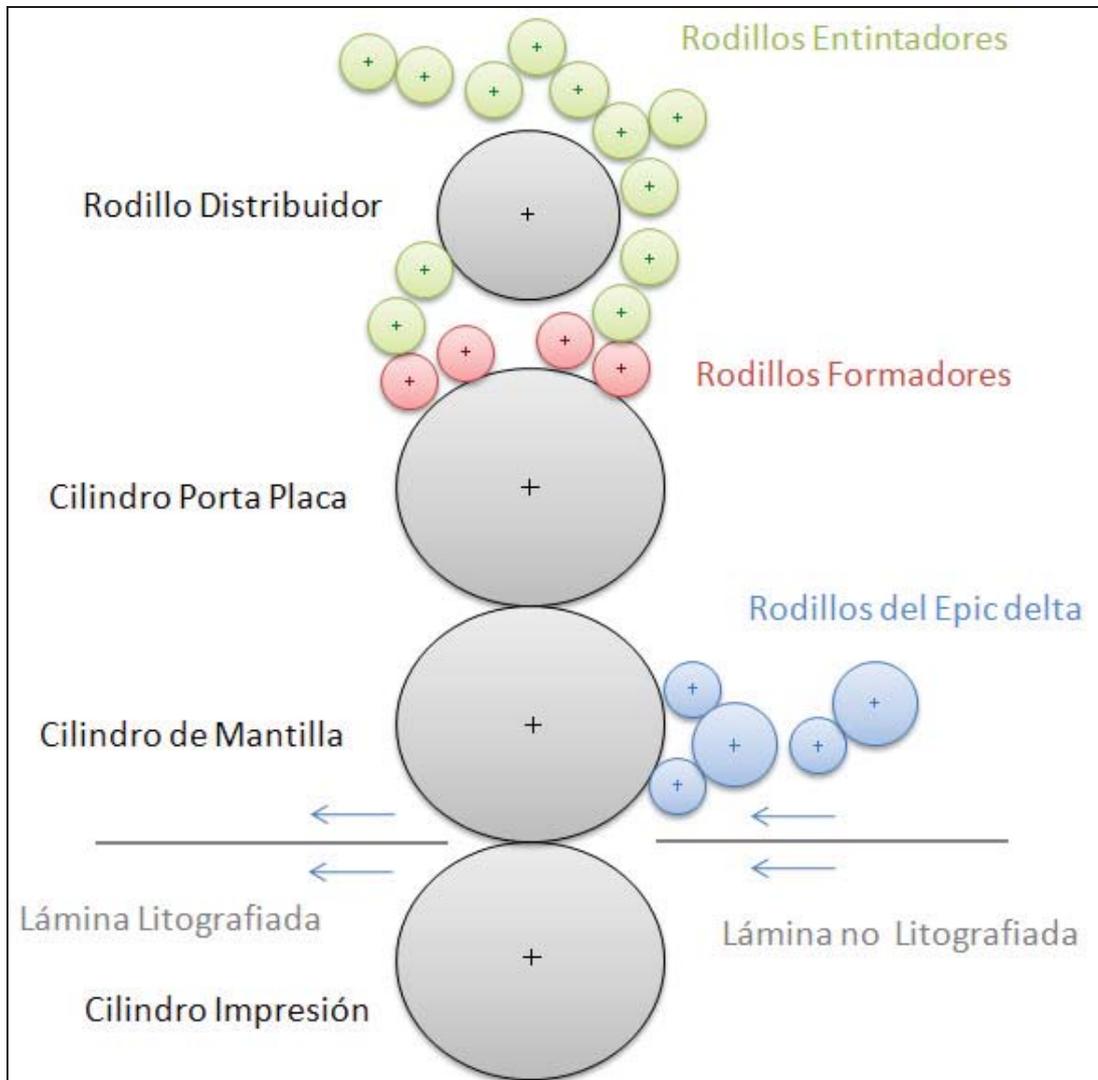


Figura. N° 4.13. Distribución de rodillos dentro de cualquier prensa de la Línea 6.

- *Alineación de la lámina en la mesa de registro:*

Una vez que la lámina ha salido del alimentador, ésta es transportada hacia la prensa mediante un sistema de arrastre compuesto por correas y cadenas transportadoras. Durante este recorrido, la lámina se desalinea y puede ingresar a la prensa de manera incorrecta, resultando una impresión movida o dañada. Con el fin de evitar esto, la prensa posee un mecanismo de alineación, compuesto de



empujadores, escuadras laterales y agarradores; la perfecta sincronización entre estos tres dispositivos resulta en una perfecta alineación de la lámina.

Los empujadores se encuentran adheridos a la cadena transportadora (ver figura 4.14) y estos tienen la función de impulsar la lámina hacia la mesa de registro. Las escuadras laterales sostienen los lados de la lámina encontrándose una a cada lado de la mesa de registro (ver figura 4.15), una escuadra es fija y la otra es móvil para el ajuste del cambio de formato de la lámina en la línea de producción. Los agarradores sostienen la lámina para que ésta siga su camino a través del claro entre el rodillo de mantilla y el impresor.



Figura. N° 4.14. Cadenas transportadoras. Mesa de registro.



Figura. N° 4.15. Mesa de registro.

- *Limpieza de las láminas:*

Para la correcta impresión de la imagen del diseño en la lámina, es necesario suministrar agua, la cual moja la placa y limpia el área abierta de ésta que no lleva diseño, para que la imagen solo sea impresa donde se encuentra el diseño, y no en los espacios que deben quedar sin impresión. El sistema encargado de realizar este trabajo se le conoce como Epic- Delta, el cual enfría el agua a utilizarse en el proceso a aproximadamente unos 15 °C.

4.2.3 Barnizadora

La unidad barnizadora (figura 4.16) es la encargada de colocar el barniz a las láminas, con el fin de sellar y darle brillo al tinte que fue colocado previamente en el proceso de litografiado. Sus funciones son:

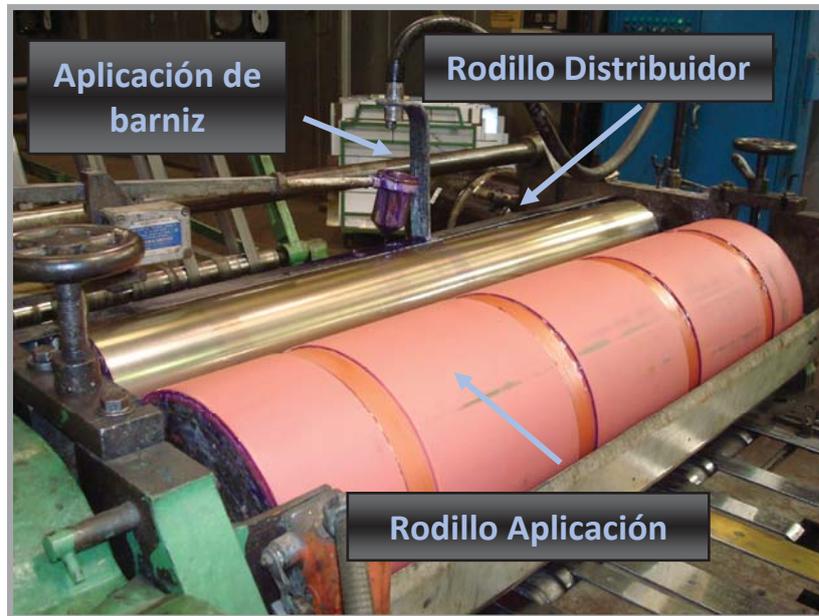


Figura. N° 4.16. Barnizadora.

- *Aplicación de barniz:*

La aplicación del barniz o esmalte a las láminas se hace mediante un sistema de 4 rodillos. Primeramente un rodillo fuente es el encargado de circular el barniz proveniente de la bomba de barniz hacia el otro rodillo denominado distribuidor, el cual, como su nombre lo indica distribuye el barniz hacia el rodillo de aplicación o composición. El barnizado de lámina se lleva a cabo cuando ésta circula entre el espacio entre este último rodillo, y otro rodillo conocido como Scraper, el cual otorga la presión necesaria para realizar el proceso. Se puede observar un diagrama ilustrativo de la barnizadora en la figura 4.17.

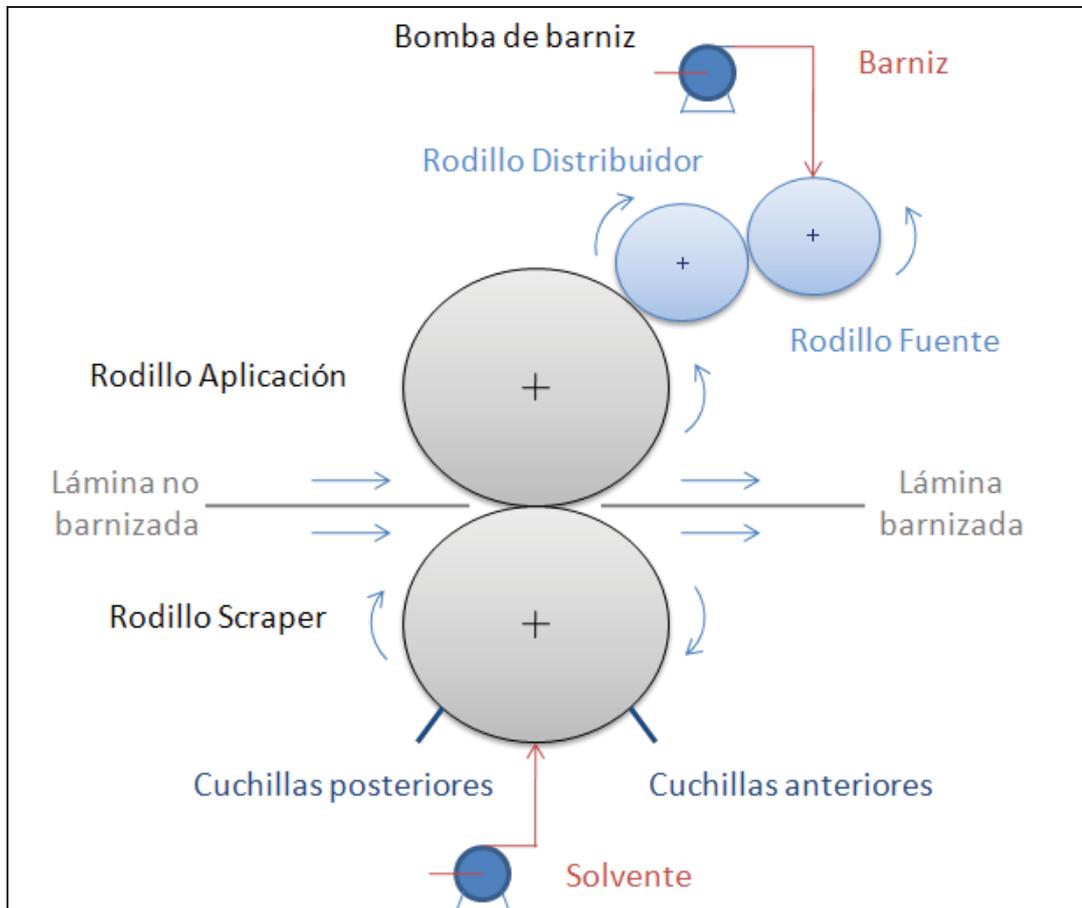


Figura. N° 4.17. Diagrama de rodillos de la Barnizadora.

- *Alineación de la lámina en la mesa de registro:*

Al igual que en la prensa litográfica, es necesario la alineación de la lámina antes de la entrada del equipo para asegurar una aplicación de barniz uniforme. Para ello existen tres dispositivos: empujadores, escuadras laterales e imanes.

Los empujadores impulsan la lámina hacia la entrada de la barnizadora, mientras que las escuadras laterales (ver figura 4.18) ubicadas una a cada lado de la mesa alinean la lámina para su correcto ingreso. Por su parte, los imanes se ubican a la entrada y salida de la barnizadora y su función es sujetar la lámina para la entrada



al equipo. Estos tres dispositivos funcionan de manera sincronizada para garantizar la correcta alineación de la lámina.



Figura. N° 4.18. Escuadras de la mesa de registro.

- *Prevención de manchas en la cara de la lámina que no debe ser barnizada:*

Al aplicar barniz a la lámina durante el proceso, es necesario que éste solo sea aplicado en una cara de la misma (cara litografiada), para esto, existe un sistema de cuchillas anteriores y posteriores que se encargan de remover el barniz y el solvente respectivamente, directamente de la superficie de la lámina.

4.2.4 Horno

Este equipo, mostrado en la figura 4.19 es el encargado del secado de las láminas provenientes del proceso de litografiado y/o barnizado, para ello cumple con ciertas funciones las cuales se enumeran a continuación:



- *Secado de láminas:*

Las láminas circulan a través del horno, colocadas individualmente en parrillas (bandejas que soportan las láminas), las cuales se encuentran sincronizadas con la línea, de modo que las láminas, luego de su paso por la barnizadora, sean colocadas en éstas, sin haber interrupciones en el proceso de producción.

El tiempo de secado de las láminas dependerá del espesor, así como de las propiedades de la tinta y/o barniz aplicado a las láminas; en general este tiempo es de aproximadamente 10 min. El tiempo de secado es regulado por el ajuste de la velocidad de recorrido de las láminas en el horno, el cual se efectúa en forma manual.

A su vez la temperatura de secado es ajustada de acuerdo a las especificaciones del diseño de las láminas, ésta varía entre valores de 375°F y 400 °F.

- *Sistemas de seguridad:*

Con el fin de prevenir accidentes y daños al equipo, éste cuenta con un sistema de arranque, el cual verifica que todos los motores estén encendidos a la hora de encender el horno. Los motores corresponden al sistema de extracción de vapores, de circulación de aire dentro de la cámara y el motor que mueve el mecanismo de parrillas que circulan a través de él.

Además, si la temperatura del horno excede la temperatura máxima de operación, éste a través de un controlador, llamado Minitrol, apagará el horno; de igual manera si la temperatura cae por debajo de la temperatura mínima de operación, el controlador enviará una señal que apagará el alimentador de la línea con el fin de que cese el suministro al horno.



Por otra parte, el equipo cuenta con presostatos de presión de gas, presostatos de diferencial de aire, y un detector de llama; en conjunto estos elementos deben dar señal para el encendido del horno, de otra forma este permanecerá apagado. Con este sistema se evita la acumulación de gas, producto de un suministro constante del mismo y una llama apagada, lo cual ocasionaría que al encender el horno, éste explotara producto de los altos niveles de gas acumulados en la cámara.



Figura. N° 4.19. Horno

Además, el horno posee un sistema de parada del alimentador, el cual evita el suministro de láminas a éste, en caso de que ocurra un trancamiento a la salida del horno.



4.2.5 Apilador

Luego de que las láminas han sido secadas en el horno, el apilador (figura 4.20) es el encargado de apilar las láminas que posteriormente serán utilizadas en la elaboración de los cuerpos de los envases requeridos por el cliente. Para ello este equipo cumple con las siguientes funciones:

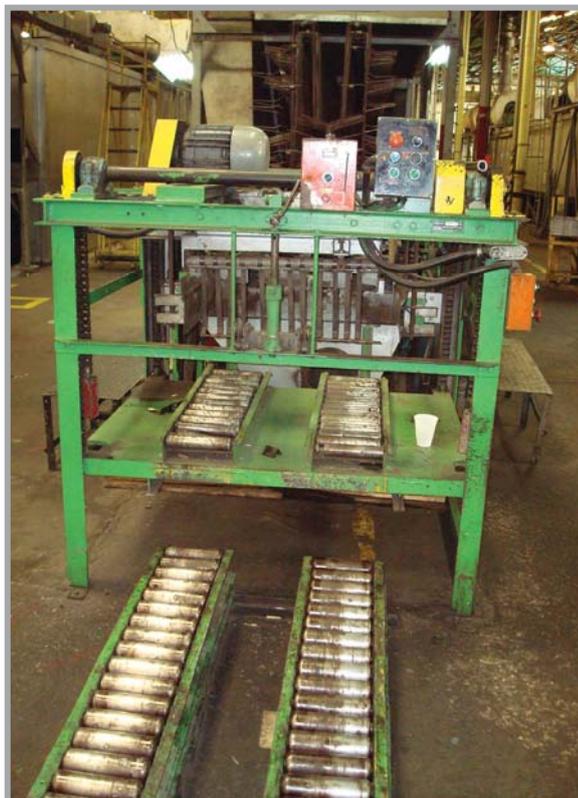


Figura. N° 4.20. Apilador

- *Apilación de láminas:*

Al igual que el alimentador este equipo posee una plataforma de rodillos, la cual es la base para la colocación de las láminas provenientes del proceso de secado.



Estas láminas son trasladadas desde la salida del horno y hacia el apilador mediante un mecanismo de correas y cadenas.

- *Control del ascenso y el descenso de la plataforma:*

El apilador posee un control de nivel de subida y bajada de la plataforma. Éste control se realiza a través de sensores micro quienes dan la señal de que descienda o ascienda un mecanismo de cadenas, el cual funciona de igual manera que el mecanismo del alimentador.

4.3 Diagrama de Análisis de Modos y efectos de falla (AMEF)

Para la elaboración de los diagramas de modos y efectos de falla (AMEF) de cada uno de los equipos de la línea de prensa litográfica seleccionada, nos basamos en los parámetros de la norma SAE JA1012, reflejados en las secciones 2.2.5.3 y 2.2.5.4 del capítulo 2.

La elaboración de los diagramas fue posible gracias a la información suministrada por el personal encargado de la línea, incluyendo: mecánicos, lubricadores, electricistas, operadores y el supervisor de mantenimiento del área de litografía. Los diagramas incluyen todos los modos de falla que han ocurrido, los que se previenen actualmente y los modos de falla que no han ocurrido aún, pero que se piensan probables de ocurrencia.

Los diagramas de modos y efectos de falla elaborados contienen la información que se menciona a continuación:

- *Función:* incluyen todas las funciones asociadas a cada uno de los equipos de estudio.



- *Falla funcional*: se listan las diferentes formas en las que el equipo puede dejar de cumplir con las funciones mencionadas anteriormente.
- *Modos de falla*: para cada falla funcional se enumeraron todos los posibles eventos causantes de los estados de falla en el equipo. El nivel de detalle de causalidad fue descrito de modo que permitiese la selección de la política de manejo de falla adecuada a cada modo de falla en particular.

Los renglones definidos se encuentran en el anexo A, identificados como: “*Modos de falla generales*”, el cual contiene la función, fallas funcionales y modos de falla especificados en un primer nivel de causalidad para cada equipo y “*Modos de falla detallados*”, en el cual se aprecia la totalidad de los niveles de causalidad para cada modo de falla correspondientes a las fallas funcionales de cada equipo.

- *Efectos de falla*: este punto tiene especial importancia, ya que contiene toda la información necesaria para sustentar la evaluación de las consecuencias de falla. Los efectos de falla descritos en cada equipo contienen cinco renglones, mencionados a continuación:
 - a. *Evidencias de que ha ocurrido la falla*: se colocó una explicación breve de la forma en que se manifiesta la falla para el equipo.
 - b. *Amenazas a la seguridad y al ambiente*: se explicó si la falla ocasionaba efectos sobre la seguridad laboral y/o violación de normas ambientales establecidas.
 - c. *Efecto en la producción o en las operaciones*: en este caso se tomaron en cuenta los tiempos fuera de servicio, referidos a la ocurrencia de la falla en



el equipo y costos de operación globales reflejados en pérdidas de materia prima.

- d. *Los tiempos fuera de servicio:* son de gran importancia, ya que son base para el cálculo de las consecuencias operacionales, las cuales serán mostradas mas adelante.
- e. *Daño secundario:* se mencionó si la ocurrencia del modo de falla genera daños a otros sistemas o equipos.
- f. *Acción correctiva requerida:* se describió la acción que permite solventar la ocurrencia del modo de falla especificado.

Los efectos de falla de cada uno de los equipos que componen la línea de prensa litográfica, se encuentran de igual manera en el anexo A, identificados como “*Efectos de falla*”.

4.4 Evaluación actual de los componentes comparativos de la planta

4.4.1 Confiabilidad de la línea de producción seleccionada

En primer lugar, resulta necesario establecer cual es el nivel actual de confianza de la línea de producción seleccionada, por lo cual se realiza un estudio de confiabilidad.

Para la realización del estudio, se requiere de la data suministrada por el historial de fallas de cada uno de los equipos que conforman la línea de estudio. La empresa recoge esta información en reportes por turnos, los cuales reflejan paradas no



planificadas, paradas debidas al proceso, observaciones acerca de las reparaciones efectuadas e información acerca de la producción de la línea para el turno.

Para llevar a cabo los cálculos de confiabilidad, fue necesario extraer la información de las paradas no planificadas y sus observaciones contenidas en cada uno de los reportes para su posterior digitalización. Esta información recopilada abarca un período de un año de estudio y está comprendida entre el mes de Marzo del año 2006 al mes de Marzo del 2007. Las paradas debidas al proceso no se toman en cuenta a la hora de realizar el estudio, ya que no arrojan información acerca del comportamiento de los equipos.

Por otra parte, para la realización de los cálculos de confiabilidad se asumió una tasa de fallas constante, esto se debe a que en sistemas conformados por sub-sistemas que posean tasas de riesgo diferentes, la tasa de riesgo es aproximadamente una constante. “...cuando un componente esta hecho de un número de subcomponentes con diferentes tasas de fallas, el efecto es obtener una tasa de falla constante para el componente.” (Vallés, 2001, p 35) [1].

A continuación se muestra el registro de paradas no planificadas de la línea en estudio en la tabla 4.7:

Tabla 4.7. Registro de paradas no planificadas línea 6.

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
M-10	17:50:00	3:00:00	20:50:00	01/03/2006	2A	
M-02	9:10:00	0:45:00	9:55:00	02/03/2006	1B	12,33
M-06	11:25:00	1:00:00	12:25:00	03/03/2006	1B	25,50
M-09	8:45:00	1:00:00	9:45:00	08/03/2006	1A	116,33
EL-01	2:15:00	0:30:00	2:45:00	09/03/2006	3B	16,50
M-02	19:00:00	0:30:00	19:30:00	13/03/2006	2B	112,25
EL-01	18:05:00	1:15:00	19:20:00	15/03/2006	2B	46,58



Tabla 4.7. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
M-09	4:15:00	1:30:00	5:45:00	16/03/2006	3A	8,92
M-02	11:55:00	0:45:00	12:40:00	18/03/2006	1C	54,17
M-01	8:55:00	5:30:00	14:25:00	20/03/2006	1B	44,25
M-02	8:10:00	0:40:00	8:50:00	21/03/2006	1B	17,75
M-06	9:10:00	1:30:00	10:40:00	22/03/2006	1B	24,33
M-02	10:35:00	1:00:00	11:35:00	28/03/2006	1A	143,92
M-02	23:50:00	0:30:00	0:20:00	28/03/2006	3B	12,25
M-02	9:10:00	1:00:00	10:10:00	31/03/2006	1A	80,83
M-09	18:20:00	0:45:00	19:05:00	31/03/2006	2C	8,17
M-10	10:15:00	2:00:00	12:15:00	01/04/2006	1A	15,17
M-09	16:40:00	0:35:00	17:15:00	01/04/2006	2B	4,42
EL-09	17:35	0:15:00	17:50:00	01/04/2006	2B	0,33
EL-09	0:40:00	1:30:00	2:10:00	04/04/2006	3A	54,83
EL-09	2:25:00	0:30:00	2:55:00	04/04/2006	3A	0,25
M-09	8:50:00	0:30:00	9:20:00	04/04/2006	1C	5,92
M-09	16:45:00	4:30:00	21:15:00	04/04/2006	2B	7,42
M-09	1:30:00	3:00:00	4:30:00	05/04/2006	3A	4,25
M-02	14:05:00	0:30:00	14:35:00	05/04/2006	2B	9,58
M-09	0:00:00	1:00:00	1:00:00	05/04/2006	2B	14,58
M-02	16:45:00	0:00:00	16:45:00	05/04/2006	2B	15,75
M-09	0:35:00	2:00:00	2:35:00	06/04/2006	3A	7,83
M-09	9:50:00	0:40:00	10:30:00	06/04/2006	1C	7,25
M-09	16:10:00	4:40:00	20:50:00	06/04/2006	2B	5,67
M-02	7:55:00	0:20:00	8:15:00	07/04/2006	1C	11,08
EL-11	6:20:00	1:00:00	7:20:00	17/04/2006	1B	238,08
M-09	18:30:00	3:28:00	21:58:00	17/04/2006	2A	11,17
M-02	16:00:00	0:35:00	16:35:00	18/04/2006	2A	18,03
M-02	18:00:00	1:00:00	19:00:00	20/04/2006	2A	49,42
EL-01	17:15:00	0:15:00	17:30:00	25/04/2006	3B	3,75
M-01	16:45:00	1:15:00	18:00:00	26/04/2006	2C	23,25
EL-01	4:05:00	2:20:00	6:25:00	27/04/2006	3B	10,08
M-06	3:50:00	0:15:00	4:05:00	28/04/2006	3B	21,42
EL-09	7:30:00	0:40:00	8:10:00	29/04/2006	1A	27,42
M-02	16:15:00	0:30:00	16:45:00	29/04/2006	3B	8,08
EL-09	17:05:00	1:00:00	18:05:00	02/05/2006	2B	72,33
M-02	19:20:00	1:20:00	20:40:00	02/05/2006	2B	1,25
M-02	23:30:00	0:40:00	0:10:00	02/05/2006	3A	2,83
EL-01	2:10:00	0:20:00	2:30:00	03/05/2006	3A	26,00
M-02	9:55:00	0:20:00	10:15:00	05/05/2006	1C	55,42
EL-01	10:15:00	0:45:00	11:00:00	08/05/2006	1B	72,00
M-02	9:55:00	0:20:00	10:15:00	05/05/2006	1C	55,42



Tabla 4.7. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
M-02	9:55:00	0:20:00	10:15:00	05/05/2006	1C	55,42
EL-01	10:15:00	0:45:00	11:00:00	08/05/2006	1B	72,00
M-11	22:50:00	2:40:00	1:30:00	09/05/2006	3C	35,83
M-11	6:00:00	2:35:00	8:35:00	11/05/2006	1B	52,50
M-11	11:15:00	1:05:00	12:20:00	11/05/2006	1B	2,67
M-06	14:20:00	1:00:00	15:20:00	12/05/2006	2A	26,00
M-09	0:05:00	2:00:00	2:05:00	16/05/2006	3A	80,75
M-02	8:00:00	6:00:00	14:00:00	16/05/2006	1A	5,92
M-02	16:35:00	0:30:00	17:05:00	20/05/2006	2A	98,58
M-02	1:40:00	0:20:00	2:00:00	22/05/2006	1C	32,58
M-02	17:45:00	3:00:00	20:45:00	22/05/2006	2C	15,75
M-09	17:00:00	1:00:00	18:00:00	23/05/2006	2B	20,25
M-13	3:30:00	0:45:00	4:15:00	24/05/2006	3A	9,50
M-06	8:35:00	1:40:00	10:15:00	24/05/2006	1C	4,33
M-10	13:20:00	0:15:00	13:35:00	24/05/2006	1C	3,08
M-05	1:20:00	0:45:00	2:05:00	25/05/2006	3A	11,75
M-02	18:00:00	2:00:00	20:00:00	25/05/2006	2B	15,92
M-09	3:55:00	0:25:00	4:20:00	27/05/2006	1C	31,92
EL-09	8:55:00	3:25:00	12:20:00	29/05/2006	1B	52,58
M-02	12:50:00	0:45:00	13:35:00	29/05/2006	1A	0,50
M-06	15:55:00	2:00:00	17:55:00	30/05/2006	2A	26,33
M-06	16:55:00	2:00:00	18:55:00	05/06/2006	2C	119,00
M-09	19:30:00	0:15:00	19:45:00	05/06/2006	2C	0,58
EL-09	20:15:00	0:40:00	20:55:00	05/06/2006	2C	0,50
M-09	2:15:00	3:00:00	5:15:00	06/06/2006	3B	5,33
M-02	1:45:00	0:10:00	1:55:00	07/06/2006	3B	20,50
EL-01	5:05:00	0:15:00	5:20:00	07/06/2006	3B	3,17
M-02	15:45:00	1:00:00	16:45:00	13/06/2006	2B	154,42
M-02	10:00:00	0:50:00	10:50:00	14/06/2006	1C	17,25
M-03	15:00:00	0:40:00	15:40:00	16/06/2006	2B	52,17
M-02	17:40:00	0:45:00	18:25:00	19/06/2006	2A	74,00
M-02	16:05:00	0:20:00	16:25:00	21/06/2006	2B	45,67
M-02	8:55:00	0:40:00	9:35:00	26/06/2006	1A	112,50
M-02	23:40:00	6:35:00	6:15:00	29/06/2006	3B	86,08
M-02	10:10:00	5:40:00	15:50:00	29/06/2006	1A	3,92
M-11	16:00:00	0:45:00	16:45:00	29/06/2006	2C	0,17
M-02	18:15:00	3:00:00	21:15:00	29/06/2006	2C	1,50
M-10	8:55:00	0:15:00	9:10:00	30/06/2006	1A	11,67
EL-03	19:20:00	0:30:00	19:50:00	30/06/2006	2C	10,17
M-06	9:55:00	2:40:00	12:35:00	03/07/2006	1C	62,08
M-09	17:45:00	4:30:00	22:15:00	03/07/2006	2B	5,17



