

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
PREDICTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20 EN LA PLANTA DE
MANUFACTURA DE TRONEX BATTERY COMPANY S.A..

VIVIANA SANÍN PATIÑO

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2007

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
PREDICTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20 EN LA PLANTA DE
MANUFACTURA DE TRONEX BATTERY COMPANY S.A..

VIVIANA SANÍN PATIÑO

Proyecto de Grado
Como parte de los requerimientos para la obtención del título
de Ingeniero Mecánico

Asesor
JUAN IGNACIO GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN

2007

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Quiero expresar mi cariño y gratitud a mi familia, por haber creído en mí. Por sus esfuerzos, apoyo y amor incondicional, han hecho posible la terminación de otra etapa de mi vida.

Gracias también a quienes me brindaron su amistad desinteresada, sin la cual no habría podido superar muchos obstáculos.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a la Empresa Tronex Battery Company S.A, en especial al departamento de ingeniería por la colaboración e información suministrada para el desarrollo e implementación de este proyecto.

Al ingeniero mecánico Luís Gabriel Posada y al ingeniero químico John Jairo Roldan, por su atención, paciencia y colaboración para la realización de este proyecto.

Al ingeniero mecánico Juan Ignacio Gutiérrez, en calidad de asesor, por sus aportes y conocimiento en el tema de gestión de mantenimiento, y su apoyo incondicional en el transcurso del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
0. PRÓLOGO	18
0.1. INTRODUCCIÓN	18
0.2. RESEÑA HISTORICA TRONEX BATTERY COMPANY S.A.....	20
0.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PILA R20.....	20
0.4. PERFIL ACTUAL DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	24
0.5. JUSTIFICACIÓN	26
0.6. OBJETIVO GENERAL.....	28
0.6.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
1. CONCEPTUALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS ACTUALES DE CONTROL.....	30
1.1. OBJETIVO.....	30
1.2. INTRODUCCIÓN	30
1.3. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	31
1.3.1. Etapa I y II, Visión hacia las acciones de mantenimiento	31
1.3.2. Etapa III, Organización táctica de mantenimiento	32
1.3.3. Etapa IV, Logística y gestión de una estrategia de mantenimiento	33
1.4. DISTRIBUCIONES	34
1.4.1. Distribución normal.....	34
1.4.2. Distribución log-normal.....	35
1.4.3. Distribución exponencial.....	36
1.4.4. Distribución de Weibull	37
1.5. PERFIL DE FUNCIONALIDAD.....	40
1.6. INDICADORES CMD	42
1.7. CONFIABILIDAD.....	42
1.7.1. Probabilidad	43

1.7.2. Desempeño satisfactorio	43
1.7.3. Período	44
1.7.4. Condiciones de operación	44
1.7.5. Cálculo de la confiabilidad	44
1.8. MANTENIBILIDAD	47
1.8.1. Curva de mantenibilidad	49
1.9. DISPONIBILIDAD	51
1.9.1. Disponibilidad genérica A_G	55
1.9.2. Disponibilidad inherente A_I	56
1.9.3. Disponibilidad alcanzada A_A	57
1.9.4. Disponibilidad operacional A_O	58
1.9.5. Disponibilidad operacional generalizada A_{OG}	59
1.10. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS	60
1.10.1. Rango de mediana	60
1.10.2. Método de máxima verosimilitud	61
1.11. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE	63
1.11.1. Kolmogorov-Smirnov	63
1.11.2. Ji al cuadrado	64
1.12. ANÁLISIS DE FALLAS	65
1.12.1. Procedimientos FMECA	65
1.12.2. Procedimientos RCFA	66
1.12.3. Metodología RCM	66
1.12.3.1. Mantenimiento basado en riesgo	68
1.12.3.2. Consecuencias y modos de falla	69
1.12.3.3. Valoración cualitativa del riesgo	75
1.13. DIAGRAMA DE PARETO	76
1.14. TAREAS DE MANTENIMIENTO	77
1.14.1. Mantenimiento Correctivo	77
1.14.2. Mantenimiento Preventivo	78

1.14.3. Mantenimiento Predictivo	79
1.15. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO..	80
1.15.1. Listado de máquinas	80
2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	104
2.1. OBJETIVO.....	104
2.2. INTRODUCCIÓN	104
2.1.1. Análisis de Criticidad	104
2.3. MÁQUINAS CRÍTICAS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20	105
2.4. ANÁLISIS DE FALLA	107
2.5. CONCLUSIONES.....	124
3. CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO CMD	125
3.1. OBJETIVO.....	125
3.2. INTRODUCCIÓN	125
3.3.HISTORIAL DE FALLOS EN LA MÁQUINAS DE MAYOR TIEMPO IMPRODUCTIVO DE PRODUCCIÓN	126
3.3.1. Historial de fallos para el cálculo de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad .	127
3.4. CÁLCULO Y RESULTADO DE INDICADORES DE CMD	134
3.4.1. Análisis de resultados máquinas Body Maker	135
3.4.1.1. Análisis de resultado de Confiabilidad.....	135
3.4.1.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad	136
3.4.1.3. Análisis de resultado de Mantenimientos programados	137
3.4.1.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada.....	138
3.4.2. Análisis de resultados máquina Ensambladora-Domeadora	140
3.4.2.1. Análisis de resultado de Confiabilidad.....	140
3.4.2.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad	141
3.4.2.3 Análisis de resultado de Mantenimientos programados	142
3.4.2.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada.....	143
3.4.3. Análisis de resultados máquinas Bright Star	145
3.4.3.1. Análisis de resultado de Confiabilidad.....	145

3.4.3.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad	146
3.4.4.3. Análisis de resultado de Mantenimientos programados	147
3.4.3.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada.....	148
3.4.4 Análisis de resultados máquinas Insertadora de Arandela Final.....	150
3.4.4.1 Análisis de resultado de Confiabilidad.....	150
3.4.4.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad	151
3.4.4.3 Análisis de resultado de Mantenimientos programados	152
3.4.4.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada.....	153
3.5. CONCLUSIONES.....	155
4. TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS.....	157
4.1. OBJETIVO.....	157
4.2. INTRODUCCIÓN	157
4.3. TAREAS DE MANTENIMIENTO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20	158
4.4. CONCLUSIONES.....	175
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	177
5.1. OBJETIVO.....	177
5.2. CONCLUSIONES.....	177
5.3. RECOMENDACIONES	181
BIBLIOGRAFIA	184
ANEXOS	191

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetro β de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera.....	39
Tabla 2. Consecuencias asociadas a las fallas ocultas.....	70
Tabla 3. Consecuencias asociadas a la seguridad física	70
Tabla 4. Consecuencias asociadas al medio ambiente.....	71
Tabla 5. Consecuencias asociadas a los costos de reparación	71
Tabla 6. Consecuencias asociadas al efecto en los clientes.....	72
Tabla 7. Consecuencias asociadas a la imagen corporativa.....	73
Tabla 8. Valoración de la Ocurrencia	73
Tabla 9. Valoración de Severidad	74
Tabla 10. Máquinas Slitter de Tiras y Cuerpos de blindaje y Cartón.....	80
Tabla 11. Máquina Flexadora.....	81
Tabla 12. Máquinas Body Maker.....	82
Tabla 13. Máquinas Extrusor.....	83
Tabla 14. Máquinas Cortadoras Chinas Trimmer.....	85
Tabla 15. Máquina Cortadora Trimmer Y23	86
Tabla 16. Máquina Tubuladora.....	87
Tabla 17. Máquinas Línea de Papel.....	88
Tabla 18. Máquina Troqueladora Arandela Compactación R20.....	90
Tabla 19. Máquinas Bright Star	91
Tabla 20. Máquinas Rebordeadora de Celdas	94
Tabla 21. Máquinas Insertadora de Arandela Final.....	95
Tabla 22. Máquina Ensambladora-Domeadora.....	96
Tabla 23. Sistema de Asfalto.....	97
Tabla 24. Máquina Cerradora.....	98
Tabla 25. Máquina Chequeadora	99

Tabla 26. Máquina Túnel Termoencogible	100
Tabla 27. Máquinas Blister	101
Tabla 28. Zona de Mezcla	102
Tabla 29. Sistema de Transporte	103
Tabla 30. Datos pareto en el año 2006	106
Tabla 31. Valor probabilísticos de cada impacto Ki.....	109
Tabla 32. Valoración de la Ocurrencia del área de Mantenimiento Tronex Battery Company S.A.	110
Tabla 33. Análisis efecto de falla máquinas Bright Star	112
Tabla 34. Análisis efecto de falla máquina Ensambladora	118
Tabla 35. Análisis efecto de falla máquinas Insertadora de Arandela Final	120
Tabla 36. Análisis efecto de falla máquinas Body Maker	123
Tabla 37. Resultados análisis de falla	124
Tabla 38. Datos máquinas Body Maker	127
Tabla 39. Datos máquina Ensambladora-Domeadora	128
Tabla 40. Datos máquinas Bright Star.....	130
Tabla 41. Datos máquinas Insertadora de Arandela Final	133
Tabla 42. Resumen cálculos Disponibilidad Alcanzada	155
Tabla 43. Tareas de mantenimiento máquinas Body Maker	160
Tabla 44. Tareas de mantenimiento máquinas Slitter de Blindaje.....	161
Tabla 45. Tareas de mantenimiento máquina Flexadora	161
Tabla 46. Tareas de mantenimiento máquina Tubuladora	162
Tabla 47. Tareas de mantenimiento máquina Ensambladora-Domeadora	163
Tabla 48. Tareas de mantenimiento máquinas Bright Star	164
Tabla 49. Tareas de mantenimiento máquina Troqueladora Arandela de Compactación .	165
Tabla 50. Tareas de mantenimiento máquinas Selladora de Blister	165
Tabla 51. Tareas de mantenimiento máquina Túnel Termoencogible.....	166
Tabla 52. Tareas de mantenimiento Sistema de Transporte.....	166
Tabla 53. Tareas de mantenimiento máquina Mesa Doble Carril de Asfalto.....	167

Tabla 54. Tarea de mantenimiento Sistema de Asfalto	167
Tabla 55. Tareas de mantenimiento máquinas Insertadora de Arandela Final	168
Tabla 56. Tareas de mantenimiento máquina Slitter de Cartón	169
Tabla 57. Tareas de mantenimiento máquinas Rebordeadora de Celdas	169
Tabla 58. Tareas de mantenimiento máquinas Extrusor	170
Tabla 59. Tareas de mantenimiento máquinas Línea de Papel	171
Tabla 60. Tarea de mantenimiento Zona de Mezclas	172
Tabla 61. Tarea de mantenimiento máquina Chequeadora	172
Tabla 62. Tareas de mantenimiento máquinas Trimmer Chinas	173
Tabla 63. Tarea de mantenimiento máquina Trimmer Y23	174
Tabla 64. Tarea de mantenimiento máquina Cerradora	175

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Función de confiabilidad para la distribución normal.....	35
Ilustración 2. Función de confiabilidad para la distribución exponencial	37
Ilustración 3. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull.....	38
Ilustración 4. Gráfica de los distintos valores del parámetro β de la distribución de Weibull	39
Ilustración 5. Perfil de funcionalidad.....	41
Ilustración 6. Función de confiabilidad	45
Ilustración 7. Distribución de fallas acumuladas.....	46
Ilustración 8. Función de densidad de probabilidad de fallas	46
Ilustración 9. Relación de los indicadores CMD	53
Ilustración 10. Pasos Método RCM	67
Ilustración 11. Severidad	74
Ilustración 12. Pareto línea de producción de pila R20 en el año 2006.....	106
Ilustración 13. Matriz riesgo de falla RCM.....	108
Ilustración 14. Curva de confiabilidad.....	135
Ilustración 15. Curva de mantenibilidad (correctivos).....	136
Ilustración 16. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados	137
Ilustración 17. Curva de mantenibilidad (programados)	138
Ilustración 18. Curva de confiabilidad.....	140
Ilustración 19. Curva de mantenibilidad (correctivos).....	141
Ilustración 20. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados	142
Ilustración 21. Curva de mantenibilidad (programados)	143
Ilustración 22. Curva de confiabilidad.....	145
Ilustración 23. Curva de mantenibilidad (correctivos).....	146

Ilustración 24. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados	147
Ilustración 25. Curva de mantenibilidad (programados)	148
Ilustración 26. Curva de confiabilidad.....	150
Ilustración 27. Curva de mantenibilidad (correctivos).....	151
Ilustración 28. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados	152
Ilustración 29. Curva de mantenibilidad (programados)	153

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Función de confiabilidad para la distribución normal	34
Ecuación 2. Función de densidad de la distribución log-normal.....	35
Ecuación 3. Función de confiabilidad de la distribución log-normal	36
Ecuación 4. Función de tasa de fallas de la distribución log-normal	36
Ecuación 5. Función de confiabilidad para la distribución exponencial	36
Ecuación 6. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull	38
Ecuación 7. Confiabilidad	44
Ecuación 8. Distribución de fallas acumuladas	45
Ecuación 9. Función de densidad de probabilidad de fallas.....	46
Ecuación 10. Mantenibilidad.....	50
Ecuación 11. Representación matemática de la función de mantenibilidad.....	50
Ecuación 12. Disponibilidad	52
Ecuación 13. Relación de disponibilidad	53
Ecuación 14. Disponibilidad genérica.....	55
Ecuación 15. Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos	56
Ecuación 16. Disponibilidad inherente	56
Ecuación 17. Disponibilidad alcanzada	57
Ecuación 18. Tiempo medio entre mantenimientos.....	57
Ecuación 19 . Tiempo medio de mantenimiento activo	58
Ecuación 20. Disponibilidad operacional.....	58
Ecuación 21. Disponibilidad operacional generalizada	59
Ecuación 22. Distribución binomial acumulada	61
Ecuación 23. Aproximación de Benard para el rango de mediana.....	61
Ecuación 24. Función de máxima verosimilitud.....	62
Ecuación 25. Función de distribución acumulada empírica K-S.....	63

Ecuación 26. Estadístico para la prueba ji al cuadrado.....	64
Ecuación 27. Cálculo de la frecuencia esperada.....	64
Ecuación 28. Valoración de la Severidad.....	75
Ecuación 29. Cálculo RPN.....	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A.. Programa de mantenimiento preventivo de componentes eléctricos.....	191
Anexo B. Programa de mantenimiento preventivo de componentes neumáticos.....	194
Anexo C. Plan de lubricación máquinas línea de producción de pila R20.....	198

0. PRÓLOGO

0.1. INTRODUCCIÓN

La productividad de cualquier sistema industrial se maximiza con un proceso efectivo de registro, medición y evaluación de los índices básicos de la gestión del mantenimiento (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad).

El proceso de evaluación propone una vía efectiva para optimizar el principio de toma de decisiones relacionado con la disminución de las fallas de los activos dentro de un sistema de producción. En este proceso existen muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, que se deben adoptar a lo largo del ciclo de vida del activo.

Las decisiones relacionadas con el proceso de mejoramiento de la confiabilidad de los activos (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallas, costos de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad) son de interés particular, ya que estos aspectos tienen un gran impacto sobre el costo total del ciclo de vida del activo e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costos razonables (PARRA@,2007).

El objetivo del mantenimiento es lograr, con el mínimo costo, el mayor tiempo en servicio de las instalaciones y maquinaria productivas, con el fin de conseguir la máxima disponibilidad, aportando la mayor productividad y calidad del producto y la máxima seguridad de funcionamiento. Para optimizar este objetivo, es necesario

que los factores de costo, tiempo de servicio y seguridad de funcionamiento sean posibles de medir, permitiendo efectuar su análisis para llegar a determinar nuevas acciones (Rey, 1996, 61).

El mantenimiento se puede entender como la entidad que apoya la producción y sirve de apoyo logístico a todas las áreas para que puedan llevar a cabo su función. Debido al avance técnico, tecnológico y científico. La gestión de mantenimiento que se rige hoy es mucho más especializada, analítica, práctica y rigurosa que la realizada años atrás (Mora,2005,26).

El mantenimiento tiene una participación en muchos aspectos que pueden llevar al éxito o al fracaso a una empresa. Por medio de algunos estudios comprobados se sabe que incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto o servicio.
- Capacidad operacional (aspecto relevante dada la relación entre competitividad y por citar sólo un ejemplo, el cumplimiento de plazos de entrega).
- 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.
- Seguridad e higiene industrial.
- Calidad de vida de los colaboradores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía (MOLINA@,2007).

0.2. RESEÑA HISTORICA TRONEX BATTERY COMPANY S.A

Tronex Battery Company S.A. realiza la manufactura y distribución de pilas primarias Zinc-Carbón y también la importación y distribución de pilas y baterías; además distribuye todo tipo de soluciones en energía portátil como las baterías especiales, baterías industriales, UPS.

La empresa desde hace 7 años está bajo el mando de una nueva gerencia, que decide emprender un cambio sobre su “vieja” estructura administrativa y productiva para encarar nuevos factores que garanticen estabilidad del negocio, tales como nuevos procesos de producción y la calidad del producto debido a la entrada de nuevos competidores y clientes más exigentes.

La transformación se centra en los objetivos de reorientar la mentalidad de sus empleados para generar la cultura de cambio y renovación acorde con la evolución permanente, el mejoramiento continuo de la industria, y a la optimización de los procesos de manufactura.

0.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PILA R20

El proceso de producción de la pila D (R20) tiene factores, parámetros y variables estándares importantes en las etapas de mezcla, ensamble, sellado, chequeo de voltaje y amperaje, y empaque, donde hay una alta exigencia en la calidad del producto dentro de las variables y parámetros requeridos en sus especificaciones.

La producción de la pila D se basa en la oxidación del zinc en un medio ligeramente ácido, y están compuestas por zinc metálico, cloruro de amonio y dióxido de manganeso y carbón.

El proceso de producción en la Empresa está dividido en las siguientes etapas:

1. Fabricación del vaso de zinc: Este proceso consiste en la extrusión por impacto de las monedas de zinc, las cuales han sido previamente lubricadas. Estas monedas se precalientan y entran a las máquinas Extrusores, en donde se forman los vasos. Posteriormente se almacenan en una banda que los conduce a las máquinas Cortadoras con el fin de darles la altura final. De ahí son transportados, por medio de un elevador, a las máquinas Bright Star.
2. Fabricación del blindaje: A la planta llegan láminas de hojalata litografiadas, las cuales son cortadas en tiras en la máquina Slitter Tiras; a su vez estas tiras se cortan para formar laminillas individuales en la máquina Slitter Cuerpos. Cada laminilla pasa por la máquina Flexadora para eliminar las rebabas que pueden producirse en el corte y luego se llevan manualmente a las máquinas Body Maker, en donde se forma el tarro cilíndrico (blindaje). Finalmente, éste es transportado por medio de un elevador a la máquina Ensambladora.
3. Fabricación del tubo de cartón: A la máquina Tubuladora se incorporan dos rollos de cartón, uno de ellos se pasa por parafina mientras el otro se impregna con un adhesivo tipo Colbón. Luego se unen por medio de unas bandas formadoras entrelazadas para formar un tubo largo que a su vez es cortado con unas cuchillas para lograr la medida requerida. Los tubos se almacenan en una tolva y luego son transportados por medio de un elevador a la máquina Ensambladora.
4. Preparación de la mezcla: En la planta se cuenta con un sistema semiautomático de pesaje para dosificar algunos de los elementos que

componen la mezcla. En esta área se pesan las cantidades exactas de manganeso natural, manganeso electrolítico, cloruro de amonio, óxido de zinc y negro de acetileno. Paralelamente se prepara la solución electrolítica que se compone de agua purificada, cloruro de zinc y un humectante. Ambos procesos llegan al mezclador, en donde se homogeniza la mezcla final, que luego de ser almacenada, se incorpora a la máquina Bright Star.