Tabla 4.7. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
EL-01	2:15:00	2:00:00	4:15:00	04/07/2006	3A	4,00
EL-01	9:05:00	2:15:00	11:20:00	04/07/2006	1C	4,83
EL-09	19:20:00	1:30:00	20:50:00	06/07/2006	2B	56,00
EL-09	9:10:00	1:20:00	10:30:00	07/07/2006	1C	12,33
M-06	11:05:00	0:50:00	11:55:00	07/07/2006	1C	0,58
EL-09	8:55:00	0:40:00	9:35:00	10/07/2006	1B	69,00
M-02	9:55:00	1:00:00	10:55:00	10/07/2006	1B	0,33
M-02	17:30:00	3:00:00	20:30:00	10/07/2006	2A	6,58
M-06	1:40:00	0:30:00	2:10:00	12/07/2006	3C	29,17
EL-03	2:00:00	0:20:00	2:20:00	13/07/2006	3C	23,83
M-10	1:05:00	0:30:00	1:35:00	15/07/2006	3C	46,75
M-02	16:30:00	0:35:00	17:05:00	19/07/2006	2C	110,92
M-03	3:35:00	0:30:00	4:05:00	22/07/2006	3B	58,50
M-03	4:10:00	1:00:00	5:10:00	26/07/2006	3A	96,08
M-02	17:25:00	0:30:00	17:55:00	28/07/2006	2B	60,25
EL-01	19:00:00	0:40:00	19:40:00	28/07/2006	2B	1,08
M-02	20:00:00	0:30:00	20:30:00	28/07/2006	2B	0,33
M-02	7:50:00	0:15:00	8:05:00	31/07/2006	1B	59,33
M-13	17:00:00	0:30:00	17:30:00	01/08/2006	2A	32,92
M-02	8:40:00	0:35:00	9:15:00	03/08/2006	1B	39,17
M-09	11:10:00	2:15:00	13:25:00	03/08/2006	1B	1,92
M-02	8:10:00	4:35:00	12:45:00	09/08/2006	1A	138,75
M-02	2:15:00	1:50:00	4:05:00	10/08/2006	3B	13,50
M-09	17:40:00	0:30:00	18:10:00	11/08/2006	2C	37,58
M-02	15:55:00	0:25:00	16:20:00	18/08/2006	2B	165,75
M-10	17:00:00	0:20:00	17:20:00	18/08/2006	2B	0,67
M-02	18:05:00	3:00:00	21:05:00	21/08/2006	2A	72,75
M-03	23:15:00	0:20:00	23:35:00	23/08/2006	3C	50,17
M-10	1:50:00	0:30:00	2:20:00	24/08/2006	3C	2,25
M-05	17:55:00	0:30:00	18:25:00	24/08/2006	2A	15,58
M-02	4:15:00	0:25:00	4:40:00	30/08/2006	3B	129,83
M-09	5:00:00	3:00:00	8:00:00	31/08/2006	3B	0,33
M-06	1:15:00	1:30:00	2:45:00	05/09/2006	3A	113,25
M-06	10:10:00	0:50:00	11:00:00	06/09/2006	1C	31,42
M-02	3:00:00	0:30:00	3:30:00	07/09/2006	3A	16,00
M-10	17:10:00	1:00:00	18:10:00	14/09/2006	2A	181,67
EL- 09	16:30:00	2:10:00	18:40:00	18/09/2006	2C	94,33
EL- 09	4:20:00	1:30:00	5:50:00	19/09/2006	3B	9,67
M-09	0:45:00	1:20:00	2:05:00	20/09/2006	3B	18,92
EL- 09	18:30:00	1:10:00	19:40:00	21/09/2006	2C	40,42
M-06	2:15:00	2:30:00	4:45:00	22/09/2006	3B	6,58



Tabla 4.7. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
EL-09	5:20:00	3:30:00	8:50:00	22/09/2006	3B	0,58
EL-03	9:00:00	4:25:00	13:25:00	22/09/2006	1A	0,17
EL-09	17:50:00	5:30:00	23:20:00	22/09/2006	2C	4,42
M-01	10:20:00	1:30:00	11:50:00	23/09/2006	1A	11,00
M-10	1:10:00	0:30:00	1:40:00	26/09/2006	3A	61,33
EL-03	3:30:00	0:15:00	3:45:00	26/09/2006	3A	1,83
M-09	18:30:00	0:30:00	19:00:00	26/09/2006	2B	14,75
EL-09	16:35:00	0:20:00	16:55:00	27/09/2006	2B	21,58
EL-09	10:00:00	2:30:00	12:30:00	28/09/2006	2C	17,08
M-02	8:25:00	0:45:00	9:10:00	30/09/2006	1C	43,92
M-05	8:40:00	0:30:00	9:10:00	02/10/2006	1B	47,50
M-05	10:05:00	4:00:00	14:05:00	02/10/2006	2A	0,92
M-02	10:35:00	1:00:00	11:35:00	04/10/2006	1B	44,50
EL-01	19:45:00	0:30:00	20:15:00	05/10/2006	2A	32,17
M-02	16:30:00	3:00:00	19:30:00	06/10/2006	2A	20,25
M-10	20:15:00	1:30:00	21:45:00	06/10/2006	2A	0,75
M-05	9:35:00	2:00:00	11:35:00	09/10/2006	1A	59,83
M-06	19:50:00	1:00:00	20:50:00	11/10/2006	2C	56,25
M-02	3:55:00	0:30:00	4:25:00	02/11/2006	3B	487,08
M-01	23:00:00	3:00:00	2:00:00	02/11/2006	3B	18,58
EL-01	2:25:00	1:00:00	3:25:00	03/11/2006	3B	24,42
M-05	7:30:00	2:00:00	9:30:00	03/11/2006	1A	4,08
EL-03	11:10:00	2:00:00	13:10:00	03/11/2006	1A	1,67
M-06	20:40:00	1:00:00	21:40:00	03/11/2006	2C	7,50
EL-01	0:35:00	0:20:00	0:55:00	08/11/2006	3A	98,92
M-09	2:10:00	0:30:00	2:40:00	08/11/2006	3A	1,25
M-01	4:00:00	0:20:00	4:20:00	08/11/2006	3A	1,33
EL-01	5:15:00	0:40:00	5:55:00	08/11/2006	3A	0,92
M-02	18:30:00	0:30:00	19:00:00	08/11/2006	2B	12,58
EL-01	11:15:00	1:00:00	12:15:00	09/11/2006	1C	16,25
M-02	15:00:00	0:30:00	15:30:00	09/11/2006	2B	2,75
EL-12	17:50:00	2:00:00	19:50:00	09/11/2006	2B	2,33
M-09	0:10:00	5:30:00	5:40:00	10/11/2006	3A	4,33
M-02	10:20:00	3:00:00	13:20:00	10/11/2006	1C	4,67
M-09	2:25:00	1:40:00	4:05:00	11/11/2006	3A	13,08
M-02	19:00:00	2:10:00	21:10:00	13/11/2006	2A	62,92
EL-09	18:40:00	1:00:00	19:40:00	14/11/2006	2A	21,50
M-02	20:05:00	1:00:00	21:05:00	14/11/2006	2A	0,42
M-05	6:40:00	5:00:00	11:40:00	15/11/2006	1B	9,58
EL-03	11:55:00	2:00:00	13:55:00	15/11/2006	1B	0,25



Tabla 4.7. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
M-02	2:10:00	1:45:00	3:55:00	17/11/2006	3C	36,25
M-02	7:30:00	5:30:00	13:00:00	17/11/2006	1B	3,58
M-09	16:20:00	0:35:00	16:55:00	17/11/2006	2A	3,33
M-09	19:05:00	0:25:00	19:30:00	17/11/2006	2A	2,17
M-09	14:15:00	3:30:00	17:45:00	20/11/2006	2A	66,75
M-02	18:15:00	3:30:00	21:45:00	20/11/2006	2C	0,50
M-02	10:00:00	1:00:00	11:00:00	21/11/2006	1A	12,25
M-05	9:50:00	3:00:00	12:50:00	23/11/2006	1A	46,83
EL-02	17:25:00	1:00:00	18:25:00	24/11/2006	2C	28,58
M-02	20:00:00	0:30:00	20:30:00	24/11/2006	2C	1,58
M-09	14:20:00	5:00:00	19:20:00	27/11/2006	2B	65,83
M-02	1:20:00	3:30:00	4:50:00	28/11/2006	3A	6,00
M-02	8:45:00	0:25:00	9:10:00	29/11/2006	1C	27,92
EL-02	10:30:00	0:30:00	11:00:00	29/11/2006	1C	1,33
M-02	9:45:00	0:30:00	10:15:00	01/12/2006	1C	46,75
M-09	19:00:00	0:40:00	19:40:00	01/12/2006	2B	8,75
EL-02	3:35:00	0:30:00	4:05:00	02/12/2006	3A	7,92
M-05	11:00:00	1:30:00	12:30:00	04/12/2006	1B	54,92
M-02	9:35:00	1:00:00	10:35:00	05/12/2006	1B	21,08
EL-03	12:30:00	0:30:00	13:00:00	05/12/2006	1B	1,92
M-09	16:00:00	3:30:00	19:30:00	05/12/2006	2A	3,00
M-06	3:05:00	1:50:00	4:55:00	06/12/2006	3C	7,58
M-02	8:55:00	3:00:00	11:55:00	06/12/2006	1B	4,00
M-02	15:15:00	1:30:00	16:45:00	06/12/2006	2A	3,33
M-06	17:40:00	0:35:00	18:15:00	08/12/2006	2A	48,92
M-06	8:35:00	4:10:00	12:45:00	11/12/2006	1A	62,33
M-03	2:25:00	0:40:00	3:05:00	13/12/2006	3B	37,67
M-01	16:15:00	0:30:00	16:45:00	09/01/2007	2A	637,17
M-09	18:00:00	1:30:00	19:30:00	09/01/2007	2A	1,25
M-03	20:10:00	1:00:00	21:10:00	09/01/2007	2A	0,67
M-02	17:30:00	1:20:00	18:50:00	10/01/2007	2C	20,33
M-09	11:00:00	0:30:00	11:30:00	15/01/2007	1A	112,17
M-09	17:00:00	2:30:00	19:30:00	16/01/2007	2C	29,50
M-08	10:40:00	0:25:00	11:05:00	17/01/2007	1A	15,17
M-03	22:50:00	0:30:00	23:20:00	18/01/2007	3B	35,75
M-02	9:00:00	0:30:00	9:30:00	19/01/2007	1A	9,67
M-08	11:10:00	2:00:00	13:10:00	19/01/2007	1A	1,67
M-13	17:40:00	2:00:00	19:40:00	19/01/2007	2C	4,50
M-02	20:15:00	0:20:00	20:35:00	19/01/2007	2C	0,58
EL-09	10:15:00	0:35:00	10:50:00	20/01/2007	1A	13,67
M-09	17:50:00	0:30:00	18:20:00	23/01/2007	2B	79,00



Tabla 4.7. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
M-02	2:20:00	1:30:00	3:50:00	25/01/2007	3A	32,00
EL-01	19:35:00	0:30:00	20:05:00	26/01/2007	2B	39,75
M-02	23:10:00	0:30:00	23:40:00	26/01/2007	3A	3,08
M-02	14:00:00	5:30:00	19:30:00	31/01/2007	1A	110,33
M-02	20:00:00	2:00:00	22:00:00	31/01/2007	1A	0,50
M-09	18:30:00	0:50:00	19:20:00	02/02/2007	2A	44,50
M-09	1:35:00	2:30:00	4:05:00	03/02/2007	3C	6,25
M-09	10:45:00	1:00:00	11:45:00	05/02/2007	1A	54,67
M-09	16:55:00	1:15:00	18:10:00	05/02/2007	2C	5,17
M-02	2:25:00	0:30:00	2:55:00	06/02/2007	3B	8,25
M-02	19:30:00	1:00:00	20:30:00	07/02/2007	2C	40,58
EL-02	1:20:00	0:25:00	1:45:00	08/02/2007	3B	4,83
M-09	10:10:00	0:20:00	10:30:00	08/02/2007	1A	8,42
M-08	15:00:00	0:45:00	15:45:00	08/02/2007	2C	4,50
M-02	18:30:00	1:00:00	19:30:00	08/02/2007	2C	2,75
M-02	22:35:00	2:00:00	0:35:00	09/02/2007	3B	27,08
EL-09	16:20:00	0:40:00	17:00:00	13/02/2007	2B	111,75
M-02	2:10:00	0:15:00	2:25:00	14/02/2007	3A	9,17
M-02	10:15:00	0:15:00	10:30:00	21/02/2007	1B	175,83
M-02	15:00:00	0:20:00	15:20:00	21/02/2007	2A	4,50
M-05	17:35:00	0:50:00	18:25:00	21/02/2007	2A	2,25
M-06	18:05:00	0:30:00	18:35:00	22/02/2007	2A	23,67
M-06	19:55:00	0:40:00	20:35:00	23/02/2007	2A	25,33
M-06	7:30:00	5:30:00	13:00:00	26/02/2007	1A	58,92
M-06	14:45:00	2:30:00	17:15:00	26/02/2007	2C	1,75
EL-09	19:45:00	2:00:00	21:45:00	26/02/2007	2C	2,50
M-14	8:55:00	1:00:00	9:55:00	27/02/2007	1A	11,17
Σ Tiempos de falla						8421,95 h

A continuación se muestra un listado con los códigos de las paradas no planificadas por fallas mecánicas y eléctricas en las tablas 4.8 y 4.9 respectivamente.

Tabla 4.8. Códigos de paradas por fallas mecánicas *Fuente: Domínguez & Cía.*

PARADAS NO PLANIFICADAS (MECÁNICAS)	
M-01	Reparación mecánica de alimentador
M-02	Reparación mecánica mesa registro prensa
M-03	Reparación mecánica mesa registro barnizadora
M-04	Reparación mecánica sincronismo
M-05	Reparación mecánica horno
M-06	Reparación mecánica del Epic delta
M-07	Reparación mecánica de sistema de mojadores
M-08	Reparación mecánica cadena principal del horno
M-09	Corregir movimientos de prensa
M-10	Corregir movimientos en barnizadora
M-11	Ajustes y graduaciones en prensa
M-12	Ajustes y graduaciones en barnizadora
M-13	Cambio y reparación de correas
M-14	Reparación en alimentador
M-15	Reparación a la entrada del horno
M-16	Reparación a la salida del horno

Tabla 4.9. Códigos de paradas por fallas eléctricas. *Fuente: Domínguez & Cía.*

PARADAS NO PLANIFICADAS (ELÉCTRICAS)	
EL-01	Reparación eléctrica en alimentadores
EL-02	Reparación eléctrica de sincronismo.
EL-03	Reparación eléctrica en horno
EL-04	Reparación eléctrica en horno zona 1
EL-05	Reparación eléctrica en horno zona 2
EL-06	Reparación eléctrica en horno zona 3
EL-07	Ajuste de temperatura en el horno
EL-08	Evaluación del horno (Data Paq)
EL-09	Reparación eléctrica en Epic-Delta
EL-10	Reparación en Barnizadora
EL-11	Reparación en prensa 1
EL-12	Reparación en prensa 2
EL-13	Reparación en prensa 3
EL-14	Reparación en apilador de fin de línea



Tabla 4.9. Continuación

PARADAS NO PLANIFICADAS (ELÉCTRICAS)	
EL-15	Reparación en tablero del horno
EL-16	Reparación en tablero de prensas
EL-17	Reparación en doble lámina
EL-18	Reparación en contador de principio de línea
EL-19	Reparación en contador de fin de línea
EL-20	Reparación en chiller
EL-21	Reparación en el micro color

Como la rata de falla puede asumirse constante, por lo expuesto anteriormente, se procede a calcular la confiabilidad a través de la Ley Exponencial donde la tasa de falla constante será igual a la tasa de riesgo constante; ésta última se denota con la letra griega λ . Dicha Ley Exponencial permite determinar la confiabilidad con la siguiente ecuación:

$$r(t) = e^{(-\lambda t)} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Además se tiene que el tiempo medio para la falla es igual a la inversa de la tasa de riesgo, siempre y cuando la tasa de riesgo sea una constante, esto es:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

El tiempo medio para la falla, se calcula de la siguiente manera:

$$MTTF = \frac{\sum \text{Tiempofalla } a}{n} \quad \text{Ecuación 2.9}$$



Donde:

- ✓ Σ Tiempo de falla = 8421,95 horas (tabla 4.7)
- ✓ n = número de fallas de la línea de estudio = 236 fallas

$$MTTF = \frac{8421,95}{236} = 35,69 \text{ horas}$$

Ahora, la tasa de riesgo o tasa de falla:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{35,69 \text{ h}} = 0,028 \frac{1}{\text{horas}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} = 0,672 \frac{1}{\text{dia}}$$

Para que los valores de confiabilidad sean apreciables gráficamente, es necesario establecer la tasa de falla en días, ya que el tiempo medio para la falla es de **35,69 horas** y este valor representa el valor estimado para el cual el componente fallará.

Con este valor de λ , sustituyéndolo en la ecuación de confiabilidad se tiene:

$$r(t)_{\text{línea}} = e^{(-0,672t)}$$

Ahora se asignan valores de t , los cuales representan el tiempo en que la línea se encuentra en servicio, y con esto se obtienen los puntos de la curva. (Ver tabla 4.10)



Tabla 4.10. Resultados del cálculo de confiabilidad para la línea de estudio.

Días	r (t)
0	1,000
1	0,511
2	0,261
3	0,133
4	0,068
5	0,035
6	0,018

En la figura 4.21, se puede apreciar que los valores de confiabilidad arrojados por la línea de prensa litográfica, son excesivamente bajos. La figura muestra que para el primer día, el valor de confiabilidad es del 51%, es decir, ya existe alrededor de un 50% de probabilidades de que ocurra una falla en la línea. Para el transcurso del período de dos días, su confiabilidad se sitúa alrededor del 26%, ello implica que en cualquier momento se podría presentar una falla o ya para ese momento la habría presentado.

Estos valores son esperados ya que el valor del tiempo medio para la falla calculado es de 35,69 horas, lo que se traduce en casi un día y medio, y este valor refleja el tiempo promedio en el cual el equipo fallará.

Ahora, es recomendable conocer el comportamiento de cada uno los equipos que conforman la línea de producción, para lo cual agrupamos por equipo, las fallas ocurridas durante el período de estudio, mostradas en la tabla 4.11.

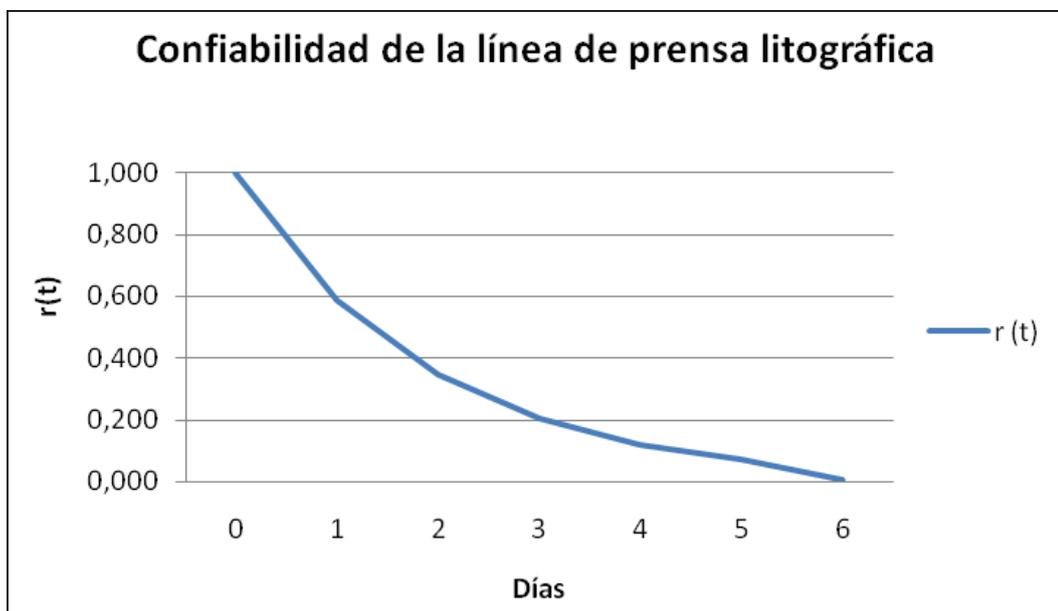


Figura N° 4.21. Curva de confiabilidad de la línea de producción.

Tabla 4.11. Fallas de los equipos de la línea. 6.

EQUIPOS	NÚMERO DE FALLAS	%
Alimentador	23	9.75 %
Prensas litográficas	174	73.73 %
Barnizadora	19	8.05 %
Horno	20	8.47 %
Apilador	0	0 %
TOTAL	236	100 %

Para una mejor visualización de las fallas por equipo, éstas se muestran en la figura 4.22 a continuación:

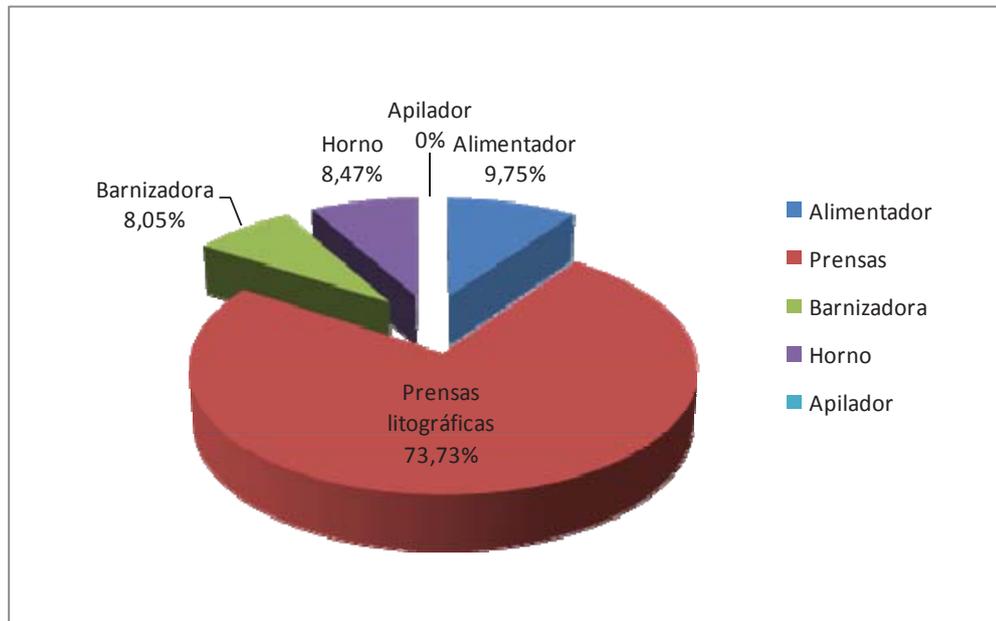


Figura N° 4.22. Cantidad de fallas por equipo.

En la figura 4.22 puede observarse que el 73,73 % de las fallas de la línea pertenecen a los equipos de prensas litográficas. Dado este alto porcentaje de fallas, se tomarán acciones solamente en esta sección de la línea; de esta manera la cantidad de fallas presentadas disminuirían considerablemente lo cual a su vez aumentaría la confiabilidad de la misma.

Sin embargo, es necesario recalcar que la decisión de limitar las acciones de mantenimiento a los equipos de prensa, sólo es posible debido a que, al realizar el análisis de modos y efectos de falla de los demás equipos de la línea en estudio, observamos la ausencia de efectos y consecuencias en la seguridad y/o el ambiente; de existir estas consecuencias, deberían tomarse acciones en estos equipos por igual. *“Si existe un riesgo intolerable de que un modo de falla pueda afectar la seguridad o el ambiente, el proceso MCC estipula que se debe tratar de reducir la probabilidad del modo de falla, sus consecuencias, o ambos de modo que la magnitud del riesgo descienda a un nivel tolerable. Cuando se trata de modos de falla evidentes que*



tienen consecuencias en la seguridad o en el ambiente, MCC no considera el costo del modo de falla. Si el riesgo es intolerable entonces se debe reducir a un nivel tolerante, bien sea con la introducción de una tarea proactiva adecuada (o tareas), o con el cambio de diseño o de la operación del activo”. (SAE JA1012, p 31) [2].

Se presentan a continuación las fallas mostradas por cada uno de los equipos de prensa litográfica en la tabla 4.12:

Tabla 4.12. Fallas de los equipos de la línea 6.

EQUIPOS	NÚMERO DE FALLAS	%
Prensa litográfica 1	60	34,48 %
Prensa litográfica 2	56	32,18 %
Prensa litográfica 3	58	33,34 %
TOTAL	174	100%

Para una mejor visualización de las fallas y su ocurrencia en cada unas de las prensas, éstas se muestran en la figura 4.23.

4.4.2 Costos del Mantenimiento

Antes de la elaboración de un plan de mantenimiento, es necesario conocer los costos asociados a la labor actual de mantenimiento, con el fin de poder determinar si ésta gestión está siendo rentable o no.

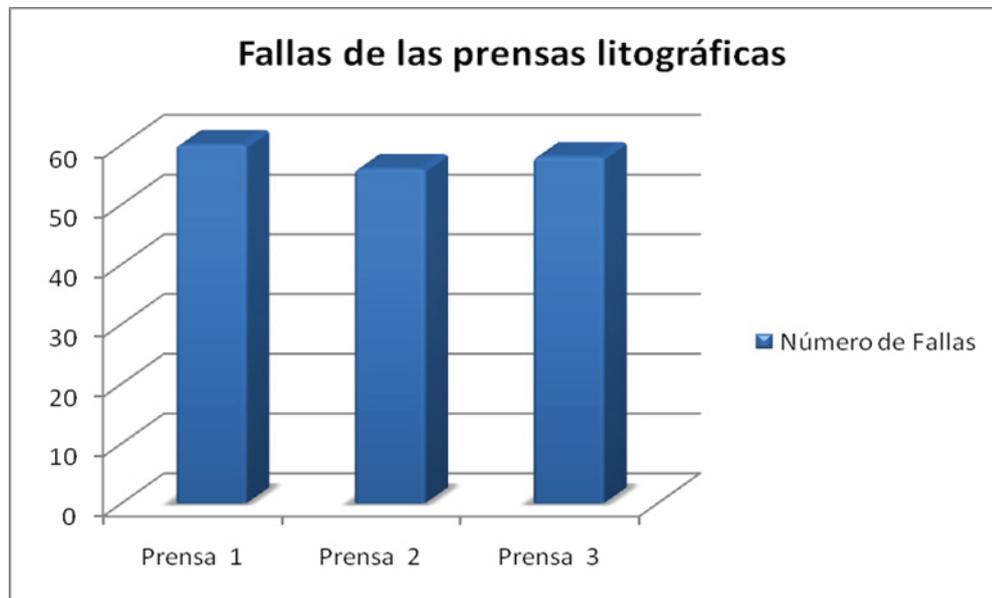


Figura 4.23. Cantidad de fallas por Prensa.

Los costos de la labor actual de mantenimiento de la línea 6 durante el período de estudio fueron otorgados por el departamento de costos de *Domínguez & Cía.* y se muestran en la tabla 4.13 y figura 4.24.

Con el fin de conocer si la gestión de mantenimiento se está realizando de forma adecuada, hacemos mención a una cita del Ingeniero Nava, la cual propone lo siguiente, “...*Los costos de mantenimiento representan aproximadamente el 33% de los costos de operación*” (Nava, 2006, Pág. 29) [3].



Tabla N° 4.13. Costos de mantenimiento línea 6. Fuente: Domínguez & Cía.

Costos de Mantenimiento línea 6. (BsF)	
1er Trimestre	711.417,209
2do Trimestre	263.249,123
3er Trimestre	478.839,938
4to Trimestre	487.858,136

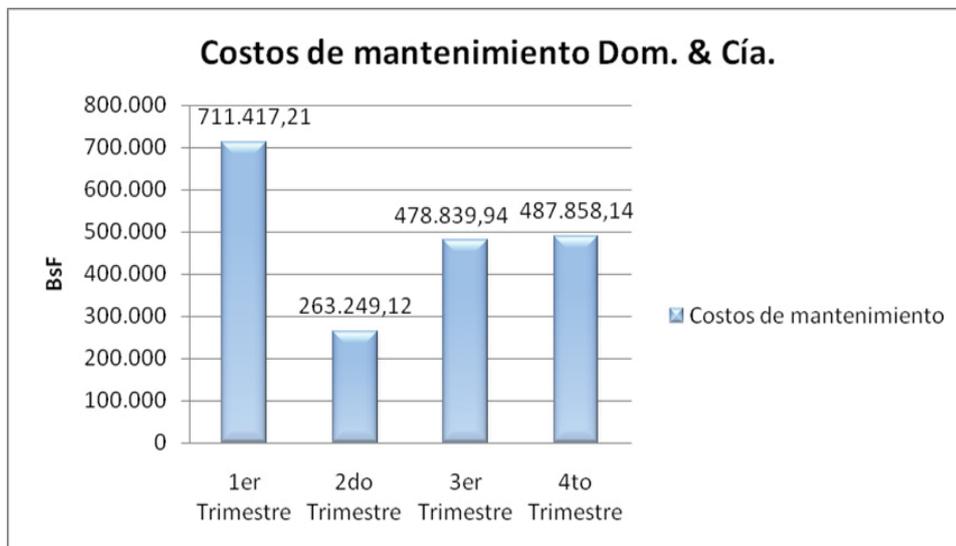


Figura N° 4.24. Costos de mantenimiento línea 6. Fuente: Domínguez & Cía.

Los costos de operación de la línea 6 de prensa litográfica también fueron suministrados por el departamento de costos de Domínguez & Cía. Estos se refieren a los costos que se generan como consecuencia de mantener operacionalmente a la línea. Se dividen en cuatro trimestres durante el período de estudio, y se muestran a continuación. [Ver tabla 4.14 y figura 4.25].



Tabla N° 4.14. Costos de operación Línea 6. Fuente: Domínguez & Cía.

Costos de operación línea 6. (BsF)	
1er Trimestre	634.627,4
2do Trimestre	329.814,7
3er Trimestre	525.043,8
4to Trimestre	466.849,9

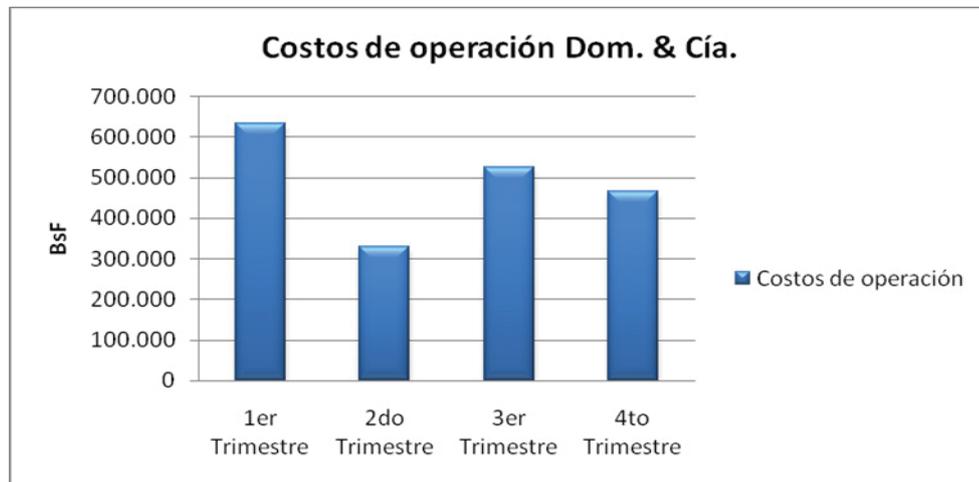


Figura N° 4.25. Costos de operación línea 6. Fuente: Domínguez & Cía.

Con el siguiente ejemplo de cálculo, se determina entonces el 33% de los costos de operación para el 1er trimestre de estudio:

$$33\% COP_{Trimestre e_1} = COP_{Trimestre_1} \times 33\%$$

$$33\% COP_{Trimestre e_1} = 634.627,4(BsF) \times 33\%$$

$$33\% COP_{Trimestre e_1} = 209.427,04(BsF)$$



Los resultados para el 2do, 3er y 4to trimestre se muestran en la tabla 4.15.

Tabla N° 4.15. Costos de mantenimiento línea 6. [33% Op].

Costos de Mantenimiento línea 6. [33% Op]. (BsF)	
1er Trimestre	209.427,04
2do Trimestre	108.838,85
3er Trimestre	173.264,45
4to Trimestre	154.060,46

Graficando estos resultados, se obtiene la siguiente figura:

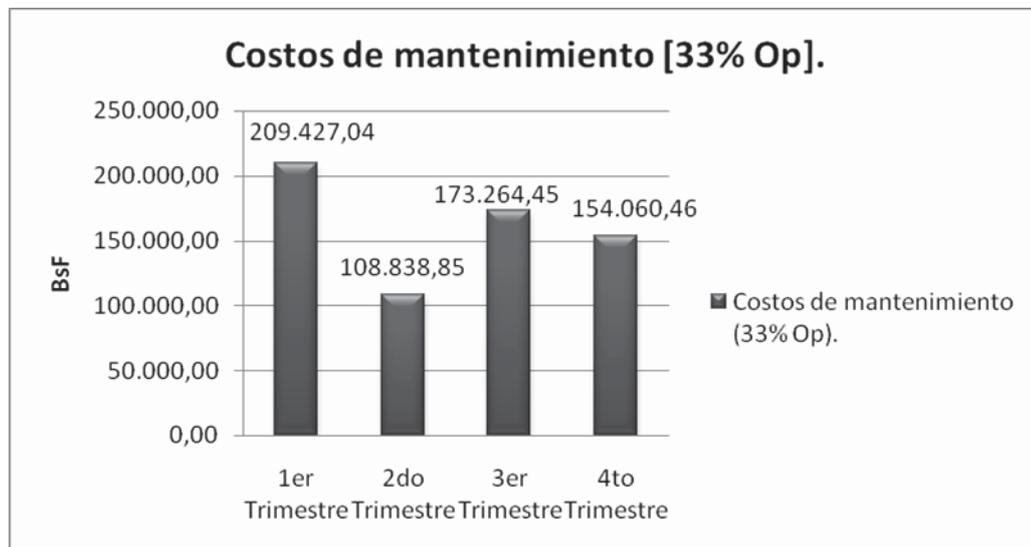


Figura N° 4.26. Costos de mantenimiento línea 6. [33% Op].



A continuación en la figura 4.27 se comparan los costos de mantenimiento de la línea 6 que lleva a cabo actualmente la empresa *Domínguez & Cía.*, con el 33% de los costos de operación.

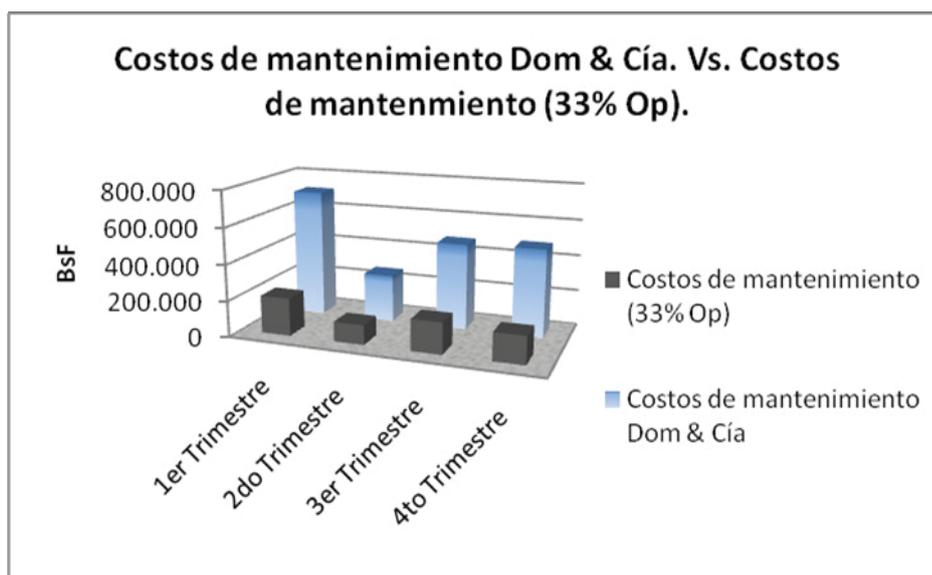


Figura N° 4.27. Costos de mantenimiento línea 6. Vs. Costos de mantenimiento línea 6. [33% Op].

Al observar la figura 4.27 se puede apreciar que en todos los trimestres, los costos del mantenimiento que actualmente se realiza en la línea 6 de prensa litográfica, superan ampliamente el 33% de los costos de operación, es decir, que la gestión de mantenimiento que se lleva a cabo actualmente en esta línea resulta de alto costo y es de gran importancia que los mismos sean disminuidos para obtener mayores beneficios económicos.



4.4.3 Productividad

Mediante el estudio de la productividad se puede conocer el estado actual de una gestión de mantenimiento. La misma indica cuan buena es esta labor en términos de producción y es necesario comparar su valor actual con el nivel deseado para que la empresa permanezca competitiva ante el sector económico.

Gracias al departamento de producción de la empresa *Domínguez & Cía.* se obtuvo la información necesaria para realizar el estudio de productividad de la línea 6 de prensa litográfica.

La producción nominal es 4608 (*bultos de láminas / trimestre*)

La producción actual de la línea 6, se muestra en la tabla 4.16 y en la figura 4.28.

Tabla N° 4.16. Producción actual línea 6. *Fuente: Domínguez. & Cía.*

PRODUCCIÓN (Bultos de láminas)	
1er Trimestre	3498
2do Trimestre	3700
3er Trimestre	3450
4to Trimestre	3611

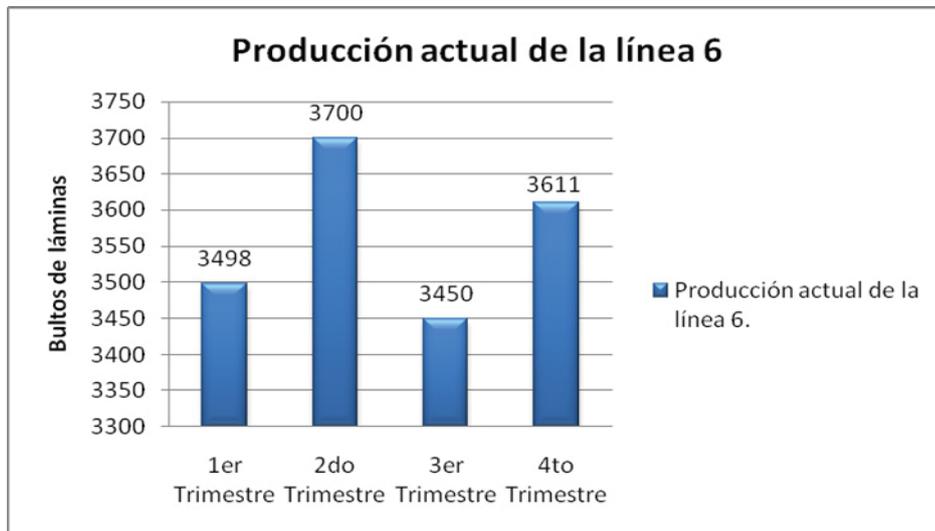


Figura 4.28. Producción actual línea 6. Fuente: Domínguez & Cía.

Observando estos valores de producción en la tabla 4.16 y figura 4.28, se puede apreciar que los niveles de producción actual difieren del nivel nominal de producción (4068 bultos de láminas / trimestre). Por ello, fue necesario determinar la diferencia porcentual entre lo que se produce actualmente y lo que se debe producir. Esta diferencia se muestra en la figura 4.29.

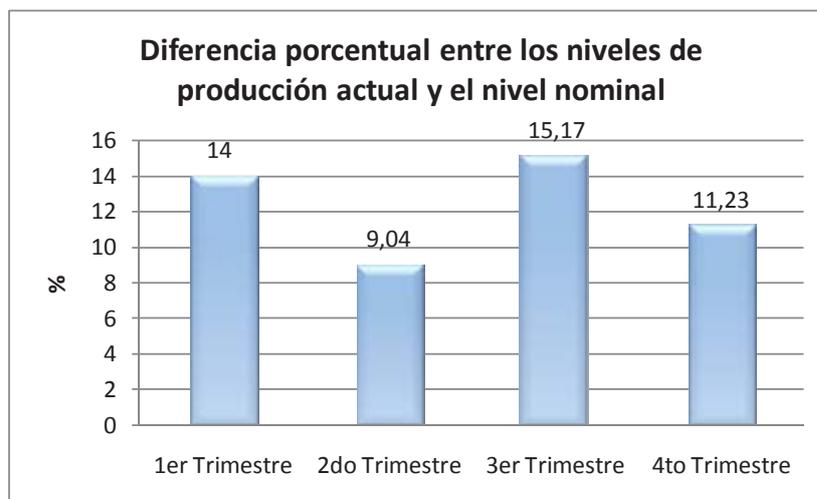


Figura N° 4.29. Diferencia porcentual entre los niveles de producción actual y el nivel nominal.



Como resultado se obtuvo que la diferencia entre los niveles de producción actual y nominal se sitúa en promedio en el 12% aproximadamente para el período de estudio.

En cuanto a la producción, es necesario acotar que la empresa *Domínguez & Cía.* debe permanecer dentro del sector competitivo, para ello se estimó un valor mínimo de producción para dicha permanencia.

El valor mínimo estimado por *Domínguez & Cía.* es 3000 (*bultos de láminas / trimestre*)

Observando los valores de la tabla 4.16 y figura 4.29, se aprecia que los niveles de producción actuales de *Domínguez & Cía.* en todos los trimestres, son mayores al valor mínimo para permanecer dentro del sector competitivo (3000 bultos de láminas / trimestre). La diferencia entre éste valor mínimo y la producción de *Domínguez & Cía.* se encuentra aproximadamente entre el 13% y el 19%. La empresa, analizando estos porcentajes, considera que es de suma importancia elevar estos valores a niveles mayores con el fin de aumentar la eficiencia de la empresa y mejorar su prestigio dentro del sector empresarial.

Es necesario destacar que una mejoría en la labor de mantenimiento del área de litografía, aumentaría los niveles de producción.

4.5 Consecuencias de falla de las prensas litográficas

Luego de elaborar el análisis de modo de falla y los efectos de éstos, es necesario categorizar las consecuencias de los modos de falla. “... *Después que se ha identificado cada modo de falla y sus efectos a un nivel de detalle apropiado, el*



siguiente paso en el proceso del MCC es evaluar las consecuencias de cada modo de falla.” (SAE JA1012, 2002, p 22) [2].

Para catalogar las consecuencias deben distinguirse los modos de falla ocultos, de los modos de falla evidentes del sistema de estudio. En nuestro caso, los modos de falla de la prensa litográfica, resultan evidentes, ya que son visibles para el personal encargado del equipo. *“Un modo de falla evidente es aquel cuyos efectos de falla se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.” (SAE JA1012, 2002, p 6) [2].*

Las consecuencias de cada uno de los modos de falla pueden agruparse en cuatro categorías: seguridad, ambientales, operacionales y no operacionales. Las consecuencias operacionales afectan cuatro parámetros: rendimiento o producción total, calidad del producto, servicios al consumidor e incremento de los costos operacionales en adición a los costos directos de reparación.

Para la categorización de fallas, se tomaron en cuenta solamente las consecuencias operacionales que afectan el rendimiento o la producción total, ya que estos modos de falla generan paradas no planificadas las cuales se traducen en pérdidas de ganancia para la empresa.

Por otra parte, la calidad del producto no se ve afectada porque la empresa desecha cualquier lámina defectuosa que no cumpla con las exigencias de calidad, además, utilizan el desecho para la realización de pruebas necesarias en las máquinas tales como: calibración, tinta, diseño, entre otras.

Domínguez & Cía., no es una empresa de servicios, sino de productos, por lo cual los modos de falla no generan retrasos en servicios al consumidor ni penalidades financieras producto de éstos.



Por último, ninguno de los modos de falla listados anteriormente, generan un aumento de los costos operacionales en adición a los costos directos de reparación, tales como: aumento del consumo de energía eléctrica, consumibles, entre otros.

Por lo dicho anteriormente, tomaremos en cuenta solamente las consecuencias en la seguridad; ambientales; operacionales que afecten el rendimiento o la producción total y las no operacionales; estas últimas asociadas a los costos directos de reparación del modo de falla.

Las consecuencias operacionales a considerar, son aquellas que afectan la producción o el rendimiento. Para el cálculo de ellas se tomó en cuenta la pérdida de ganancia, producto de las paradas no planificadas durante las cuales no se producen láminas, y por ende tampoco los cuerpos para envases como producto final.

Para el cálculo de la pérdida de ganancia, se tomó el producto *Baygon verde resage*; este envase es el más elaborado por la línea de estudio.

En el cálculo se toman en cuenta los siguientes datos, los cuales fueron suministrados por el departamento de costos de *Domínguez & Cía.*:

- ✓ Producción de la línea = 3200 (láminas/hora).
- ✓ Número de cuerpos por lámina del Baygon verde = 20 (cuerpos/lámina).
- ✓ Ganancia por cuerpo hasta el área de Litografía de Baygon verde resage = 0,962 (BsF/cuerpo).

Un ejemplo de cálculo para el modo de falla “*Deformación de cilindro porta placa*”, se muestra a continuación:

Se tiene:



$$3200 \left(\frac{\text{láminas}}{\text{hora}} \right) \times 20 \left(\frac{\text{cuerpos}}{\text{lámina}} \right) = 64000 \text{cuerpos/hora}$$

Para este modo de falla el tiempo de reparación (TR) = 4320 min, llevando esto a horas:

$$4320 \text{ min} \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \right) = 72 \text{ horas}$$

Ahora, se requiere saber que cantidad de cuerpos han dejado de producirse en este tiempo, por lo que:

$$72 \text{ horas} \times 64000 \left(\frac{\text{cuerpos}}{\text{hora}} \right) = 4.068.000,00 \text{cuerpos}$$

Como la ganancia es de 0,962 BsF/ cuerpo, se tiene:

$$4.068.000,00 \text{cuerpos} \times 0,962 \left(\frac{\text{BsF}}{\text{cuerpo}} \right) = 3.193.416,00 \text{BsF}$$

Las consecuencias operacionales detalladas para cada modo de falla de las prensas litográficas se muestran en la tabla 4.17.



Tabla N° 4.17. Consecuencias operacionales de las prensas litográficas.

CONSECUENCIAS OPERACIONALES			
Modos de falla	TR (min)	Cuerpos de envases no producidos	Pérdida de ganancia (BsF)
Deformación del cilindro porta placa	4320	4.608.000	3.913.416,00
Rodamientos defectuosos del cilindro porta- placa.	4320	4.608.000	3.913.416,00
Deformación del cilindro de mantilla (Blanket)	4320	4.608.000	3.913.416,00
Rodamientos defectuosos del cilindro de mantilla	4320	4.608.000	3.913.416,00
Deformación del cilindro de impresión	4320	4.608.000	3.913.416,00
Rodamientos defectuosos del cilindro de impresión	4320	4.608.000	3.913.416,00
Rodamientos defectuosos de las escuadras laterales	30	32.000	30.784,00
Escuadras laterales defectuosas	20	21.334	20.523,30
Falla en los resortes de las escuadras laterales	10	10.667	10.261,65
Bielas de las escuadras desgastada	60	64.000	61.568,00
Pasador de biela de escuadra defectuoso	20	21.334	20.523,30
Rodillo seguidor de leva defectuoso	45	48.000	46.176,00



Tabla 4.17. Continuación

Modos de falla	TR (min)	Cuerpos de envases no producidos	Pérdida de ganancia (BsF)
Levas del escuadras laterales desgastada	90	96.000	92.352,00
Levas del escuadras laterales desajustada.	20	21.334	20.523,30
Cadenas estirada del sistema de empujadores	240	256.000	246.272,00
Bloque de arrastre desgastado	240	256.000	246.272,00
Rodamientos defectuosos de empujadores	240	256.000	246.272,00
Resortes partidos en varillas de presión de Grippers	15	16.000	15.392,00
Varilla en el sistema Grippers ranurada.	90	96.000	92.352,00
Rodamientos de varillas de Grippers defectuosos	60	64.000	61.568,00
Resorte de pinza de Grippers defectuoso	15	16.000	15.392,00
Hoja de Grippers desajustada	5	5.334	5.131,08
Hoja de Grippers desgastada	15	16.000	15.392,00
Rodamientos del epic Delta defectuosos	240	256.000	246.272,00



Tabla 4.17. Continuación

Modos de falla	TR (min)	Cuerpos de envases no producidos	Pérdida de ganancia (BsF)
Desgaste de la uña de los trinquetes	60	64.000	61.568,00
Resorte de trinquetes defectuoso	15	16.000	15.392,00

Como hemos dicho, las consecuencias no operacionales reflejan los costos directos de reparación. Para el cálculo de éstos tomamos en cuenta el costo de parada de la línea, producto del tiempo de reparación generado por el modo de falla, y a ello le sumamos el costo del material utilizado o repuesto.

Un ejemplo de cálculo para el modo de falla “*Deformación de cilindro porta placa*”, se muestra a continuación:

$$\text{CNO} = (\text{Tiempo parada}_{\text{línea}} \times \text{Costo hora}_{\text{línea}}) + \text{Costo repuesto}$$

Donde:

- ✓ CNO: Consecuencia No Operacional
- ✓ Costo hora $_{\text{línea}}$ = constante = 313,5 BsF.

El costo de la línea por hora, fue una información suministrada por el departamento de costos de la empresa, calculado a través de un software administrativo llamado SAP, donde se toman en cuenta parámetros tales como: depreciación de maquinaria, gastos generales (solventes, material de oficina, vigilancia, depreciación mobiliario y equipo), gastos de máquina (consumibles, combustibles, luz, arrendamiento de equipos) y mano de obra directa: mecánicos,



electricistas, operarios de máquinas, etc. (salarios, vacaciones, antigüedad, utilidades, sobretiempo).

Con esta información se calcula para el primer modo de falla:

$$CNO = \left[4320 \min \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \right) \times \left(313,5 \frac{\text{BsF}}{\text{hora}} \right) \right] + 70669,47 \text{ BsF} = 93.241,47 \text{ BsF}$$

En la tabla mostrada a continuación se detallan las consecuencias no operacionales para cada modo de falla de las prensas litográficas:

Tabla 4.18. Consecuencias no operacionales de la prensa litográfica

CONSECUENCIAS NO OPERACIONALES					
Modos de falla	TR (min)	Costo de la parada	Repuesto	Costo del repuesto (BsF)	TOTAL
Deformación del cilindro porta placa	4320	22.572,00	Cilindro	70.669,47	93.241,47
Rodamientos defectuosos del cilindro porta- placa.	4320	22.572,00	Rodamiento	2.337,06	24.909,06
Deformación del cilindro de mantilla (Blanket)	4320	22.572,00	Cilindro	45.898,07	68.470,07
Rodamientos defectuosos del cilindro de mantilla	4320	22.572,00	Rodamiento	2.337,06	24.909,06



Tabla 4.18. Continuación

Modos de falla	TR (min)	Costo de la parada	Repuesto	Costo del repuesto (BsF)	TOTAL
Deformación del cilindro de impresión	4320	22.572,00	Cilindro	49.797,11	72.369,11
Rodamientos defectuosos del cilindro de impresión	4320	22.572,00	Rodamiento	2.337,06	24.909,06
Rodamientos defectuosos de las escuadras laterales	30	156,75	Rodamiento	33,48	190,23
Escuadras laterales defectuosas	20	104,50	Escuadra	43,00	147,50
Falla en los resortes de las escuadras laterales	10	52,25	Resortes	3,42	55,67
Bielas de las escuadras desgastada	60	313,50	Biela	12,80	326,30
Pasador de biela de escuadra defectuoso	20	104,50	Pasador	7,68	112,18
Rodillo seguidor de leva defectuoso	45	235,13	Rodillo	13,5	248,63
Levas del escuadras laterales desgastada	90	470,25	Leva	35,70	505,95
Levas del escuadras laterales desajustada.	20	104,50	-----	-----	104,50
Cadenas estirada del sistema de empujadores	240	1.254,00	Cadena	252,00	1.506,00



Tabla 4.18. Continuación

Modos de falla	TR (min)	Costo de la parada	Repuesto	Costo del repuesto (BsF)	TOTAL
Bloque de arrastre desgastado	240	1.254,00	Bloque	91,56	1.345,56
Rodamientos defectuosos de empujadores	240	1.254,00	Rodamiento	50,52	1.304,52
Resortes partidos en varillas de presión de Grippers	15	78,38	Resorte	6,33	84,71
Varilla en el sistema Grippers ranurada.	90	470,25	Varilla	37,20	507,45
Resorte de pinza de Grippers defectuoso	15	78,38	resorte	5,42	83,80
Hoja de Grippers desajustada	5	26,13	-----	-----	26,13
Hoja de Grippers desgastada	15	78,38	Hoja	53,40	131,78
Rodamientos del epic Delta defectuosos	240	1.254,00	rodamiento	9,54	1.263,54
Desgaste de la uña de los trinquetes	60	313,50	Uña	4,3	317,80
Resorte de trinquetes defectuoso	15	78,38	resorte	2,3	80,68
Rodamientos de varillas de Grippers defectuosos	60	313,50	rodamiento	51,44	364,94



En la tabla 4.19 se listan las consecuencias derivadas de los modos de falla de las prensa litográficas: seguridad, ambientales, operacionales y no operacionales; estas dos últimas reflejadas en las tablas 4.17 y 4.18 respectivamente.

Tabla N° 4.19. Consecuencias de falla de las prensas litográficas.

CONSECUENCIAS DE FALLA				
Modo de falla	Seguridad	Ambientales	Operacionales (BsF)	No operacionales (BsF)
Deformación del cilindro porta placa	No posee	No posee	3.913.416,00	93.241,47
Rodamientos defectuosos del cilindro porta- placa.	No posee	No posee	3.913.416,00	24.909,06
Deformación del cilindro de mantilla (Blanket)	No posee	No posee	3.913.416,00	68.470,07
Levas del escuadras laterales desgastada	No posee	No posee	92.352,00	505,95
Levas del escuadras laterales desajustada.	No posee	No posee	20.523,30	104,50
Cadenas estiradas del sistema de empujadores	No posee	No posee	246.272,00	1.506,00
Bloque de arrastre desgastado	No posee	No posee	246.272,00	1.345,56
Rodamientos defectuosos de empujadores	No posee	No posee	246.272,00	1.304,52



Tabla 4.19. Continuación

Modo de falla	Seguridad	Ambientales	Operacionales (BsF)	No operacionales (BsF)
Resortes partidos en varillas de presión de Grippers	No posee	No posee	15.392,00	84,71
Varilla en el sistema Grippers ranurada	No posee	No posee	92.352,00	507,45
Rodamientos de varillas de Grippers defectuosos	No posee	No posee	61.568,00	364,94
Resorte de pinza de Grippers defectuoso	No posee	No posee	15.392,00	83,80
Hoja de Grippers desajustada	No posee	No posee	5.131,08	26,13
Hoja de Grippers desgastada	No posee	No posee	15.392,00	131,78
Rodamientos del epic Delta defectuosos	No posee	No posee	246.272,00	1.236,54
Desgaste de la uña de los trinquetes	No posee	No posee	61.568,00	317,80
Resorte de trinquetes defectuoso	No posee	No posee	15.392,00	80,68

4.6 Políticas de manejo de fallas

Para seleccionar la política de manejo de fallas que mejor se ajuste a cada modo de falla en particular y que además maneje las consecuencias de éstas, se optó por la utilización del diagrama de decisiones.



En este diagrama se considera una jerarquía de políticas para cada tipo de modo de falla. “*Para modos de falla evidentes que no puedan afectar a la seguridad o al ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programada, mantenimiento no programado y cambio de especificaciones*” (SAE JA1012, 2002, p 50) [2].