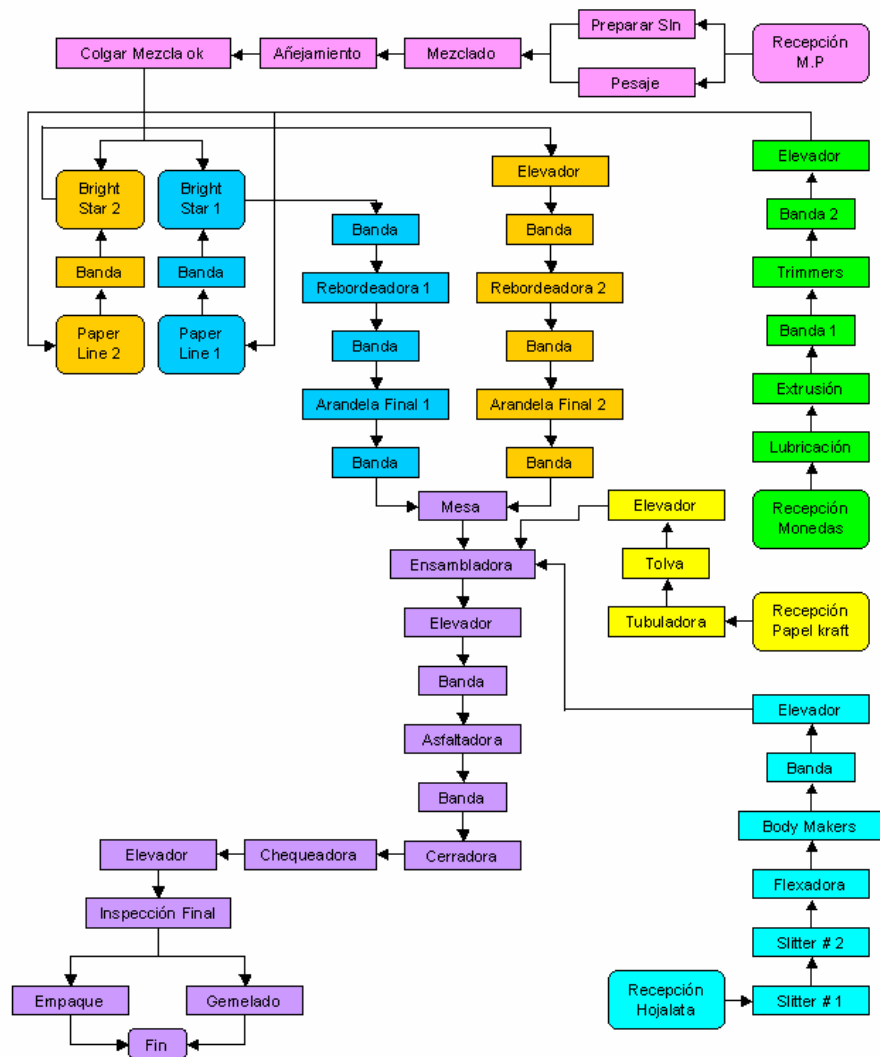
5. Ensamble: A las máquinas Bright Star llegan por un lado los tarros de zinc y por el otro la mezcla. Primero se incorpora al tarro el papel electrolítico y el cartón de fondo. Luego cada uno es conducido a una primera estación en donde se incorporan la mezcla y la arandela de compactación. De ahí pasa a una segunda estación en donde es insertado el carbón. Allí se completa el proceso de compactación.

Por medio de una banda transportadora la celda llega a las máquinas Rebordeadora de Celdas, en la cual se redondea el borde superior del vaso de zinc a un diámetro inferior, con el fin de facilitar el soporte de la arandela de sello. Esta arandela se inserta en la máquina siguiente, en donde es troquelada. De ahí la celda es transportada a la máquina Ensambladora, a la que le llegan a su vez el tubo de cartón y el tarro de blindaje. La primera función que tiene la máquina es efectuar un grafado del disco inferior (que se encuentran almacenados en un tambor) con el tubo de cartón. Una vez concluido éste proceso, se efectúa el ensamble del blindaje y el tubo de cartón con la celda.

Por medio de un elevador las celdas se transportan a la máquina Selladora, en donde se dosifica una cierta cantidad de asfalto para sellarlas. Posteriormente se conducen a la máquina Cerradora para posicionar la tapa superior y hacer el grafado final.

Las pilas se transportan luego a la máquina Chequeadora para medir el voltaje, el amperaje y la continuidad de cada una. Las pilas que se encuentren por debajo del set point o punto de ajuste requerido de voltaje y amperaje son rechazadas, mientras que las demás pasan a la etapa de inspección final, para luego ser empacadas (CALIDAD,2007).

Ilustración 1. Diagrama de producción de la pila D por máquinas



(Bravo,35,2007)

0.4. PERFIL ACTUAL DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Desde sus comienzos como empresa manufacturera de pilas primarias Tronex Battery Company S.A evoluciona enormemente, pues el proceso de producción de la pila D desde el año 2000 hasta el 2006 ha aumentado un 47.5% y además abarca la comercialización nacional e internacional (PRODUCCIÓN,2007).

El progreso en el área de producción se ha dado con la ayuda del área de mantenimiento, pues en sus comienzos este departamento sólo se preocupaba por corregir las fallas que generaban paros improductivos.

A medida que la empresa incursiona en mercados con clientes más exigentes en el producto y las especificaciones que debe cumplir una pila para ser comercializada en el mercado, el área de mantenimiento también trata de mantener las máquinas con la disponibilidad y calidad requeridas para la producción de la pila.

El área de mantenimiento se encuentra actualmente en el proceso de implementación del segundo nivel del enfoque Kantiano del mantenimiento, es decir, el nivel operacional, en el cual las tareas preventivas de los equipos son básicas, y que incluye tareas como la identificación de equipos, la identificación de inventario de repuestos con su respectiva codificación, un programa piloto del mantenimiento preventivo eléctrico y neumático, pero sin dejar de lado las rutinas básicas de las máquinas como son la inspección, calibración, seguimiento de medidas de piezas y sustituciones antes de la falla, plan de lubricación, pruebas y ensayos, modificaciones de material y diseño para el mejoramiento de máquinas, y la implementación de técnicas predictivas de equipos como la termografía en los y equipos eléctricos y el análisis de aceite.

El mantenimiento a partir de las tareas programadas con una determinada frecuencia ha permitido que los tiempos improductivos de producción por paradas no programadas decrezcan, pero sin tener un patrón de medición ni de análisis de criticidad.

En algunos momentos se presentan problemas repetitivos que ocasionan paros de producción y algunas veces se han solucionado este tipo de situaciones, pero sin tener claros los parámetros y las variables que se tuvieron en cuenta para llegar a solucionarlos.

Por estos motivos el área de mantenimiento tiene el objetivo de implementar una metodología sistemática que permita organizar los datos históricos de las máquinas como punto de partida para encontrar las causas y solucionar este tipo de situaciones.

El área de mantenimiento cuenta con un sistema de información llamado MP2 Professional versión 6.0, edición SQL Server de la casa Datastream, que es la plataforma informática especializada para la administración adecuada de las tareas de mantenimiento, donde los datos y la información mantienen una realimentación de dichos datos en tiempo real, permitiendo obtener mejores resultados y más acertadas decisiones en mantenimiento.

Actualmente el programa MP2 sólo es utilizado para el almacenamiento, generación y realimentación del historial de las diversas máquinas, tareas correctivas programadas y preventivas de mantenimiento, pero no realiza un análisis del comportamiento a lo largo del tiempo; es decir, solo es utilizado un 10% de su funcionalidad.

El objetivo del área de mantenimiento es llegar a resultados no solo operativos sino de gestión y logística para controlar en forma estratégica las acciones de mantenimiento, utilizando el sistema de información MP2 hasta un 90 ó 100% de su aplicabilidad.

0.5. JUSTIFICACIÓN

Las empresas generadoras de bienes y/o servicios que utilizan instalaciones, edificios, máquinas, equipos, herramientas, utensilios, dispositivos, etc. para lograr su objetivo social, necesitan que estos activos se mantengan en un estado de funcionamiento, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad adecuados a sus necesidades, de hecho deben procurar que su vida útil sea la máxima posible al mínimo costo, lo que se logra a través del mantenimiento, el cual actúa como una entidad de servicio a la producción. La forma de maximizar la eficacia, la eficiencia, la efectividad y la productividad de los activos es mediante el conocimiento y aplicación de las leyes que gobiernan la relación entre producción y mantenimiento (Mora,2006,15).

La automatización creciente de los procesos industriales requiere maquinaria de varios tipos que debe funcionar sin fallas, pues una interrupción de su funcionamiento, además de ser demasiado costosa, puede ser catastrófica. El uso cada vez más frecuente de equipos tecnológicos sofisticados en todo tipo de actividades, hace necesario que ellos posean una alta confiabilidad (Mora y otros, 2005,10). La no-confiabilidad produce pérdidas de tiempo, altos costos, mayor número de repuestos, riesgo para la vida de las personas y los países (Rojas,1975,4).

La gestión de mantenimiento a través de la planeación y del seguimiento de indicadores crea un impacto en la industria de bienes y servicios en aspectos generales, tecnológicos, productivos, medioambientales, normativos y educativos, en busca de obtener la más amplia información y así maximizar la productividad del sistema industrial.

El sector industrial evoluciona con nuevas estrategias para el logro de la máxima productividad y calidad con menores tiempos improductivos. Para lograr esto se requiere el diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo y predictivo involucrando registro, medición, y evaluación de los índices básicos en producción como eficiencia y en mantenimiento como confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

La metodología diseñada e implementada para esta evolución debe generar cambios que demanda e impone el mercado; en resumen, debe enfocarse al mejoramiento de la calidad del producto, a generar beneficios económicos, tecnológicos y sociales, teniendo como base la plena satisfacción del cliente.

La empresa Tronex Battery Company S.A. no es ajena a esta realidad y por esta razón se busca con este proyecto implementar un plan de mantenimiento que permita conocer el estado presente y futuro de las máquinas involucradas en la línea de producción R20, encargada de la fabricación de las pilas zinc-carbón D, una de las principales fuentes de ingresos de la empresa, por lo que se hace primordial la excelencia en la gestión del plan de mantenimiento.

El diseño e implementación de la gestión de mantenimiento en la línea de producción de pila R20 se basa en la información obtenida por la aplicación de la metodología Six Sigma en busca de crecimiento y desarrollo de los “activos”

fundamentales de la compañía, impulsando cambios en la cultura organizacional y en el compromiso por la eficiencia y calidad productiva.

El activo llamado “maquinaria” es un conjunto de sistemas mecánicos y eléctricos, con automatizaciones básicas y que data aproximadamente de los años 60, los cuales se han ido modificando y reemplazando algunas piezas según su desgaste y los requerimientos de producción, sin tener un análisis de capacidad de producción y un registro histórico de mantenimiento, es decir, no hay seguimiento al comportamiento de las máquinas en el tiempo. Es por esto que se requiere la implementación de una buena gestión de mantenimiento en la línea de producción de la pila R20, el cual permitirá el desarrollo de proyectos de mejoramiento, el análisis de criticidad y el seguimiento de acciones de mantenimiento que puedan favorecer la productividad y la calidad proporcionando herramientas que permitan conocer en detalle la causa raíz de las fallas, la toma de decisiones acertadas sobre una modificación o un cambio de una parte o una reposición total de la máquina y el análisis del estado real y futuro a través de cálculos de distribución de los índices de CMD.

0.6. OBJETIVO GENERAL

Implementar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo en la línea de producción de la pila R20 de la planta de producción de Tronex Battery Company S.A., con el fin de determinar estrategias y acciones para el estado actual y futuro de las máquinas, e incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones productivas.

0.6.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar herramientas actuales de control en el proceso de mantenimiento, determinado a partir del seguimiento histórico de los mantenimientos de la maquinaria, equipos y sistemas relacionados en la línea R20.
- Analizar la criticidad del proceso de producción de pila R20, ubicando los tiempos de fallas, reparaciones, tiempos y demoras pertinentes en el cálculo CMD.
- Aplicar los cálculos de CMD en forma global, a partir de distribuciones y una metodología universal, calculando los valores de MTBMc¹, MTBMp², MTTR³, Mp⁴ y demás indicadores pertinentes del CMD a partir de los métodos series temporales y distribuciones.
- Desarrollar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo a partir del estudio de la criticidad.
- Concluir los resultados obtenidos con el fin de hacer recomendaciones útiles para la empresa, aplicables a otras líneas de trabajo.

¹ MTBMc: Tiempo Medio entre Mantenimientos Correctivos.

² MTBMp: Tiempo Medio entre Mantenimientos Programados.

³ MTTR: Tiempo Medio entre Reparaciones.

⁴ Mp: Mantenimientos Planeados.

1. CONCEPTUALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS ACTUALES DE CONTROL

1.1. OBJETIVO

Implementar herramientas actuales de control en el proceso de mantenimiento, determinado a partir del seguimiento histórico de los mantenimientos de la maquinaria, equipos y sistemas relacionados en la línea R20.

1.2. INTRODUCCIÓN

La empresa mide la competitividad con el fin de dar respuesta a los cambios que plantea el medio, adicionando en sus procesos administrativos, productivos, ventas y finanzas, las estrategias y recursos que complementan su estado actual y la conduzcan a mejores posiciones frente al mercado.

Es por esto que debe contar con departamentos comprometidos con todo aquello que permita lograr el objetivo común; Por esta razón el área de mantenimiento como parte de la estructura del departamento de ingeniería debe orientar su gestión como negocio en un sentido económico, administrativo y tecnológico (Restrepo,1992,1).

El área de mantenimiento como prestadora de servicios debe garantizar la calidad, seguridad y rentabilidad, donde involucra retos, oportunidades y metas dadas por

la alta gerencia, y por la exigencia que plantea la economía globalizada, mercados competitivos y un entorno variable donde la velocidad de cambio es intensa.

La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento a través de las distintas épocas acorde con las necesidades de sus clientes, que son aquellas dependencias y/o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos, para producirlos (Mora, 2005, 20).

1.3. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

El progreso de mantenimiento permite distinguir varias etapas evolutivas, en relación a los diferentes objetivos que se observan en las áreas productivas o de manufactura a través del tiempo; El análisis se lleva a cabo en cada una de las etapas, que muestran las empresas en función de sus metas de producción para ese momento, la clasificación generacional relaciona las áreas de mantenimiento y producción en términos de evolución (Mora,2005,20).

1.3.1. Etapa I y II, Visión hacia las acciones de mantenimiento

La etapa I da a conocer los instrumentos con acciones de carácter correctivo, donde procura corregir la falla o parada imprevista en forma prioritaria, Es decir, las bases de mantenimiento se dan para que funcione en corregir paros improductivos, pues impiden el desarrollo normal y programado de la actividad a servir o manufacturar.

El área de producción en esta etapa elabora productos o genera servicios y el mayor problema son los fallos en el proceso de producción.

La etapa II de mantenimiento, donde el objetivo principal es solucionar las paradas repentinas de los equipos, es aquella en la cual mantenimiento empieza a desarrollar acciones de prevención o predicción de fallas.

Es la etapa donde empiezan a utilizarse técnicas, metodologías y procedimientos propios de las acciones planeadas de mantenimiento, tales como: rutinas de inspección, limpieza, lubricación, planes preventivos, mediciones técnicas, ensayos, registro de datos técnicos, monitoreo, reposición de elementos antes de que entre en falla, ajuste de la función antes de la falla, identificación y codificación de equipos, tareas para las intervenciones programadas, recomendaciones de seguridad, planes de mantenimiento, identificación de repuestos y administración de proveedores y contratación de terceros (Mora,2005,21).

El área de mantenimiento, a medida que avanza con las acciones preventivas y programadas, adquiere el conocimiento y destreza para diferenciar tareas propias de mantenimiento antes y después de cada falla y la consecuencia que ésta lleva en el proceso de producción, además proporciona la distensión entre las acciones correctivas, modificativas (rediseño) (RAMOS@,2007), preventivas y predictivas, siendo las dos primeras posteriores a la falla y las últimas, previas a la funcionalidad del equipo.

1.3.2. Etapa III, Organización táctica de mantenimiento

La etapa III llega cuando el área de mantenimiento ha madurado y alcanzado el manejo real y conceptual de las acciones posibles, empieza a adoptar una estructura para el desarrollo secuencial, lógico y organizado del conjunto de acciones de mantenimiento que aplican, con el fin de gestar y operar el mantenimiento bajo un sistema organizado al adoptar la táctica de mantenimiento.

El área de producción en esta etapa maximiza la explotación y la combinación de sus factores productivos, en tanto que mantenimiento se constituye como una unidad independiente de producción.

1.3.3. Etapa IV, Logística y gestión de una estrategia de mantenimiento

La etapa IV se alcanza cuando las empresas desarrollan con suficiencia los niveles anteriores, se interesan por medir los resultados y pretenden saber qué tan bien se hacen las cosas, es por eso que empiezan a establecer sistemas de costeo propios de mantenimiento, registro histórico de fallas y reparaciones, sistemas de medición (Mora,2005,23).

El área de producción pretende mejorar su competitividad y su mantenimiento, por lo cual establece estrategias mediante las cuales puede llegar a controlar en forma integral y específica sus actividades, los elementos, las acciones, las tácticas y todos los quehaceres de mantenimiento, consolidando así la función de mantener.

La terotecnología se da a conocer en la etapa IV donde es conocida como mantenimiento integral logístico, descansa en varias ciencias y en diversas áreas del conocimiento como: la logística, la administración, las finanzas, las necesidades, los deseos y requerimientos del usuario, la ingeniería, el diseño, los costos de fabricación y sostenimiento de equipos, los ciclos de vida de los equipos y de la tecnología y construcción, etc.; en especial se utiliza la logística, la ingeniería de fabricas y la gestión de tecnología (Dounce,1998,135), a partir de que la competitividad se sustituye como parámetro primordial en los negocios por innovación tecnológica (Mora,2005,23).

El mantenimiento permite entender etapas de evolución, cuyo punto inicial es actuar por avería en los equipos, y no requiere grandes habilidades; continúa luego sujeta al mantenimiento preventivo y la reducción de costos, al prolongar la

vida útil, y por último predomina la confiabilidad (Bleazard y otros,1998, 45-49) y la disponibilidad con mayores niveles de seguridad para alcanzar valores de eficiencia al mínimo costo del ciclo de vida para el usuario y al fabricante (Mora,2005,53).

1.4. DISTRIBUCIONES

1.4.1. Distribución normal

La distribución normal es continua y se da con frecuencia cuando la vida de los componentes se ve afectada, desde un inicio, por el desgaste y describe bien fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En esta distribución los fallos tienden a mostrarse de una forma simétrica alrededor de la vida media (Díaz,1992,20) (García,1996,190) (Modarres, 1993,79) (Ramakumar,993,95) (Ebeling,1997,69) (O'Connor, 1985,34) (Gnedenko y otro,1995,16) (Lewis,1987,55).

Ecuación 1. Función de confiabilidad para la distribución normal

$$R(t) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$$

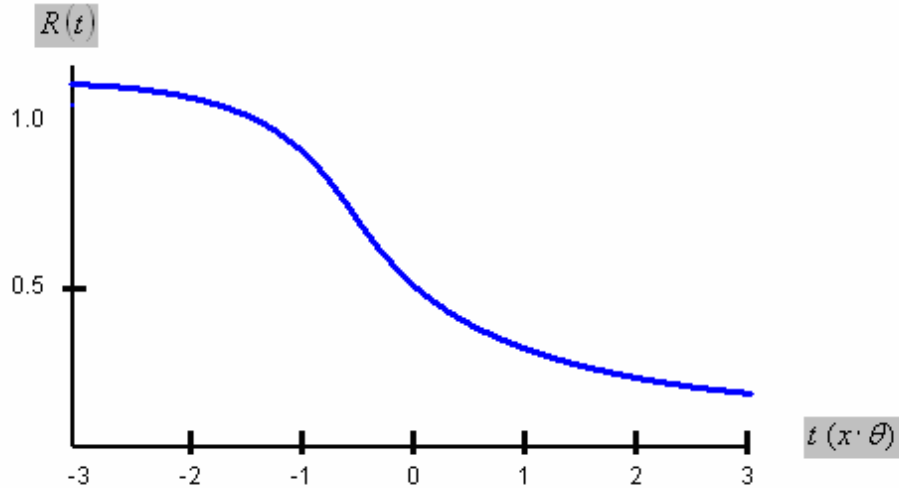
O'Connor,1985,44.

Donde:

μ : media

σ : desviación estándar

Ilustración 1. Función de confiabilidad para la distribución normal



O'Connor,1985,44.

1.4.2. Distribución log-normal

La distribución log-normal es una adaptación especial de la distribución normal formada por los parámetros μ y σ , que implica el uso del logaritmo dentro de la variable aleatoria; es una función que presenta un alto grado de adaptabilidad a los datos, pero que en general es poco utilizada para modelar tiempos de falla (Lewis,1987,116).

Los valores de μ y σ no son la media y la desviación estándar de la variable aleatoria, sino de su logaritmo. Los tiempos de reparación de componentes se ajustan de buena manera a este modelo de distribución (Ramakumar,1993,97).

Ecuación 2. Función de densidad de la distribución log-normal

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Ramakumar,1993,96

Donde:

σ : desviación estándar de los logaritmos naturales de la distribución

μ : media de los logaritmos naturales de la distribución

Ecuación 3. Función de confiabilidad de la distribución log-normal

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

Ramakumar,1993,96

Ecuación 4. Función de tasa de fallas de la distribución log-normal

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Ramakumar,1993,117

1.4.3. Distribución exponencial

La distribución exponencial describe la situación donde la función de tasa de falla es constante. Es la más común entre las distribuciones de fallas, su importancia radica en el hecho de que casi todos los componentes tienen, durante su período de operación normal, una intensidad de falla constante (Rojas,1975,46) (O'Connor,1985,37) (Modarres,1993,75) (Bazovsky,2004,76).

Ecuación 5. Función de confiabilidad para la distribución exponencial

$$R(t) = \exp(-\lambda * t)$$

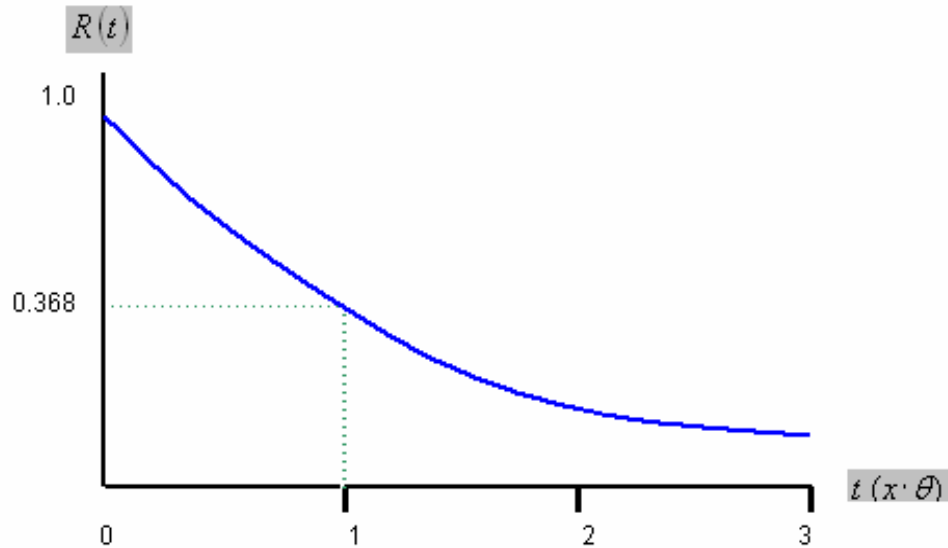
O'Connor,1985,44

Donde:

θ : MTBF

θ : λ^{-1}

Ilustración 2. Función de confiabilidad para la distribución exponencial



O'Connor,1985,44

1.4.4. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es una expresión semi-empírica muy útil, desarrollada por el matemático sueco Waloddi Weibull en el año 1951, aplicada en su estudio de resistencia a la fatiga del acero, cuando trataba de encontrar una distribución que describiera la expresión de confiabilidad en rodamientos de bolas (Kelly y otros,1998,24) (Díaz,1992,21) (O'Connor,1985,39).

La vida de los componentes utiliza frecuentemente esta distribución, ya que posee una serie de ventajas sobre las demás. También se ha usado para representar la vida de servicio de tubos y otros equipos electrónicos (Céspedes y Toro,2001,54).

Ecuación 6. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull

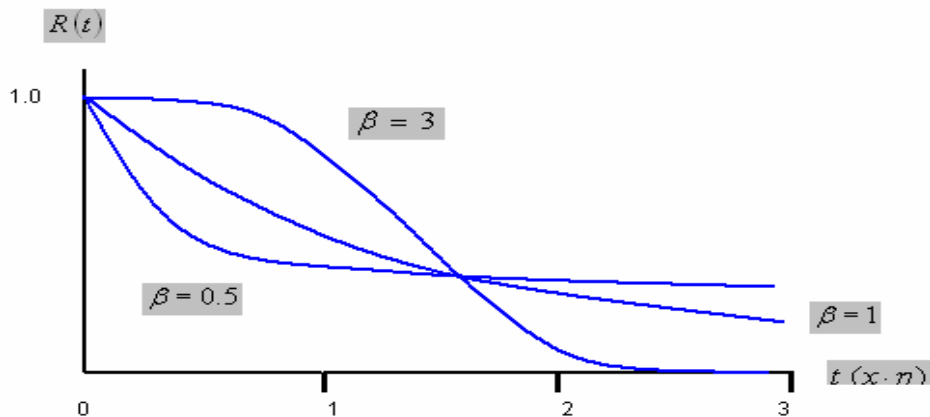
$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

O'Connor, 1985, 45

Donde:

β : Parámetro de forma

Ilustración 3. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull



O'Connor, 1985, 45

El parámetro β permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas; los valores menores a uno son característicos de los equipos en períodos de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); los valores cercanos a uno, de equipos en períodos de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria); y los valores

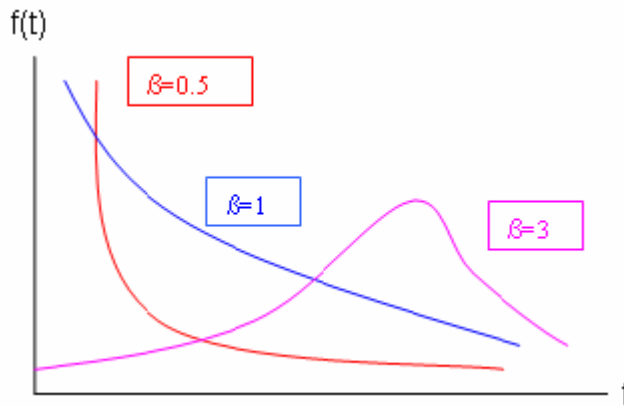
mayores a uno, de equipos en períodos de desgaste⁵ (tasa de falla creciente) (Díaz,1992,1) (García,1996,190) (Céspedes y Toro,2001,55).

Tabla 1. Parámetro β de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera

Valor (β)	Característica
$\beta < 1$	Tasa de falla decreciente (Mortalidad infantil)
$\beta \cong 1$	Tasa de falla constante (Vida útil)
$\beta > 1$	Tasa de falla creciente (Desgaste)

Díaz,1992,21

Ilustración 4. Gráfica de los distintos valores del parámetro β de la distribución de Weibull



Díaz,1992,22

⁵ A mayor β , mayor desgaste. Ésta característica puede ser usada para construir fórmulas de valorización de equipos; aplicando el valor del equipo (estimado según cualquier modelo), el factor $1/\beta$ (Díaz,1992,21).

1.5. PERFIL DE FUNCIONALIDAD

La relación entre mantenimiento y producción se da a partir de normas de aceptación mundial, así la relación entre productores (producción) y máquinas la establecen los principios de confiabilidad⁶; la relación entre mantenedores (mantenimiento) y máquinas se define por las reglas de la mantenibilidad, y la relación entre mantenedores y productores se da indirectamente a través de las máquinas y es denominada disponibilidad; es decir, muestra las conversaciones entre producción y mantenimiento sobre las máquinas.

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son las únicas medidas técnicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora y otros, 2003) y su evaluación integral y específica es a través del CMD que puede planear, ejecutar y controlar la gestión y operación del mantenimiento (Mora, 2005, 52).

La confiabilidad se mide a partir del número y duración de fallas, la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones, mientras la disponibilidad se mide a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad (53).

La comprensión de las fallas de dispositivos ayuda a la identificación del grado de criticidad y de las mejoras que pueden introducirse en los sistemas y diseños, para limitar las consecuencias adversas de las fallas.

⁶ El término asociado a confiabilidad en inglés es Reliability ó Dependability, que está asociado al CMD pero es de un significado más supra, así al traducirlo aparezca también como la confiabilidad. Dependability está más asociado a la confiabilidad de la organización a que pertenezca la empresa en la cual se le evalúan equipos (Mora,2005,52).

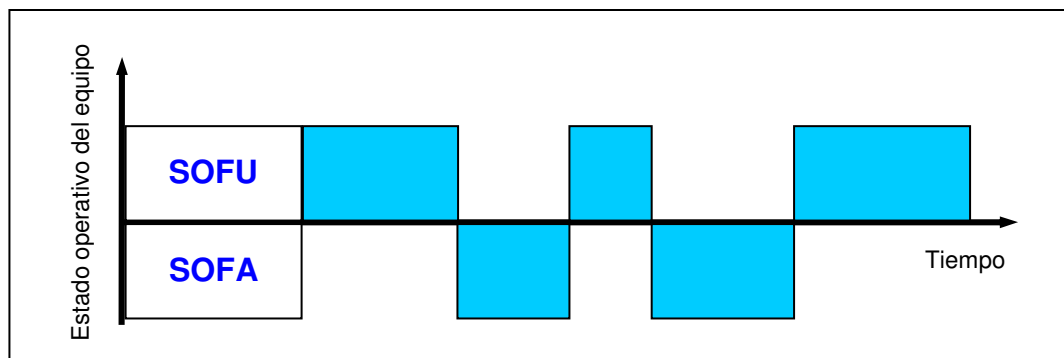
El equipo se encuentra en estado de fallo cuando dicha situación ocasiona la pérdida de capacidad para realizar las funciones para las cuales fue diseñado, o la pérdida de cumplimiento a satisfacción de los parámetros especificados.

El estado de fallo causa el desplazamiento del equipo de su estado satisfactorio de operación a su nuevo estado insatisfactorio, conocido como estado de fallo, SoFa. Por lo tanto todos los equipos de una empresa pueden pertenecer a uno de los dos siguientes estados:

- 1 Estado de funcionamiento, SoFu (*State of Functioning*).
- 2 Estado de fallo, SoFa (*State of Failure*).

El equipo que es reparable durante su vida de operación hasta el día que falla fluctúa entre SoFu y SoFa. Los cambios de estado del equipo durante su proceso de uso se llaman perfil de funcionalidad; normalmente, la unidad de tiempo operativo que se usa es el tiempo de calendario para la representación del perfil (Knezevic,1996,20).

Ilustración 5. Perfil de funcionalidad



Knezevic,1996,21

1.6. INDICADORES CMD

La ventaja del estudio científico y matemático del CMD, resalta en pretender buscar una metodología adecuada para medirlas y evaluarlas eficazmente, con el fin de brindar una herramienta útil de usar para controlar la gestión y operación del mantenimiento (Mora,2005,55).

1.7. CONFIABILIDAD

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es cien por ciento (100%) confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan alguna vez (Bazovsky,2004,28).

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de ésta. La calidad puede ser definida cualitativamente como la cantidad de satisfacción de los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada (Mora,2006,69).

Las cuatro características que expresan la estructura de la confiabilidad son: la probabilidad, desempeño satisfactorio, periodo y condiciones específicas.

Las técnicas de confiabilidad se aplican no sólo al diseño de equipos y sistemas, también se utilizan en el análisis de información operativa para mantenimiento. En este último caso, permiten conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- 1 Aislar equipos o componentes problemáticos
- 2 Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento
- 3 Diseñar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas
- 4 Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos
- 5 Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo (Díaz,1992,5).

1.7.1. Probabilidad

La probabilidad se define en forma clásica como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real (Blanchard y otros,1994,14).

1.7.2. Desempeño satisfactorio

Las características establecidas que indican qué criterios específicos describe una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema debe lograr, usualmente son las especificaciones del sistema (Blanchard y otros,1994,14).

1.7.3. Período

El periodo es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida; puede ser medida en horas, días, meses, años, número de ciclos de operación o incluso en kilómetros recorridos, (Ebeling,1997,31) (Ramakumar,1993,3). El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida (Nachlas,1995,58).

1.7.4. Condiciones de operación

Las condiciones de operación son aquellas en las que se espera que el equipo funcione, y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad; incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de la carga, etc. (Ramakumar, 1996, 4).

1.7.5. Cálculo de la confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo funcione por encima de un período de tiempo t . Para expresar esta relación matemáticamente, se define τ como la variable aleatoria que representa la vida de un equipo cualquiera. Para estimar o predecir el comportamiento de una variable aleatoria es conveniente conocer su función de distribución de probabilidad (Céspedes y Toro, 2001,40).

La confiabilidad puede expresarse como:

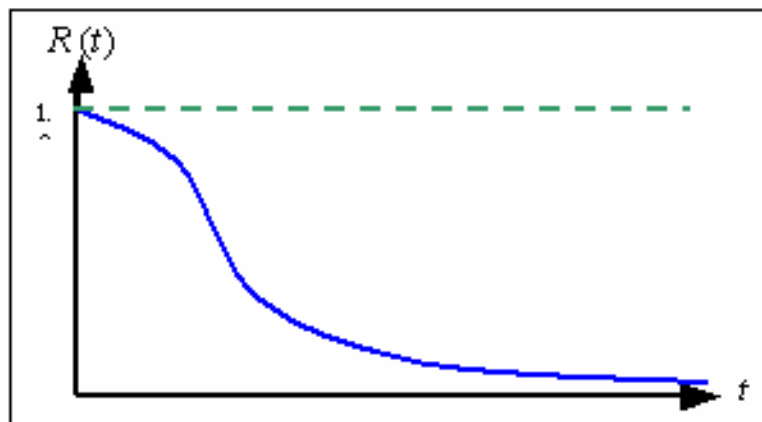
Ecuación 7. Confiabilidad

$$R(t) = \Pr\{\tau \geq t\}$$

Ebeling,1997,23

El resultado obtenido da la probabilidad de que la vida τ tenga un valor superior o igual a t o equivalentemente, que el equipo no falle antes de un tiempo t . La función $R(t)$ recibe el nombre de función de confiabilidad (Céspedes y Toro, 2001, 40).

Ilustración 6. Función de confiabilidad



Ebeling,1997,25

Del mismo modo, se define:

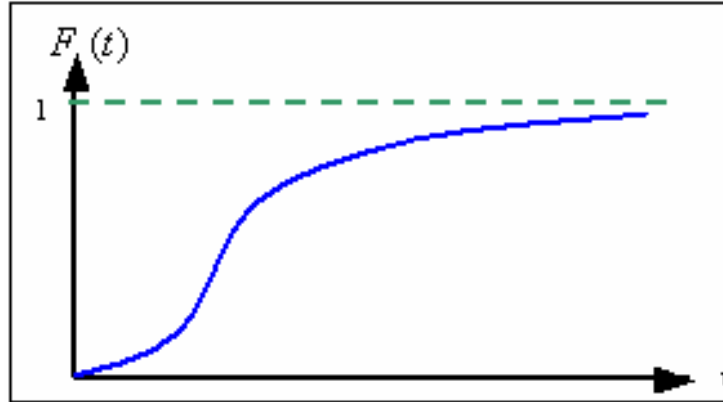
Ecuación 8. Distribución de fallas acumuladas

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{\tau < t\}$$

Ebeling,1997,23

La función $F(t)$ es la función de distribución de fallas acumuladas y la probabilidad de que la vida o duración tenga un valor menor a un tiempo dado t (Céspedes y Toro,2001 41).

Ilustración 7. Distribución de fallas acumuladas



Ebeling,1997,25

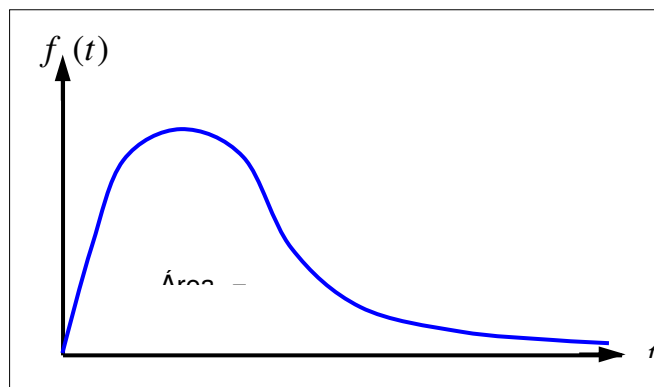
Ecuación 9. Función de densidad de probabilidad de fallas

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Ebeling,1997,24

La función que describe la forma en que las fallas se distribuyen se llama densidad de probabilidad (Pérez y Serna,2006,38).

Ilustración 8. Función de densidad de probabilidad de fallas



Ebeling,1997,25

1.8. MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo, máquina ó sistema pueda regresar a su funcionabilidad operativa después de una falla o avería, es decir, después de una interrupción operativa productiva. Esta reparación de la falla implica la realización de tareas de mantenimiento para eliminar las causas contiguas que generan la interrupción.

La mantenibilidad depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la gestión de mantenimiento. Entre los factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos, los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos especializados, etc.), conocimiento de los factores ambientales, información técnica e historial de la máquina. Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del mismo o de los sistemas que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

La máquina o el sistema pueden poseer una alta "mantenibilidad" para unos tipos de falla, pero para otros es muy baja. En estos casos la figura de mantenibilidad general provendrá de una ponderación respecto de probabilidad de ocurrencia de los distintos posibles tipos de fallas y el trabajo a las tareas de mantenimiento asociada (WIKIPEDIA@,2007).

La importancia de la mantenibilidad radica en que es una medida para la predicción, evaluación y mejora de las decisiones respecto a la facilidad, precisión, seguridad y economía de todas las tareas relativas al mantenimiento de los sistemas durante su uso (Pérez y Serna,2006,40).

La mantenibilidad tiene básicamente tres maneras de expresarse o evaluar la gestión de dicha acción, esto dado en términos de factores, tiempo empleado y costo de mantenimiento. Más específicamente puede ser definida como: (Knezevic,1996,48) (Blanchard y otros,1994,2).

- 1 Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad de que un equipo sea recuperado o conservado en las condiciones especificadas, en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento es realizado acorde con los procedimientos y recursos preestablecidos.
- 2 Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad de que el mantenimiento no requerirá más tiempo del período dado, cuando el equipo es operado acorde con los procedimientos prescritos por el personal con las habilidades adecuadas.
- 3 Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad de que el costo de mantenimiento para un equipo no excederá la cantidad de dinero especificada en un período de tiempo, cuando el equipo es operado y mantenido acorde con los procedimientos prescritos.

Las tres maneras de medir la mantenibilidad de los equipos mencionadas anteriormente son posibles, pero en la práctica empresarial se tiene un mayor uso con la metodología basada en el tiempo empleado en el mantenimiento de los equipos (Blanchard y otros,1994,2).

El resultado de la mantenibilidad es el logro de cortos tiempos de reparación para mantener una alta disponibilidad, de tal manera que sean minimizadas las paradas

de los equipos productivos para el control de costos, cuando la disponibilidad es crítica (Pérez y Serna,2006,41).

Los equipos, aunque sean idénticos (igual marca, referencia, condiciones de operación, etc.) y sean recuperados en condiciones similares, regresan al estado SoFu en diferentes instantes de tiempo y por esto un proceso de recuperación sólo se puede describir en términos probabilísticos. Las características más frecuentes de mantenibilidad son: función de mantenibilidad, tiempo porcentual de recuperación, tiempo medio de recuperación, y realización de la recuperación (Knezevic,1996,57).

1.8.1. Curva de mantenibilidad

El método de la curva de mantenibilidad es similar al de la curva de confiabilidad; esta función se representa por $M(t)$ e indica la probabilidad de que la función del sistema sea recuperada y el equipo sea reparado dentro de un tiempo definido t antes de un tiempo especificado total T .

El índice fundamental de la mantenibilidad es frecuentemente el tiempo medio para reparar ($MTTR$)⁷ y es un límite para el tiempo máximo de reparación.

La mantenibilidad cuantitativamente es una probabilidad y es medida con base en el tiempo de parada por mantenimiento, incluyendo todos los tiempos por: diagnóstico, problemas de “localización”, desarme, remoción/reemplazo, tiempo activo de reparación, pruebas de verificación para saber si la reparación fue adecuada, demoras por movimientos logísticos y demoras administrativas de mantenimiento (Pérez y Serna,2006,42).

⁷ MTTR: Tiempo medio para reparar

La mantenibilidad frecuentemente se expresa como:

Ecuación 10. Mantenibilidad

$$M(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{MTTR}\right) = 1 - \exp(-m * t)$$

BARRINGER@,2007

Donde:

m: tasa constante de mantenimiento.

MTTR (tiempo medio para reparar): es un promedio aritmético que indica qué tan rápido el sistema es reparado, y se visualiza más fácil que un valor de probabilidad.

Ecuación 11. Representación matemática de la función de mantenibilidad

$$M(t) = P[T \leq t]$$

Donde:

M (t): es la función de mantenibilidad o de reparación, la cual es creciente, va aumentando en la medida en que se incrementa el tiempo t.

$\lim_{t \rightarrow 0} M(t) = 0$, enunciado como M (0) = 0: denota que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero es cero, en la medida en que se amplía el tiempo de realización, la curva de mantenibilidad aumenta para volverse máxima en un tiempo mayor o infinito y esto revela que en la medida en que se asigne un tiempo más grande y máximo T para realizar un mantenimiento, la probabilidad exitosa de realizarlo en un tiempo t crece.

T: es el tiempo máximo o límite superior total.

t: es el tiempo determinado para realizar la acción de mantenimiento.

$T \leq t$: denota que siempre el tiempo total T es mayor o igual al tiempo de evaluación t de estudio de la reparación, o dicho de otra manera, la finalización de la reparación se logra siempre en un tiempo t menor a T; t siempre es mayor o igual a 0.

$\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$, expresado como $M(1) = 1$, denota que cualquier elemento tiene una probabilidad tendiente al 100% de ser bien reparado así sea en un tiempo infinito (Leemis,1995,46) (Blanchard y otros,1994,102).

1.9. DISPONIBILIDAD

La disponibilidad es una característica que resume cualitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay dos métodos básicos para lograrlo: uno es construir los equipos de manera que cuando fallen sean fáciles de recuperar, y el segundo es construir los equipos extremadamente confiables y, por lo tanto, costosos. De esta forma, si se tiene un equipo muy fiable y es fácil de reparar, se obtiene un sistema muy eficaz (Knezevic,1996,27).

La disponibilidad, hablando cuantitativamente, es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de tareas de mantenimiento, tiempo

administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico (Ramakumar,1996,8) (Blanchard y otros,1994,20).

La disponibilidad es el adjetivo integral de las áreas de producción y mantenimiento, como de otras divisiones de la empresa; mide la obtención de productos y bienes intangibles de la empresa en general.

La importancia de la disponibilidad radica en que es una medida útil en casos en que el usuario deba tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad (O'Connor, 2002, 27).

La relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se aprecia en la siguiente expresión, donde interactúan los tiempos útiles UT^8 y los tiempos de fallas debidas a reparaciones (imprevistas) DT^9 , como de otros tiempos relevantes en la disponibilidad o no de las máquinas.

Ecuación 12. Disponibilidad

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

Mora,2005,59

Se puede aproximar la medición de disponibilidad, a la relación entre:

⁸ UT: Tiempos útiles

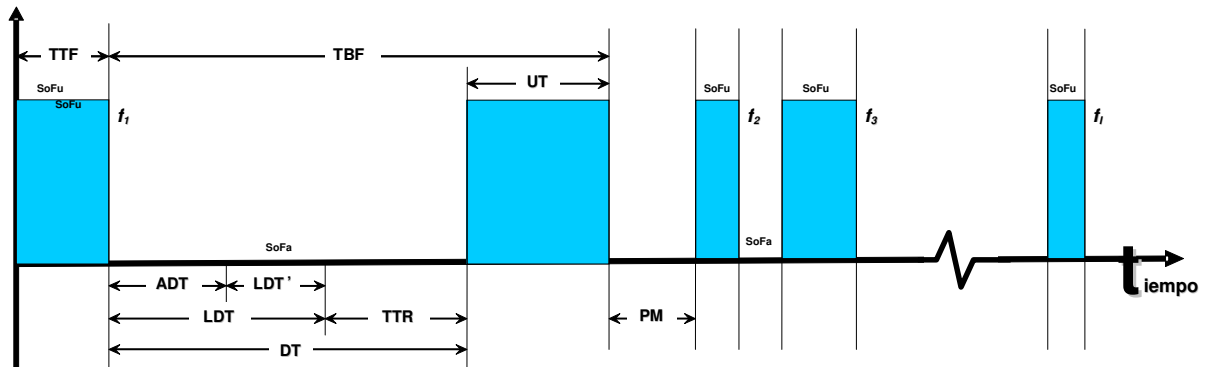
⁹ DT: Tiempos de fallas debidas a reparaciones (imprevistas)

Ecuación 13. Relación de disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo en que el dispositivo opera correctamente y funciona bien}}{\text{Tiempo en que el elemento o máquina puede operar}}$$

Mora, 2005, 59

Ilustración 9. Relación de los indicadores CMD



Díaz, 1992, 8

TTF = *Time to failure* = Tiempo hasta fallar (se usa en equipos que sólo fallan una vez, no reparables).

f_i = falla i – ésima

m = Número de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde f_1 hasta f_i

TTR = *Time to repair* = Tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos.

$$\text{MTTR} = \text{Mean time to repair} = \text{Tiempo medio de reparación} = \frac{\sum TTR}{m}$$

TBF = *Time between failures* = Tiempo entre Fallas.

$$\frac{\sum TBF}{m}$$
MTBF = *Mean time between failures* = Tiempo medio entre fallas =

UT = *Up time* = Tiempo útil en el que el equipo funciona correctamente.

$$\frac{\sum UT}{m}$$
MUT = *Mean up time* = Tiempo medio de funcionamiento entre fallas =

DT = *Down time* = Tiempo no operativo.

$$\frac{\sum DT}{m}$$
MDT = *Mean down time* = Tiempo medio de indisponibilidad entre fallas =

ADT = *Administrative delay time* = Retrasos administrativos exógenos a la actividad propia de las reparaciones diferentes al tiempo activo neto de la reparación. Ejemplos de éstos son: suministro de personal especializado, entrenamiento de recursos humanos requeridos para esa reparación, revisión de manuales de mantenimiento u operación, localización de herramientas, cumplimiento de procesos y/o procedimientos internos, etc.

LDT' = *Logistics delay time* = Retrasos logísticos: la obtención de insumos para la reparación, en los procesos de mantenimiento o de producción, en los tiempos de suministros, etc., como por ejemplo, el tiempo requerido para transporte de repuestos, o el tiempo que hay que esperar a que se construya un repuesto especial por parte de los fabricantes, etc.

LDT = ADT + LDT' = *Logistic down time* = Tiempo total logístico que demora la acción propia de reparación o mantenimiento. Son todos los tiempos exógenos al equipo que retrasan el tiempo activo.

MLDT = *Mean logistics down time* = Tiempo medio de tiempos logísticos

PM = *Planned maintenances* = Mantenimientos planeados, pueden ser preventivos o predictivos.

La modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde sí se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad. Al igual existen diferentes disponibilidades de distintos autores y de diferentes instituciones mundiales que tratan el mantenimiento, en el caso particular se usan las cinco que son: genérica, inherente, alcanzada, operacional y operacional generalizada (Mora,2005,59).

1.9.1. Disponibilidad genérica A_G

La disponibilidad genérica es útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no disponibilidad. En este caso no se incluyen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, etc. La disponibilidad genérica en este caso se mide en porcentaje (%), mientras que MUT y MDT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos, etc.

Ecuación 14. Disponibilidad genérica

$$A_G = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Mora,2005,60

Los MUT en la disponibilidad genérica sólo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente, como a su vez, los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad; los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento (u otra causa) deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar. Por ejemplo, en el evento en que se tuviera un equipo que tiene tiempo útil UT, otro tiempo DT por fallas que generan reparaciones y además de lo

anterior se tiene tiempo invertido en PM mantenimiento preventivo, con un tiempo total TT, se calcula así, la disponibilidad (Mora,2005,60).

Ecuación 15. Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos

$$A_G = \frac{\textit{Tiempo Funcionamiento}}{\textit{Tiempo en que puede operar}} = \frac{TT - \sum PM - \sum DT}{TT - \sum PM}$$

Mora,2005,60

Las fallas que aparecen durante los tiempos de mantenimiento preventivo se consideran como hechos independientes al PM y la reparación, tratándose como eventos diferentes (Mora, 2005, 60).

1.9.2. Disponibilidad inherente A_I

La disponibilidad inherente es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo, bajo las condiciones de operación especificada y un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar ninguna demora logística o administrativa (Blanchard y otros,1994,127).

Ecuación 16. Disponibilidad inherente

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Mora,2005,61

La disponibilidad inherente no contempla los mantenimientos planeados (preventivos o predictivos). Esta está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación (Ebeling,1997,255).

1.9.3. Disponibilidad alcanzada A_A

La disponibilidad alcanzada es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo, bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo, pero involucrando en sus cálculos los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento (Mora,2005,62).

Ecuación 17. Disponibilidad alcanzada

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M}$$

Mora,2005,61

Ecuación 18. Tiempo medio entre mantenimientos

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Mora,2005,61

Donde:

$MTBM_c$: tiempo medio entre mantenimientos no planeados (correctivo).

$MTBM_p$: tiempo medio entre mantenimientos planeados.

El $MTBM^{10}$ es el tiempo medio entre mantenimientos y es la frecuencia promedio del tiempo de operación entre dos actividades de mantenimiento cualquiera.

¹⁰ MTBM: Tiempo medio entre mantenimiento

Ecuación 19 . Tiempo medio de mantenimiento activo

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Mora,2005,62

El \bar{M}^{11} (*Mean active Maintenance Time*), es el tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento. Es función de los tiempos medios de mantenimiento correctivo y preventivo y sus frecuencias relativas; sólo considera los tiempos activos de mantenimiento y no considera los tiempos administrativos y logísticos (Blanchard y otros,1994,108).

1.9.4. Disponibilidad operacional A_o

La disponibilidad operacional es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo, bajo las condiciones de operación especificadas en un entorno real de soportes logísticos, abarcando, por lo tanto, dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos causados por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación, incluyendo el mantenimiento programado y no programado (Mora,2005,64).

Ecuación 20. Disponibilidad operacional

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

Mora,2005,63

¹¹ \bar{M} : Tiempo medio de mantenimiento activo para realizar cualquier tarea de mantenimiento

Donde:

El \overline{M}' ¹² (que incluye los LDT = ADT + LDT') se calcula exactamente igual que el \overline{M} , sólo que al momento de calcular el MTTR no sólo se toman los correspondientes tiempos de reparaciones netos, sino que se le suman respectivamente sus LDT pertinentes a cada una de las reparaciones. Igualmente, al momento de calcular el MP se le debe sumar a cada tiempo de mantenimiento planeado su respectivo LDT en caso de existir (Mora,2005,64).

La disponibilidad operacional es muy útil cuando existen equipos en espera para el mantenimiento y órdenes de trabajo para reemplazar partes o componentes (Ebeling,1997,257) (BARRINGER@,2007).

1.9.5. Disponibilidad operacional generalizada A_{OG}

La disponibilidad operacional generalizada es calculada exactamente igual a la disponibilidad operacional; simplemente se suma tanto en el numerador como en el denominador el MRT¹³ (*Mean Ready Time*), que es el promedio del tiempo en que el equipo está disponible (encendido o apagado) pero no produce ni genera bienes ni servicios. Se mantienen para su estimación numérica todas las premisas y paradigmas de la operacional (Mora,2005,64).

Ecuación 21. Disponibilidad operacional generalizada

$$A_{GO} = \frac{MTBM + MRT}{MTBM + MRT + \overline{M}'}$$

Mora, 2005, 63

¹² \overline{M}' : Tiempo medio de mantenimiento activo para realizar cualquier tarea de mantenimiento, incluyendo LDT

¹³ MRT: Promedio del tiempo en que el equipo está disponible pero no produce ni genera servicio

1.10. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

Los procedimientos estadísticos suponen que los datos siguen algún tipo de modelo matemático que se define mediante una ecuación, en la que se desconoce alguno de sus parámetros, siendo éstos calculados o estimados a partir de la información obtenida en un estudio bien diseñado para tal fin. Existen diferentes procedimientos para estimar los coeficientes de un modelo de regresión, o para estimar los parámetros de una distribución de probabilidad (MOLINERO@,2007).

Los métodos por medio de los cuales se puede realizar la estimación de los parámetros de una distribución varía entre aquellos que son más simples y unos más sofisticados; para nuestro caso utilizaremos el método de rango de mediana y el método de la máxima verosimilitud (RELIASOFT@,2007).

1.10.1. Rango de mediana

El rango de mediana es usado para obtener un estimado de la no confiabilidad para cada falla. Éste es el valor que la probabilidad real de falla debe tener para la n ésima falla, para una muestra de N datos con un nivel de confianza del 50%. Esto significa esencialmente que éste es el mejor estimativo para la no confiabilidad, en una población de datos.

El rango puede encontrarse para cualquier punto de porcentaje P , mayor a cero y menor a uno, resolviendo la distribución binomial acumulada para Z , cuyo resultado representa el rango, o estimado de la no confiabilidad, para la n ésima falla.

Ecuación 22. Distribución binomial acumulada

$$P = \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} Z^k (1-Z)^{N-k}$$
$$0.5 = \sum_{k=i}^N \binom{N}{k} Z^k (1-Z)^{N-k}$$

Donde

N: número de datos de la muestra.

k: posición de la falla en orden ascendente.

El rango de mediana también puede ser estimado de una manera más sencilla pero un poco menos precisa, a través de la aproximación de Benard (RELIASOFT@2007).

Ecuación 23. Aproximación de Benard para el rango de mediana

$$\text{Rango de Mediana} = \frac{j - 0.3}{N + 0.4}$$

RELIASOFT@,2007

Donde:

j: posición del dato ordenada de menor a mayor.

N: número total de datos.

1.10.2.Método de máxima verosimilitud

El método de máxima verosimilitud, desde el punto de vista estadístico, es el método más robusto para la estimación de parámetros. La idea básica de este método es obtener el valor más probable de los parámetros para una distribución dada, a través de la maximización de la función de máxima verosimilitud (L) o la

de su logaritmo natural (Λ), aplicada a la función de densidad cuyos parámetros se van a estimar.

Ecuación 24. Función de máxima verosimilitud.

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k | x_1, x_2, \dots, x_R) = L = \prod_{i=1}^R f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$
$$\Lambda = \ln(L) = \sum_{i=1}^R \ln[f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)]$$

RELIASOFT@,2007

Donde:

$f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$: función de densidad de la distribución a la que se le estiman los parámetros.

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$: parámetros por estimar.

x_i : observaciones independientes de los datos de falla.

El método de máxima verosimilitud tiene muchas propiedades que lo hacen atractivo; entre ellas están: ser asintóticamente consistente, que significa que al aumentar el tamaño de la muestra el valor estimado converge al valor correcto; ser asintóticamente eficiente, lo que se refleja en que al aumentar el tamaño de la muestra el valor estimado es más preciso y ser asintóticamente imparcial, es decir, que al aumentar el tamaño de la muestra se espera conseguir en promedio el valor correcto. Sin embargo, el tamaño de la muestra necesaria para alcanzar tales propiedades requiere un valor considerablemente alto de datos (de entre treinta y cincuenta a más de cien), dependiendo de la aplicación, lo que causa para valores pequeños discrepancias en los análisis (RELIASOFT@,2007).

1.11. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Las pruebas de bondad de ajuste buscan probar una hipótesis según la cual los datos observados corresponden a una distribución seleccionada bajo los parámetros estimados; entre otras pruebas para juzgar el ajuste de una muestra, se incluyen los métodos visuales y pruebas de tendencia (NIST/SEMATECH@,2007).

1.11.1. Kolmogorov-Smirnov

La prueba K-S es una medida definida como el máximo valor de la diferencia absoluta entre dos funciones de distribución acumulada. Entre sus ventajas se encuentra que no depende de la distribución con la cual es comparada, lo que le da un alto grado de independencia y que es una prueba exacta, es decir, tiene una relación exacta respecto al número de datos y no hay que modificarla para que sea válida. Entre sus desventajas están que tiende a ser más sensible cerca al centro de la distribución que hacia los extremos o colas.

Ecuación 25. Función de distribución acumulada empírica K-S

$$E_N = \frac{n(i)}{N}$$

NIST/SEMATECH@,2007

Donde:

EN: función de distribución acumulada empírica.

n(i): número de la posición ordenada del dato.

N: número total de datos.

1.11.2. Ji al cuadrado

La prueba Ji al cuadrado es usada para probar si una muestra de datos proviene de una población con distribución específica. La prueba puede ser aplicada a cualquier distribución univariante, para la cual se pueda calcular su función de distribución acumulada. La prueba es alternativa a las pruebas Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov (NIST/SEMATECH@,2007).

Ecuación 26. Estadístico para la prueba ji al cuadrado

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

NIST/SEMATECH@,2007

Donde:

k: número de segmentos en los que está dividida la muestra.

O_i: frecuencia observada para el segmento i.

E_i: frecuencia esperada para el segmento i.

Ecuación 27. Cálculo de la frecuencia esperada

$$E_i = N(F(Y_u) - F(Y_t))$$

NIST/SEMATECH@,2007

Donde:

F(Y): función de distribución acumulada por probar.

Y_u: límite superior para el segmento i.

Y_t: límite inferior para el segmento i.

N: tamaño de la muestra.

1.12. ANÁLISIS DE FALLAS¹⁴

La metodología de análisis de fallas se constituye en uno de los instrumentos avanzados de mantenimiento más útiles y usados en los niveles 2, 3 y 4, sin pertenecer a ninguna de las tácticas conocidas.

El análisis de fallas puede lograr grandes ahorros en mantenimiento pues sirve para erradicar y controlar fallas reales o potenciales en los elementos o equipos, donde ayuda a ahorrar recursos en mantenimiento (Mora,2005,199).

Algunos métodos del análisis de falla más utilizados en el área de mantenimiento son:

1.12.1. Procedimientos FMECA

El FMECA presenta dos opciones: cuando se desconoce la falla y cuando se sabe de todas (o la mayoría) las fallas reales y/o potenciales son sus correspondientes causas. En la primera se utiliza la metodología de análisis de fallas y en la segunda se aplica el procedimiento FMECA, donde se utilizan tres parámetros: Severidad, Ocurrencia y Probabilidad de Detección (Stamatis,1995,120).

El costo de un minuto de falla es por lo menos diez veces superior al costo del mismo tiempo en producción normal, dependiendo de la tasa de rentabilidad bruta de la empresa (Mora,2005,199).

¹⁴ FMECA: Failure Mode, Effects Causes and Criticality Análisis – Análisis de los Modos, los efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas.

RCFA: Root Cause Failure Análisis – Análisis de la Causa Raíz de las Fallas.

RPN: Priority Number – Numero de riesgo Prioritario (Mora,2005,199).

Las fallas se clasifican internacionalmente en críticas, degradantes, incipientes y desconocidas, según la casa OREDA. De acuerdo con las metodologías de análisis de fallas se clasifican en dos tipos: crónicas y esporádicas; las primeras son las verdaderamente importantes ya que los tiempos de no funcionalidad que implican son mucho mas grandes en el tiempo que los periodos no productivos de las esporádicas, aun siendo estas últimas más impactantes, dramáticas y preocupantes ante las directivas, pues son más visibles (Mora, 2005, 200).

1.12.2. Procedimientos RCFA

El análisis RCFA permite aprender de las fallas mediante la eliminación de las causas, en vez de corregir los síntomas; es una ayuda complementaria de análisis de falla que perfecciona las etapas requeridas en él, para encontrar las diferentes causas inmediatas, básicas y finalmente la causa raíz.

El RCFA se basa en el proceso lógico y en la utilización de árboles de causas de fallas, consiste en una representación visual de los eventos de una falla, en el cual por razonamiento deductivo y mediante la verificación de hechos que ocurren, puede llegar de una manera fácil y fluida a las causas originales de las fallas (Mora,2005,208).

1.12.3. Metodología RCM¹⁵

El propósito de la técnica de análisis de efectos, los modos y las causas es poder conocer completamente el equipo entero mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman, el diseño, los procesos, los elementos y

¹⁵ RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

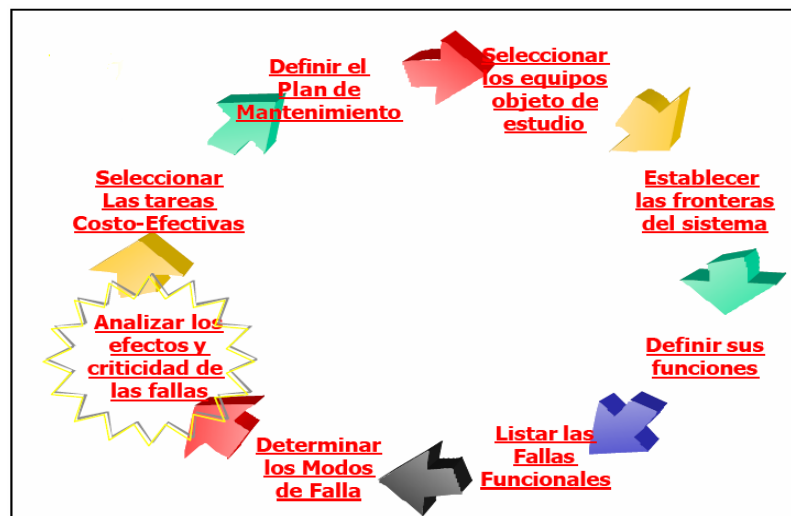
materiales de fabricación, los ensamblajes, así como todos los demás aspectos pertinentes que permiten aplicar el análisis integral de fallas (Harris,1994,56).

Una vez se ha completado el procedimiento de análisis de fallas, la función principal consiste en implementar las tareas de mantenimiento correctivas, modificativas o proactivas para evitar que aquellas vuelvan a ocurrir (Mora,2005,212).

Las etapas de desarrollo del procedimiento de análisis de falla son:

- Describir las máquinas por sistemas y funciones.
- Establecer todas las fallas funcionales.
- Establecer las causas y modos de fallas.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla.
- Medir RPN mediante la evaluación de severidad, probabilidad de ocurrencia.
- Establecer y realizar tareas de mantenimiento (Mora,2005,212).

Ilustración 10. Pasos Método RCM



Gutiérrez,2007

El análisis de los efectos de fallos, permite analizar la importancia de las fallas, ayuda a encontrar los modos de fallas críticos y a evaluar las consecuencias.

Para el registro en los efectos de fallas, se tiene en cuenta la evidencia que ha producido en el modo de fallas, la manera en que este modo de fallas supone una amenaza para la seguridad y para el medio ambiente, la manera en que el modo de falla afecta la producción y/o operación, daños físicos, causados por el modo de falla, y el correctivo del efecto de fallas (que se deba hacer para corregir el fallo) (Gutiérrez,2007).

Una metodología del RCM para evaluar la criticidad de los equipos es el Mantenimiento Basado en Riesgo.

1.12.3.1. Mantenimiento basado en riesgo

El mantenimiento basado en riesgo, dispone para su implementación en las industrias de procesos, procedimientos de inspección, calificación e identificación de los componentes críticos, requiriendo la evaluación del sistema de gestión, resultados de la propuesta de acciones correctivas.

La gestión responsable y eficiente requiere fijar estrategias para lograr operar las plantas manufactureras con seguridad, confiabilidad y rentabilidad, donde se debe preservar tanto la función como la integridad de los activos.

El propósito de un programa de mantenimiento basado en riesgo es definir y realizar aquellas actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los equipos antes de que se produzcan las fallas.

La metodología del mantenimiento basado en riesgo debe ser capaz de sustentar la toma de decisiones aún cuando los datos son inciertos o incompletos.