Los modos de fallas descritos para las prensas litográficas, son evidentes y sus consecuencias son económicas, por lo que utilizaremos el orden de políticas de manejo de fallas, descrito en el párrafo anterior.

Utilizando el diagrama de decisiones establecido por la norma SAE JA1012, en la figura 4.30, se muestran las decisiones tomadas para la elaboración del plan de mantenimiento.

En la selección de las políticas de manejo de fallas, se consideran tres criterios: relación entre longevidad y falla; técnicamente factible y efectividad del costo.

En nuestro caso, los criterios utilizados corresponden a los dos últimos mencionados anteriormente, ya que la relación longevidad - falla considera la relación entre la exposición al esfuerzo y la falla para cada componente en particular, es decir, el patrón de falla, donde se expresa la probabilidad condicional de la misma a lo largo de la vida del componente. Esta información se desconoce por completo, por lo que no se tomó en cuenta este criterio.

Para una adecuada utilización del diagrama de decisiones y la determinación de las debidas respuestas para la selección de las políticas de fallas, se encuentra útil el uso de la siguiente información:

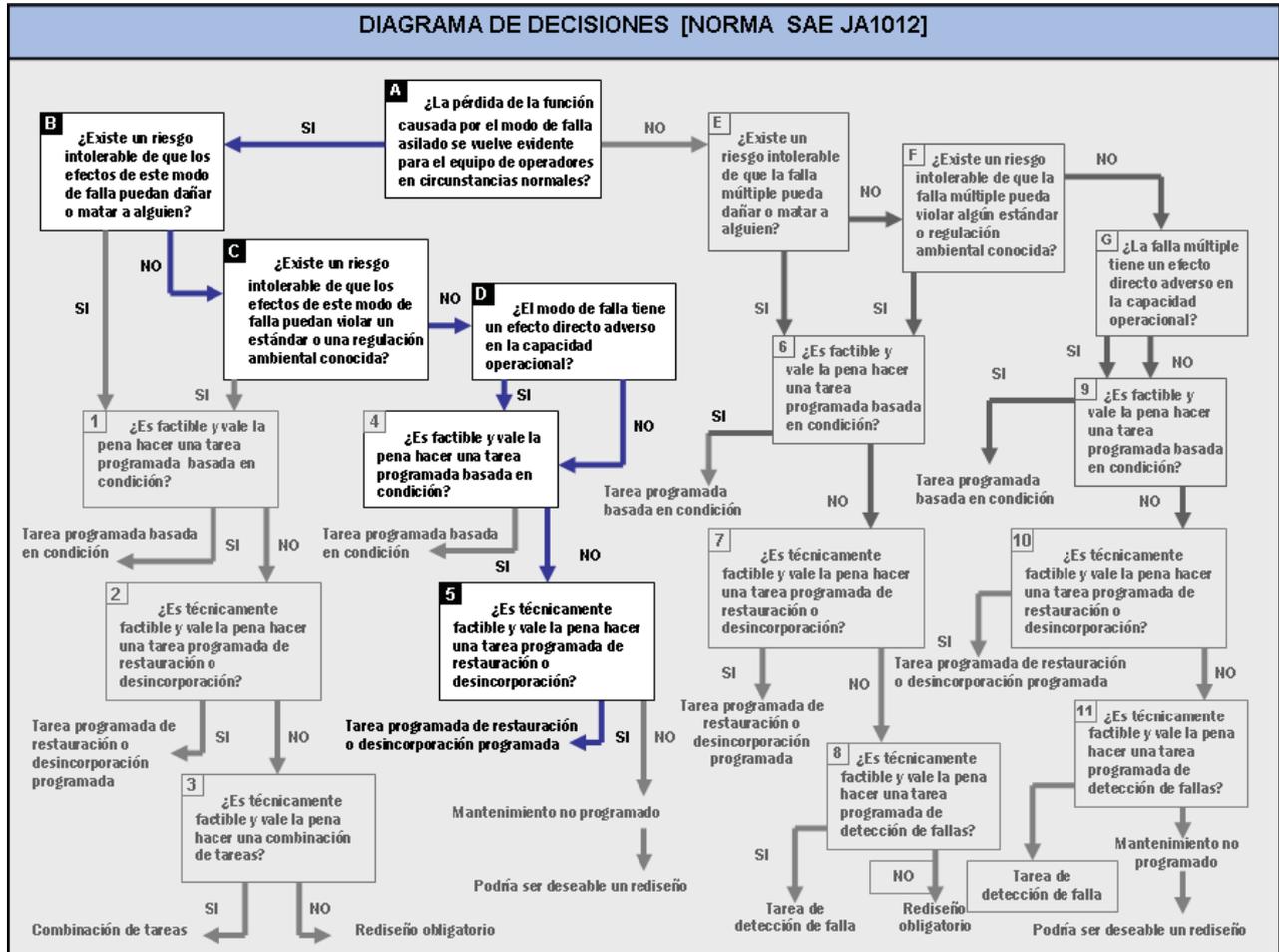


Figura 4.30. Diagrama de decisiones usado para la selección de la política de manejo de fallas. Fuente: Norma SAE JA1012.

Criterio de factibilidad técnica

- Tareas programadas basadas en condición

¿Existe una condición clara de falla potencial?, ¿cuál es?, ¿cuál es su intervalo p-f?, ¿es este intervalo lo suficientemente grande para tomar una acción a fin de evitar o minimizar las consecuencias de la falla?, ¿es consistente el intervalo p-f?, ¿es práctico realizar las tareas a intervalos menores que el intervalo p-f?



- *Tareas programadas de restauración o desincorporación programada*

¿Existe una longevidad a la cual haya un incremento en la probabilidad condicional de falla?, ¿cuál es la longevidad?, ¿sobrevivirán suficientes ítems a esta longevidad para satisfacer el criterio de efectividad? Solo para restauración programada: ¿La tarea restaurará la resistencia original a fallar?

Criterio de efectividad

- *Consecuencias evidentes en la seguridad o el ambiente*

La política de manejo de fallas debe reducir el riesgo de la falla a un nivel tolerable.

- *Consecuencias económicas evidentes*

En un período de tiempo, la política de manejo de fallas debe ser menos costosa que los costos de las consecuencias operacionales (si los hay) más los costos de reparación.

4.6.1 Selección de las políticas de manejo de fallas

- *Tareas basadas en condición:*

“Cualquier tarea basada en condición o predictiva basada en condición que se seleccione, o tarea de monitoreo debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- a. Debe existir una falla potencial claramente definida.



- b. Debe existir un intervalo P-F identificable o período de desarrollo de la falla.
- c. El intervalo de la tarea debe ser menor al intervalo P-F probable más corto.
- d. Debe ser físicamente posible realizar la tarea en intervalos menores que el intervalo P-F.
- e. El tiempo más corto entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional (el intervalo P-F menos el intervalo de la tarea) debe ser suficientemente largo para predeterminar la acción a ser tomada a fin de evitar, eliminar o minimizar las consecuencias del modo de falla (SAE JA1012, 2002, p 33) [2].

En nuestro caso, la información referente a la identificación de las fallas potenciales, así como los períodos de desarrollo de la falla (intervalos P-F) para cada uno de los elementos de las prensas litográficas, se desconoce por completo; por esta razón no se pueden elaborar tareas o acciones basadas en condición que cumplan con los parámetros de la norma SAE JA1012.

➤ *Cambio de especificaciones*

“En casos donde el modo de falla es evidente y no tiene consecuencias en la seguridad ni el ambiente, cualquier cambio de especificaciones debe ser costo efectivo en opinión del dueño o usuario del activo” (SAE JA1012, 2002, p 45) [2].

La empresa Domínguez & Cía., no desea un rediseño o cambio de especificaciones de sus equipos, no lo considera una alternativa de solución al problema planteado, es por ello que estas acciones no serán tomadas para nuestro estudio.



Lo expresado anteriormente nos deja con dos alternativas de políticas de manejo de fallas para las prensas en estudio: tareas de desincorporación/restauración programada y mantenimiento no programado (operar hasta fallar).

➤ *Tareas de desincorporación/restauración programada y operar hasta fallar.*

Para cada modo de falla mencionado para las prensas litográficas es necesario evaluar cual acción es económicamente factible y efectiva “...*para evaluar la viabilidad económica de cualquier tarea, es necesario comparar el costo total del modo de falla en un período dado con el costo total de la política de manejo de falla en el mismo período*”. (SAE JA1012, 2002, p 32) [2].

Para ello, se toman en cuenta las consecuencias de falla, operacionales y no operacionales mostradas en las tablas 4.18 y 4.19. Estas consecuencias traducidas en costos para la empresa nos permiten decidir cual tarea de mantenimiento es la adecuada para cada falla. Estas tareas serán comparadas en base anual.

Conocemos que el costo de las acciones de mantenimiento correctivo (operar hasta fallar) están representadas por: los costos no operacionales o costos directos de reparación, aunados a los costos operacionales referidos a la pérdida de ganancia producto de las paradas no planificadas.

Por otro lado, se sabe que el costo de las tareas de mantenimiento preventivo (tareas de desincorporación/restauración programada) está representado por los costos no operacionales.

Conocido esto, es necesario evaluar cual de las dos tareas antes mencionadas se va a implementar. Para ello, primero es necesario determinar el tiempo esperado para



la ocurrencia de los modos de falla (MTTF) lo que nos permite determinar la frecuencia de aparición de la falla y con ello calcular los costos asociados a ellas.

Determinación del tiempo medio para la falla (MTTF)

Para la determinación de este parámetro, es necesario obtener el número de veces que ocurre el modo de falla en el período de tiempo de estudio, para ello se requiere extraer esta información del historial de falla mostrado en la tabla 4.7.

Un ejemplo de cálculo para el modo de falla “*Escuadra lateral defectuosa*” extraído de la prensa litográfica 1, se muestra en la tabla 4.20.

Tabla N° 4.20. Modo de falla “Escuadra lateral defectuosa”. Fuente: Domínguez. & Cía.

Modo de falla	Fecha	Hora Inicio	Hora final	TR (min)
Escuadra lateral defectuosa	05/04/2006	16:45:00	17:05:00	0:20:00
Escuadra lateral defectuosa	03/08/2006	8:40:00	9:15:00	0:35:00
Escuadra lateral defectuosa	29/11/2006	8:45:00	9:10:00	0:25:00

$$MTTF = \frac{\sum \text{tiempos de falla}}{n} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

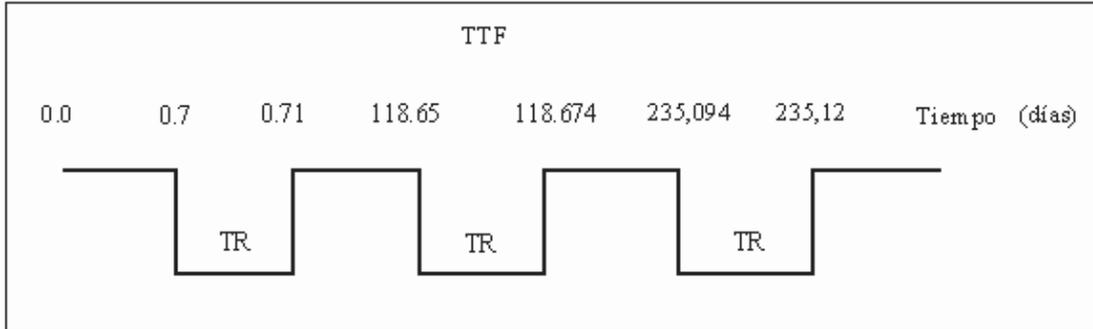


Figura 4.31. Recta de tiempo para el cálculo del MTTF del modo de falla “Escuadra lateral defectuosa”.

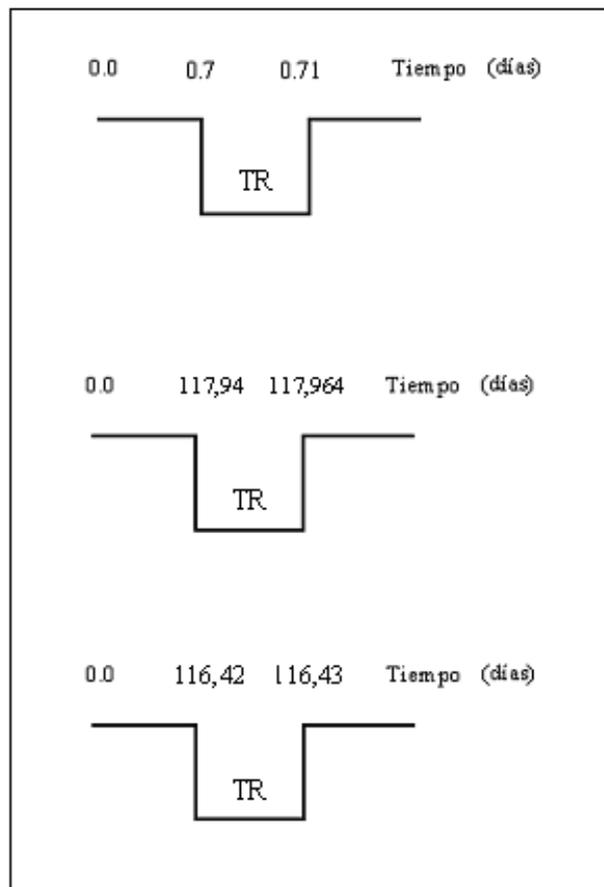


Figura 4.32. Nuevas rectas de tiempo en el cálculo del MTTF. Del modo de falla “Escuadra lateral defectuosa”.



$$MTTF = \frac{117,94 + 116,42}{2} = 117,18 \text{ (días)}$$

$$MTTF = 117,18(\text{días}) \left[\frac{24(\text{horas})}{1(\text{día})} \right] = 2812,46 \text{ horas}$$

De igual manera se procedió a realizar el cálculo del MTTF para todos los modos de falla restantes de las prensas uno, dos y tres respectivamente, los cuales se muestran a continuación:

Tabla N° 4.21. MTTF de todos los modos de falla de la prensa 1.

Descripción de la falla	MTTF (horas)	MTTF (meses)
Rodamiento defectuosos de la escuadra lateral	1426,25	1,98
Escuadra lateral defectuosa	2812,46	3,90
Falla en el resorte de la escuadra lateral	2547,50	3,53
Bielas de escuadra desgastada	1.804,17	2,5
Leva de escuadra lateral desajustada	820.42	1.13
Cadena estirada del sistema de empujadores	2101,14	2,91
Bloque de arrastre desgastado	2547.67	3,54
Rodamiento defectuoso de empujadores	2032,64	2,82
Resorte partidos en varillas de presión de Grippers	3794.45	5,27
Varilla en el sistema de grippers ranurada	3159,11	4,38
Rodamientos de varillas de Grippers defectuosos	3893,54	5,40
Resorte de pinza de Grippers defectuoso	3225,61	4,48
Hoja de Grippers desajustada	2149,44	2,98
Desgaste de la uña de los trinquetes	5423,15	7,53
Resorte de trinquete defectuoso	4780,59	6,64



Tabla N° 4.22. MTTF de todos los modos de falla de la prensa 2.

Descripción de la falla	MTTF (horas)	MTTF (meses)
Rodamiento defectuosos de la escuadra lateral	1922,83	2,67
Escuadra lateral defectuosa	784,33	1,08
Bielas de escuadra desgastada	5951,42	8,26
Cadena estirada del sistema de empujadores	1997,83	2,77
Bloque de arrastre desgastado	2459,12	3,41
Rodamientos defectuosos de empujadores	5748,50	7,98
Resorte partidos en varillas de presión de Grippers	3552,34	3,50
Varilla en el sistema de grippers ranurada	6793,15	9,43
Rodamientos de varillas de Grippers defectuosos	4415,98	6,13
Resortes partidos de pinzas de grippers	3027,00	4,22
Hoja de Grippers desajustada	2465,17	3,42

Tabla N° 4.23. MTTF de todos los modos de falla de la prensa 3.

Descripción de la falla	MTTF (horas)	MTTF (meses)
Rodamiento defectuosos de la escuadra lateral	1300,98	1,81
Escuadra lateral defectuosa	3340,25	4,63
Falla en el resorte de la escuadra lateral	2265,83	3,15
Cadena estirada del sistema de empujadores	1624,50	2,25
Bloque de arrastre desgastado	2879,23	3,99
Rodamiento defectuoso de empujadores	1963,16	2,72
Resorte partidos en varillas de presión de Grippers	1358,16	1,88
Varilla en el sistema de grippers ranurada	1291,33	1,79
Rodamientos de varillas de Grippers defectuosos	4219,42	5,80
Hoja de Grippers desajustada	866,46	1,2



Determinación de los costos de mantenimiento

Para determinar la política de manejo de fallas más costo efectiva a implementarse, se determinaron los costos del mantenimiento correctivo y el costo de mantenimiento preventivo.

➤ Mantenimiento Correctivo

Un ejemplo de cálculo para el modo de falla “*Escuadra lateral defectuosa*” extraído de la prensa litográfica 1, se muestra a continuación:

Para este modo de falla el valor de vida esperada es, $MTTF = 2812,46$ horas. (Ver tabla 4.21). Con este valor, se procedió a determinar la frecuencia de aparición de la respectiva falla durante el año de estudio.

$$MTTF = 2812,46 \text{ horas} \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \right) \left(\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \right) = 3,90 \text{ meses}$$

Con este cálculo se sabe que cada falla ocurre aproximadamente cada cuatro (4) meses, y dado que un año contiene doce (12) meses, se calculó el número de fallas por año.

$$\text{Número de fallas / año} = \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ falla}}{4 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{Número de fallas / año} = 3,07 \cong 3.$$

Con esto, el costo de acciones correctivas para este modo de falla es:



$Costos_{correctivo} = (N^{\circ} \text{ fallas} / \text{año}) \times (\text{Costos de consecuencias operacionales} + \text{Costos de consecuencias no operacionales})$

$$Costos_{correctivo} = 3fallas \times (20.523,30 \text{ BsF/falla} + 147,50 \text{ BsF/falla})$$

$$Costos_{correctivo} = 62.012,40 \text{ (BsF/ año)}$$

➤ **Mantenimiento Preventivo**

Para el modo de falla mostrado anteriormente, se tiene igualmente, el valor de vida esperada $MTTF = 2812,46$ horas.

La frecuencia de reemplazo para este modo de falla se estableció trimestral, es decir, cuatro (4) reemplazos al año, esto en base a:

- El tiempo de reemplazo es menor al tiempo de ocurrencia de la falla, evitando así que la misma suceda.
- La planificación de mantenimiento se desea llevar a cabo mensualmente.
- La planificación de producción del área de litografía se establece en períodos mensuales.

Ahora, realizando el cálculo del costo de las acciones preventivas, se tiene:

$$Costos_{preventivo} = N^{\circ} \text{ reemplazos} \times (\text{Costos no operacionales})$$

$$Costos_{preventivo} = 4 \times (147,50 \text{ BsF}) = 590,00 \text{ (BsF/año)}$$

Comparando los costos generados por las acciones correctivas y preventivas para el modo de falla estudiado se tiene que la alternativa costo efectiva apropiada es



la de mantenimiento preventivo. Esto significaría un ahorro aproximadamente del 99% de los costos anuales generados actualmente por el mantenimiento correctivo aplicado a las tres prensas de la línea 6.

Para los modos de fallas restantes, no se realiza el análisis anterior, ya que al observar los valores reflejados en las tablas 4.21, 4.22 y 4.23, se aprecia que el costo de las acciones correctivas resultan significativamente mayores que las acciones preventivas para cada modo de falla específico, es decir, que aunque la frecuencia de reemplazo de los componentes sea 10 veces mayor a la ocurrencia de las fallas actuales, el costo del mantenimiento preventivo siempre seguirá siendo menor al correctivo.

4.7 Elaboración del Plan de Mantenimiento

4.7.1 Inventario de los equipos de estudio

Luego del análisis realizado a las fallas ocurridas durante el año en estudio, y de la selección de las políticas de manejo de fallas se elaboró el plan de mantenimiento a cada una de las prensas litográficas, cuyas características se muestran en la tabla siguiente:

Tabla N° 4.24. Equipos de estudio.

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad
Prensa Litográfica	Crabtree	40" x 36"	3

Aunque los equipos son idénticos, se realizó un plan de mantenimiento individual para cada prensa litográfica, ya que al estudiar las fallas presentadas



durante el período de estudio, estas resultaron con una tasa de ocurrencia diferente para cada una de ellas.

4.7.2 Codificación de los equipos de estudio

Para el diseño del plan de mantenimiento de las prensas litográficas se realizó un sistema de codificación que permite conocer el área de la planta a la cual pertenece el equipo, así como su ubicación dentro de la línea de producción. Esta codificación fue elaborada en conjunto con el personal de *Domínguez & Cía.*, de modo que permitiera una identificación sencilla y efectiva que se ajuste a las necesidades de la planta.

En nuestro caso el área de estudio está representada por el área de litografía, encargada del mantenimiento de las prensas litográficas. Sin embargo, el sistema de codificación se diseñó para ser aplicado a todos los equipos que integran esta área.

El código establecido es alfanumérico y consta de 10 caracteres y se maneja de la siguiente manera:

VV –WWXX –YYZZ

VV: Representa el área productiva de la planta, para esto se asignaron siglas según sus iniciales para su identificación, como se muestra en la tabla 4.25.

Tabla N° 4.25. Codificación de área.

Área	Código
Litografía	LI

WW: Representa el tipo de línea de producción, igualmente se asignaron siglas según sus iniciales para su identificación, como se muestra en la tabla 4.26.



Tabla N° 4.26. Codificación de líneas.

Línea productiva	Código
Prensa litográfica	LP
Barnizadora	LB

XX: Representa el número de línea de producción dentro del área de litografía, para esto se asignaron números para su identificación, como se muestra en la tabla 4.27.

Tabla N° 4.27. Numeración de líneas de producción.

Línea	Número
Línea 1	01
Línea 2	02
Línea 3	03
Línea 4	04
Línea 5	05
Línea 6	06
Línea 7	07
Línea 8	08
Línea 9	09
Línea 10	10

YY: Representa el tipo de equipo dentro de la línea de producción, para esto se asignaron siglas que permiten la identificación, como se muestra en la tabla 4.28.



Tabla N° 4.28. Codificación por tipo de equipo

Tipo de Equipo	Código
Alimentador	AL
Prensa Litográfica	PR
Barnizadora	BA
Horno	HO
Apilador	AP

ZZ: Representa el número del equipo por tipo dentro de la línea, para esto se enumera el equipo de acuerdo a su posición dentro de la misma.

Para entender la codificación se muestra el código aplicado a las prensas de estudio:

Para la prensa N° 1, se tiene: **LI -LP06- PR01**

LI: El equipo pertenece al área de litografía

LP: La línea es de prensa litográfica

06: Referido a la línea 6 de producción

PR: El equipo se refiere a una prensa litográfica.

01: La prensa es la primera dentro de la línea de producción.

De igual manera, para la prensa N° 2, sería: **LI -LP06- PR02** y la prensa N° 3: **LI -LP06- PR03**

4.7.3 Acciones de mantenimiento preventivo

Con base a los historiales de falla de cada una de las prensas y a la información suministrada tanto por los operarios de la línea, como por el supervisor de mantenimiento, se determinaron las rutinas de mantenimiento a seguir para:



- ✓ Reemplazos programados.
- ✓ Lubricaciones.
- ✓ Ajustes.

4.7.3.1 Determinación de las características de las acciones de mantenimiento

Para la elaboración del plan de mantenimiento, es necesario definir las características a considerar en la programación y ejecución de las acciones de mantenimiento preventivo mencionadas anteriormente. Estas características comprenden: código de la actividad a efectuar, descripción de la actividad, frecuencia, personal, así como las horas hombres requeridas para la realización de la actividad.

a) Código de la actividad a efectuar

Para cada una de las acciones de mantenimiento, también se elaboró una codificación sencilla, que permitiera su identificación y simplificar el registro de cada una de ellas. El código establecido es alfanumérico y se maneja de la siguiente manera:

XX YYY ZZ

XX: Representa la rutina de mantenimiento preventivo a efectuar; para esto se asignaron siglas según sus iniciales para su identificación, como se muestra en la tabla 4.29.



Tabla N° 4.29. Codificación de rutinas

Rutina	Código
Ajustes	AJ
Lubricación	LU
Reemplazo programado	RP

YYY: Representa el número de rutina a efectuar, este número permite asociar un código único a una actividad específica de mantenimiento, lo cual permite un control de las mismas. Para su identificación se asignaron números en orden correlativo a los modos de falla listados anteriormente.

ZZ: Representa el equipo al cual se realiza la rutina de mantenimiento. Se utilizan las mismas siglas mostradas en la tabla 4.28.

b) Descripción de la actividad

En esta sección se describe la acción a efectuar o la rutina de mantenimiento preventivo para cada una de las prensas litográficas de estudio.

c) Frecuencia de la actividad

- ✓ Reemplazos programados

Para definir la frecuencia de estas acciones, se tomó como referencia el tiempo medio para la falla (MTTF), mostrado en las tablas 4.21, 4.22 y 4.23. Este tiempo nos indica el intervalo máximo que se debe considerar para tomar una acción antes de la ocurrencia de la falla, por lo cual la frecuencia de la acción siempre será menor a éste.



Los intervalos exactos de las acciones fueron definidos tomando en cuenta que la planificación del mantenimiento se lleva a cabo de manera mensual.

En el caso de los modos de falla que no ocurrieron durante el período de estudio, se estableció su frecuencia de mantenimiento mediante la información suministrada por el supervisor de mantenimiento, así como por el personal encargado de la línea de producción. Para la identificación de las frecuencias, se asignaron siglas que permitan una identificación rápida y sencilla para cada rutina; la codificación se muestra en la tabla 4.30.

Tabla N° 4.30. Frecuencias de las actividades de mantenimiento.

Frecuencia de la actividad	Código
Diario	D
Semanal	S
Quincenal	2S
Mensual	M
Bimensual	2M
Trimestral	3M
Semestral	6M
Anual	A
Cuando sea oportuno	CO

✓ Lubricaciones

Para definir la frecuencia con la que se realizan las actividades de lubricación, se contó con la información suministrada por el supervisor de mantenimiento, en base a su experiencia, así como mecánicos y lubricadores que se encuentran en el área de litografía.



✓ Ajustes

Las frecuencias de estas actividades fueron definidas en base al tiempo medio para la falla, mostrado en las tablas 4.21, 4.22 y 4.23. Al igual que en las actividades de reemplazo programado, las frecuencias son menores al MTTF y fueron establecidas en base mensual. Para los modos de fallas no ocurridos durante el período de estudio se contó con la información suministrada por el supervisor de mantenimiento del área.

d) Horas Hombre utilizadas

Para cada actividad se indica el tiempo en el cual debe efectuarse cada una de ellas.

En las tablas 4.31, 4.32 y 4.33, se muestra el número de horas hombre requeridas para cada actividad y el número de horas hombre al año para cumplir con las mismas.

Para la determinación de las horas hombre al año necesarias por actividad, se muestra un ejemplo de cálculo para la acción “*Reemplazo de rodamientos de escuadras laterales*” perteneciente a la prensa 1.

$$HH / AÑO = CANTIDAD AÑO \times HH$$

Donde,

- ✓ $HH / AÑO$: Horas hombre al año requerida para la actividad.
- ✓ $CANTIDAD AÑO$: Número de veces en que se realiza la actividad.
- ✓ HH : Horas hombre requeridas para cumplir con la actividad.



$$HH / AÑO = 12 \times 0,5$$

$$HH / AÑO = 6$$

e) Personal requerido

Aquí se especifica la fuerza de trabajo necesaria para llevar a cabo cada una de las actividades (Mecánicos, lubricadores, electricistas, entre otros.). En la sección siguiente (4.7.4) se cuantifica la fuerza de trabajo necesaria para cumplir con el plan de mantenimiento elaborado.

La descripción detallada de todas las actividades de mantenimiento a efectuar a cada una de las prensas litográficas se muestran en las tablas 4.31, 4.32 y 4.33.

4.7.4 Estimación de la fuerza de trabajo necesaria para cumplir con el plan de mantenimiento

Para la determinación de esta fuerza de mantenimiento, es necesario calcular las horas hombre requeridas para realizar todas las actividades del plan elaborado y establecer el personal adecuado para cumplir con las mismas.

Las actividades especificadas requieren solo de personal mecánico y de lubricación, es por esto que las horas hombres requeridas se dividen solamente en estos dos grupos.

Dado que el personal mecánico cumple con todas las actividades de reemplazos y ajustes, se totalizaron todas las horas hombre al año de estas actividades por cada prensa, como se muestra en la tabla 4.34.