El método tiene una función predictiva, que intenta determinar la evolución más probable del comportamiento tanto de un conjunto de equipos (unidad, planta) como de un equipo particular, y una función proactiva destinada a decidir acciones correctivas de reparación, rediseño, reemplazo, inspección de los equipos, así como la decisión de continuar en operación hasta la rotura.

Se considera que un grupo reducido, del orden del 20% de los equipos, tienen asociado más de un 80% del riesgo de una planta, por lo que se debe identificar esos equipos de alto riesgo para focalizar los esfuerzos de tareas de mantenimiento y disminuir los riesgos de la planta. De este modo es posible optimizar los recursos económicos empleados en el mantenimiento de los equipos privilegiando seguridad y confiabilidad (PIGM@,2007).

1.12.3.2. Consecuencias y modos de falla

Los modos de fallas son aquellos que causan el estado de falla en el equipo o inciden indirectamente para que este evento ocurra (Mora,2005,218).

Las consecuencias permiten analizar qué ocurre si se da el modo de falla. Se miden mediante la evaluación del impacto de ellas sobre la organización, sus componentes, las máquinas, el medio ambiente, la seguridad física, la operación.

Las consecuencias se enmarcan en cuatro categorías:

1. Fallas ocultas: son aquellas que no pueden ser detectadas por lo operarios en condiciones normales de operación, si se producen por si solas.

La consecuencia que tendría este tipo de falla es que aumenta la probabilidad de un fallo múltiple, incluyendo los costos de reparación de la falla múltiple.

Tabla 2. Consecuencias asociadas a las fallas ocultas

CONSECUENCIAS ASOCIADAS A LAS FALLAS OCULTAS	
VALOR	DESCRIPCIÓN
0	No existe fallas ocultas que puedan ocasionar fallas múltiples.
1	Existe una posibilidad baja de que la falla no sea detectada y ocasione fallas múltiples.
2	En condiciones normales la falla será oculta y ocasionará fallas múltiples.
3	Existe la posibilidad baja de que la falla sea detectada y ocasiona fallas múltiples.
4	La falla siempre será oculta y ocasionará fallas múltiples a gran escala.

Mora,2005,221

2. Seguridad y medio ambiente: se evalúa si la pérdida de la función u otros daños pueden lesionar o matar a alguien, o si puede conducir a una infracción de cualquier legislación relacionada con el medio ambiente.

Tabla 3. Consecuencias asociadas a la seguridad física

CONSECUENCIAS ASOCIADAS A LA SEGURIDAD FÍSICA	
VALOR	DESCRIPCIÓN
0	No se afecta la seguridad física.
1	Afecta a una persona, y puede generar incapacidad de carácter temporal.
2	Afecta de a 2 a 5 personas, y puede generar incapacidad de carácter temporal.
3	Afecta a más de 5 personas con incapacidad temporal, o una incapacidad permanente.
4	Afecta a más de una persona con incapacidad permanente, o causando la muerte.

Mora,2005,221

Tabla 4. Consecuencias asociadas al medio ambiente

CONSECUENCIAS ASOCIADAS AL MEDIO AMBIENTE	
VALOR	DESCRIPCIÓN
0	No se afecta el medio ambiente.
1	Afecta el medio ambiente pero puede ser controlado. No afecta ecosistemas.
2	Afecta la disponibilidad de recursos comunitarios o ecosistemas. Es reversible, en menos de 6 meses con un costo menor a \$50,000,000
3	Afecta la disponibilidad de recursos comunitarios o ecosistemas. Es reversible, en menos de 3 años con un costo menor a \$500,000,00
4	Afecta la disponibilidad de recursos comunitarios o ecosistemas. Es reversible, en menos de 3 años con un costo mayor a \$500,000,00 o es irreversible.

Mora,2005,221

3. Operacionales: cuando la pérdida de la función podría tener un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional. Se dividen en:
 - a. Asociadas a la reparación:
 - Mano de obra y desplazamientos.
 - Costos de servicios externos para realizar la reparación.
 - Costos relacionados con la dificultad en la consecución de los repuestos.

Tabla 5. Consecuencias asociadas a los costos de reparación

CONSECUENCIAS ASOCIADAS A LOS COSTOS DE REPARACIÓN	
VALOR	DESCRIPCIÓN
0	Los costos de reparación son menores a \$1,000,000.
1	Los costos de reparación son mayores a \$1,000,000 y menores de \$10,000,000.
2	Los costos de reparación son mayores a \$10,000,000 y menores de \$50,000,000.
3	Los costos de reparación son mayores a \$50,000,000 y menores de \$500,000,00.
4	Los costos de reparación son mayores a \$500,000,000.

Mora,2005,221

b. Afectación a clientes:

- Rendimiento total de la operación.
- Calidad del producto.
- Servicio al cliente.
- Penalización por parte del cliente ante la existencia de pólizas.

Tabla 6. Consecuencias asociadas al efecto en los clientes

CONSECUENCIAS DEL EFECTO EN LOS CLIENTES	
VALOR	DESCRIPCIÓN
0	Los costos del efecto en los clientes son menores a \$1,000,000.
1	Los costos del efecto en los clientes son mayores a \$1,000,000 y menores de \$10,000,000.
2	Los costos del efecto en los clientes son mayores a \$10,000,000 y menores de \$50,000,000.
3	Los costos del efecto en los clientes son mayores a \$50,000,000 y menores de \$500,000,00.
4	Los costos del efecto en los clientes son mayores a \$500,000,000.

Mora,2005,221

4. Imagen corporativa:

- a. Estima el impacto en la sociedad de los modos de falla.
- b. Determina si es de conocimiento interno o externo.
- c. Debe considerar el cumplimiento de contratos.
- d. Afectación en regulación local o internacional (Gutiérrez,2007).

Tabla 7. Consecuencias asociadas a la imagen corporativa

CONSECUENCIAS ASOCIADAS A LA IMAGEN CORPORATIVA	
VALOR	DESCRIPCIÓN
0	No es trascendente
1	La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con explicaciones directas.
2	La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con campañas con un valor inferior a \$50.000.000.
3	La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con campañas con un valor mayor a \$50.000.000 e inferior a \$500.000.000
4	La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con campañas con un valor superior a \$50.000.000 o es irreversible.

Mora,2005,221

1.12.3.2.1. Ocurrencia y Severidad

La probabilidad de ocurrencia es el valor asociado a la probabilidad de que una causa ocurrirá y que provoque un modo de falla durante la vida del equipo.

Tabla 8. Valoración de la Ocurrencia

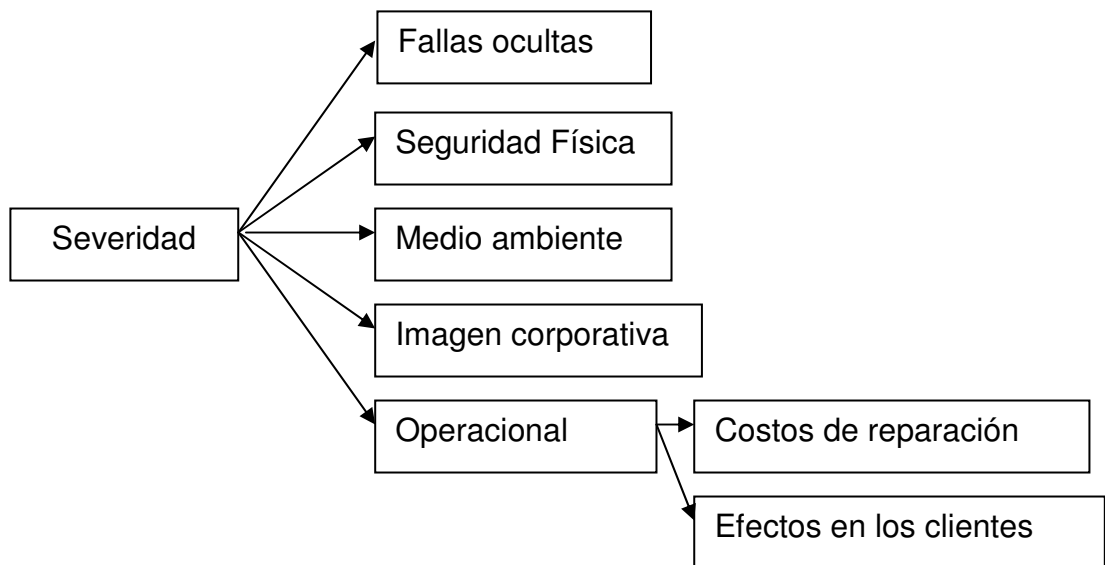
VALORACIÓN DE LA OCURRENCIA	
VALOR	COMENTARIO
4	1 falla en un mes
3	1 falla en el año
2	1 falla en 5 años
1	1 falla en 20 años

Mora,2005,221

La severidad es el indicador de qué tan grave es la consecuencia del modo de falla potencial. Se diseña para cada consecuencia probable.

El cálculo de la severidad se mide en dos partes, una de ellas asigna unos valores probabilísticos a cada criterio y en la segunda parte se obtiene por el análisis y discusión de algunos miembros (Mora,2005,221).

Ilustración 11. Severidad



Gutiérrez,2007

Tabla 9. Valoración de Severidad

VALORACIÓN DE LA SEVERIDAD	
VALOR	SEVERIDAD
4	Muy crítica
3	Crítica
2	Marginal
1	Insignificante

Mora,2005,221

Los valores Ki son dados por el grupo de direccionamiento de acuerdo a las políticas de la empresa.

Ecuación 28. Valoración de la Severidad

$$S = FO * K_{FO} + SF * K_{SF} + MA * K_{MA} + IC * K_{IC} + OR * K_{OR} + OC * K_{OC}$$

$$\sum Ki = 1$$

Mora,2005,221

Donde:

S: Severidad

FO: Valor de consecuencia de falla oculta

SF: Valor de consecuencia de seguridad física

IC: Valor de consecuencia de imagen corporativa

OR: Valor de consecuencia de costos de reparación

OC: Valor de consecuencia operacional

Ki: Valor dado por las políticas de la empresa.

Una vez establecidas todas las funciones, sus fallas funcionales, el efecto de la falla y sus consecuencias (modos de fallas), se procede a calificar la severidad y la posibilidad de ocurrencia, con el fin de calcular el valor de RPN, con el cual se jerarquizan las tareas correctivas, modificativas y proactivas a realizar con el fin de erradicar o controlar las fallas (Mora, 2005, 219).

Ecuación 29. Cálculo RPN

$$RPN = Severidad * Ocurrencia = S * O$$

Mora,2005,221

1.12.3.3. Valoración cualitativa del riesgo

Es importante dar una valoración cualitativa del riesgo a cada una de los modos de falla descritos, su aplicación tiene dos dimensiones: en el procedimiento

FMECA se habla del volumen de riesgo, ya que enfrenta tres variables en un plano volumétrico de tres ejes: severidad, ocurrencia y detección, con el fin de observar el comportamiento según la criticidad de la falla.

En el caso particular del RCM, donde sólo se trabaja con severidad y ocurrencia, se grafica como mapa de riesgo de RPN, donde se ubican en una matriz cada una de las tareas a realizar, para jerarquizarlas y clasificar según sus efectos y consecuencias (Mora,2005,223).

1.13. DIAGRAMA DE PARETO

La obtención, manejo y análisis de los datos por el diagrama de pareto es básico y fundamental para mantenimiento, pues permite ver el grado de influencia de unos elementos en el total de los resultados obtenidos, es notoria su bondad en cuanto a que puede registrar la influencia de unos cuantos elementos en un gran porcentaje del fenómeno final (Mora, 2005, 186).

El diagrama de pareto es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los principales problemas vitales, así como sus causas importantes.

La idea es que cuando se quiere mejorar un proceso o atender sus problemas, no se trabaje en todos los problemas al mismo tiempo y se ataquen todas sus causas a la vez, sino que, con base en los datos e información aportados por un análisis de pareto, se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde pueden tener mayor impacto.

La viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado *Principio de Pareto*, conocido como “Ley 80-20” ó “Pocos vitales, muchos triviales”, el cual reconoce que unos pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos generan muy poco del efecto total (Gutiérrez,2004,162).

1.14. TAREAS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la segunda rama de la conservación y se refiere a los trabajos que son necesarios hacer con objeto de proporcionar un servicio de calidad estipulada. Es importante notar que, basados en el servicio y su calidad deseada, debemos escoger los equipos que nos aseguren obtener este servicio; el equipo queda en segundo término, pues si no nos proporciona lo que pretendemos, debemos cambiarlo por el adecuado. Por ello hay que recordar que el equipo es un medio y el servicio es el fin que deseamos conseguir (Villanueva,1998,43).

1.14.1. Mantenimiento Correctivo

Es la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, cuando en consecuencia de una falla han dejado de proporcionar la calidad de servicio esperada.

El mantenimiento correctivo se refiere a las actividades que se realizan en forma inmediata, debido a que algún equipo que proporciona servicio vital ha dejado de hacerlo, por cualquier causa, y tenemos que actuar en forma emergente y, en el mejor de los casos, bajo un plan de contingencia (Villanueva,1998,43).

El mantenimiento correctivo consiste en la pronta reparación de la falla, se le considera de corto plazo con el fin de regresarle la funcionalidad del equipo, las personas encargadas de avisar la ocurrencia de las averías son los propios operarios de las máquinas o equipos y corresponde al personal de mantenimiento las reparaciones de éste (Navarro y otros,1997,31).

La eficacia, una buena y rápida reacción de la reparación (recursos humanos asignados, herramienta, repuestos, elementos de transporte, etc); la reparación propiamente dicha es rápida y sencilla, así como su control y puesta en marcha (Rey,1996,52).

1.14.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es la acción humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, con el fin de garantizar que la calidad de servicio que éstos proporcionan, continúe dentro de los límites establecidos.

La labor que realiza el mantenimiento preventivo es la actividad que se realice con los recursos de la fábrica, sin dejar de ofrecer la calidad de servicio esperada (Villanueva,1998,44).

La tarea del mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos, con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar el forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de las planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras

las fallas potenciales están aun en estado inicial de desarrollo (Patton,1995,17-37).

Las principales ventajas frente a otros tipos de tareas de mantenimiento son: evitar averías mayores como consecuencia de pequeñas fallas, preparar las herramientas y repuestos, aprovechar, realizar reparaciones en el momento más oportuno tanto para producción como para mantenimiento; distribuir el trabajo de mantenimiento y disminuir la frecuencia de los paros y aprovechar éstos para realizar varias reparaciones diferentes las mismo tiempo (Navarro y otros,1997,32-34).

1.14.3. Mantenimiento Predictivo

La definición de mantenimiento predictivo es un sistema permanente de diagnóstico que permite detectar con anticipación la posible pérdida de calidad de servicio que esté entregando un equipo (Villanueva,1998,44).

El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros, para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en qué periodo de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para así planificar tareas preventivas con tiempo suficiente para que esa avería nunca tenga consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos.

La inspección y evaluación de los parámetros se puede realizar en forma periódica o en forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de planta, los tipos de fallas por diagnosticar y la inversión que se quiera realizar (Mora,2005,265).

1.15. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Al implementar cualquier estrategia de mantenimiento en un proceso, es necesario conocer las variables, números de equipos, sistemas, subsistemas y componentes de las máquinas, niveles de producción, modos operativos, materias primas; es decir, tener una base datos que permita iniciar el plan de mantenimiento.

El objetivo de este capítulo se basa en el estudio del historial de las máquinas, las principales fallas, mantenimientos realizados, tiempo entre falla estimado, tiempo de reparación estimado, en clasificar las máquinas por sistemas y componentes y así poder iniciar el estudio de efectos de falla, cálculos CMD y la realización del plan de mantenimiento preventivo y predictivo.

1.15.1. Listado de máquinas

A continuación se muestra en forma general las máquinas y principales componentes de la línea de producción de pila R20.

Tabla 10. Máquinas Slitter de Tiras y Cuerpos de blindaje y Cartón

SLITTER (Tiras y cuerpo blindaje, y cartón)		
Sistema	Subsistema	Componente
CORTE	Tin plate cutting	Caucho arandela
		Cuchillas
		Porta Cuchillas
	Tin plate cutting	Caucho arandela
		Cuchillas
		Porta Cuchillas
	Plate transportation	Resortes para las uñas

SLITTER (Tiras y cuerpo blindaje, y cartón)		
Sistema	Subsistema	Componente
ELÉCTRICO DE CONTROL - DE POTENCIA		Suiche tambor
		Piloto
		Guarda motor
		Contactador (220V)
		Térmico
		Borneras
TRANSMISIÓN		Motor 1 HP
		Cadenas de transmisión
		Bandas en V tipo A

Auditoria propia

Tabla 11. Máquina Flexadora

FLEXADORA		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Motor 1/2 HP
		Cadena de transmisión
		Banda en V tipo A
ELÉCTRICO DE POTENCIA - CONTROL		Pulsador Star-stop
		Paro de emergencia
FLEXADORA		Guía
		Rodillo flexador
		Caja acumuladora de blindaje flexador

Auditoria propia

Tabla 12. Máquinas Body Maker

BODY MAKER		
Sistema	Subsistema	Componente
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Guarda motor
		Breaker monopolar
		Temporizador
		Relé
		Contactora (220VAC)
		Suiche fusible
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL		Suiche muletilla 2 posiciones
		Pilotos
		Pulsador
		Sensor inductivo NO 110 VCA
NEUMÁTICO		Ventosa
TRANSMISIÓN		Banda en V tipo B
		Piñones, ejes, cadenas, levas
		Motofreno 3 HP
		Motor rebordeador 1 HP
LUBRICACIÓN		Sistema de lubricación
ALIMENTACIÓN LAMINA		Caja acumuladora de blindaje
		Riel de transporte
		Uñas, resortes, pisadores
TRANSPORTE		Chiflis
FORMACIÓN	Troqueles	Troquel hembra
		Troquel macho
		Porta troquel hembras
		Uña tope de troquel
		Resortes del porta troquel
		Cola de milano
		Cuchilla, tope, cama, portacama
		Mandril eje formador
		Garras
		Resortes de garras
		Yunke
		Uñas barras de avance

BODY MAKER		
Sistema	Subsistema	Componente
REBORDEO	Curling	Anillo asentador
		Rebordeador hembra
		Resorte de rebordeador
		Rebordeador Macho
		Asentador de rebordeador (base)
		Uña del rebordeador
		Sistema de muñeca

Auditoria propia

Tabla 13. Máquinas Extrusor

EXTRUSIÓN		
Sistema	Subsistema	Componente
FORMADOR	Rod	Aguantador del rod
		Boquilla Porta rod
		Tuerca empujador rod
		Rod
		Soporte boquilla porta rod
	Botador	Botador tarros
		Soporte botador rod
		Sujetador soporte botador
		Eje botador extrusor
		Cuadrante botador extrusor
	Hembra	Hembra
		Pernos sujetador de sufridera
		Tornillo centrador de la hembra
		Cono base porta hembra
		Tuerca centradora de hembra
		Aguantador hembra
		Taco hembra

EXTRUSIÓN		
Sistema	Subsistema	Componente
ALIMENTACIÓN		Sujetador superior de moneda
		Sujetador inferior de moneda
		Posicionador de la moneda
		Mecanismo rotula moneda
		Tornillo guía posicionador
		Cadena muñeca
		Mecanismo muñeca
		Brazo mecanismo muñeca
TRANSPORTE DE MONEDAS		Resistencias de calefacción
		Cangilones pasadores
TRANSPORTE VASOS DE ZINC		Banda transmisión principal plana
		Cadena de transmisión
LUBRICACIÓN		Sensor de lubricación
		Filtro de aceite
		Aceite ISO 100
TRANSMISIÓN		Motor principal
		Motor tobogán
		Embrague
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Suiche tambor
		Fusibles
		Transformador de voltaje
		Relé
		Relé temporizador
		Contactador (220V)
		Térmico
		Breaker bipolar
Borneras		
ELÉCTRICO DE CONTROL		Pulsadores
		Piloto
		Paro de emergencia
NEUMÁTICO		Pistola sopladora de aire

Auditoria propia

Tabla 14. Máquinas Cortadoras Chinas (Trimmer)

CORTADORAS CHINAS (Trimmer)		
Sistema	Subsistema	Componente
CORTE	Cutting blade	Cuchilla (superior, inferior)
		Eje cuchilla, soporte de cuchilla
		Resorte buje cuchilla inferior
		Resorte para la cuchilla inferior
		Arandela para el resorte
		Buje soporte cuchilla inferior
	Nut lower blade	Limitador de tarro
	Shaft can support	Eje soporte de tarro
	Stripper	Botador
		Platina soporte botador
		Buje soporte botador
	Can plunger	Empujador de tarros
		Balinas del empujador de tarros
		Flejes
		Soporte del empujador tarros
Follower of the indexing box	Seguidores estrella indexadora	
	Tornillo Seguidores estrella indexadora	
	Estrella	
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Contactador (220V)
		Guarda motor
		Térmico
		Regulador de voltaje 115V
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL		Suiche muletilla 2 posiciones
		Pilotos
		PLC Festo FC21
		Sensor inductivo PNP 10-30 VDC

CORTADORAS CHINAS (Trimmer)		
Sistema	Subsistema	Componente
NEUMÁTICO		Cilindro neumático
		Válvula de accionamiento mecánico
		Válvula escape rápido
		Válvula de corredera
		Válvula reguladora de caudal
		Unidad de mantenimiento
		Silenciadores
TRANSMISIÓN		Banda en V tipo A
		Motor 1/2 HP
		Cadena de transmisión
		Pista de leva, leva, cruz de malta,
TRANSPORTE VASOS DE ZINC		Chiflis

Auditoria propia

Tabla 15. Máquina Cortadora Trimmer Y23

CORTADORA TRIMMER Y23		
Sistema	Subsistema	Componente
CORTE		Botador, bujes, anillo, resorte
		Cuchilla móvil
		Cuchilla fija
ELÉCTRICO DE CONTROL		Sensor inductivo NO 110VAC
		Sensor reflex con mira PNP 24VDC
		Sensor inductivo PNP 10-30 VDC
		Contador digital
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Contactador (220VAC)
		Térmico
		Relé
		Transformador de voltaje
		Fusible
		Borneras

CORTADORA TRIMMER Y23		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Banda de transmisión tipo B
		Motor 2 HP
TRANSPORTE VASOS DE ZINC		Chiflis
		Banda salida de tarros

Auditoria propia

Tabla 16. Máquina Tubuladora

TUBULADORA		
Sistema	Subsistema	Componente
CORTE		Cuchillas
		Portacuchillas
		Tornillo limitador cuerpo cuchilla
		Resortes portacuchillas
		Mandril de corte, cuchilla.
		Caucho del mandril
FORMACIÓN		Bandas formadoras de tubo
		Varilla dosificadora colbón
		Cauchos de barras guías
		Soporte parafina
TRANSMISIÓN		Bandas en V
		Cadenas de transmisión
		Chumaceras
		Bandas en V
		Cadenas de transmisión
		Chumaceras
		Embrague, clutch
		Sistema de transmisión
LUBRICACIÓN		Sistema de bombeo de lubricación
NEUMÁTICO		Electroválvula
		Válvula de escape rápido
		Tanque acumulador de aire
		Condensador Purga automática

TUBULADORA		
Sistema	Subsistema	Componente
ELÉCTRICO DE CONTROL - POTENCIA		Suiche tambor
		Piloto
		Pulsador
		Contactador (220V)
		Térmico
		Control variador de velocidad
		Control embrague
		Borneras

Auditoria propia

Tabla 17. Máquinas Línea de Papel

LÍNEA DE PAPEL		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Motor principal 1 HP
		Motor papel 1/8 HP
		Motor desenrollador 3/4 HP
		Cadena de transmisión
		Bandas en V tipo A y B
CORTE DE PAPEL	Alimentación y corte de papel	Rache
		Eje de rache
		Biela de la cuchilla
		Rotula
		Leva alimentadora del papel electrolítico
		Seguidor de leva, eje seguidor
		Cuchilla superior inferior
		Tenedor posicionador de papel
		Eje succionador papel electrolítico flauta
		Bujes plásticos
		Platina empujadora cuchilla papel
		Tornillo tensores de biela de la cuchilla
		Brazo movimiento de la cuchilla
		Muñeca
		Eje sistema de papel
Riel desenvolvedor de papel		
Resortes internos para rodillos		

LÍNEA DE PAPEL		
Sistema	Subsistema	Componente
TROQUELADO	Arandela de fondo	Troquel (Macho-hembra)
		Preformador arandela
		Resortes troquel disco de fondo
		Leva para estrella troquel
		Separador leva troquel de fondo
		Seguidor de leva, eje seguidor
NEUMÁTICO		Cilindro neumático
		Válvula de accionamiento mecánico
		Válvula de accionamiento eléctrico
		Válvula corredera
		Venturi para succión
		Unidad de mantenimiento
		Regulador de presión
		Silenciadores
		Rapid air
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Cuchilla
		Fusible
		Contactador (110V-220v)
		Térmico
		Relé
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL		PLC
		Pilotos
		Pulsadores
		Paro de emergencia
		Sensor de mercurio
		Sensor inductivo PNP 24 VDC
		Sensor inductivo NO 110 VAC
		Sensor autoreflex PNP 24 VDC

Auditoria propia

Tabla 18. Máquina Troqueladora Arandela Compactación R20

TROQUELADORA ARANDELA COMPACTACIÓN		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Motor 1 HP
		Banda en V tipo A
		Volante
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Suiche tambor
		Rele
		Guarda motor
		Contactador (220V)
		Térmico
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL		Sensor inductivo PNP 24VDC
		Piloto
		Pulsador
		Paro de emergencia
NEUMÁTICO		Rapid air
		Válvula corredera
		Electroválvula
		Silenciador
		Unidad de mantenimiento
		Pistola sopladora de aire
TROQUELADO		Troquel
		Varillas acumulador de arandela
		Deserrolador de cartón
		Guía alimentación del troquel

Auditoria propia

Tabla 19. Máquinas Bright Star

BRIGHT STAR		
Sistema	Subsistema	Componente
HIDRÁULICO		Válvula hidráulica
		Válvula exsosto rápido
		Filtro para aceite
		Filtro para agua
		Bomba de refrigeración
		Bomba aceite
		Motor
		Tanque de almacenamiento de aceite
		Intercambiador de calor
		Red
ENSAMBLE	Estación de carbonos	Varilla empujadora de carbón
		Platinas para tolva vibradora
		Resorte transportador de carbonos
		Juego de compactadores
		Resortes
		Guía cola de milano
		Piñones cónicos
		Cruceta, leva, seguidor, cruz de malta
		Varilla de carbonos
		Platina vibrador de carbonos
		Vibrador de carbonos
		Tolva alimentadora de carbonos
		Juego de dosificadores
	Estación de mezcla	Moldes cerámica
		Alimentador
		Camisa de pilón
		Buje pilón
		Nariz
	Yunke	

		Cuchillas barredoras
		Buje pin desmoldante
		Pines desmoldante
		Tolva alimentadora de carbones
		Vibrador de mezcla (bobina, contacto)
		Tornillos tensores
		Caja pusher
		Banda alimentadora de mezcla
		Polipasto
	Estación de arandelas	Leva sincronización de tiempos
		Pines demoldantes
		Uñas desplazadoras
		Placa de las uñas desplazadoras
		Cañón de arandelas
TRANSMISIÓN	Sincronización	Motor - Caja indexadora y motorreductor
		Placa de piñones
		Levas
		Disco vasos de zinc
		Disco moldes de cerámica
		Empujador tarros de Zinc
		Ejes, bujes, rodamiento cónicos
TRANSPORTE		Piñones, chumaceras
		Tensores
		Bandas transportadoras
		Chiflis
		Cinta guía de celda
NEUMÁTICO		Cilindro
		Electroválvula
		Válvulas corredera
		Silenciador
		Unidad de mantenimiento

		Compresor
		Red
ELÉCTRICO DE CONTROL		Pulsador
		Potenciómetro
		Pilotos
		Temporizador banda alimentador de mezcla
		Sensor PNP 24 VDC
		PLC
		Suiche muletilla
		Estación star-stop
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Fuente de voltaje
		Relé
		Breaker monopolar, bipolar
		Capacitor
		Borneras
		Tarjeta electrónica
		Suiche tambor
		Contactador (220 V)
		Cuchilla
		Fusibles
		Contactador (110-220 V)
		Relé
		Térmico
	Guarda motor	

Auditoria propia

Tabla 20. Máquinas Rebordeadoras de Celdas

REBORDEADORA DE CELDAS		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Banda en V tipo A
		Cadena de transmisión
		Chumaceras, Piñones, ejes, cadenas, leva, resorte
		Motor 1/2 HP
		Reductor
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Relé
		Suiche tambor
		Guarda motor
		Contactador (220V)
		Térmico
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL		Piloto 24VDC
		Pulsador piloto
		Sensor inductivo PNP 10-30 VDC
REBORDEO		Rebordeador
		Asiento pila
		Cola de milano
		Cinta transportadora de celdas
		Placa
		Estrella
NEUMÁTICO		Válvula de accionamiento mecánico
		Regulador de presión
		Pistola sopladora de aire

Auditoria propia

Tabla 21. Máquinas Insertadora de Arandela Final

INSERTADORA DE ARANDELA FINAL		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Banda en V tipo A
		Cadena de transmisión
		Chumaceras, piñones, leva, ejes, resorte
		Motor 1 HP
		Reductor
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Suiche tambor
		Guarda motor
		Contactador (220V)
		Térmico
		Relé
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL		Sensor inductivo PNP 24 VDC
		Sensor inductivo NO 110 VCA
		Piloto
		Pulsador piloto
NEUMÁTICO		Válvula de accionamiento eléctrico
		Válvula de corredera
		Unidad de mantenimiento
		Silenciadores
		Rapid air
TROQUELADO		Troquel (macho-hembra- inserto)
		Placa troquel
		Pin posicionador arandela
		Resorte pin posicionador
		Estrella
		Cola de milano
		Cinta transportadora de celdas

Auditoria propia

Tabla 22. Máquina Ensambladora-Domeadora

ENSAMBLADORA - DOMEADORA		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Banda en V tipo A
		Cadena de transmisión, piñón
		Motor principal 1/2 HP
		Reductor
		Motor tobogán
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Suiche tambor
		Guarda motor
		Contactador (220V)
		Condensador
		Breaker unipolar
		Temporizador digital
		Relé
ELÉCTRICO DE CONTROL		Borneras
		Pulsador
		Suiche muletilla
		Paro de emergencia
		Sensor reflex con mira
		Sensor inductivo NO 110VAC
ALIMENTACIÓN		Microsuiche
		Tobogán
		Canal de disco
TRANSPORTE		Disco acumulador
		Chiflis
ENSAMBLADORA-DOMEADOR		Bujes para domers superiores
		Dommer superior
		Dommer inferior
		Hembras
		Resorte de hembra
		Resorte dommer superiores
		Resorte cabeza de dommer inferior
		Sombreros domers superiores
		Seguidor de leva
		Leva, pista de leva
		Pin cabeza dommer
		Cabeza dommer

Auditoria propia

Tabla 23. Sistema Asfalto

SISTEMA ASFALTO		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Motor 1 HP
		Reductor
		Piñones, ejes, cadenas
		Cadena de transmisión
		Chumaceras
		Banda en V tipo B
NEUMÁTICO		Unidad de mantenimiento
		Purga automática
		Pistola de aire
		Electroválvula entera
ELÉCTRICO DE POTENCIA		PLC Festo
		Portafusibles
		Relé
		Breaker bipolar
		Fuente de voltaje
		Contactador (110, 220VAC)
		Térmico
		Suiche tambor
		Guarda motor
Borneras		
ELÉCTRICO DE CONTROL		Sensor inductivo PNP 10-30 VDC
		Suiche muletilla 2 posiciones
		Piloto
		Suiche piloto
TRANSPORTE DE PILA		Banda transportadora
NORDSON		Módulo nordson
		Pistola nordson
		Manguera nordson
		Equipo de almacenamiento de brea
TANQUE STA WARM		Muñeco transporte de brea
		Tanque
		Resistencias
		Bombas

Auditoria propia

Tabla 24. Máquina Cerradora

CERRADORA		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Banda en V tipo A
		Cadena de transmisión, piñón, chumacera
		Motor principal
		Motor tobogán 0.27 HP
		Piñones, ejes, poleas, bujes
		Cabezote, mordazas
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Suiche tambor
		Contactador (110V, 220V)
		Guarda motor
		Borneras
ELÉCTRICO DE CONTROL	Alimentación de discos	Pulsador
		Sensor inductivo PNP 10-30 VDC
TRANSPORTE Y ALIMENTACIÓN		Tobogán
		Canal de disco
		Disco acumulador
		Estrella
		Chiflis
LUBRICACIÓN		Sistema de lubricación
CERRADO	Rebordeador	Rebordeador
		Anillo Rebordeador
		Asiento pila
		Anillo asentador
		Resorte del rebordeador
		Pin eyector
		Buje guía de la tapa
NEUMÁTICO		Regulador de presión
		Pistola sopladora de aire

Auditoria propia

Tabla 25. Máquina Chequeadora

CHEQUEADORA (Tester)		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Motor- reductor
		Cadenas de transmisión
ELÉCTRICO DE CONTROL		Sensor reflex con mira
ELÉCTRICO DE POTENCIA		Suiche tambor
		Pantalla Siemens
		PLC Simatic
		Fuente de voltaje
		Guarda motor
		Térmico
		Contactador (220V)
		Comparador
		Tarjeta electrónica
		Breaker unipolar
	Borneras	
CHEQUEADOR		Paquete chequeador de Amperaje y voltaje
		Contactores
		Seguidor de leva - leva
TRANSPORTE		Chiflis
		Estrella
NEUMÁTICO		Válvula de expulsión
		Condensador
		Purga automática

Auditoria propia

Tabla 26. Máquina Túnel Termoencogible

TÚNEL TERMOENCOGIBLE		
Sistema	Subsistema	Componente
ELÉCTRICO DE POTENCIA Y CONTROL		Suiche muletilla
		Piloto
		Contactador
		Térmico
		Regulador de temperatura (210-570 F)
		Borneras
TERMOENCOGIBLE		Resistencia
		Horno
TRANSMISIÓN		Motor ventilador 1 HP
		Motor principal 1/2 HP
		Banda en V
		Cadena de transmisión-piñón
CERRADORA DE CAJAS		Guarda motor 2.5 - 4 Amp
		Motor principal
		Sistema de cinta
SEARGENT		Banda de transporte
		Horno termoencogible
		Resistencia
		Motor corriente directa
		Motor de corriente alterna de 1/4 HP

Auditoria propia

Tabla 27. Máquinas Blister

SELLADORA BLISTER (1-2)		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN		Motor 1/2 HP
		Cadena de transmisión
NEUMÁTICO		Cilindro neumático
		Bobina electro válvula
		Válvula de accionamiento eléctrico
		Condensador
		Válvula de corredera
		Regulador de presión
		Presostato
ELÉCTRICO DE POTENCIA - CONTROL		Fusible
		Relé
		Piloto
		Pulsador star
		Potenciómetro
		Controlador de temperatura
		Suiche cuadrado
		Contactador (380 V-220V)
		Borneras
		Control de temperatura
		Temporizador
		Suiche estufa
		Suiche codillo
		Microsuiche
	Borneras	
TERMOENCOGIBLE		Banda transportadora
		Resistencias
		Bujía
		Tablas molde de pilas

Auditoria propia

Tabla 28. Máquina Zona de Mezcla

MEZCLAS		
Sistema	Subsistema	Componente
PREPARADOR DE MEZCLA		Desionizador de agua
		Tanque 1 -2 - 3- 4
		Filtros
		Báscula
		Abbe
		Tubería
		Flujometro
		Bombas diafragma
ELÉCTRICO DE POTENCIA Y CONTROL		Pulsador con piloto
		Guarda motor
		Contactador (220VAC)
		Breaker tripolar
		Relé
		Suiche muletilla 2 posiciones
		Piloto 220VAC
		Paro de emergencia
		Transformador (220VAC)
		Pantalla Siemens Simatic C7-633
		Fuente de voltaje 5Amp
		PLC Siemens Simatic S7-300
		Transformador de voltaje 10VDC a 110VAC
		Pantalla de señalización de flujo
		Breaker monopolar
Borneras		

Auditoria propia

Tabla 29. Sistema de Transporte

SISTEMA TRANSPORTE		
Sistema	Subsistema	Componente
TRANSMISIÓN	Elevador- Bandas transportadoras	Cadena de transmisión
		Chumaceras
		Ejes, piñones
		Motor, reductor
		Banda en V
TRANSPORTE		Rodillos, ejes, resortes
		Banda transportadora

2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

2.1. OBJETIVO

Analizar la criticidad del proceso de producción de pila R20, ubicando los tiempos de fallas, reparaciones, tiempos y demoras pertinentes en el cálculo CMD.

2.2. INTRODUCCIÓN

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del componente de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, la magnitud del riesgo y las acciones de mitigación y de mantenimiento que requiere el mismo para asegurar al dueño del activo su integridad y continuidad operacional.

El empleo de las herramientas de confiabilidad permite detectar la condición más probable en cuanto al comportamiento de un activo, ello a su vez proporciona un marco referencial para la toma de decisiones que van a direccionar la formulación de planes estratégicos (SIS@2007).

2.1.1. Análisis de Criticidad

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

La información recolectada en este estudio podrá ser utilizada para:

- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento
- Priorizar proyectos de inversión
- Diseñar políticas de mantenimiento
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales
- Dirigir las políticas de mantenimiento a las áreas o sistemas más críticos

Los criterios a tomar en cuenta para la elaboración de análisis son los siguientes: Seguridad física, medio ambiente, producción, costos (operaciones y mantenimiento), frecuencia de fallas (SIS@2007).

2.3. MÁQUINAS CRÍTICAS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20

La información para el desarrollo del análisis de criticidad de las máquinas en la línea de producción de pila R20, se basa en el historial que se lleva mes a mes de los tiempos improductivos debido a mantenimientos correctivos, durante el año 2006.

Los datos para el análisis de pareto se obtienen de la recolección total de tiempos improductivos por mantenimiento correctivo en cada máquina, el cual muestra que el 80% de los tiempos muertos de producción por efectos de mantenimiento correctivo se encuentran en el 30% de las máquinas correspondientes al proceso de producción de la pila D.

Ilustración 12. Pareto línea de producción de pila R20 en el año 2006

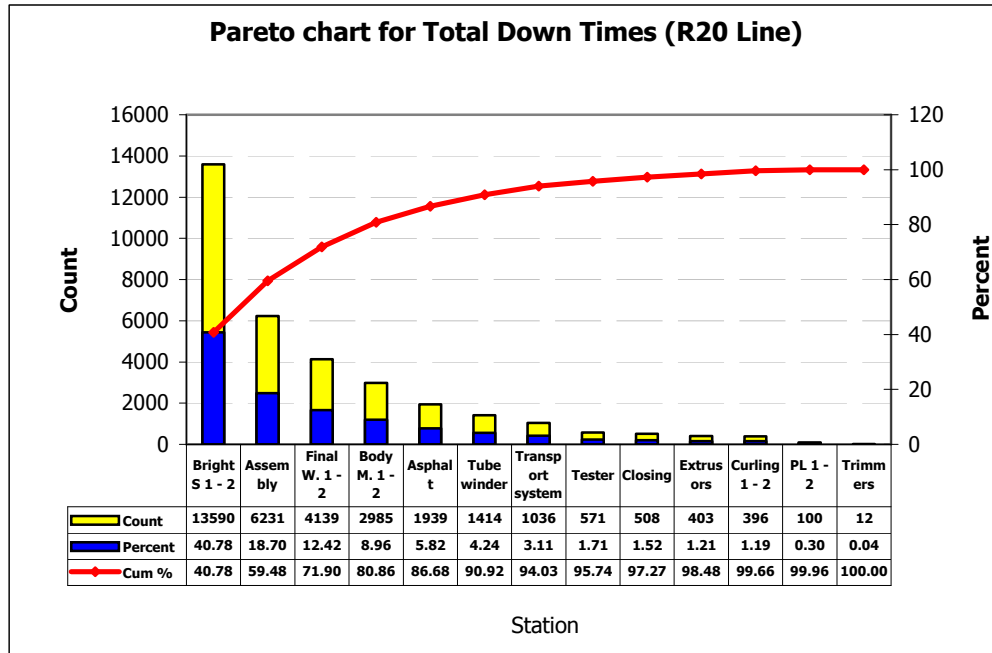


Tabla 30. Datos pareto en el año 2006

PARETO FOR TOTAL DOWN TIMES			
MACHINES	TOTAL DT	% REJ	% Acu
Bright S 1 - 2	13590	40,78	40,78
Assembly	6231	18,70	59,48
Final W. 1 - 2	4139	12,42	71,90
Body M. 1 - 2	2985	8,96	80,86
Asphalt	1939	5,82	86,68
Tube winder	1414	4,24	90,92
Transport system	1036	3,11	94,03
Tester	571	1,71	95,74
Closing	508	1,52	97,27
Extrusors	403	1,21	98,48
Curling 1 - 2	396	1,19	99,66
PL 1 - 2	100	0,30	99,96
Trimmers	12	0,04	100,00
TOTAL	33324		

En el análisis de Pareto de tiempos improductivos por mantenimiento correctivo del año 2006, que se muestra en la tabla 30, se observa que el 40.78% de tiempos muertos de producción se deben a tiempos improductivos por mantenimientos correctivos en las máquinas Bright Star, el 18.78% se presenta en la máquina Ensambladora-Domeadora, el 12.42% en las máquinas Insertadoras de Arandela Final, y el 8.96% en las máquinas Body Maker.

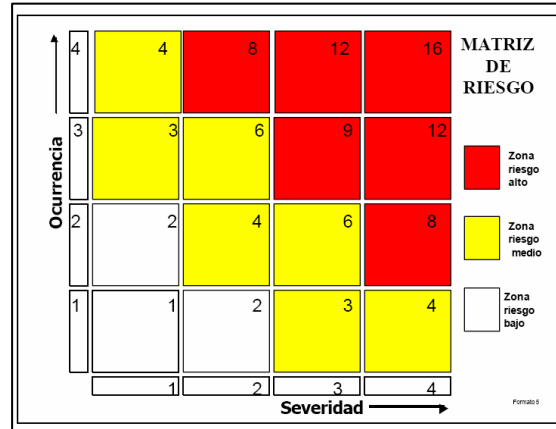
Por lo tanto, el análisis de riesgos para evaluar la criticidad de los efectos de fallas, que se utiliza en la metodología RCM, se realizará en las cuatro máquinas que determinan el 80.86% de los tiempos improductivos de producción por mantenimientos correctivos.