Tabla N° 4.31. Actividades de mantenimiento preventivo para la prensa 1.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
Equipo: PRENSA CRABTREE		Código: LI-LP06-PR01					
CODIGO ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HH	CANTIDAD AÑO	TOTAL HH/AÑO	
RP001PR	Reemplazo de rodamientos de escuadras laterales	M	Mecánico	0,5	12	6	
RP002PR	Reemplazo de escuadras laterales	3M	Mecánico	0,5	4	2	
RP003PR	Reemplazo de bielas de escuadras	2M	Mecánico	1	6	6	
RP004PR	Reemplazo de pasador biela de escuadra	6M	Mecánico	0,5	2	1	
RP005PR	Reemplazo de rodillo seguidor de leva	A	Mecánico	1,5	1	1,5	
RP006PR	Reemplazo de cadenas del sistema de empujadores	2M	Mecánico	2,5	6	15	
RP007PR	Reemplazo de bloque de arrastre	3M	Mecánico	2,5	4	10	
RP008PR	Reemplazo de rodamientos de empujadores	2M	Mecánico	2,5	6	15	
RP009PR	Reemplazo de resortes de varillas de presión de Grippers	4M	Mecánico	0,25	3	0,75	
RP010PR	Reemplazo de rodamientos de grippers	4M	Mecánico	1	3	3	
RP011PR	Reemplazo de resorte de pinza de grippers	4M	Mecánico	0,25	3	0,75	
RP012PR	Reemplazo de hoja de grippers	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
RP013PR	Reemplazo de rodamientos del Epic Delta	A	Mecánico	1,5	1	1,5	
RP014PR	Reemplazo de uñas de trinquetes	6M	Mecánico	1	2	2	
RP015PR	Reemplazo de resortes de trinquetes	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
LU001PR	Lubricación de bielas de escuadras laterales	D	Lubricador	0,10	365	36,5	
LU002PR	Lubricación de levas de escuadra laterales	S	Lubricador	0,25	52	13	
LU003PR	Lubricación de rodamientos de escuadras laterales	2S	Lubricador	0,5	26	13	
LU004PR	Lubricación de rodamientos de sistema de empujadores	2S	Lubricador	0,5	26	13	
LU005PR	Lubricación del resorte de varillas de presión de Grippers	D	Lubricador	0,10	365	36,5	
LU006PR	Lubricación de rodamientos del sistema de Grippers	2S	Lubricador	0,25	26	6,5	
LU007PR	Lubricación de tornillos terminales de varillas	S	Lubricador	0,25	52	13	
AJ001PR	Ajuste de levas de escuadras laterales	M	Mecánico	0,25	12	3	
AJ002PR	Ajuste de Hoja de Grippers	2M	Mecánico	0,5	6	3	



Tabla N° 4.32. Actividades de mantenimiento preventivo para la prensa 2.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
Equipo: PRENSA CRABTREE		Código: LI-LP06-PR02					
CODIGO ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HH	CANTIDAD AÑO	TOTAL HH/AÑO	
RP001PR	Reemplazo de rodamientos de escuadras laterales	2M	Mecánico	0,5	6	12	
RP002PR	Reemplazo de escuadras laterales	6M	Mecánico	0,5	2	1	
RP003PR	Reemplazo de bielas de escuadras	6M	Mecánico	1	2	2	
RP004PR	Reemplazo de pasador biela de escuadra	6M	Mecánico	0,5	2	1	
RP005PR	Reemplazo de rodillo seguidor de leva	A	Mecánico	1,5	1	1,5	
RP006PR	Reemplazo de cadenas del sistema de empujadores	2M	Mecánico	2,5	6	15	
RP007PR	Reemplazo de bloque de arrastre	3M	Mecánico	2,5	4	10	
RP008PR	Reemplazo de rodamientos de empujadores	6M	Mecánico	2,5	2	5	
RP009PR	Reemplazo de resortes de varillas de presión de Grippers	3M	Mecánico	0,25	4	1	
RP010PR	Reemplazo de rodamientos de grippers	4M	Mecánico	1	3	3	
RP011PR	Reemplazo de resorte de pinza de grippers	3M	Mecánico	0,25	4	1	
RP012PR	Reemplazo de hoja de grippers	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
RP013PR	Reemplazo de rodamientos del Epic Delta	A	Mecánico	1,5	1	1,5	
RP014PR	Reemplazo de uñas de trinquetes	6M	Mecánico	1	2	2	
RP015PR	Reemplazo de resortes de trinquetes	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
LU001PR	Lubricación de bielas de escuadras laterales	D	Lubricador	0,10	365	36,5	
LU002PR	Lubricación de levas de escuadra laterales	S	Lubricador	0,25	52	13	
LU003PR	Lubricación de rodamientos de escuadras laterales	2S	Lubricador	0,5	26	13	
LU004PR	Lubricación de rodamientos de sistema de empujadores	2S	Lubricador	0,5	26	13	
LU005PR	Lubricación del resorte de varillas de presión de Grippers	D	Lubricador	0,10	365	36,5	
LU006PR	Lubricación de rodamientos del sistema de Grippers	2S	Lubricador	0,25	26	6,5	
LU007PR	Lubricación de tornillos terminales de varillas	S	Lubricador	0,25	52	13	
AJ001PR	Ajuste de levas de escuadras laterales	M	Mecánico	0,25	12	3	
AJ002PR	Ajuste de Hoja de Grippers	3M	Mecánico	0,5	4	2	

Tabla N° 4.33. Actividades de mantenimiento preventivo para la prensa 3.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
Equipo: PRENSA CRABTREE Código: LI-LP06-PR03							
CODIGO ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HH	CANTIDAD AÑO	TOTAL HH/AÑO	
RP001PR	Reemplazo de rodamientos de escuadras laterales	M	Mecánico	0,5	12	6	
RP002PR	Reemplazo de escuadras laterales	4M	Mecánico	0,5	3	1,5	
RP003PR	Reemplazo de bielas de escuadras	6M	Mecánico	1	2	2	
RP004PR	Reemplazo de pasador biela de escuadra	6M	Mecánico	0,5	2	1	
RP005PR	Reemplazo de rodillo seguidor de leva	A	Mecánico	1,5	1	1,5	
RP006PR	Reemplazo de cadenas del sistema de empujadores	2M	Mecánico	2,5	6	15	
RP007PR	Reemplazo de bloque de arrastre	3M	Mecánico	2,5	4	10	
RP008PR	Reemplazo de rodamientos de empujadores	2M	Mecánico	2,5	6	15	
RP009PR	Reemplazo de resortes de varillas de presión de Grippers	M	Mecánico	0,25	12	3	
RP010PR	Reemplazo de rodamientos de grippers	4M	Mecánico	1	3	3	
RP011PR	Reemplazo de resorte de pinza de grippers	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
RP012PR	Reemplazo de hoja de grippers	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
RP013PR	Reemplazo de rodamientos del Epic Delta	A	Mecánico	1,5	1	1,5	
RP014PR	Reemplazo de uñas de trinquetes	6M	Mecánico	1	2	2	
RP015PR	Reemplazo de resortes de trinquetes	6M	Mecánico	0,25	2	0,5	
LU001PR	Lubricación de bielas de escuadras laterales	D	Lubricador	0,10	365	36,5	
LU002PR	Lubricación de levas de escuadra laterales	S	Lubricador	0,25	52	13	
LU003PR	Lubricación de rodamientos de escuadras laterales	2S	Lubricador	0,5	26	13	
LU004PR	Lubricación de rodamientos de sistema de empujadores	2S	Lubricador	0,5	26	13	
LU005PR	Lubricación del resorte de varillas de presión de Grippers	D	Lubricador	0,10	365	36,5	
LU006PR	Lubricación de rodamientos del sistema de Grippers	2S	Lubricador	0,25	26	6,5	
LU007PR	Lubricación de tornillos terminales de varillas	S	Lubricador	0,25	52	13	
AJ001PR	Ajuste de levas de escuadras laterales	M	Mecánico	0,25	12	3	
AJ002PR	Ajuste de Hoja de Grippers	M	Mecánico	0,5	12	6	



Tabla N° 4.34. Horas hombres de personal mecánico necesarias para el plan de mantenimiento.

PERSONAL MECÁNICO	
EQUIPO	HH NECESARIAS PARA PLAN DE MANTENIMIENTO
PRENSA 1	71,5
PRENSA 2	62
PRENSA 3	72
TOTAL	205,5

Del mismo modo, se realizó el cálculo para el personal de lubricación tomando en cuenta ahora las horas hombre al año totales por actividades de lubricación. (Ver tabla 4.35).

Tabla N° 4.35. Horas hombres de personal de lubricación necesarias para el plan de mantenimiento.

PERSONAL DE LUBRICACIÓN	
EQUIPO	HH NECESARIAS PARA PLAN DE MANTENIMIENTO
PRENSA 1	131,5
PRENSA 2	131,5
PRENSA 3	131,5
TOTAL	394,5

Por otra parte, se necesita conocer las horas laborales por trabajador en el período de un año.

El personal labora ocho horas diarias durante cinco días a la semana, lo que resulta en un total de 160 horas / mes. Sin embargo, tomando en cuenta tiempos descanso, y alimento la jornada laboral se estima en 6,5 horas diarias, lo que se traduce 130 horas laborables /mes.



Se sabe además que el personal que trabaja en *Domínguez & Cía.*, tiene quince días de vacaciones colectivas, aunados a aproximadamente quince días feriados al año, dando como resultado en total un mes de vacaciones al personal de trabajo. En base a lo mencionado anteriormente se tiene que:

$$\text{Horas Laborales año} = 130 \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) \left(\frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right)$$

$$\text{Horas Laborales año} = 1430$$

Ya conocidas tanto las horas laborales al año de un trabajador como el total de horas hombre requeridas por el personal mecánico y lubricador, se calcula el número de personas necesarias por tipo de personal para cumplir con el plan de mantenimiento. En base a esto se tiene:

$$\text{- Personal mecánico requerido} = \frac{\text{Total.HH.necesarias}}{\text{Horas.laborales.año}}$$

$$\text{Total HH necesarias} = 205,5 \text{ (tabla 4.34)}$$

$$\text{Horas laborales al año} = 1430$$

$$\text{Personal mecánico requerido} = \frac{205,5}{1430} = 0,14 \rightarrow 1 \text{ Mecánico}$$

$$\text{- Personal de lubricación requerido} = \frac{\text{Total.HH.necesarias}}{\text{Horas.laborales.año}}$$

$$\text{Total HH necesarias} = 394,5 \text{ (tabla 4.35)}$$

$$\text{Horas laborales al año} = 1430$$



$$\text{Personal mecánico requerido} = \frac{394,5}{1430} = 0,28 \rightarrow 1 \text{ Lubricador}$$

En base a lo calculado, se obtuvo que el personal necesario para cumplir con las actividades de mantenimiento corresponde a 2 trabajadores (1 mecánico y 1 lubricador). Sin embargo, se debe tomar en cuenta que para algunas actividades puede requerirse más de un trabajador; debido a que la empresa actualmente cuenta con cuatro mecánicos y un lubricador este personal resulta suficiente para cumplir con las actividades de mantenimiento propuestas en el plan de desarrollado.

4.7.4 Control y evaluación de la aplicación del plan de mantenimiento elaborado

“El objetivo de un programa efectivo de mantenimiento es la reducción de los costos: una forma de controlar los mismos es llevando una historia o registro de los equipos en planta” (Nava. Aplicación práctica de la teoría de mantenimiento, pág. 17) [5].

Para la aplicación del plan de mantenimiento se elaboraron formatos de registro de mantenimiento preventivo, correctivo y lubricación.

a) Registro histórico de mantenimiento preventivo.

El formato elaborado para el registro del mantenimiento preventivo (tabla C.1, Anexo C), contiene información, la cual se detalla a continuación:

- ✓ *Fecha*, en la cual se realiza la acción de mantenimiento correspondiente.



- ✓ *Actividad realizada*, la rutina de mantenimiento llevada a cabo, revisión y ajustes, reemplazos programados.
- ✓ *Código de la actividad*, código que permite la identificación de la actividad realizada.
- ✓ *Observaciones*, cualquier comentario necesario acerca de la actividad realizada o estado del equipo.
- ✓ *Pieza*, el componente reemplazado durante la actividad
- ✓ *Costo pieza*, valor de el/los repuestos utilizados durante la actividad.
- ✓ *HH (horas hombre)*: tiempo requerido por el personal para efectuar la actividad.

b) Registro histórico de fallas

El formato de registro histórico de fallas (tabla C.2, Anexo C) elaborado contiene:

- ✓ *Fecha*, en la cual se realiza la acción de mantenimiento correspondiente.
- ✓ *Descripción de la actividad*, la actividad llevada a cabo, para corregir la falla.
- ✓ *Día y hora que paró*, la fecha en la cual el equipo presenta la falla.
- ✓ *Día y hora que arrancó*, la fecha en la cual el equipo es vuelto a poner en funcionamiento, contando el tiempo de puesta a punto.
- ✓ *Pieza cambiada*, el componente reemplazado durante la actividad.
- ✓ *Costo pieza*, valor de el/los repuestos utilizados durante la actividad.
- ✓ *Código de la pieza*, el código que identifica el componente reemplazado.
- ✓ *HH (horas hombre)*: tiempo requerido por el personal para efectuar la actividad.



c) Registro de lubricaciones

Para el control de las actividades de lubricación se elaboró un formato, (tabla C.3, Anexo C) el cual contiene:

- ✓ *Fecha*, en la cual se realiza la rutina de lubricación.
- ✓ *Actividad realizada*, descripción de la sección o componente del equipo a lubricar.
- ✓ *Código de la actividad*, código que permite la identificación de la actividad realizada.
- ✓ *Tipo de lubricante*, se indica cual lubricante es el adecuado para la actividad a realizar (grasa o aceite).
- ✓ *Frecuencia*, cual es el intervalo de realización de la actividad: semanal (S), diario (D), quincenal (2S), etc.
- ✓ *Cantidad*, cuanto lubricante debe aplicarse al componente o sección del equipo.
- ✓ *HH (horas hombre)*: tiempo requerido por el personal para efectuar la actividad.

4.8 Evaluación de los componentes comparativos después de la realización del estudio

4.8.1 Confiabilidad

Como se observó en la sección 4.4.1, los valores de confiabilidad de la línea en estudio resultaron excesivamente bajos; esto debido a la ausencia de acciones de MCC que manejen los modos de falla de los equipos que conforman la línea. En esta sección también se reflejó que el 73,73% del total de fallas presentadas correspondían



a los equipos de prensa, con lo que se decidió tomar acciones hacia éstos y con ello incrementar la confiabilidad de la línea.

El plan de mantenimiento desarrollado comprende acciones que manejan los modos de falla de cada una de las prensas litográficas. Debido a que la confiabilidad se encuentra estrechamente ligada a la ocurrencia de fallas, se puede realizar una aproximación de los valores de confiabilidad deseados con la implementación del plan, al minimizar las fallas presentadas en las prensas litográficas.

Es necesario recalcar que los valores de confiabilidad son estimados, y éstos mejorarán gradualmente, a medida que las rutinas de mantenimiento sean aplicadas adecuadamente y se lleve un registro confiable, que permita la evaluación y control de las acciones aplicadas.

Se tiene que el total de fallas presentadas por la línea durante el período en estudio es de 236 fallas y de éstas, de las cuales 174 corresponden a las prensas. Con la implementación del plan de mantenimiento se espera idealmente entonces que el número de fallas se reduzca a 62 fallas, como el resultado de la ausencia de fallas por parte de los equipos de prensa litográfica. En base a esto, se muestra el nuevo historial de fallas, en la tabla 4.36.

Tabla N° 4.36. Registro de paradas no planificadas estimadas. Línea 6.

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
M-10	17:50:00	3:00:00	20:50:00	01/03/2006	2A	
EL-01	2:15:00	0:30:00	2:45:00	09/03/2006	3B	173,42
EL-01	18:05:00	1:15:00	19:20:00	15/03/2006	2B	179,33
M-01	8:55:00	5:30:00	14:25:00	20/03/2006	1B	109,58
M-10	10:15:00	2:00:00	12:15:00	01/04/2006	1A	269,83
EL-01	17:15:00	0:15:00	17:30:00	25/04/2006	3B	581
M-01	16:45:00	1:15:00	18:00:00	26/04/2006	2C	23,25
EL-01	4:05:00	2:20:00	6:25:00	27/04/2006	3B	10,08



Tabla N° 4.36. Continuación.

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
EL-01	2:10:00	0:20:00	2:30:00	03/05/2006	3A	169,75
EL-01	10:15:00	0:45:00	11:00:00	08/05/2006	1B	127,75
M-10	13:20:00	0:15:00	13:35:00	24/05/2006	1C	436,33
M-05	1:20:00	0:45:00	2:05:00	25/05/2006	3A	11,75
EL-01	5:05:00	0:15:00	5:20:00	07/06/2006	3B	291
M-03	15:00:00	0:40:00	15:40:00	16/06/2006	2B	235,67
M-03	16:05:00	0:20:00	16:25:00	21/06/2006	2B	140,42
M-02	18:15:00	3:00:00	21:15:00	29/06/2006	2C	193,83
M-10	8:55:00	0:15:00	9:10:00	30/06/2006	1A	11,67
EL-03	19:20:00	0:30:00	19:50:00	30/06/2006	2C	10,17
EL-01	2:15:00	2:00:00	4:15:00	04/07/2006	3A	78,42
EL-03	2:00:00	0:20:00	2:20:00	13/07/2006	3C	253,75
M-10	1:05:00	0:30:00	1:35:00	15/07/2006	3C	46,75
M-03	3:35:00	0:30:00	4:05:00	22/07/2006	3B	170
M-03	4:10:00	1:00:00	5:10:00	26/07/2006	3A	96,08
EL-01	19:00:00	0:40:00	19:40:00	28/07/2006	2B	61,83
EL-01	7:50:00	0:15:00	8:05:00	31/07/2006	1B	60,17
M-10	17:00:00	0:20:00	17:20:00	18/08/2006	2B	460,92
M-03	23:15:00	0:20:00	23:35:00	23/08/2006	3C	145,92
M-05	17:55:00	0:30:00	18:25:00	24/08/2006	2A	18,33
M-10	17:10:00	1:00:00	18:10:00	14/09/2006	2A	498,75
EL-03	9:00:00	4:25:00	13:25:00	22/09/2006	1A	192,83
M-01	10:20:00	1:30:00	11:50:00	23/09/2006	1A	20,92
M-10	1:10:00	0:30:00	1:40:00	26/09/2006	3A	61,33
EL-03	3:30:00	0:15:00	3:45:00	26/09/2006	3A	1,83
EL-01	16:35:00	0:20:00	16:55:00	27/09/2006	2B	36,83
M-05	8:40:00	0:30:00	9:10:00	02/10/2006	1B	121,75
EL-01	19:45:00	0:30:00	20:15:00	05/10/2006	2A	92,58
M-10	20:15:00	1:30:00	21:45:00	06/10/2006	2A	24
M-05	9:35:00	2:00:00	11:35:00	09/10/2006	1A	59,83
M-01	23:00:00	3:00:00	2:00:00	02/11/2006	3B	583,42
EL-01	2:25:00	1:00:00	3:25:00	03/11/2006	3B	24,42
EL-01	0:35:00	0:20:00	0:55:00	08/11/2006	3A	127,17
M-01	4:00:00	0:20:00	4:20:00	08/11/2006	3A	3,08
EL-01	11:15:00	1:00:00	12:15:00	09/11/2006	1C	30,92
M-05	6:40:00	5:00:00	11:40:00	15/11/2006	1B	158,42
M-05	9:50:00	3:00:00	12:50:00	23/11/2006	1A	190,17
EL-02	17:25:00	1:00:00	18:25:00	24/11/2006	2C	28,58
M-05	11:00:00	1:30:00	12:30:00	04/12/2006	1B	232,58



Tabla 4.36. Continuación

Código de Falla	Hora de Inicio	TR (hr)	Hora Final	Fecha	Turno	Tiempo de Falla (hr)
EL-03	12:30:00	0:30:00	13:00:00	05/12/2006	1B	24
M-03	2:25:00	0:40:00	3:05:00	13/12/2006	3B	191,42
M-01	16:15:00	0:30:00	16:45:00	09/01/2007	2A	697,17
M-08	10:40:00	0:25:00	11:05:00	17/01/2007	1A	185,92
M-03	22:50:00	0:30:00	23:20:00	18/01/2007	3B	35,75
M-08	11:10:00	2:00:00	13:10:00	19/01/2007	1A	11,83
EL-01	19:35:00	0:30:00	20:05:00	26/01/2007	2B	194,42
M-04	2:25:00	0:30:00	2:55:00	06/02/2007	3B	222,33
M-04	19:30:00	1:00:00	20:30:00	07/02/2007	2C	40,58
EL-02	1:20:00	0:25:00	1:45:00	08/02/2007	3B	4,83
M-08	15:00:00	0:45:00	15:45:00	08/02/2007	2C	13,25
M-04	18:30:00	1:00:00	19:30:00	08/02/2007	2C	2,75
M-04	22:35:00	2:00:00	0:35:00	09/02/2007	3B	27,08
EL-02	16:20:00	0:40:00	17:00:00	13/02/2007	2B	111,75
M-05	17:35:00	0:50:00	18:25:00	27/02/2007	2A	336,58
Σ Tiempos de falla						8973,91 h

Del mismo modo que en la sección 4.4.1, se procede a realizar el cálculo de la confiabilidad deseada, se tiene entonces:

$$MTTF = \frac{\sum \text{Tiempodefda}}{n} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

- ✓ Σ Tiempo de falla esperado = 8973,91 horas (tabla 4.36)
- ✓ n = número de fallas de la línea de estudio esperadas = 62 fallas

$$MTTF = \frac{8973,91}{62} = 144,74 \text{ horas}$$

Ahora, la tasa de riesgo o tasa de falla:



$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{144,74 h} = 6,91 * 10^{-3} \frac{1}{horas} \times \frac{24 horas}{1 dia} = 0,166 \frac{1}{dia}$$

De igual manera que en la sección 4.4.1 y con el fin de comparar los valores de confiabilidad antes y después del estudio se establece la tasa de riesgo o falla en días.

Sustituyendo el valor de λ en la ecuación de confiabilidad, se tiene:

$$r(t)_{línea} = e^{(-0,166t)}$$

Se asignan valores de t, los cuales representan el tiempo en que la línea se encuentra en servicio, y con esto se obtienen los puntos de la curva (ver tabla 4.37):

En las en la figuras 4.33 y 4.34 se puede apreciar un incremento en los valores de confiabilidad, comparados con los valores obtenidos antes del desarrollo del plan de mantenimiento. Para el primer día, el valor de confiabilidad se sitúa alrededor del 85%, un 35% más comparado con el valor obtenido antes de realizar el estudio. Puede notarse que para el día 10 el valor de confiabilidad es de 18%, que aunque no es un valor deseable para un equipo, es mucho mayor al de 0,12% presentado antes del estudio.

De igual manera el tiempo medio para la falla, pasó de ser 1,48 días a 6,03 días, esto indica que el valor de tiempo estimado para el cual el componente fallará se incrementó en aproximadamente 4,5 días.



Tabla N° 4.37. Resultados del cálculo de confiabilidad esperada para la línea de estudio.

Días	r (t)
0	1,000
1	0,845
2	0,712
3	0,600
4	0,506
5	0,427
6	0,361
7	0,304
8	0,257
9	0,216
10	0,183

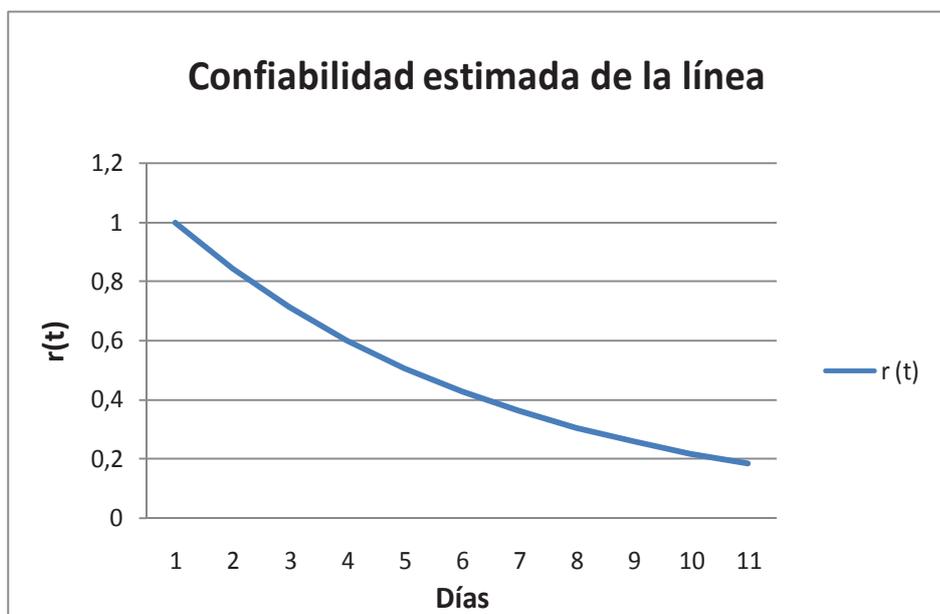


Figura N° 4.33. Curva de confiabilidad de la línea de producción.

El aumento del valor del tiempo medio para la falla permite una planificación del mantenimiento, ya que se estima no ocurrirán fallas antes de este período de tiempo, y al cumplir adecuadamente con las rutinas de mantenimiento elaboradas este valor deberá acercarse cada vez mas al nuevo valor de MTTF calculado.

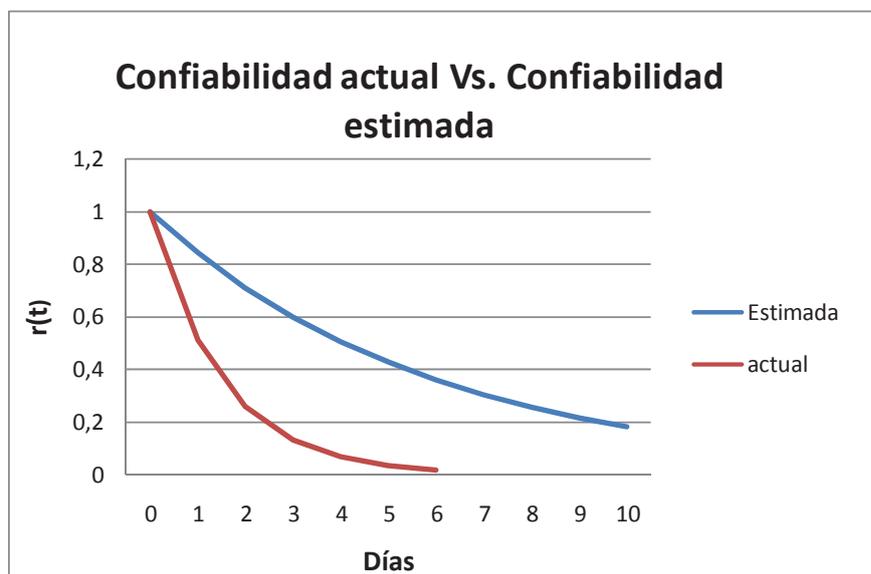


Figura N° 4.34. Curva de confiabilidad actual de la línea Vs. Confiabilidad estimada de la línea.

4.8.2 Costos de Mantenimiento

Como se explicó en la sección 4.6.1, la implementación del plan elaborado generaría un ahorro aproximadamente del 99% de los costos anuales generados por la gestión de mantenimiento correctivo actualmente llevado a cabo por *Domínguez & Cía.* aplicados a las tres prensas de la línea 6..

Debido a que los costos de mantenimiento suministrados por la empresa reflejados en la sección 4.4.2, son referidos a la línea de la prensa litográfica y la reducción de costos determinada en el plan se refiere solamente a las tres prensas litográficas que la conforman, fue necesario determinar qué porcentaje de costos asociados al mantenimiento de estas, está incluido en los costos de mantenimiento de la línea en general.



Para ello se contó con la ayuda del departamento de costos de *Domínguez & Cía.*, determinando de esta manera que las prensas representan el 80% de los costos de la labor de mantenimiento de la línea en cuestión.

En base a esto, se muestran los costos de la gestión de mantenimiento de la línea 6 de prensa litográfica luego de haber seleccionado como política, *el mantenimiento preventivo*. [Ver tabla 4.38 y figura 4.35].

Tabla N° 4.38. Costos de implementarse el nuevo plan de mantenimiento.

Costos de implementarse el plan elaborado (Bsf)	
1er Trimestre	147.974,78
2do Trimestre	54.755,85
3er Trimestre	99.598,71
4to Trimestre	101.474,49

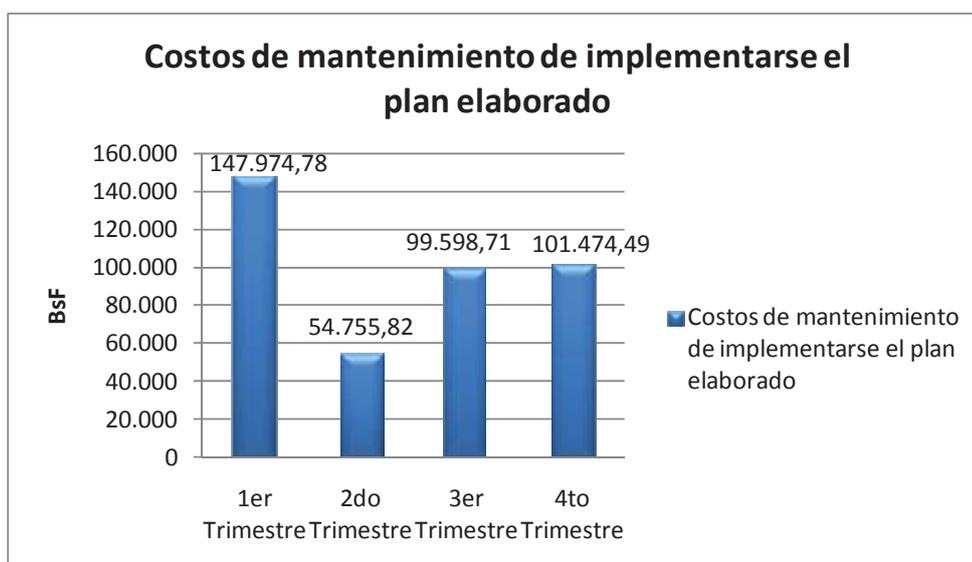


Figura N° 4.35. Costos de mantenimiento de implementarse el plan elaborado.



En la siguiente figura se ilustra la comparación entre los costos actuales del mantenimiento y los costos estimados de implementarse el plan de mantenimiento elaborado. (Ver figura 4.36).

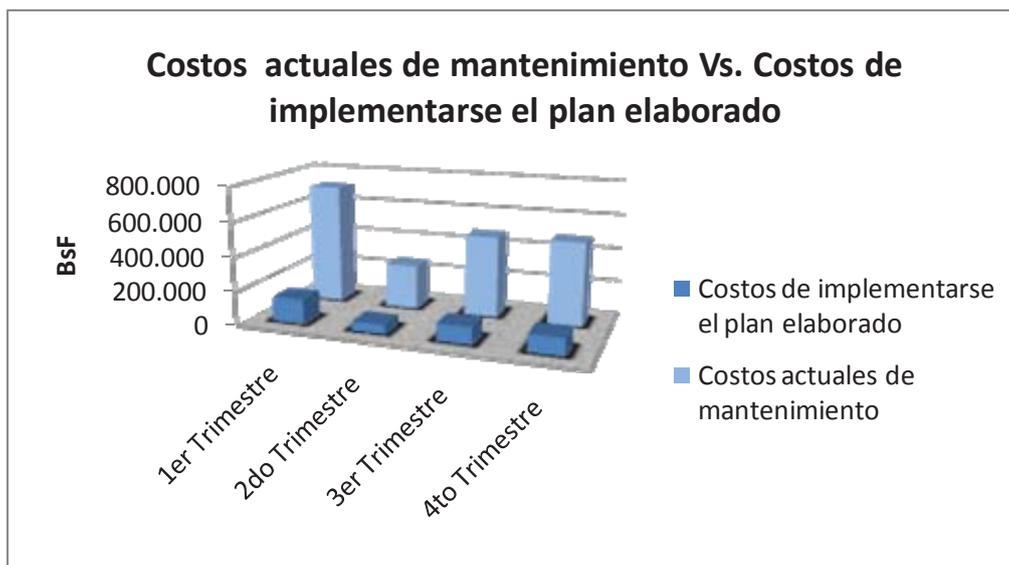


Figura N° 4.36. Costos actuales de mantenimiento Vs. Costos de implementarse el plan elaborado.

Observando los valores de la gráfica anterior se puede apreciar una disminución considerable de los costos de mantenimiento de la línea 6 de prensa litográfica, producto de la implementación del plan en los equipos de prensa litográfica que conforman la línea de estudio.

De igual manera, resulta necesario conocer si los nuevos costos cumplen con el criterio del Ing. Nava, mencionado en la sección 4.4.2 de este estudio, el cual propone que los costos de mantenimiento deben ser el 33% de los costos de operación. Estos costos de operación son los mostrados en la tabla 4.14 y figura 4.25. Por ende se procedió a realizar la comparación nuevamente. Esta se encuentra ilustrada en la figura 4.37.

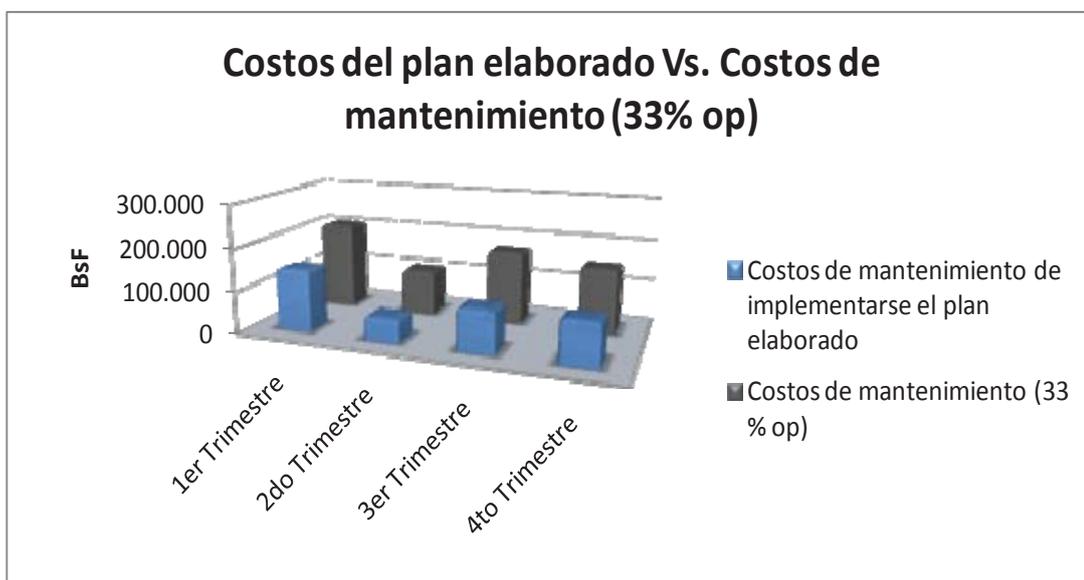


Figura N° 4.37. Costos del plan elaborado Vs. 33% de los Costos de Operación.

Al observar la figura 4.37, se aprecia que los costos de la nueva labor de mantenimiento son menores que el 33% de los costos de operación, situándose aproximadamente a un 40% por debajo de estos. Con esto se puede decir que se garantiza la rentabilidad de la implementación de ésta gestión de mantenimiento preventivo para la empresa *Domínguez & Cía.*

4.8.3 Productividad

Con la implementación del plan elaborado se obtendría como resultado una gran disminución en la ocurrencia de las fallas, así como el aumento de la confiabilidad del sistema y lo más importante para esta sección de estudio, una disminución de los tiempos de parada de la línea. Para la determinación de esta disminución, fue necesario calcular la sumatoria de los tiempos de reparación antes y después de la elaboración del plan. Estos tiempos se muestran en las tablas 4.7 y 4.36 respectivamente.



La sumatoria de los tiempos de reparación (TR) antes de la elaboración del plan de mantenimiento tiene un valor de 278,76 hr y la sumatoria de los tiempos de reparación (TR) estimados después de la elaboración del plan tiene un valor de 69,69 hr.

De esta manera, se obtuvo una disminución aproximada del 75% de los tiempos de parada de la línea, es decir, el tiempo fuera de servicio pasaría de ser 11 días a ser 3 días.

Esta información anteriormente mencionada fue suministrada al departamento de Producción de *Domínguez & Cía.*, el cual realizó los pertinentes cálculos para obtener los nuevos niveles de producción de implementarse la nueva gestión de mantenimiento.

Los nuevos niveles de producción de la línea 6 se muestran en la figura 4.38.

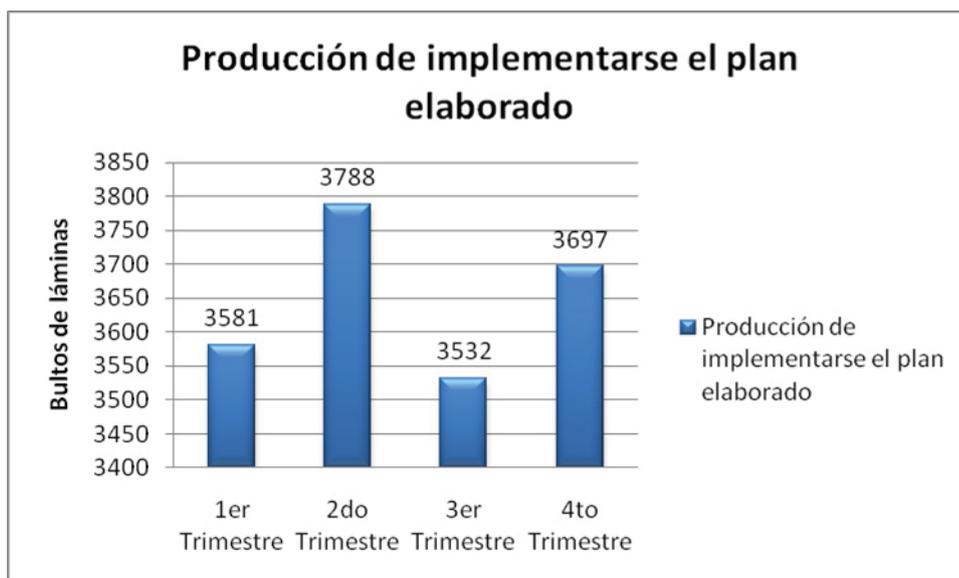


Figura 4.38. Producción de la Línea 6 de implementarse el plan Fuente: *Domínguez & Cía.*



Una vez obtenidos los nuevos valores de producción, se realizó la debida comparación con los niveles de producción actual. [Ver figura 4.39]

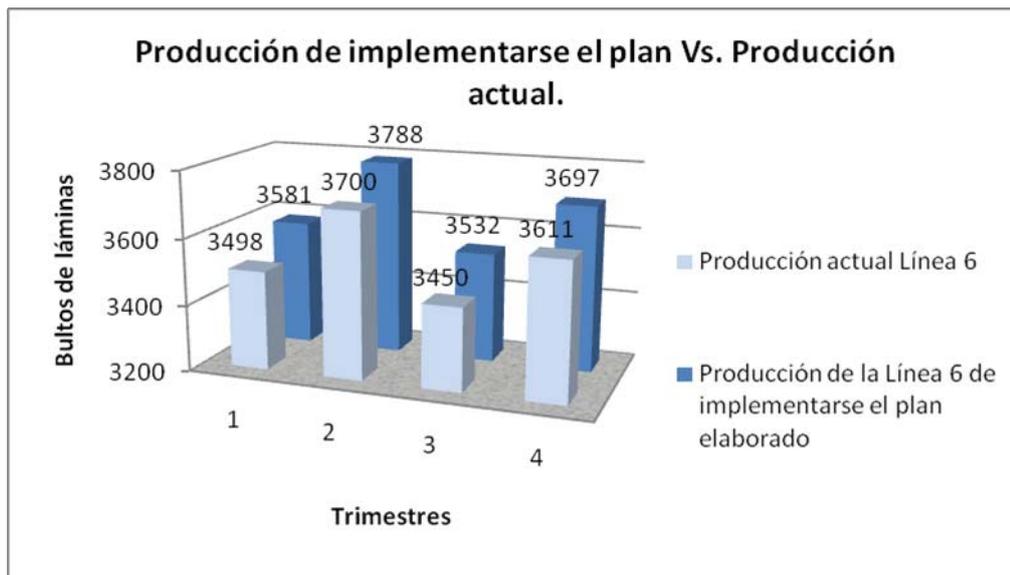


Figura 4.39. Producción con el nuevo plan de mantenimiento Vs. Producción actual.

Al observar la figura 4.39, se aprecia que los niveles de producción de implementarse la nueva labor de mantenimiento, son mayores que los niveles de producción actuales. Con esto, la productividad podría incrementarse en aproximadamente un 2,5%. A partir de este valor, se procedió a calcular la ganancia económica que el mismo generaría a la empresa en estudio.

De la gráfica, la producción actual total de la línea 6 para el año de estudio es de 14259 bultos de láminas / año, y la producción total de implementarse el plan de mantenimiento elaborado tiene un valor de 14598 bultos de láminas / año.



Si tomamos en cuenta que la ganancia por cuerpo del *Baygon verde resage* es igual a 0.962 BsF / cuerpo y el número de cuerpos por lámina para éste producto es de 20 cuerpos / lámina, se tiene:

$$0,962 \left(\frac{BsF}{cuerpo} \right) \times 20 \left(\frac{cuerpos}{lá \text{ min } a} \right) = 19,24 \text{ BsF} / lá \text{ min } a$$

$$19,24 \left(\frac{BsF}{lá \text{ min } a} \right) \times 1000 \left(\frac{lá \text{ min } as}{bulto} \right) = 19240 \text{ BsF} / bulto$$

La ganancia actual tendría un valor de:

$$14259 \left(\frac{bultos}{año} \right) \times 19240 \left(\frac{BsF}{bulto} \right) = 274 .343 .160 ,00 \text{ BsF} / año$$

Por otro lado, de implementarse el plan, la ganancia sería de:

$$14598 \left(\frac{bultos}{año} \right) \times 19240 \left(\frac{BsF}{bulto} \right) = 280 .865 .520 ,00 \text{ BsF} / año$$

Por último, la diferencia entre estos dos valores nos daría la ganancia monetaria adicional para la empresa de implementarse el plan de mantenimiento elaborado:



$$280.865,520 \left(\text{BsF} / \text{año} \right) - 274.943,160 \left(\text{BsF} / \text{año} \right) = 6.522.360,00 \text{ BsF} / \text{año}$$

4.9 Estudio de los componentes evaluativos del plan de mantenimiento

Con el estudio de los componentes evaluativos, lo que se busca es establecer cuánto contribuye en términos de gestión la actividad de mantenimiento una vez que el plan ha sido implementado, y con ello, poseer índices y tendencias conducentes a refinar los procesos de mantenimiento a nivel nacional.

4.9.1 Disponibilidad

La *disponibilidad* de la línea 6 de prensa litográfica, se refiere a la capacidad que posee este activo o para realizar sus funciones bajo ciertas condiciones durante un período de tiempo determinado; es decir, una vez calculada la disponibilidad de la línea 6, se conoce la probabilidad con la que la misma se encuentra disponible para su correcto funcionamiento durante un período de tiempo especificado.

Para evaluar la disponibilidad de la línea 6, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{Disponibilidad} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \times 100 \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Para el cálculo de la disponibilidad actual de la línea de prensa litográfica, se toma el valor del MTTF calculado en la sección 4.41:

$$MTTF = 35,69 \text{ h}$$



$$MTTR = \frac{\sum TR}{n}$$

El valor de $\sum TR$ se obtiene sumando los valores de TR mostrados en la tabla 4.7:

$$MTTR = \frac{278,76}{236} \rightarrow MTTR = 1,18 \text{ h}$$

$$\% \text{Disponibilidad} = \frac{35,69}{35,69 + 1,181} \times 100$$

$\% \text{Disponibilidad}_{actual} = 96,73\%$

En la siguiente figura se aprecia la disponibilidad actual calculada.

De igual manera, para el cálculo de la disponibilidad correspondiente al plan de mantenimiento elaborado se tiene:

$$MTTF = 144,74 \text{ h} \quad (\text{calculado en la sección 4.8.1})$$

$$MTTR = \frac{\sum TR}{n}$$

Ecuación 2.11

El valor de $\sum TR$ se obtiene sumando los valores de TR mostrados en la tabla 4.36.

$$MTTR = \frac{69,682}{62} \rightarrow MTTR = 1,124 \text{ h}$$



$$\% \text{Disponibilidad} = \frac{144,74}{144,74 + 1,124} \times 100$$

$$\% \text{Disponibilidad}_{\text{estimada}} = 99,22\%$$

Este resultado indica que luego de implementarse el plan de mantenimiento la línea 6 tiene un valor de disponibilidad de 99,2 %, un 3% mayor a lo que refleja la situación actual de la empresa. Esto quiere decir, que la línea estará cumpliendo sus funciones correctamente durante el 99,2 % del tiempo deseado.

En la siguiente figura, se aprecia el aumento de la disponibilidad de implementarse el plan de mantenimiento elaborado.

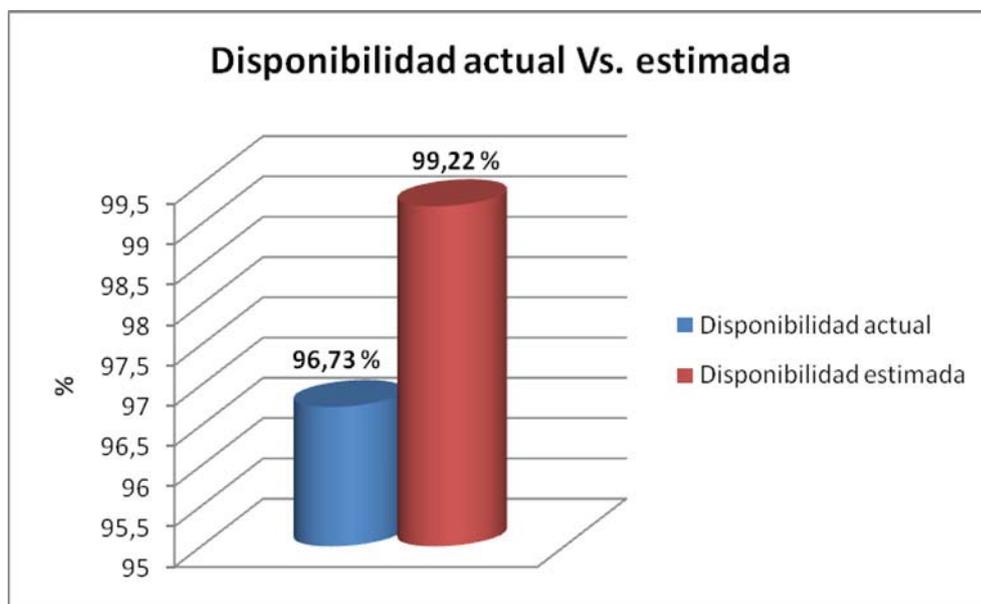


Figura N° 4.40. Disponibilidad Actual Vs. Estimada.



4.9.2 Mantenibilidad

“El parámetro mantenibilidad $M(t)$ indica la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria durante un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos establecidos”. (Nava, Teoría de fiabilidad, 2004. Pág. 33) [4].

Para el cálculo de la mantenibilidad, se utiliza la siguiente ecuación:

$$M(t) = 1 - e^{(-t / MTTR)} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Para la situación actual de la empresa el valor de MTTR es igual a 1,181 hrs. (calculado en la sección 4.91)

En la estimación de la mantenibilidad de implementarse el plan elaborado, el valor correspondiente al MTTR es igual a 1,12 horas (calculado en la sección 4.91)

Asignando valores de tiempo en horas, los niveles de mantenibilidad actuales son:



Tabla N° 4.39. Valores de M (t) actuales de la línea de estudio.

Horas	M (t)
0	0
1	36,79
2	81,63
3	92,13
4	96,62
5	98,55
6	99,38
7	99,73
8	99,88
9	99,95
10	99,97

De igual manera, los niveles de mantenibilidad actuales de implementarse el plan elaborado son:

Tabla N° 4.40. Valores de M (t) de implementarse el plan de mantenimiento.

Horas	M (t)
0	0
1	57,45
2	81,90
3	92,3
4	96,7
5	98,6
6	99,4
7	99,7
8	99,8
9	99,9
10	99,9

Graficando esta información, se tiene la figura 4.41:

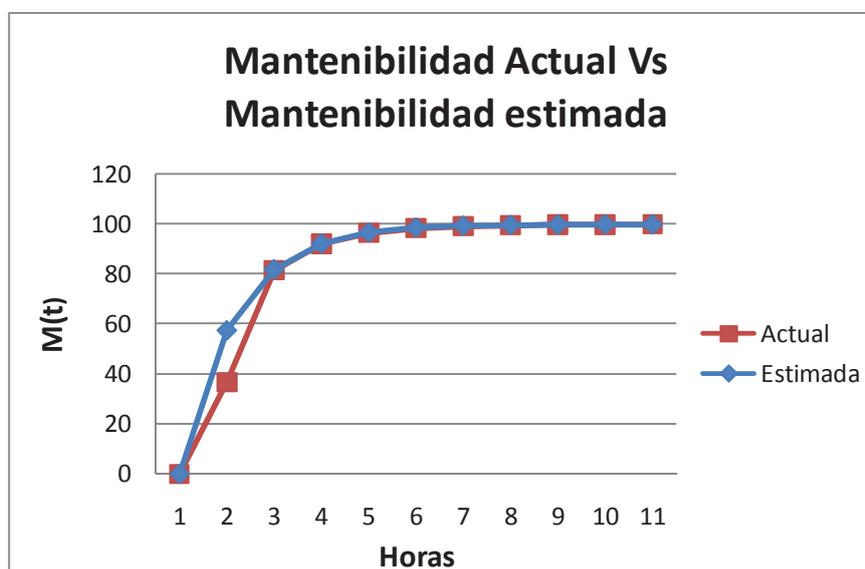


Figura N° 4.41. Valores de M (t) actuales y estimados de implementarse el plan elaborado.

De la gráfica mostrada en la figura 4.41, se puede apreciar que los valores de mantenibilidad se incrementan con el tiempo. Para el primera hora, se obtiene un valor de aproximado de 50%, para la tercera se eleva hasta 80%, y de esta manera sigue aumentando hasta la sexta o en donde la tendencia es estable con un valor del 99%.

La razón por la cual los valores de mantenibilidad en la situación actual y los estimados de implementarse el plan de mantenimiento son muy similares, se debe a que el plan de mantenimiento propuesto tiene sus bases en el MCC el cual incrementa el tiempo medio para la falla, a través de la disminución del número de fallas por medio del análisis de las causas que promueven la aparición de las mismas (AMEF). “MCC es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de los modos de falla que puedan causar una falla funcional, a cualquier activo.” (SAE JA1012, p 8). Sin embargo, el plan propuesto no involucra aspectos como: entrenamiento de personal, experiencia del mismo, procedimientos de las acciones de mantenimiento, espacio para trabajar, métodos de



identificación de fallas, herramientas, manuales, disponibilidad de repuestos, entre otros; factores que inciden en el valor del tiempo medio para la reparación y por ende en la mantenibilidad.

Los valores de mantenibilidad se aproximarán al valor del 99% a medida que las políticas y normas de mantenimiento preventivo propuestas, junto con los factores mencionados anteriormente sean llevados a cabo adecuadamente permitirán aproximarse a una mantenibilidad óptima.

4.9.3 Seguridad

La finalidad que persigue ésta sección del estudio es conocer cuán segura es la labor de mantenimiento del área de litografía de *Domínguez & Cía.*, desde el punto de vista de labor y como se garantizará una vez elaborado el plan de mantenimiento.

Un proceso MCC identifica condiciones inseguras de trabajo en el área de estudio (de existir alguna) para luego así determinar soluciones correspondientes a cada una de ellas y convertir a este área en una zona de trabajo mas confiable.

Por lo mencionado anteriormente, primero se realiza una evaluación de la seguridad en el área de litografía de la empresa en estudio como se muestra a continuación:

Domínguez & Cía., se rige por una serie de normas básicas de seguridad las cuales tienen la finalidad de darle cumplimiento a lo dispuesto en la: **LEY ORGÁNICA DE PREVENCIÓN CONDICIÓN Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO; En concordancia Art.53 Num. 1, Art.56 Num. 3, 2 y 4 LOPCYMAT, 237 de la Ley Orgánica del Trabajo.**



Para el cumplimiento de esta ley, a continuación se muestran las normas básicas de seguridad de *Domínguez & Cía.*

Tabla N° 4.41. Normas de seguridad *Domínguez & Cía.* Fuente: *Domínguez & Cía.*

NORMAS DE SEGURIDAD. (<i>Domínguez & Cía.</i>)
El uso de los equipos de seguridad y protección son obligatorios.
Se debe usar protección auditiva en planta.
Está prohibido fumar en las instalaciones de la planta.
No operar equipos y maquinarias defectuosas y sin autorización.
Notifique cualquier condición insegura que detecte.
No operar máquinas o equipos sin los dispositivos de seguridad: resguardos protectores, swich de paradas de emergencia, frenos y bloqueadores de seguridad. (Acto inseguro).
No corra en la planta, camine por los pasillos peatonales, es más seguro
Está prohibido el uso de prendas (joyas), cadenas, anillos, sortijas, relojes, zarcillos, equipos de sonido y celulares.
Tan pronto use un extintor o equipo de incendio, infórmelo al departamento de seguridad industrial.
No obstaculizar o bloquear los equipos de emergencia, camillas, extintores, mangueras o equipos contra incendios, interruptores eléctricos, vías y salidas de emergencia.
Mantenga ordenado y limpio su sitio de trabajo.
Use la herramienta adecuada para cada trabajo específico (no utilice herramientas defectuosas).
Al levantar las cargas pesadas, aplique la higiene postural.
Los trabajos de corte, soldadura o en altura superior a 3 (m), en planta, requieren supervisión de seguridad industrial.
Se prohíbe el consumo de alimentos y bebidas en áreas distintas al comedor general.



Según la información suministrada por la gerencia de litografía, dentro de este área los incidentes laborales que han ocurrido han sido a causa del incumplimiento de las normas de seguridad que se han mencionado. A continuación se describen estos incidentes y se propone una solución por cada problema.

a) Algo que comúnmente sucede es que los operadores se cortan superficialmente las manos durante la movilización y transporte de láminas individuales ya que éstas se encuentran afiladas en sus bordes y los técnicos eventualmente no usan los guantes protectores respectivos.

Solución: Usar guantes protectores, de tipo tejido anticorte con punto PVC de Kevlar. Ideales para el manejo de elementos filosos. Modelo recomendado, ver figura 4.42



Figura N° 4.42. Guante protector tejido anticorte con punto PVC.

b) Adicionalmente, existe otro problema, una vez que el montacargas ha dejado el bulto de láminas (de aproximadamente una tonelada de peso) en la base del



alimentador, el operario para colocar este bulto en la plataforma de elevación de láminas necesita realizar un movimiento de palanqueo utilizando un tubo metálico y es allí cuando en ocasiones por mal cálculo del operario, con el impulso, sus manos golpean el bulto de láminas pudiendo ocasionar alguna lesión leve. Además, se han notificado problemas físicos lumbares en algunos operarios por realizar este gran esfuerzo diariamente.

Solución: Diseñar y construir un sistema automatizado para el transporte del bulto de láminas desde la entrada del alimentador hasta la plataforma de elevación de láminas.

Por otra parte, se realizó un recorrido en planta con la finalidad de ubicar posibles problemas con respecto a la seguridad. En el mismo se encontró lo siguiente:

c) Los operarios utilizan sus teléfonos celulares durante las operaciones. Esto puede causarles distracción y por ende aumentar su riesgo durante el tiempo de trabajo.

Solución: No permitir la entrada con teléfonos celulares al área de trabajo.

d) El personal de trabajo no utiliza tapa bocas. Posible existencia de problemas respiratorios.

Solución: Usar un respirador para vapores orgánicos y olores molestos, (tapa bocas). Modelo recomendado 8210 marca 3m, el cual además protege contra polvos, humos, neblinas y virutas. Ver figura 4.43



Figura N° 4.43. Respirador para vapores y olores molesto. Modelo 8210. Marca 3M

e) En el área de corte, los operarios no utilizan lentes protectores.

Solución: Usar lentes de seguridad, claros con protección lateral y visión panorámica. Modelo recomendado, Ver figura anexa. 4.44



Figura N° 4.44. Lente de protección con protección lateral



f) En el área de corte, las máquinas cortadoras generan residuos metálicos. Los mismos durante el proceso salen expulsados de los equipos por el aire a gran velocidad cayendo dentro de un depósito de basura ubicado a 2 metros de distancia. Estos residuos pueden ocasionar heridas graves al personal si este se acerca demasiado.