2.4. ANÁLISIS DE FALLA

El procedimiento desarrollado para la elaboración del análisis de riesgo de los efectos de falla se fundamenta en establecer y evaluar las fallas funcionales de las máquinas, determinando los modos de falla para cada una de ellas. Luego se evalúan las consecuencias y los efectos de cada causa o modo de falla, se califican de acuerdo con los criterios de calificación que se encuentran en las tablas 2 al 7 y por último se calcula el *RPN* (ecuación 29) de acuerdo con la calificación de severidad y probabilidad de ocurrencia de acuerdo con las tablas 8 y 9.

Finalmente se evalúan las consecuencias de las fallas de acuerdo con la calificación de riesgo que se determina a partir del análisis de severidad y ocurrencia en matriz de riesgo, dependiendo si dicha calificación cae en las zonas de alto, medio y bajo riesgo.

Ilustración 13. Matriz riesgo de falla RCM



Gutiérrez,2007

Las fallas funcionales que ocurren en los sistemas de las máquinas, ocurren durante los procesos de producción y son informadas por el operario o supervisor de producción al personal de mantenimiento.

Los modos y/o causas de las fallas funcionales, que describen la forma en la cual ocurre la falla y el porqué ocurre la falla, son determinados por el personal de mantenimiento de la planta.

Las consecuencias de las fallas indican el impacto que tendrá la falla desde el punto de vista de las fallas ocultas, seguridad, medio ambiente, operación e imagen corporativa, y son determinados por el personal de mantenimiento, producción, calidad, ambiental.

El procedimiento realizado sirve como herramienta para determinar las causas fundamentales que generan una repetición de falla o en su defecto de un conjunto de fallas, y concentrar las miradas en la eliminación ó control para erradicar o minimizar el riesgo asociadas con ellas.

La evaluación de la severidad y la determinación de sus valores probabilísticos, establece el impacto de las consecuencias que tienen las fallas sobre la organización, las máquinas, el medio ambiente, la seguridad física y la operación.

El criterio para determinar los valores probabilísticos para cada tipo de impacto fue calificado por los siguientes miembros:

- Jefe de ingeniería: Luis Gabriel Posada
- Jefe de calidad: Laura García
- Ingeniera de mantenimiento: Viviana Sanín

Tabla 31. Valor probabilísticos de cada impacto Ki

IMPACTO	K	
Falla oculta (FO)	0,05	KO
Falla seguridad física (FS)	0,1	KS
Falla medio ambiente (FM)	0,1	KM
Falla operacional (FP)	0,35	KP
Falla reparaciones (FR)	0,2	KR
Falla imagen corporativa (FI)	0,2	KI

El impacto de las consecuencias es calificado de acuerdo por las Tablas 2 al 7 y determinado por los siguientes miembros:

- Mecánicos de mantenimiento
- Practicante de mantenimiento
- Ingeniera de mantenimiento

La calificación de la severidad para cada consecuencia es determinada por la Tabla 9 y descrita por los siguientes miembros:

- Mecánicos de mantenimiento
- Practicante de mantenimiento

- Ingeniera de mantenimiento

El valor de severidad dado por el equipo de trabajo y el valor probabilístico para cada tipo de impacto, se multiplican para obtener la severidad de cada consecuencia.

El criterio de ocurrencia se establece de acuerdo con la siguiente tabla y con el historial de las máquinas proporcionado por el sistema de información de mantenimiento MP2¹⁶, desde el año 2006.

Tabla 32. Valoración de la Ocurrencia del área de Mantenimiento Tronex Battery Company S.A.

VALORACIÓN DE LA OCURRENCIA	
VALOR	COMENTARIO
4	1 día < O ≤ 6 meses
3	6 meses < O ≤ 1 año
2	1 año < O ≤ 5 años
1	5 año < O ≤ 20 años

Auditoria propia

El cálculo del RPN se obtiene a partir de la Ecuación 29.

El resultado de severidad y ocurrencia de cada causa de falla se utiliza para hallar el riesgo que puede tener cada modo de falla.

El análisis y riesgo de falla de las máquinas con mayor tiempo improductivo de la planta manufacturera Tronex Battery Company S.A., es el siguiente:

¹⁶ MP2: Sistema de información de mantenimiento utilizado por la empresa Tronex Battery Company S.A.

Tabla 33. Análisis efecto de falla máquina Bright Star

Tabla 34. Análisis efecto de falla máquina Ensambladora

Tabla 35. Análisis efecto de falla máquina Insertadora de Arandela Final

Tabla 36. Análisis efecto de falla máquina Body Maker

2.5. CONCLUSIONES

El resultado de la aplicación del procedimiento de análisis de problemas y análisis de riesgo de fallo determina cuáles sistemas son los que tienen mayor impacto por los efectos que desencadenan las fallas. Por tal motivo, proporciona una guía para enfocar las tareas de mantenimiento en los elementos más críticos y con un orden de prioridad.

Tabla 37. Resultados análisis de falla

MÁQUINA	SISTEMA	SUBSISTEMA
Bright Star	Inyección de carbones	Compactadores
	Hidráulico	
Ensambladora	Formación	
Insertadora Arandela Final	Formación arandela	
Body Maker	Transporte de lámina	
	Formación de blindaje	

El hecho de poder establecer y determinar los sistemas críticos de la línea de producción de pila R20 de la planta manufacturera Tronex Battery Company S.A., permite identificar qué tipo de tareas de mantenimiento son las más adecuadas (correctivo, preventivo, predictivo, modificativo e inclusive el estudio de posibles diseños) y las más prioritarias para realizar acciones de mejoramiento.

Los datos obtenidos a partir del estudio de análisis de fallas definen una orientación certera en la ejecución de proyectos de mejoramiento, dado que son un punto de partida para realizar estudios que permitan cambiar las metodologías de trabajo, procesos, sistemas o equipos de la instalación, partiendo de aquellos que tengan un mayor impacto según el análisis de riesgos.

3. CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO CMD

3.1. OBJETIVO

Aplicar los cálculos de CMD en forma global, a partir de distribuciones y una metodología universal, calculando los indicadores de MTBMc, MTBMp, MTTR, Mp y demás indicadores pertinentes del CMD a partir de los métodos de series temporales y distribuciones.

3.2. INTRODUCCIÓN

La productividad y competitividad son características de los ambientes donde se desempeñan las corporaciones e industrias, las cuales se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costos operativos. La condición y disponibilidad de sus sistemas productivos juegan un papel decisivo en el éxito de sus negocios.

El significado para la función de mantenimiento, es una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costos.

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta

manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento (AMENDOLA@,2007).

La aplicación más importante de la estadística de fallos al mantenimiento radica en el suministro de información para los diseñadores e ingenieros de confiabilidad, que les permita determinar con mayor certeza las confiabilidades, disponibilidades y esperanzas de vida para un sistema (Kelly,1998,29).

3.3. HISTORIAL DE FALLOS EN LA MÁQUINAS DE MAYOR TIEMPO IMPRODUCTIVO DE PRODUCCIÓN

El historial de la maquinaria se extrae del sistema de información de mantenimiento MP2 y del informe mensual de producción MDO, los cuales proporcionan la información necesaria para realizar los cálculos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

El cálculo CMD se realiza a las cuatro máquinas del análisis de riesgo y evaluación de los modos de falla, el cual conlleva al 80.86% de tiempo improductivo de producción.

Los datos que se utilizan para realizar el cálculo de los diferentes indicadores de CMD en las máquinas de mayor tiempo improductivo de producción en la línea de pila R20, corresponden al periodo comprendido entre el 01/06/2006 y el 28/02/2007. Las máquinas operan de lunes a viernes durante siete horas al día.

Los datos de tiempo de las máquinas idénticas en su función mecánica y operacional, en la similitud de materia prima, servicio, y consumo son tomados en

una tabla; estas máquinas son Body Maker, Bright Star, Insertadora de Arandela Final.

3.3.1. Historial de fallos para el cálculo de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

Las siguientes tablas contienen los datos de los tiempos requeridos para realizar el cálculo de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las máquinas de mayor tiempo improductivo de producción en la línea de pila R20, correspondientes al período comprendido entre el 01/06/2006 y el 28/02/2007.

Tabla 38. Datos máquinas Body Maker

BODY MAKER						
DATO	UT (min)	TBMc (min)	TBF (min)	TTR (min)	TBMp (min)	PM (min)
1	12080	12600	12600	520	3360	120
2	1890	10080	10080	85	1080	180
3	2005	1975	1975	112	2940	360
4	2419	2117	2117	40	2940	300
5	2860	2459	2459	62	2940	300
6	2670	2922	2922	52	2650	300
7	1177	2722	2722	68	2940	480
8	1090	1245	1245	240	2940	120
9	1028	1330	1330	97	9500	480
10	1656	1125	1125	122	2940	480
11	2380	1778	1778	64	4400	300
12	1420	2444	2444	20	2940	300
13	1355	1440	1440	360	8400	240
14	2073	1715	1715	85	2940	210
15	1040	2158	2158	75	2940	240
16	1062	1115	1115	113		
17	5640	1175	1175	52		
18	3929	5692	5692	63		
19	3602	3992	3992	154		
20	3885	3756	3756	120		
21	4361	4005	4005	45		
22	2070	4406	4406	56		

BODY MAKER						
23	2002	2126	2126	61		
24	9994	2063	2063	86		
25	9067	10080	10080	173		
26	9512	9240	9240	75		
27	2062	9587	9587	111		
28	2648	2173	2173	180		
29	2370	2828	2828	75		
30	3040	2445	2445	90		
31	1970	3130	3130	120		
32	2780	2090	2090	240		
33	1650	3020	3020	197		
34	3360	1847	1847	120		
35	1080	3480	3480	180		
36	2940	1260	1260	360		
37	2940	3300	3300	300		
38	2940	3240	3240	300		
39	2650	3240	3240	300		
40	2940	2950	2950	480		
41	2940	3420	3420	120		
42	9500	3060	3060	480		
43	2940	9980	9980	480		
44	4400	3420	3420	300		
45	2940	4700	4700	300		
46	8400	3240	3240	240		
47	2940	8640	8640	210		
48	8400	3150	3150	240		
49	2940	8640	8640	210		
50	8400	3150	3150			

Autoría propia

Tabla 39. Datos máquina Ensambladora-Domeadora

ENSAMBLADORA - DOMEADORA						
DATO	UT (min)	TBMc (min)	TBF (min)	TTR (min)	TBMp (min)	PM (min)
1	300	420	420	120	5880	420
2	1230	1299	1299	69	5880	450
3	1450	1540	1540	90	5880	540
4	940	980	980	40	5880	480

ENSAMBLADORA - DOMEADORA						
5	1240	1360	1360	120	5880	570
6	750	840	840	90	5880	390
7	669	701	701	32	5880	480
8	6528	6720	6720	192	5880	600
9	980	1160	1160	180	5880	720
10	1150	1240	1240	90	5880	480
11	1252	1292	1292	40	5880	450
12	1220	1300	1300	80	5880	390
13	600	840	840	240	5880	510
14	1200	1307	1307	107	5880	540
15	6398	6720	6720	322	5880	420
16	6044	6300	6300	256	5880	450
17	4768	5040	5040	272	5880	540
18	980	1160	1160	180	5880	480
19	1150	1240	1240	90	5880	570
20	1252	1292	1292	40	5880	390
21	1220	1300	1300	80	5880	480
22	600	840	840	240	5880	600
23	1200	1307	1307	107	5880	720
24	6398	6720	6720	322	5880	480
25	4324	4620	4620	296	5880	450
26	5441	5880	5880	439	2940	390
27	7375	7560	7560	185	5880	510
28	5880	6300	6300	420	5880	540
29	5880	6330	6330	450	2940	720
30	5880	6420	6420	540	5880	60
31	5880	6360	6360	480	5880	720
32	5880	6450	6450	570	2940	480
33	5880	6270	6270	390	5880	450
34	5880	6360	6360	480	5880	390
35	5880	6480	6480	600	2940	510
36	5880	6600	6600	720	5880	540
37	5880	6360	6360	480	5880	720
38	5880	6330	6330	450	2940	720
39	5880	6270	6270	390		
40	5880	6390	6390	510		
41	5880	6420	6420	540		
42	5880	6300	6300	420		
43	5880	6330	6330	450		
44	5880	6420	6420	540		

ENSAMBLADORA - DOMEADORA						
45	5880	6360	6360	480		
46	5880	6450	6450	570		
47	5880	6270	6270	390		
48	5880	6360	6360	480		
49	5880	6480	6480	600		
50	5880	6600	6600	720		
51	5880	6360	6360	480		
52	5880	6330	6330	450		
53	2940	3330	3330	390		
54	5880	6390	6390	510		
55	5880	6420	6420	540		
56	2940	3660	3660	720		
57	5880	5940	5940	60		
58	5880	6600	6600	720		
59	2940	3420	3420	480		
6	5880	6330	6330	450		
61	5880	6270	6270	390		
62	2940	3450	3450	510		
63	5880	6420	6420	540		
64	5880	6600	6600	720		
65	2940	3660	3660	720		

Autoría propia

Tabla 40. Datos máquinas Bright Star

BRIGHT STAR						
DATO	UT (min)	TBMc (min)	TBF (min)	TTR (min)	TBMp (min)	PM (min)
1	1978	2058	2058	80	4200	120
2	3450	3580	3580	130	2940	150
3	1870	1940	1940	70	5040	670
4	3480	3720	3720	240	4200	60
5	1700	1820	1820	120	2940	570
6	922	1162	1162	240	2940	480
7	2402	2492	2492	90	5040	630
8	3102	3147	3147	45	2940	480
9	1720	1855	1855	135	2940	480
10	2543	2903	2903	360	2940	480
11	2938	3043	3043	105	2940	480
12	970	1090	1090	120	2940	480

BRIGHT STAR						
13	1470	1568	1568	98	2940	480
14	2502	2652	2652	150	2940	480
15	3002	3076	3076	74	2940	480
16	1040	1280	1280	240	2940	480
17	1953	2073	2073	120	2940	480
18	2334	2541	2541	207	2940	480
19	12951	13440	13440	489	2940	480
20	850	1090	1090	240	2940	480
21	1940	2060	2060	120	2940	480
22	2340	2430	2430	90	2940	480
23	3210	3300	3300	90	2940	480
24	1008	1128	1128	120	2940	480
25	2140	2340	2340	200	2940	480
26	1112	1201	1201	89	2940	480
27	1440	1560	1560	120	2940	480
28	1360	1445	1445	85	2940	480
29	2200	2320	2320	120	2940	480
30	700	790	790	90	2940	480
31	1020	1260	1260	240	2940	480
32	1230	1410	1410	180	2940	480
33	1151	1295	1295	144	2940	600
34	1400	1485	1485	85	2940	750
35	2050	2140	2140	90	2940	420
36	1040	1160	1160	120	2940	240
37	950	1130	1130	180	2940	510
38	1350	1440	1440	90	2940	390
39	1060	1150	1150	90	2940	510
40	650	735	735	85	2940	540
41	1580	1820	1820	240	2940	480
42	3060	3420	3420	360		
43	980	1310	1310	330		
44	1020	1140	1140	120		
45	970	1055	1055	85		
46	1070	1190	1190	120		
47	1494	1524	1524	30		
48	1780	2140	2140	360		
49	1300	1420	1420	120		
50	950	1040	1040	90		
51	1320	1400	1400	80		
52	1050	1100	1100	50		

BRIGHT STAR						
53	1480	1575	1575	95		
54	1360	1540	1540	180		
55	970	1330	1330	360		
56	1460	1520	1520	60		
57	1045	1165	1165	120		
58	559	970	970	411		
59	4200	4320	4320	120		
6	2940	3090	3090	150		
61	5040	5710	5710	670		
62	4200	4260	4260	60		
63	2940	3510	3510	570		
64	2940	3420	3420	480		
65	5040	5670	5670	630		
66	2940	3420	3420	480		
67	2940	3420	3420	480		
68	2940	3420	3420	480		
69	2940	3420	3420	480		
70	2940	3420	3420	480		
71	2940	3420	3420	480		
72	2940	3420	3420	480		
73	2940	3420	3420	480		
74	2940	3420	3420	480		
75	2940	3420	3420	480		
76	2940	3420	3420	480		
77	2940	3420	3420	480		
78	2940	3420	3420	480		
79	2940	3420	3420	480		
80	2940	3420	3420	480		
81	2940	3420	3420	480		
82	2940	3420	3420	480		
83	2940	3420	3420	480		
84	2940	3420	3420	480		
85	2940	3420	3420	480		
86	2940	3420	3420	480		
87	2940	3420	3420	480		
88	2940	3420	3420	480		
89	2940	3420	3420	480		
90	2940	3420	3420	480		
91	2940	3540	3540	600		
92	2940	3690	3690	750		

BRIGHT STAR						
93	2940	3360	3360	420		
94	2940	3180	3180	240		
95	2940	3450	3450	510		
96	2940	3330	3330	390		
97	2940	3450	3450	510		

Autoría propia

Nota: Los datos de la máquina Troqueladora de Arandelas de Compactación R20, se incluyen en la tabla de datos de las máquinas Bright Star por ser subsistema de la máquina.

Tabla 41. Datos máquinas Insertadora de Arandela Final

INSERTADORA DE ARANDELA FINAL						
DATO	UT (min)	TBMc (min)	TBF (min)	TTR (min)	TBMp (min)	PM (min)
1	2475	2520	2520	45	2940	180
2	821	840	840	19	2940	270
3	3319	3360	3360	41	8820	180
4	3357	3391	3391	34	20580	300
5	826	840	840	14	11760	60
6	1649	1680	1680	31	20580	180
7	1427	1444	1444	17	20580	180
8	2511	2542	2542	31	20580	270
9	3310	3360	3360	50	20580	180
10	3334	3360	3360	26	20580	300
11	3280	3360	3360	80	20580	180
12	418	468	468	50	20580	180
13	300	350	350	50		
14	1777	1874	1874	97		
15	1657	1657	1657	23		
16	1603	1680	1680	77		
17	2449	2520	2520	71		
18	1756	1832	1832	76		
19	4670	4720	4720	50		
20	4144	4200	4200	56		
21	3301	3360	3360	59		
22	816	840	840	24		
23	2390	2520	2520	130		

INSERTADORA DE ARANDELA FINAL						
24	2403	2520	2520	117		
25	762	840	840	78		
26	6574	6720	6720	146		
27	4997	5040	5040	43		
28	7400	6673	6673	160		
29	2447	754	754	73		
30	9150	9240	9240	9240		
31	3286	3360	3360	74		
32	2442	2520	2520	78		
33	5780	5880	5880	100		
34	5021	5040	5040	19		
35	4147	4200	4200	53		
36	5804	5880	5880	76		

Autoría propia

3.4. CÁLCULO Y RESULTADO DE INDICADORES DE CMD

El cálculo de los indicadores CMD se realiza con el programa VALRAMOR 4¹⁷, utilizando los métodos de estimación, las diferentes distribuciones y pruebas de bondad de ajuste, y buscando cuál de ellas se acomoda mejor a los datos, con el fin de obtener un resultado mas preciso del indicador.

Para la disponibilidad se opta por utilizar la teoría y cálculo de la disponibilidad alcanzada, ya que es apto para cualquier tiempo bajo condiciones de operación específicas y en un entorno en donde no se considera ningún retraso logístico o administrativo pero involucra los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento.

¹⁷ VALRAMON 4: Programa para el cálculo de indicadores CMD. Este programa viene incluido en el libro "Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios" por Alberto Mora Gutiérrez.

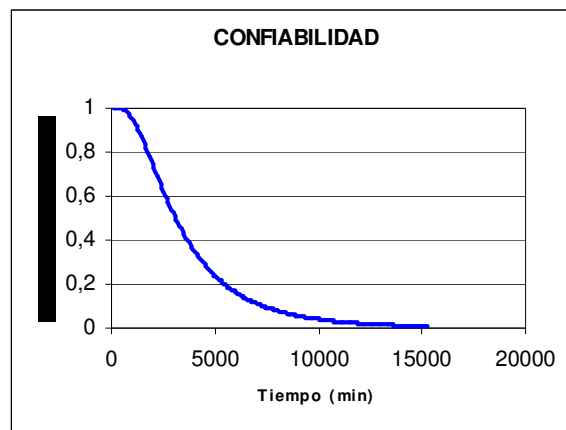
Al realizar el cálculo de la disponibilidad se asume varias consideraciones como: que el MTTR tiende en el tiempo a ser igual al MDT, que el MTBF es mucho mayor que MTTR, que le MLDT¹⁸ tiende a cero en el tiempo.

El cálculo para la disponibilidad alcanzada requiere de unos cálculos previos como lo son el tiempo medio entre mantenimientos y el tiempo de mantenimiento activo.