Solución: Diseñar y construir sistema de protección al personal de trabajo. Una buena solución sería construir una rejilla que sirva de contención para los residuos metálicos durante su trayectoria de salida. La misma puede servir a su vez para que el operario o personal de trabajo no pueda pasar a un espacio donde corra riesgo su vida.

En las figuras 4.45 y 4.46, se aprecian los problemas actuales en la seguridad del área de litografía y sus respectivas soluciones.



Figura N° 4.45. Problemas en la seguridad del área de litografía.



Figura N° 4.46. Soluciones a los problemas en la seguridad del área de litografía.

Gracias al cumplimiento de las normas y soluciones anteriormente descritas, la seguridad de la gestión de mantenimiento del área de litografía no se verá comprometida a lo largo de la trayectoria laboral de *Domínguez & Cía.*

Es por esto, que para garantizar la seguridad durante la implementación del nuevo plan de mantenimiento, será necesario el cumplimiento a cabalidad de estas normas y soluciones en concordancia con los artículos mencionados de la LOPCYMAT.

4.9.4 Impacto Ambiental

Un proceso MCC indica que es necesario conocer las posibles consecuencias ambientales generadas por las operaciones que se llevan a cabo dentro del área de litografía de *Domínguez & Cía.* De existir tales consecuencias, es imprescindible hallar una solución para evitarlas o disminuirlas hasta un nivel tolerable.



Es por esto que se investigó dentro de éste área para determinar si se generan residuos contaminantes y de generarse, cual es su disposición.

Durante las operaciones, actualmente se generan residuos líquidos como lubricantes, tinta y solventes. Estos residuos líquidos son vendidos a una empresa llamada *Resolquim* en donde se someten a ciertos procesos para mejorar sus propiedades y son vendidos para su posterior reutilización. Además existen los residuos de aguas negras, las cuales son transportadas mediante tuberías dentro de la empresa, a un ducto principal fuera de la empresa., el cual recolecta todas las aguas negras de zona industrial “Los Guayos” y cuya disposición queda en manos del estado.

Además de residuos líquidos, se generan también varios tipos de residuos sólidos, estos son las piezas mecánicas desgastadas o dañadas (engranajes, levas, bielas, ejes, entre otros.), láminas defectuosas y envases defectuosos. Para la disposición de los primeros mencionados existe un almacén dentro de *Domínguez & Cía.*, donde son resguardados y luego vendidos a cualquier cliente. Las láminas defectuosas se reutilizan para hacer pruebas de funcionamiento y de calidad en las prensas litográficas y barnizadoras. Y por último, los envases defectuosos son devueltos a SIDOR para inmediatamente ser fundidos y finalmente reutilizados para cumplir otras funciones.

Por lo explicado anteriormente, esta claro que la gestión de trabajo del área de litografía de *Domínguez & Cía.* no ocasiona un impacto ambiental directo, es por esto que conviene mantener el mismo procedimiento de disposición de residuos durante esta labor. Sin embargo, aunque no se está generando este impacto ambiental, el área de litografía está elaborando un plan de medidas ambientales legales con la finalidad



de darle importancia al tema ecológico. Éste plan se encuentra descrito en el Anexo D.

Una vez puesto en funcionamiento este plan de medidas ambientales, las actividades desarrolladas en el plan de mantenimiento se adecuarán y cumplirán con los parámetros de las legislaciones ambientales que actualmente se llevan a cabo en la empresa.

4.10 Elaboración del software de mantenimiento

Actualmente, la gestión del departamento de mantenimiento del área de litografía es llevada a cabo de manera manual, en formatos y otros registros empíricos que luego son almacenados y constituyen parte de los archivos de la empresa. Esta situación dificulta el acceso a la información relacionada con el funcionamiento de los equipos tales como: historiales de falla, registro histórico de mantenimiento preventivo y correctivo, ordenes de trabajo, etc.

Por esta razón, además de la elaboración del plan de mantenimiento, surge la necesidad de desarrollar un software adecuado a las necesidades de la empresa, que permita registrar, consultar, controlar y evaluar la gestión de mantenimiento del área mencionada.

Para la elaboración del software, se utilizó el lenguaje de programación Visual Basic 2005 .net por ser una herramienta potente para el desarrollo de aplicaciones basadas en Windows.

La base de datos se elaboró en Microsoft Access 2003, por ser un manejador de base de datos ampliamente utilizado, el cual permite almacenar gran volumen de datos de una manera sencilla.



Las aplicaciones del software son: manejo de inventarios, impresión de formatos, manejo de cronograma de mantenimiento, registro de mantenimiento preventivo y correctivo. Las diversas aplicaciones se detallan a continuación:

- ✓ *Inicio*, da la bienvenida al usuario y permite el acceso al programa.



Figura N° 4.47. Ventana de bienvenida del software de mantenimiento.

- ✓ *Inventario de equipos*, permite el manejo de la información referente a los equipos, contiene: nombre del equipo, código del equipo, marca, modelo, estado y cantidad. (ver figura 4.48)
- ✓ *Cronograma de actividades*, permite la consulta y modificación de las acciones de mantenimiento planificadas para los equipos del área de litografía. Ésta aplicación permite la búsqueda de actividades a realizar de acuerdo al tipo de equipo. (ver figura 4.49)
- ✓ *Registro de mantenimiento preventivo*, permite consultar y registrar información referente a las acciones de mantenimiento preventivo realizadas a



los equipos. La información puede mostrarse al usuario por equipos y/o intervalos de fechas. (ver figura 4.50)

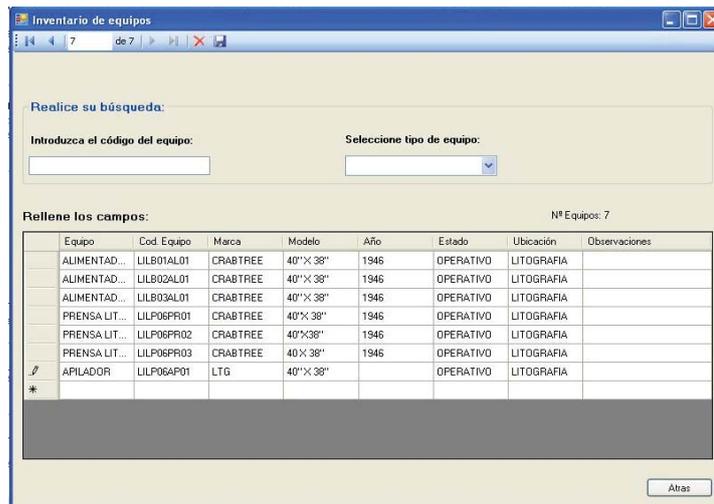


Figura N° 4.48. Inventario de equipos, pantalla del software de mantenimiento

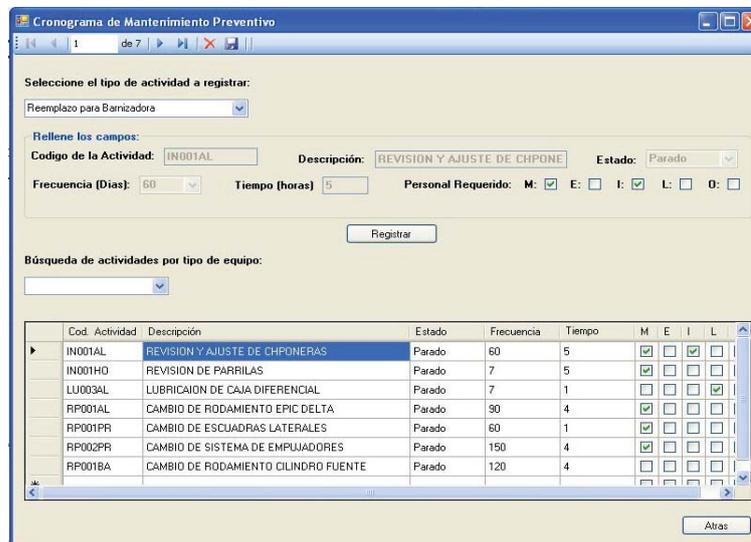


Figura N° 4.49. Cronograma de actividades, pantalla del software de mantenimiento



- ✓ *Registro de mantenimiento correctivo*, permite consultar y registrar información referente a las acciones de mantenimiento correctivo realizadas a los equipos. La información puede mostrarse al usuario por equipos y/o intervalos de fechas.(ver figura 4.51)
- ✓ *Consulta de formatos*, permite consultar e imprimir los formatos de registro de mantenimiento preventivo y correctivo, ubicados en el Anexo C, con la finalidad de que sean llenados por los operarios en su turno, y luego registrar esta información en el programa.

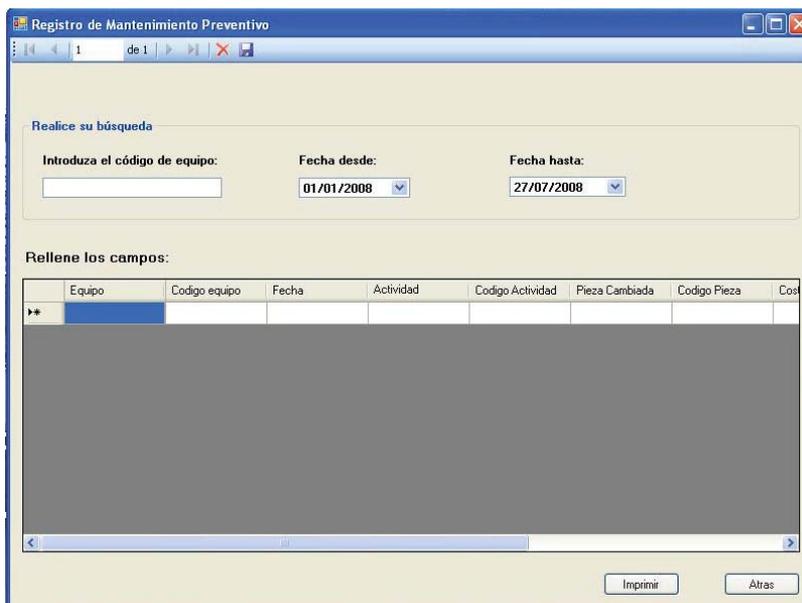


Figura N° 4.50 Registro de mantenimiento preventivo, pantalla del software de mantenimiento

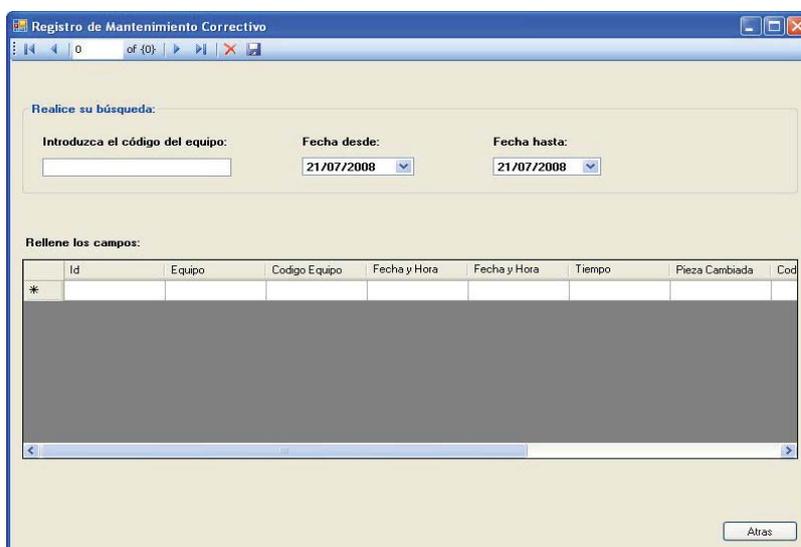


Figura N° 4.51. Registro de mantenimiento correctivo, pantalla del software de mantenimiento

- ✓ *Consulta de AMEF*, permite consultar los Análisis de Modos y Efectos de Falla, de todos los equipos que conforman la línea de prensa litográfica, esto en base a la información desarrollada en la sección 4.3. Con esta aplicación el usuario puede observar las fallas posibles y frecuentes, así como sus efectos en la seguridad, ambiente, producción y/o operaciones. (ver figura 4.52)
- ✓ *Ayuda*, esta opción muestra un archivo de Word, donde se encuentra el manual del usuario y la explicación del sistema de codificación de equipos y actividades, con el fin de brindar una consulta rápida al usuario, en caso de requerirla. A (ver figura 4.53)

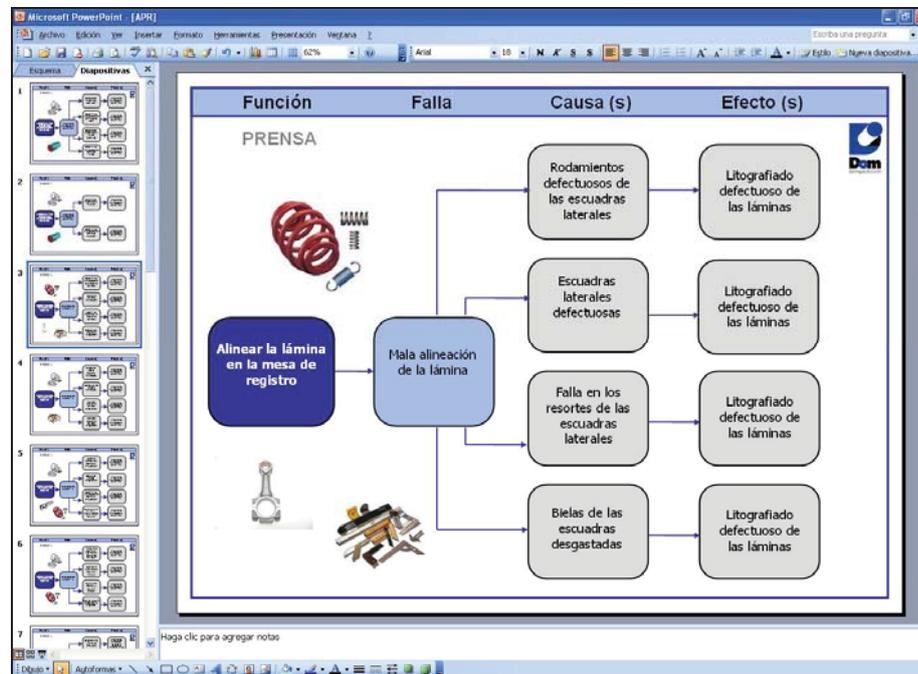


Figura N° 4.52. Consulta de AMEF, pantalla del software de mantenimiento.

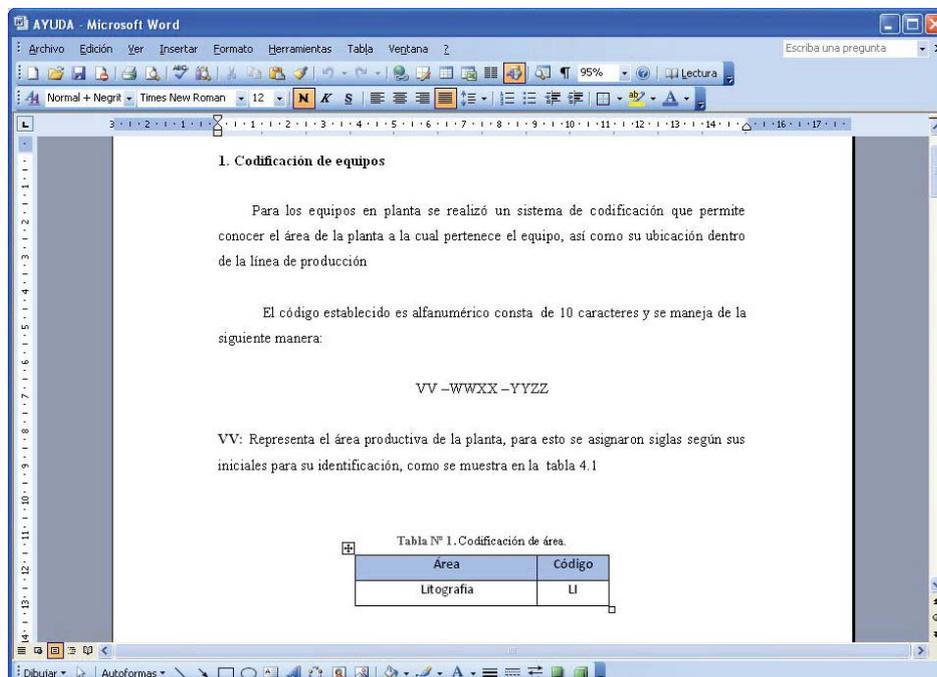


Figura N° 4.53. Ayuda, pantalla del software de mantenimiento



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- El tiempo promedio para la falla MTTF de la línea de prensa litográfica actualmente, es de 35,69 horas, es decir, transcurren aproximadamente 1,49 días antes de la ocurrencia de una nueva falla.
- El número de fallas presentadas actualmente en la línea 6, es de 236 fallas en el periodo de un año.
- Los costos de mantenimiento actuales de la línea 6, no son apropiados, ya que superan considerablemente el 33% de los costos de operación.
- La productividad actual en promedio es de 3564 bultos de láminas /trimestre. Aproximadamente 12% menos del nivel nominal.
- Del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) realizado, se obtuvo que ningún modo de falla de los equipos pertenecientes a la línea 6, generan consecuencias en la seguridad y ambiente, más si ocasionan consecuencias operacionales y no operacionales.
- La fuerza de mantenimiento requerida para la aplicación del plan elaborado en la línea 6, corresponde a 2 trabajadores: 1 mecánico y 1 lubricador.
- El número de fallas estimadas luego de la elaboración del plan de mantenimiento es de 62 fallas en el periodo de un año, lo que representa una reducción del 75% aproximadamente.
- El tiempo promedio estimado para la falla (MTTF) es 144,74 horas, luego de la elaboración del plan de mantenimiento, es decir, que la línea permanecería



operativa durante 6,03 días; esto representa un incremento de 4,5 días respecto a la situación actual.

- Los costos referidos al mantenimiento de implementarse el plan elaborado, son deseados, ya que se encuentran por debajo del 33% de los costos operacionales.
- De implementarse el plan de mantenimiento elaborado, el valor promedio de la productividad sería 3650 bultos de láminas/trimestre, lo que representaría un incremento de 2,5% en la producción.
- El valor de disponibilidad calculado para el plan de mantenimiento elaborado es 99,22%.
- El tiempo promedio de reparación (MTTR) para el plan de mantenimiento es de 1,12 horas.
- El plan de mantenimiento elaborado se corresponde con lo establecido Ley Orgánica de Prevención Condición y Medio Ambiente de Trabajo, en concordancia Art.53 Num. 1, Art.56 Num. 3, 2 y 4 LOPCYMAT, 237 de la Ley Orgánica del Trabajo, aplicados actualmente en Domínguez y Cía.



RECOMENDACIONES

- Registrar de manera confiable la data de falla de los equipos y cada uno de sus componentes, requerida en los formatos elaborados.
- Elaborar manuales que contengan los procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.
- Entrenar personal que sea capaz de cubrir toda la gestión de mantenimiento, del área de litografía.
- Capacitar el personal encargado de operar el software de mantenimiento elaborado.
- Realizar una revisión periódica de los AMEF para actualizar posibles modos de fallas, que ocurran en los equipos.



BIBLIOGRAFÍA

1. Vallés, Luis E.. Ingeniería de Confiabilidad. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Estado Carabobo, Venezuela.
2. Norma SAE JA1012 (2002). Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie.
3. Nava, A. José D. (2006) Teoría de Mantenimiento, Definiciones y organización. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones. Mérida, Venezuela.
4. Nava, A. José D. (2004). Teoría de Mantenimiento Fiabilidad. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones. Mérida, Venezuela.
5. Nava, A. José D (2004). Aplicación práctica de la Teoría de Mantenimiento. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones. Mérida, Venezuela.
6. Vílchez, Nelson. (2006). Estrategias Creativas en el Diseño Mecánico. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Estado Carabobo, Venezuela.
7. Camacho, Iván; Loaiza Jairo. (2007). Diseño de un sistema para el desarrollo de programas de mantenimiento confiables. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Venezuela.
8. Feo, Gustavo A.; Novoa, Carlos M. (1987). Plan de mantenimiento en la sección de preparación de astillas de una planta de aglomerados de maderas



BIBLIOGRAFÍA



- de sistema continuo Bison – Mende. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Venezuela.
9. Padrón, Yamira C.; Moreno, Trina E. (1978). Plan de mantenimiento preventivo para una empresa metal-mecánica, Factocam. trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Venezuela.
10. Lanza V. Ángel. (2000). Estudio de factibilidad para la estandarización de sellos mecánicos de bombas centrífugas y evaluación de fallas.
11. Gotera, E. (1998). ¿Qué es lo último que hemos aplicado en mantenimiento?



ANEXO A

Tabla A.1. Modos de falla generales del alimentador

Equipo: Alimentador			Modos de Falla	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		
1. Suministrar 3200 láminas/hora, para la alimentación de la línea	a. No suministra láminas (Trancamiento).	a.1 a.2 a.3 a.4 a.5	Falla el sistema de distribución de vacío. Láminas se encuentran pegadas (mal curadas) Láminas golpeadas o defectuosas Falla en el sistema de suministro de aire de separación de láminas Ruedas de caídas defectuosas	
2. Controlar el nivel de altura del bulto al nivel de trabajo.	a. No controla el nivel de altura del bulto. (El elevador sube o baja de golpe)	a.1 a.2	Falla eléctrica Pasador roto en el tornillo sin fin	
3. Agarrar láminas individuales para alimentación de la línea.	a. No agarra las láminas del bulto	a.1	Falla en el sistema de agarre (Chuponeras).	
4. Rechazar láminas pegadas.	a. No funciona el mecanismo de rechazo de doble lámina.	a.1	Falla eléctrica	
5. Suministrar aire para al separación de láminas	a. No suministra aire b. Suministra aire contaminado	a.1 a.2	Falla en el sistema de aire comprimido Secadores del compresor dañados.	

Tabla A.2. Modos de falla detallados del alimentador.

Modos de falla Detallados				
Falla Funcional	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
No suministra láminas (Trancamiento).	1. Falla el sistema de distribución de vacío	1.1 Fuera de sincronismo en el sistema de chuponeras 1.2 Falla en bomba de vacío. 1.3 Falla del motor eléctrico	No hay acople entre la transmisión y el distribuidor de vacío	Pasador roto Dientes desgastados de la transmisión.
	2. Láminas se encuentran pegadas (mal curadas)	2.1 Problema con el proceso de secado previo proveniente de otra línea		
	3. Láminas golpeadas	3.1 Manejo inapropiado del bulto	Descuido del operador	
	4. Falla en el sistema de suministro de aire de separación de láminas.	4.1 Falla en el sistema de aire comprimido 4.2 Secadores del compresor dañados.	Mangueras	
	5. Ruedas de caídas defectuosas	5.1 Alta temperatura de las láminas	Proceso anterior	

Tabla A.2. Continuación

<p>No controla en nivel del bulto</p>	<p>1. Falla eléctrica</p> <p>2. Pasador roto en el tornillo sin fin</p>	<p>1.1 Falla del sensor disyuntor</p> <p>1.2 Falla de los sensores micro</p> <p>1.3 Falla del contactor</p> <p>1.4 Daño del cableado</p>		
<p>No agarra las láminas del bulto.</p>	<p>1. Falla en el sistema de agarre (Chuponeras).</p> <p>2. Chuponeras defectuosas</p>	<p>1.1 Falla en el sistema distribuidor de vacío.</p>	<p>“Los detalles de este modo de falla se encuentran descritos anteriormente”</p>	
<p>No funciona el mecanismo de rechazo de doble lámina</p>	<p>1. Falla eléctrica</p>	<p>1.1 Falla del sensor de espesor</p> <p>1.2 Falla del relé.</p> <p>1.3 Daño del cableado.</p>	<p>Desajuste por vibración</p> <p>Falta de ajuste de espesor por cambio del formato de láminas</p>	<p>Descuido del operador</p>

Tabla A.2. Continuación

<p>No suministra aire de separación de láminas.</p>	<p>1. Falla en el sistema de aire comprimido</p>	<p>Mangueras</p>		
<p>Suministra aire contaminado al sistema de separación de láminas.</p>	<p>1. Secadores del compresor dañados.</p>			

Tabla A.3. Efectos de falla del alimentador

Equipo: Alimentador		
Modos de falla	Efectos de falla	
Pasador de acople entre la transmisión y distribuidor de vacío fracturado.	Evidencias	Funcionamiento erróneo del sistema de agarre
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del pasador
Ruedas de caída defectuosas	Evidencias	Las ruedas de caída presentan deformaciones o disminución notable de su diámetro
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de ruedas de caída
Falla del sensor disyuntor	Evidencias	El elevador del bulto de láminas sube o baja de golpe.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio 30min
	Daño secundario	Posible daño del sistema de agarre (Chuponeras)
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del sensor

Tabla A.3. Continuación

Falla de los sensores micro	Evidencias	El elevador del bulto de láminas sube o baja de golpe.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	Posible daño del sistema de agarre (Chuponeras)
Falla del contactor	Acción correctiva requerida	Reemplazo del sensor
	Evidencias	El elevador del bulto de láminas sube o baja de golpe.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min.
	Daño secundario	Posible daño del sistema de agarre (Chuponeras)
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del contactor
Pasador fracturado en el tornillo sin fin del sistema de elevación de láminas	Evidencias	No funciona el sistema de elevación de láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min.
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del pasador

Tabla A.3. Continuación

Chuponeras del sistema de agarre defectuosas	Evidencias	No hay agarre de las láminas (no hay suministro)
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 5 min.
	Daño secundario	No tiene
Sensor de espesor del mecanismo de rechazo de doble lámina defectuoso	Acción correctiva requerida	Reemplazo de chuponeras
	Evidencias	Trancamiento de láminas a la entrada de la prensa
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
Sensor de espesor del mecanismo de rechazo de doble lámina desajustado	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del sensor
	Evidencias	Trancamiento de láminas a la entrada de la prensa
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Sensor de espesor del mecanismo de rechazo de doble lámina desajustado	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 5 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste del sensor

Tabla A.3. Continuación

Falla del relé del mecanismo de rechazo de doble lámina	Evidencias	Trancamiento de láminas a la entrada de la prensa
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Mangueras del sistema de suministro de aire para la separación de láminas defectuosas	Acción correctiva requerida	Reemplazo del relé
	Evidencias	No hay suministro de láminas (Trancamiento)
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min.
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de mangueras

Tabla A.4. Modos de falla generales de la barnizadora.

Modos de Falla				
Equipo: Barnizadora	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	
1.		a.	a.1 a.2 a.3	
		b.	b.1 b.2 b.3 b.4 b.5	
	2.	Remover barniz del rodillo Scrapper	a.1	Falla en las cuchillas anteriores del rodillo Scrapper
	3.	Remover el solvente del rodillo Scrapper	a.1	Falla en las cuchillas posteriores del rodillo Scrapper
4.	Alinear las láminas (una por una) en la mesa de registro	a.1 a.2	Desalineación por las escuadras laterales Falla en los empujadores	

Tabla A.4. Modos de falla detallados de la barnizadora

Modos de falla Detallados (Barnizadora)					
Falla Funcional	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
No aplica barniz	1. Trancamiento	1.1 Se puede observar detalles de trancamiento en "Modos de falla del Alimentador"			
	2. Falla en el sistema de suministro de barniz	2.1 Mangueras o tuberías obstruidas	Defectos de Materia Prima (barniz o solvente)		
	3. Problema con el rodillo Scraper	2.2 Falla en la bomba de Barniz	Desgaste de los engranajes		
		3.1 No hay presión de aplicación	Acoples bomba – transmisión con problemas		
			Fractura del pasador en las bielas de posicionamiento		
			Ajuste inadecuado de la elevación del cilindro	Descuido del operador	

Tabla A.4. Continuación

<p>Aplica insuficiente cantidad de barniz</p>	<p>1. Falla en el sistema de suministro de la bomba de barniz</p> <p>2. Problema con el rodillo Fuente</p> <p>3. Problema con el rodillo Distribución</p> <p>4. Problema con el rodillo de Composición</p>	<p>“Los detalles de este modo de falla se encuentran descritos anteriormente”</p> <p>2.1 Cilindro deformado</p> <p>2.2 Rodamientos de bola defectuosos</p> <p>3.1 Cilindro deformado</p> <p>3.2 Rodamientos de bola defectuosos</p> <p>4.1 Cilindro deformado</p> <p>4.2 Rodamientos de bola defectuosos</p>	<p>Láminas defectuosas</p>		
-----------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	--	--

Tabla A.4. Continuación

<p>No remueve el barniz</p>	<p>5. Problema con el rodillo Scrapper</p>	<p>5.1 Cilindro deformado</p> <p>5.2 No ejerce suficiente presión a la lámina</p> <p>5.3 Rodamientos de bola defectuosos</p>	<p>Roce de las cuchillas</p> <p>Manejo y almacenamiento inadecuado durante su cambio</p> <p>Problema de acople de la manivela del mecanismo de elevación del rodillo.</p>	<p>Pasador fracturado</p> <p>Descuido del operador</p>	
	<p>1. Falla en las cuchillas anteriores del rodillo Scrapper</p>	<p>Cuchillas golpeadas</p> <p>Mal calibradas</p>	<p>Manejo inadecuado</p> <p>Falta de pericia o descuido del operador</p>		

Tabla A.4. Continuación

<p>No remueve el solvente</p>	<p>1. Falla en las cuchillas posteriores del rodillo Scrapper</p>	<p>Cuchillas golpeadas Uso Mal calibradas</p>	<p>Manejo inadecuado Falta de pericia o descuido del operador</p>	<p>Descuido del operador</p>	
<p>Alineación inadecuada</p>	<p>1. Desalineación de las escuadras laterales. (Movimiento lateral)</p>	<p>1.1 Rodamientos trancados 1.2 Escuadras defectuosas 1.3 Falla en los resortes. 1.4 Desgaste en los rodillos seguidores de leva. 1.5 Fuera de tiempo 1.6 Falla en la escuadra móvil</p>	<p>Presión mayor o menor a la requerida. Desgaste de pasadores ó bielas en las escuadras. Levas desgastadas. Levas mal ajustadas. Falta de suministro de aire</p>	<p>No hay ajuste/cambio de resorte cuando varía el formato de lámina. Desgaste por uso. Desgaste por uso. Desajuste por uso. Sala de compresores Mangueras obstruidas.</p>	<p>Descuido o falta de pericia del operador</p>

Tabla A.4. Continuación

	<p>2. Falla en el sistema de empujadores. (movimiento Frontal)</p>	<p>2.1 Cadenas estiradas 2.2 Bloques de arrastre desgastado. 2.3 Rodillos empujadores 2.4 Falta o exceso de presión en los resortes.</p>	<p>No hay ajuste/cambio de resorte cuando varía el formato de lámina</p>	<p>Descuido o falta de pericia del operador.</p>	
	<p>3. Falla en los imanes de registro</p>	<p>3.1 Bocinas desgastadas 3.2 Desalineación vertical entre los dos imanes</p>	<p>Mala calibración</p>	<p>Descuido o falta de pericia del operador.</p>	

Tabla A.5. Efectos de falla de la barnizadora

Equipo: Barnizadora	
Modos de falla	Efectos de falla
	Evidencias
	Amenazas a la seguridad y al ambiente
Fractura del pasador de las bielas de posicionamiento del rodillo Scrapper.	<p>No tiene</p> <p>Tiempo fuera de servicio: 4320 min</p> <p>No tiene</p> <p>Reemplazo del pasador</p>
	Evidencias
Ajuste inadecuado del mecanismo de elevación del rodillo Scrapper.	<p>Láminas no barnizadas o barnizado defectuoso.</p> <p>No tiene</p> <p>Tiempo fuera de servicio: 15min</p> <p>Pérdida de materia prima</p> <p>No tiene</p> <p>Ajuste de la presión</p> <p>Barnizado defectuoso de las láminas.</p> <p>No tiene</p> <p>Tiempo fuera de servicio: 4320 min</p> <p>Pérdida de materia prima</p> <p>No tiene</p> <p>Reemplazo del rodillo fuente.</p>
	Evidencias
	Amenazas a la seguridad y al ambiente
	Efectos en la producción o en las operaciones
	Daño secundario
	Acción correctiva requerida
	Evidencias
	Amenazas a la seguridad y al ambiente
	Efectos en la producción o en las operaciones
	Daño secundario
	Acción correctiva requerida

Tabla A.5. Continuación

Rodamientos defectuosos del rodillo fuente	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 4320 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Deformación del rodillo de distribución	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 4320 min Pérdida de materia prima
Rodamientos defectuosos del rodillo de distribución	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del rodillo de distribución.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Rodamientos defectuosos del rodillo de distribución	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 4320 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos.

Tabla A.5. Continuación

Deformación del rodillo de de composición.	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Rodamientos defectuosos del rodillo de composición.	Acción correctiva requerida	Reemplazo del rodillo de composición
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 4320 min Pérdida de materia prima
Deformación del rodillo scraper	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Deformación del rodillo scraper	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio:
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del rodillo scraper.

Tabla A.5. Continuación

Rodamientos defectuosos del rodillo scraper	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 4320 min.
	Daño secundario	No tiene
Cuchillas golpeadas del rodillo scraper.	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 15 min.
Cuchillas mal calibradas del rodillo scraper	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 10 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Calibración del las cuchillas

Tabla A.5. Continuación

Rodamientos defectuosos de las escuadras laterales	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 15 min. Pérdida de materia prima
Escuadras laterales defectuosas	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de escuadras laterales.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Falla en los resortes de las escuadras laterales	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 10 min.
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste de los resortes

Tabla A.5. Continuación

Bielas de las escuadras desgastada	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Pasador de biela de escuadra defectuoso	Acción correctiva requerida	Reemplazo de biela
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
Rodillo seguidor de leva defectuoso	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del pasador
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Rodillo seguidor de leva defectuoso	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodillo

Tabla A.5. Continuación

Levas de escuadras laterales desgastadas	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 90 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Levas de escuadras laterales desajustada.	Acción correctiva requerida	Reemplazo de leva
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min Pérdida de materia prima
Cadenas estiradas del sistema de empujadores.	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste de leva
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Cadenas estiradas del sistema de empujadores.	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de cadenas

Tabla A.5. Continuación

Bloque de arrastre desgastado	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Rodamientos defectuosos del sistema de empujadores	Acción correctiva requerida	Reemplazo de bloques de arrastre.
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min Pérdida de materia prima
Bocinas desgastadas de los imanes de registro	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos
	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Bocinas desgastadas de los imanes de registro	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 210 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de bocinas

Tabla A.5. Continuación

Desalineación vertical entre los imanes de registro	Evidencias	Barnizado defectuoso de las láminas.
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 120 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de imanes de registro

Tabla A.9. Modos de falla generales del horno.

Equipo: Horno			
Modos de Falla			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)
1.	Secar la tinta y el barniz de las láminas bajo los parámetros [375-400] °F	a. No se secan las láminas adecuadamente	a.1 Déficit o exceso de la temperatura de secado a.2 Defectos de materia prima (barniz/esmalte y tinta) a.3 Tiempo de estadía en el horno insuficiente o excesivo
2.	Extraer gases y vapores del horno	a. No hay extracción de gases	a.1 Falla en los extractores
3.	Circular el aire dentro del horno	a. No hay circulación	a.1 Falla en los ventiladores
4.	Apagar el horno cuando la temperatura máxima de operación sea excedida.	a. No se apaga el horno	a.1 Falla del controlador de temperatura (Minitroll) a.2 Falla en los instrumentos de control neumático
5.	Apagar el alimentador cuando el horno no esté en funcionamiento	a. No se apaga el alimentador	a.1 Falla eléctrica

Tabla A.9. Continuación

6.	Apagar el alimentador cuando la temperatura de operación mínima del horno descienda por debajo de su valor.	a.	No se apaga el alimentador	a.1	Falla eléctrica
7.	Apagar el alimentador cuando exista un trancamiento de láminas a la salida del horno.	a.	No se apaga el alimentador	a.1	Falla eléctrica
8.	Permitir el encendido del horno sólo cuando los motores de extracción de gases, circulación de aire y movimiento de láminas estén funcionando.	a.	No enciende el horno	a.1 a.2 a.3 a.4 a.5 a.6 a.7 a.8 a.9	Falla del motor de extracción de gases Correas defectuosas del extractor Rodamientos defectuosos del extractor Falla del motor de ventilación Correas defectuosas del ventilador Rodamientos defectuosos del ventilador Falla del motor de movimiento de láminas Correas defectuosas del motor de movimiento de láminas Rodamientos defectuosos del motor de movimiento de láminas

Tabla A.9. Continuación

9.	Permitir el encendido del horno solo cuando los presostatos de aire y gas respectivamente y el detector de llama se encuentran emitiendo señal.	a. b.	Enciende el horno en ausencia de algunas de las tres señales No enciende el horno en presencia de las tres señales	a.1 b.1	Falla eléctrica Falla eléctrica
----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	----------------------------------------

Tabla A.10. Modos de falla detallados del horno.

Modos de falla Detallados (Horno)				
Falla Funcional	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
No se secan las láminas adecuadamente	1. Déficit o exceso de la temperatura de secado	1.1 Falla del controlador 1.2 Mala calibración	Descuido del operador	Descuido del operador
	2. Defectos de materia prima (barniz/esmalte y tinta)	2.1 Proveedor		
	3. Tiempo de estadía en el horno insuficiente o excesivo	3.1 Velocidad de circulación de las láminas inadecuada 3.2 Cadenas defectuosas	Calibración inadecuada	
No hay extracción de gases	1. Falla en los extractores	1.1 Falla del motor del extractor 1.2 Correa defectuosa 1.3 Rodamientos		
		1.1 Falla del motor del ventilador 1.2 Correa defectuosa 1.3 Rodamientos		
No hay circulación	1. Falla en los ventiladores			

Tabla A.10. Continuación.

<p>No se apaga el horno</p>	<p>1. Falla del controlador de temperatura (Minitrol) 2. Falla en los instrumentos de control neumático</p>	<p>2.1 Calibración inadecuada 2.2 Actuador defectuoso</p>		
<p>No se apaga el alimentador</p>	<p>1. Falla eléctrica</p>	<p>1.1 Falla del contactor 1.2 Daño del cableado</p>		
<p>No se apaga el alimentador</p>	<p>1. Falla eléctrica</p>	<p>1.1 Falla del contactor 1.2 Daño del cableado</p>		
<p>No se apaga el alimentador</p>	<p>1. Falla eléctrica</p>	<p>1.1 Falla del contactor 1.2 Daño del cableado</p>		

Tabla A.10. Continuación.

<p>No enciende el horno</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla del motor de extracción de gases 2. Correas defectuosas del extractor 3. Rodamientos defectuosos del extractor 4. Falla del motor de ventilación 5. Correas defectuosas del ventilador 6. Rodamientos defectuosos del ventilador 7. Falla del motor de movimiento de láminas 8. Correas defectuosas del motor de movimiento de láminas 9. Rodamientos defectuosos del motor de movimiento de láminas 			
<p>Enciende el horno en ausencia de algunas de las tres señales</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla eléctrica 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Falla del sensor 1.2 Falla del contactor 		
<p>No enciende el horno en presencia de las tres señales</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla eléctrica 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Falla del contactor 		

Tabla A.11. Efectos de falla del horno

Equipo: Horno		
Modos de falla	Efectos de falla	
Velocidad de circulación de las láminas mayor a la correcta	Evidencias	Las Láminas no quedan bien secas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 10 min.
	Daño secundario	No tiene
Velocidad de circulación de las láminas menor a la correcta	Acción correctiva requerida	Ajuste de la velocidad de las parrillas.
	Evidencias	Las láminas se observan quemadas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 10 min. Pérdida de materia prima
Correa defectuosa de los extractores	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste de la velocidad de las parrillas
	Evidencias	1. Exceso de humo en los alrededores del horno 2. No enciende el horno
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Correa defectuosa de los extractores	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min.
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de la correa

Tabla A.11. Continuación.

Correa defectuosa en los ventiladores	Evidencias	1. Litografiado defectuoso de las láminas 2. No enciende el horno
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de la correa
Rodamientos defectuosos de los extractores	Evidencias	1. Exceso de humo en los alrededores del horno 2. No enciende el horno No tiene
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min.
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos
Rodamientos defectuosos de los ventiladores	Evidencias	1.Litografiado defectuoso de las láminas 2.No enciende el horno
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min.
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos

Tabla A.11. Continuación.

Correas defectuosas del motor de movimiento de láminas	Evidencias	No hay movimiento de láminas dentro del horno. No enciende el horno
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Rodamientos defectuosos del motor de movimiento de láminas	Acción correctiva requerida	Reemplazo de las correas
	Evidencias	No hay movimiento de láminas dentro del horno. No enciende el horno
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos.

Tabla A.6. Modos de falla generales de la prensa

Modos de Falla			
Equipo: Prensa litográfica			
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	
1. Litografiar 3200 láminas/hora bajo especificaciones de diseño	a. No litografía láminas	a.1 Trancamiento de láminas en el alimentador	
	b. Litografiado defectuoso de las láminas	b.2 Problema con el cilindro porta-placa b.3 Problema con el cilindro mantilla (Blanket) b.4 Problema con el cilindro de impresión	
2. Alinear la lámina en la mesa de registro.	a. Mala alineación de la lámina	a.1 Desalineación de las escuadras laterales (Movimiento lateral)	
		a.2	
		a.3 Falla en el sistema de empujadores (Movimiento frontal)	
		a.4 Defecto en el sistema de agarradores (Grippers). Falta de presión en el cilindro de mantilla	
3. Regular la cantidad de tinta que se imprime en la lámina	a. No regula la cantidad de tinta de impresión	a.1 Defecto de la tinta (viscosidad)	
		a.2 Problema con los rodillos distribuidores o entintadores.	
4. Limpiar el área abierta de la placa que no lleva diseño.	a. No limpia el área abierta de la lámina que no lleva diseño.	a.1 Falla en el sistema Epic Delta	

Tabla A.7. Modos de falla detallados de la prensa

Modos de falla Detallados					
Falla Funcional	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
No litografía láminas	1. Trancamiento de láminas en el alimentador.	Se puede observar detalles de trancamiento en "Modos de falla del Alimentador"			
Litografiado defectuoso de las láminas	1. Problema con el cilindro porta-placa.	1.1 Deformación del cilindro	Exceso de presión Objeto que circule por él	Mal ajuste del operador	
	2. Problema con el cilindro mantilla (Blanket).	1.2 Rodamientos defectuosos 2.1 Deformación del cilindro 2.2 Rodamientos defectuosos.			
	3. Problema con el cilindro de impresión	3.1 Deformación del cilindro 3.2 Rodamientos	Golpes durante su transporte o montaje y almacenamiento inadecuado		

Tabla A.7. Continuación.

<p>Mala alineación de la lámina</p>	<p>1. Desalineación de las escuadras laterales. (Movimiento lateral)</p> <p>2. Falla en el sistema de empujadores. (movimiento Longitudinal)</p>	<p>1.1 Rodamientos defectuosos</p> <p>1.2 Escuadras defectuosas</p> <p>1.3 Resortes defectuosos</p> <p>1.4 Rodillos seguidores de leva desgastados.</p> <p>1.5 Falta de sincronización entre levas y seguidores de leva.</p> <p>2.1 Cadenas estiradas</p> <p>2.2 Bloques de arrastre desgastados</p> <p>2.3 Rodamientos defectuosos</p>	<p>Falta de lubricación</p> <p>Presión mayor o menor a la requerida</p> <p>Bielas de escuadras desgastada</p> <p>Pasador desgastado</p> <p>Falta de lubricación de levas</p> <p>Levas desgastadas</p> <p>Levas desajustadas</p> <p>Falta de lubricación</p>	<p>No hay ajuste de resorte cuando varía el formato de lámina</p>	<p>Descuido o falta de pericia del operador</p>
-------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------

	<p>3. Defecto en el sistema de agarradores (Grippers).</p>	<p>3.1 Resortes partidos en las varillas de presión</p> <p>3.2 Varilla ranurada</p> <p>3.3 Rodamientos terminales de varillas defectuosos o trancados</p> <p>3.4 Resorte de pinza defectuoso</p> <p>3.5</p> <p>3.6 Hoja de los Grippers desajustada o desgastada.</p> <p>3.7 Topes ranurados.</p>	<p>Contacto constante del resorte.</p> <p>Tornillos terminales desgastados</p> <p>Falta de lubricación</p> <p>Contacto constante con las láminas</p> <p>Contacto constante con las láminas</p>	<p>Falta de lubricación</p> <p>Falta de lubricación</p>	
<p>No limpia el área abierta de la lámina que no lleva diseño.</p>	<p>1. Falla en el Epic Delta</p>	<p>1.1 Bomba de agua defectuosa</p> <p>1.2 Tubería obstruida</p> <p>1.3 Chiller dañado</p> <p>1.4 Rodamientos defectuosos</p>			

Tabla A.7. Continuación.

No regula la cantidad de tinta de impresión.	1. Falla en los trinquetes 2. Tinta 3. Rodillos entintadores	1.1 Desgaste de la uña 1.2 Resorte defectuoso 2.1 No cumple especificaciones 3.1 Mal calibrados	Proveedor de tinta		
----------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------	--	--

Tabla A.8. Efectos de falla de la prensa litográfica

Equipo: Prensa litográfica	
Modos de falla	Efectos de falla
	Evidencias Litografiado defectuoso de las láminas
Deformación del cilindro porta placa.	Amenazas a la seguridad y al ambiente No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones Tiempo fuera de servicio: 3 días Pérdida de materia prima
	Daño secundario No tiene
	Acción correctiva requerida Reemplazo del cilindro
	Evidencias Litografiado defectuoso de las láminas
Rodamientos defectuosos del cilindro porta- placa.	Amenazas a la seguridad y al ambiente No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones Tiempo fuera de servicio: 3 días Pérdida de materia prima
	Daño secundario No tiene
	Acción correctiva requerida Reemplazo de los rodamientos.
	Evidencias Litografiado defectuoso de las láminas
Deformación del cilindro de mantilla (Blanket)	Amenazas a la seguridad y al ambiente No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones Tiempo fuera de servicio: 3 días Pérdida de materia prima
	Daño secundario No tiene
	Acción correctiva requerida Reemplazo del cilindro

Tabla A.8. Continuación.

Rodamientos defectuosos del cilindro de mantilla	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Rodamientos defectuosos del cilindro de impresión	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 3 días Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos.
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
Deformación del cilindro de impresión	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 3 días Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo del cilindro
Rodamientos defectuosos del cilindro de impresión	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 3 días Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Rodamientos defectuosos del cilindro de impresión	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos.

Tabla A.8. Continuación.

Rodamientos defectuosos de las escuadras laterales	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 30 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Escuadras laterales defectuosas	Acción correctiva requerida	Reemplazo de los rodamientos.
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
Falla en los resortes de las escuadras laterales	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de escuadras laterales.
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 10 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste de los resortes.

Tabla A.8. Continuación.

Bielas de las escuadras desgastadas	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 60 min. Pérdida de materia prima
Pasador de biela de escuadra defectuoso	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de biela
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
Rodillo seguidor de leva defectuoso	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de pasador
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 45 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodillo

Tabla A.8. Continuación.

Levas de escuadras laterales desgastadas	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 90 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de leva
Levas de escuadras laterales desajustada.	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste de leva
Cadenas estiradas del sistema de empujadores.	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de cadenas

Tabla A.8. Continuación.

	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Bloque de arrastre desgastado	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de bloques de arrastre.
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
Rodamientos defectuosos del sistema de empujadores	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos
Resortes partidos en las varillas de presión en el sistema de agarradores (Grippers)	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 15 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de resortes

Tabla A.8. Continuación.

Varilla en el sistema de agarradores (Grippers) ranurada.	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Rodamientos de varillas del sistema de agarradores (Grippers) defectuosos	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 90 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de la varilla
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
Resorte de pinza del sistema de agarradores (Grippers) defectuoso	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 60 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos
Resorte de pinza del sistema de agarradores (Grippers) defectuoso	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 15 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
Resorte de pinza del sistema de agarradores (Grippers) defectuoso	Acción correctiva requerida	Reemplazo de resorte

Tabla A.8. Continuación.

	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Hoja de Grippers desajustada	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 5 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Ajuste de la hoja
	Evidencias	Litografiado defectuoso de las láminas
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Hoja de Grippers desgastada	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 15 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de la hoja de grippers
	Evidencias	Área que no lleva diseño, se encuentra entintada
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Rodamientos del epic Delta defectuosos	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 240 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodamientos

Tabla A.8. Continuación.

	Evidencias	Litografiado defectuoso (Exceso o defecto de tinta)
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Desgaste de la uña de los trinquetes	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 60 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de uña
	Evidencias	Litografiado defectuoso (Exceso o defecto de tinta)
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Resorte de trinquetes defectuoso	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 15 min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de resorte
	Evidencias	Litografiado defectuoso
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
Tornillos terminales desgastados	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de tornillo

Tabla A.8. Continuación.

Topes ranurados	Evidencias	Litografiado defectuoso
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 20min. Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de tope
Rodillos entintadores	Evidencias	Litografiado defectuoso
	Amenazas a la seguridad y al ambiente	No tiene
	Efectos en la producción o en las operaciones	Tiempo fuera de servicio: 4320 min Pérdida de materia prima
	Daño secundario	No tiene
	Acción correctiva requerida	Reemplazo de rodillo entintador



ANEXO B



ANEXO C



ANEXO D

PLAN DE MEDIDAS AMBIENTALES LEGALES

23/07/2008

Tipo de Aspecto Amb./ Aspecto Fisico	Normativa	Prioridad	Acción Correctiva / Adquisición	Información Requerida / Proyecto	Control Operacional Requerido	Tiempo Estimado Actividad		Responsable Acción	Obs
						Acción	Control Oper.		
Almacén de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos.	Ley 55		<ol style="list-style-type: none"> Elaborar un formato de identificación de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos (ident., cantidad, ubicación / área, responsable, etc.). Reunión con Gerente Logística para validar información del formato de inventario de sust. quim. y mat. pelig. Definir un responsable del manejo y control de las sust. quim. y mat. pelig. Inventariar las sustancias químicas y materiales peligrosos en planta. Cantidad de Tambores. Cajas con productos químicos / Otros. Definir la ubicación de la Sustancia en Proceso, identificar en el formato. Realizar modelo de etiqueta de identificación de sust. quim. y mat. pelig. Realizar el etiquetado luego de la ubicación en el almacén. Adecuar el Almacén de Sustancias y Materiales Peligrosos de acuerdo al documento de control operacional (Condiciones Físicas). Identificar zonas de control de acceso de sustancias químicas y material peligroso. Instalar sistema de control de acceso en zonas de almacenamiento de sust. quim. y mat. pelig. Armar kit antiderrame y ubicarlo en planta. 	<ol style="list-style-type: none"> Listado de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos. Plano del almacén de Sustancias quim. y mat. pelig. Hojas de seguridad (fichas técnicas). 	<ol style="list-style-type: none"> Procedimiento de Manejo y Control de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos (Implementación y Divulgación) Inventario de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos. Condiciones Físicas del Almacén de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos (plano de ubicación, incluir dispositivos de manejo y kit antiderrame). 			Verificar material en obsolescencia (incluido en desechos)	
Desechos Peligroso y Material Peligroso Recuperable	Decreto 2.635		<ol style="list-style-type: none"> Elaborar un formato de inventario de desechos peligrosos y material peligroso recuperable. Definir un responsable para el manejo y control de los DP y MPR. Realizar la caracterización de desechos "Dudados". Inventariar los DP y MPR en planta. Cantidad de Tambores, Cajas con productos químicos / Sacos / Cajas / Otros. Buscar el manejador y disposición final de los DP y MPR. Adecuar el Almacén de Desechos Peligrosos y MPR de acuerdo a Condiciones Físicas. Realizar modelo de etiqueta de identificación de DP y MPR. Realizar el etiquetado luego de la ubicación en el almacén. 	<ol style="list-style-type: none"> Plano del almacén de DP y MPR. 	<ol style="list-style-type: none"> Procedimiento de Manejo y Control de DP y MPR (etiquetado, instrucciones) (Implementación y Divulgación) Condiciones Físicas del Almacén de DP y MPR (plano de ubicación). 			Verificar el control que hace Almacén a algunos desechos	
Desechos No Peligrosos	Decreto 2.216		<ol style="list-style-type: none"> Elaborar un formato de inventario de desechos no peligrosos. Definir un responsable para el manejo y control de los DNP. Inventariar los DNP en planta. Cantidad de Tambores, Cajas con productos químicos / Sacos / Cajas / Otros. Buscar el manejador y disposición final de los DNP. Adecuar el Almacén de DNP de acuerdo a Condiciones Físicas. Realizar identificación de la zona de almacenamiento de DNP y ubicarlos en el almacén. 	<ol style="list-style-type: none"> Plano del almacén de DP y MPR. 	<ol style="list-style-type: none"> Procedimiento de Manejo y Control de DNP (Identificación, instrucciones) (Implementación y Divulgación) Condiciones Físicas del Almacén de DNP (plano de ubicación). 				
Desechos Medicos	Decreto 2.218		<ol style="list-style-type: none"> Realizar un formato de control de registro de temperatura al refrigerador de almacenamiento de desechos medicos (Tipo B y C). Incluir en el formato de control de inventario de DP y MPR a los desechos medicos Tipo B y C generados en el servicio medico. Implementar el control de registro de temp. (aplicar el formato, segun frecuencia: 3 veces por semana) Colocar bandejas de contención antiderrame de sustancias químicas y reactivos en el lugar de almacenamiento en el servicio medico (ejemplo: desinfectante, alcohol, otros con capacidad mayor a 1 gal (3.785 Lt.)). Identificar el estante como "Almacenamiento Temporal de Sustancias Químicas y Reactivos" en el servicio medico. Colocar las hojas de seguridad de las sustancias químicas y reactivos en el lugar de almacenamiento en el servicio medico. Cambiar la etiqueta de identificación de los contenedores de desechos tipo B y C. Color Fondo Blanco y la escritura en Rojo. Identificar los contenedores de desechos domesticos como "Basura Común". 	<ol style="list-style-type: none"> Fichas Técnicas (hojas de seguridad de sust. quim. y reactivos del servicio medico. 	<ol style="list-style-type: none"> Procedimiento de Manejo y Control de Desechos Medicos (Implementación y Divulgación) Inventario de Sustancias Químicas y Materiales Peligrosos (que incluye desechos medicos). Control de Temperatura de Almacenamiento de Desechos Medicos. 				

Tipo de Aspetto Amb / Area Fisica	Normativa	Prioridad	Accion Correctiva / Ajustacion	Informacion Requerida / Proyecto	Tiempo Estimado Actividad		Responsabilis Accion	Obs.
					Accion	Control Oper.		
Almacenes	Decreto 2.635		1. Reubicar los tambores al area de desechos peligrosos.					
Almacenes	Decreto 2.635		1. Verificar el vencimiento de este producto. 2. Verificar la peligrosidad (caracterizacion, si esta vencido). 3. Buscar la ficha tecnica (si no esta vencido). 4. Realizar la identificacion adecuada (etiquetado). 5. Realizar el manejo adecuado en almacen (si no vencido) o disposicion final adecuada con empresa manejadora (si esta vencido).	Caracterizacion del tabo industrial (si esta vencido) Caracterizacion del polvo de costura (si esta vencido)				
Almacenes	Decreto 2.635		1. Incluir estos desechos en el inventario. 2. Reubicar los desechos (eliminar la mezcla de desechos). 3. Identificar los desechos almacenados (colocar etiqueta). 4. Identificar los desechos que pueden ser dispuestos finalmente con empresa manejadora.					
Almacenes	Decreto 2.635		1. Hermetizar / cerrar los tambores que contienen asbesto. 2. Identificar los tambores con restos de asbestos con las etiquetas. 3. Reubicarlos en almacen de DP (zona de asbesto, segun plano).					
Almacenes	Decreto 2.216		1. Definir el (las) area (s) de archivo muerto. 2. Identificar las areas de almacenamiento de archivo muerto. 3. Verificar el tiempo de almacenamiento por disposiciones legales con Administracion y Recursos Humanos. 4. Verificar el tiempo de almacenamiento del archivo muerto y hacer disposicion final correspondiente (basura).					
Almacenes	Decreto 2.216		1. Verificar el uso del aserrin. 2. Reubicar las bolsas (si tiene uso) o dar disposicion final adecuada. 3. Identificar con etiquetas (si tiene uso).					
Almacenes	Decreto 2.635		1. Incluir estos desechos en el inventario. 2. Separar los desechos peligroso de los no peligrosos, y reubicar en el almacen definido para cada uno. 3. Etiquetar. 4. Realizar el layado correspondiente a la zona de desechos en los almacenes. 5. Identificar las zonas segun layado en cada almacen.					