3.4.1. Análisis de resultados máquinas Body Maker

3.4.1.1. Análisis de resultado de Confiabilidad

Ilustración 14. Curva de confiabilidad



VALRAMOR 4

La curva de confiabilidad muestra que la probabilidad de que las máquinas Body Maker operen sin que presente ninguna falla por encima de 3877 minutos de

¹⁸ MLDT – Mean logistics Down Times – Tiempo medio de los tiempos logísticos, causados por demoras.

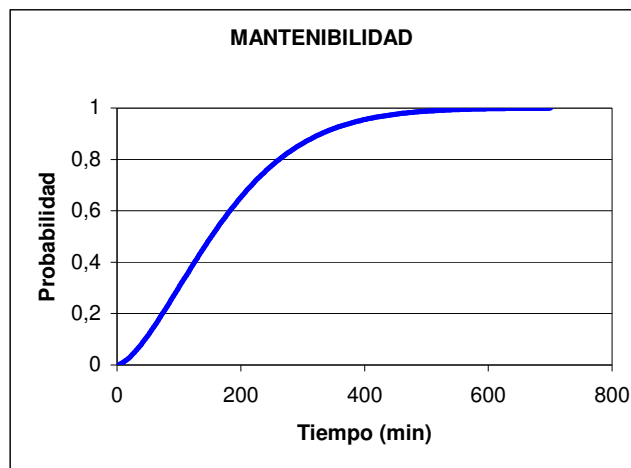
funcionamiento es del 33%, lo que corresponde al tiempo medio entre mantenimientos correctivos (MTBMc).

El objetivo en las máquinas Body Maker es aumentar el tiempo entre fallas hasta 4200 minutos; es decir, disminuir la probabilidad de que ocurra fallas en horas de producción.

El tiempo de funcionamiento que deben operar las máquinas antes de realizarse un mantenimiento programado debe ser de 5 días, como lo proyecta el área de mantenimiento, pero se está presentando una frecuencia muy alta de fallos aproximadamente cada 1.5 días.

3.4.1.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad

Ilustración 15. Curva de mantenibilidad (correctivos)



VALRAMOR 4

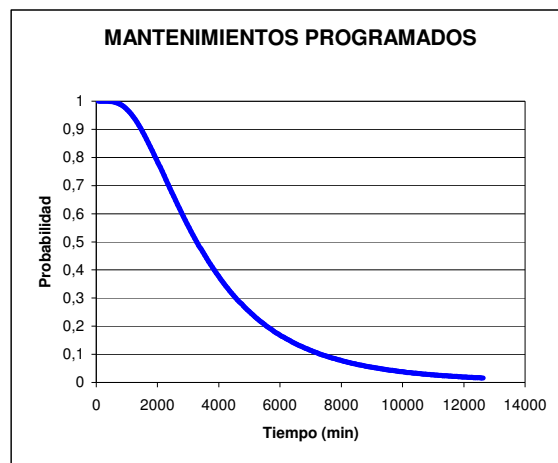
La curva muestra la tendencia del mantenimiento correctivo; se observa que hay una probabilidad del 26% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de

90 minutos, una probabilidad del 50% de que el mantenimiento se haya terminado después de 120 minutos, el 40% de los mantenimientos correctivos se demoran más de 150 minutos.

El objetivo es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento correctivo; es decir, tener una probabilidad del 40% de que el mantenimiento se realice antes de los 90 minutos.

3.4.1.3. Análisis de resultado de Mantenimientos programados

Ilustración 16. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados

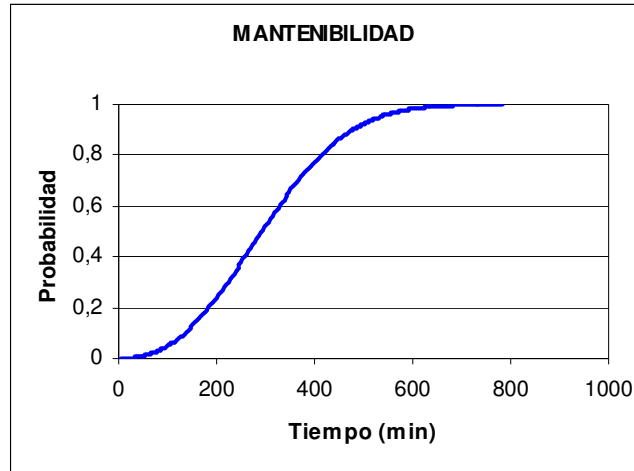


VALRAMOR 4

La probabilidad de que los mantenimientos programados se realicen antes de 3980 minutos de operación es del 43%.

La proyección del área de mantenimiento, es que los mantenimientos programados se realicen cada 4200 minutos de operación; es decir que la probabilidad de que se realice cada 4200 minutos de producción sea del 70%.

Ilustración 17. Curva de mantenibilidad (programados)



VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado; se observa que hay una probabilidad del 20% de que los mantenimientos programados se hayan terminado después de 415 minutos, una probabilidad del 60% de que el mantenimiento se haya terminado antes de 336 minutos, el 20% de los mantenimientos programados se demoran menos de 220 minutos.

El objetivo es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento programado; es decir, tener una probabilidad del 40% de que el mantenimiento se realice antes de los 270 minutos, y así poder aprovechar el tiempo para demás trabajos.

3.4.1.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada

El cálculo del indicador de tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) se realiza de acuerdo a la ecuación 18.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{4447.72} + \frac{1}{2040.66}} = 1398.85 \text{ min}$$

El tiempo medio entre mantenimientos es de 1398.85 minutos, indica la frecuencia de cualquier mantenimiento, sea planeado o no planeado que se realizan en las máquinas Body Maker 1 y 2.

El cálculo del indicador de tiempo de mantenimiento activo (\bar{M}) se realiza de acuerdo a la ecuación 19. \bar{M}

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{\frac{172.66}{4447.72} + \frac{316}{2040.66}}{\frac{1}{4447.72} + \frac{1}{2040.66}} = 271.21 \text{ min}$$

El tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento es de 271.21 minutos.

La disponibilidad alcanzada es calculada de acuerdo a la ecuación 17.

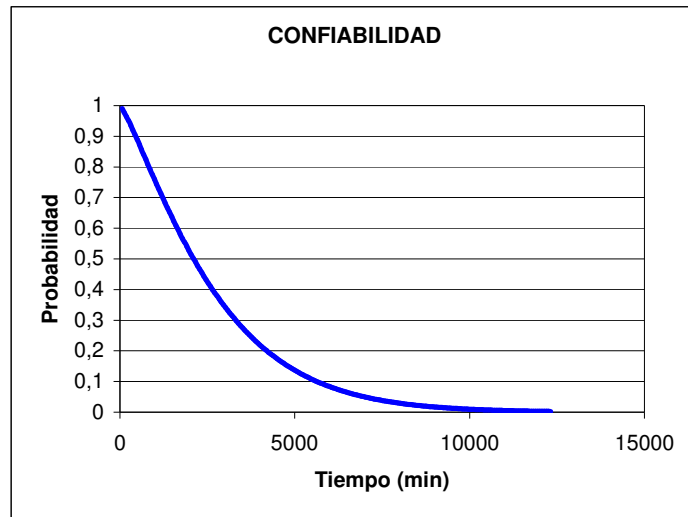
$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} = \frac{1398.85}{1398.85 + 271.21} = 0.8376$$

La disponibilidad alcanzada es del 83.76%.

3.4.2. Análisis de resultados máquina Ensambladora-Domeadora

3.4.2.1. Análisis de resultado de Confiabilidad

Ilustración 18. Curva de confiabilidad



VALRAMOR 4

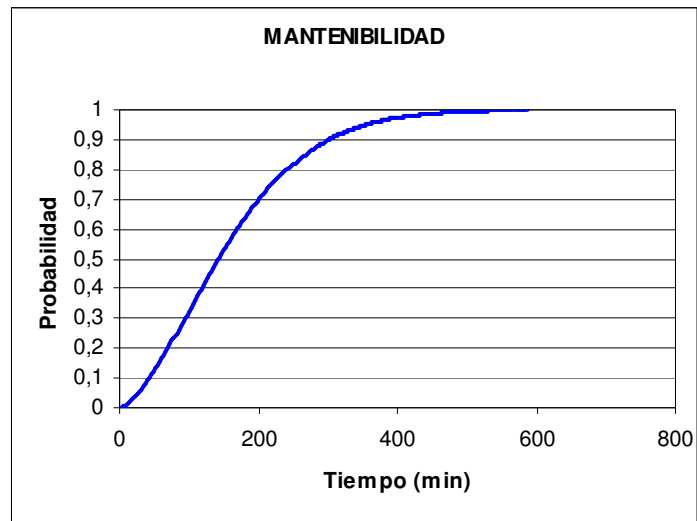
La curva de confiabilidad muestra que la probabilidad de que la máquina Ensambladora-Domeadora opere sin que presente ninguna falla por encima de 2665 minutos de funcionamiento es del 40%, lo que corresponde al tiempo medio entre mantenimientos correctivos (MTBMc).

La proyección y estimación del área de mantenimiento es que el tiempo entre fallas sea de 6300 minutos de operación, pero se está presentando una frecuencia de fallos aproximadamente cada 3.67 días.

El objetivo es disminuir la probabilidad del tiempo hasta un 20% antes de los 6300 minutos de operación.

3.4.2.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad

Ilustración 19. Curva de mantenibilidad (correctivos)



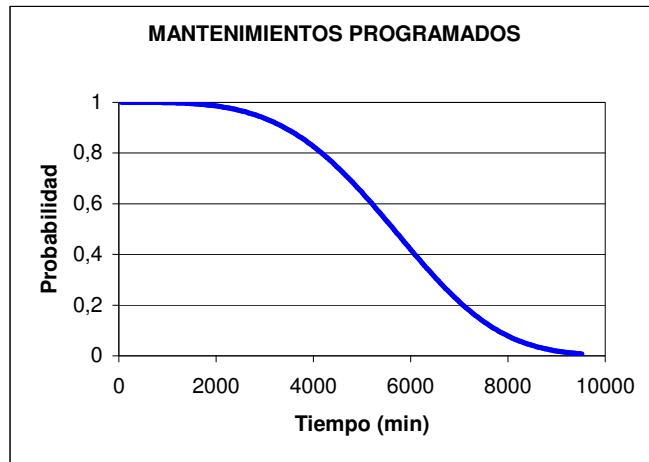
VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento correctivo; se observa que hay una probabilidad del 58% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de 164 minutos, una probabilidad del 13% de que el mantenimiento se haya terminado después de 213 minutos, el 30% de los mantenimientos correctivos se demoran menos de 96 minutos.

El objetivo es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento correctivo; es decir, tener una probabilidad del 60% de que el mantenimiento se realice antes de los 100 minutos.

3.4.2.3 Análisis de resultado de Mantenimientos programados

Ilustración 20. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados

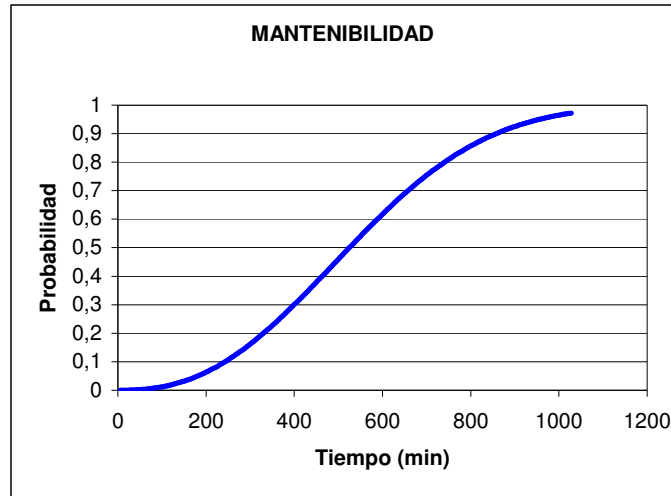


VALRAMOR 4

La probabilidad de que los mantenimientos programados se realicen antes de 5625 minutos o 13.4 días de operación es del 51%. La probabilidad de que se haga cada 6300 minutos de operación es de 35%.

La meta del área de mantenimiento, es que los mantenimientos programados se realicen cada 6300 minutos de operación; es decir que la probabilidad de que se realice cada 6300 minutos de producción sea del 75%.

Ilustración 21. Curva de mantenibilidad (programados)



VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado; se observa que hay una probabilidad del 51% de que los mantenimientos programados se hayan terminado antes de 534 minutos, una probabilidad del 30% de que el mantenimiento se haya terminado después de 678 minutos, el 31% de los mantenimientos programados haya terminado después de 350 minutos.

El objetivo es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento programado; es decir, tener una probabilidad del 60% de que el mantenimiento se haya terminado antes de 420 minutos.

3.4.2.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada

El cálculo del indicador de tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) se realiza de acuerdo a la ecuación 18.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{2150} + \frac{1}{5493.15}} = 1545.498 \text{ min}$$

El tiempo medio entre mantenimientos es de 1545.498 minutos, indica la frecuencia de cualquier mantenimiento, sea planeado o no planeado que se realizan en la máquina Ensambladora-Domeadora.

El cálculo del indicador de tiempo de mantenimiento activo (\bar{M}) se realiza de acuerdo a la ecuación 19.

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{\frac{364.13}{4386.84} + \frac{509.21}{2940}}{\frac{1}{4386.84} + \frac{1}{2940}} = 404.95 \text{ min}$$

El tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento es de 404.95 minutos.

La disponibilidad alcanzada es calculada de acuerdo a la ecuación 17.

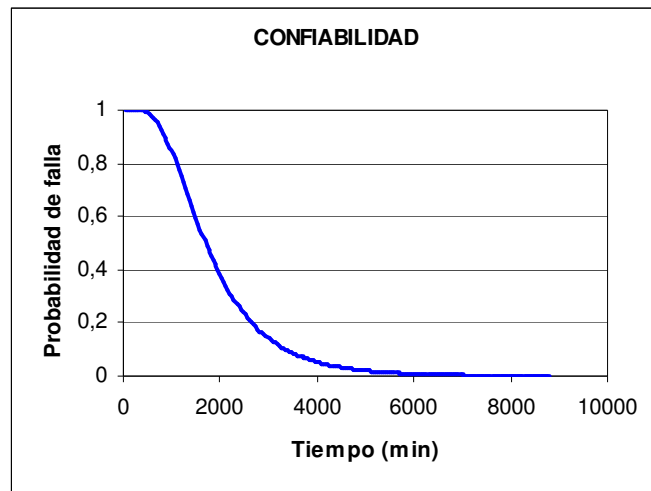
$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} = \frac{1760.284}{1760.284 + 404.95} = 0.7923$$

La disponibilidad alcanzada es del 79.23%.

3.4.3. Análisis de resultados máquinas Bright Star

3.4.3.1. Análisis de resultado de Confiabilidad

Ilustración 22. Curva de confiabilidad



VALRAMOR 4

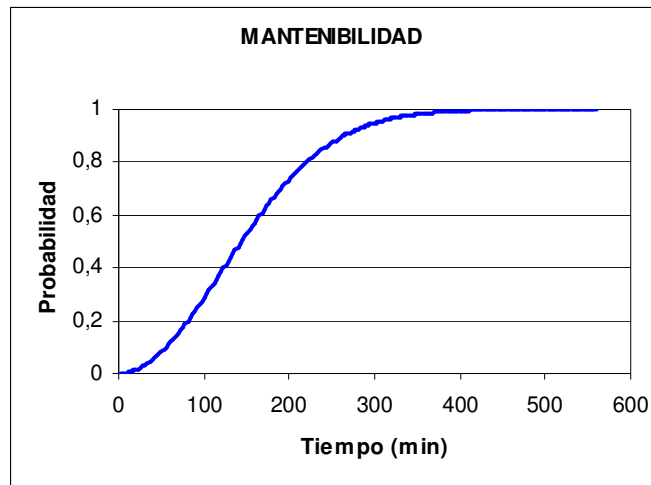
La curva de confiabilidad muestra que la probabilidad de que las máquinas Bright Star operen sin que presente ninguna falla por debajo de 1939 minutos de funcionamiento es del 40%, lo que corresponde al tiempo medio entre mantenimientos correctivos (MTBMc).

La estimación del tiempo de funcionamiento que deben operar las máquinas antes de realizarse un mantenimiento programado debe ser de 5 días de producción, pero se está presentando una frecuencia muy alta de fallos aproximadamente cada 2.3 días.

El objetivo es disminuir la probabilidad del tiempo hasta un 20% antes de los 4200 minutos de operación.

3.4.3.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad

Ilustración 23. Curva de mantenibilidad (correctivos)



VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento correctivo; se observa que hay una probabilidad del 54% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de 153 minutos, una probabilidad del 30% de que el mantenimiento se haya terminado después de 190 minutos, el 38% de los mantenimientos correctivos se demoran menos de 120 minutos.

La meta es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento correctivo; es decir, tener una probabilidad del 60% de que el mantenimiento se realice antes de los 150 minutos.

3.4.4.3. Análisis de resultado de Mantenimientos programados

Ilustración 24. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados

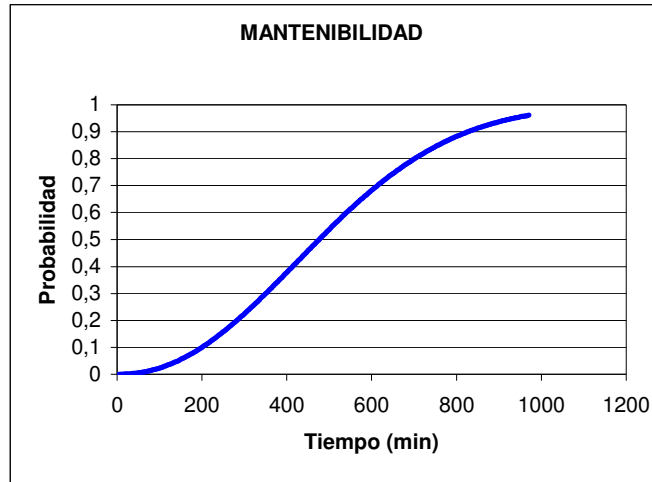


VALRAMOR 4

La probabilidad de que los mantenimientos programados se realicen antes de 3198 minutos o 4 días de operación es del 49 %.

La proyección del área de mantenimiento, es que los mantenimientos programados se realicen cada 4200 minutos de operación; es decir que la probabilidad de que se realice cada 6300 minutos de producción sea del 80%.

Ilustración 25. Curva de mantenibilidad (programados)



VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado; se observa que hay una probabilidad del 52% de que los mantenimientos programados se hayan terminado antes de 490 minutos, una probabilidad del 35% de que el mantenimiento se haya terminado antes de 388 minutos, el 10% de los mantenimientos programados se demoran menos de 200 minutos.

El objetivo es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento programado; es decir, tener una probabilidad del 55% de que el mantenimiento se haya terminado antes de 450 minutos.

3.4.3.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada

El cálculo del indicador de tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) se realiza de acuerdo a la ecuación 18.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{1982.20} + \frac{1}{3103.90}} = 1209.68 \text{ min}$$

El tiempo medio entre mantenimientos es de 1209.68 minutos, indica la frecuencia de cualquier mantenimiento, sea planeado o no planeado que se realizan en las máquinas Bright Star 1 y 2.

El cálculo del indicador de tiempo de mantenimiento activo (\bar{M}) se realiza de acuerdo a la ecuación 19.

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{\frac{279.299}{1982.20} + \frac{466.34}{3103.90}}{\frac{1}{1982.20} + \frac{1}{3103.90}} = 352.19 \text{ min}$$

El tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento es de 352.19 minutos.

La disponibilidad alcanzada es calculada de acuerdo a la ecuación 17.

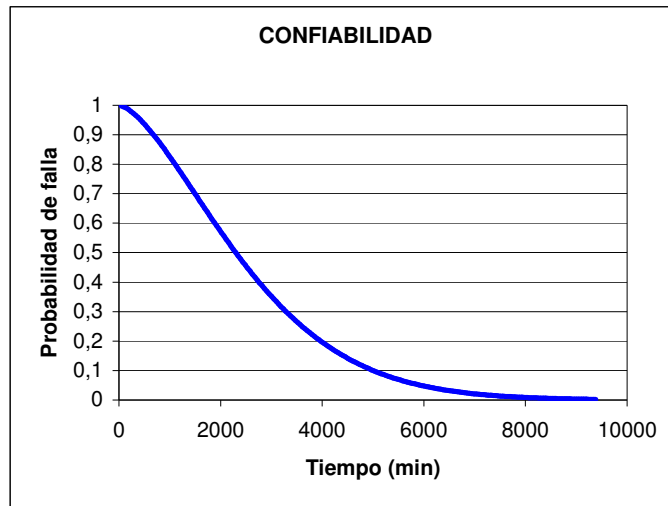
$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} = \frac{1209.68}{1209.68 + 352.19} = 0.7745$$

La disponibilidad alcanzada es del 77.45%.

3.4.4 Análisis de resultados máquinas Insertadora de Arandela Final

3.4.4.1 Análisis de resultado de Confiabilidad

Ilustración 26. Curva de confiabilidad



VALRAMOR 4

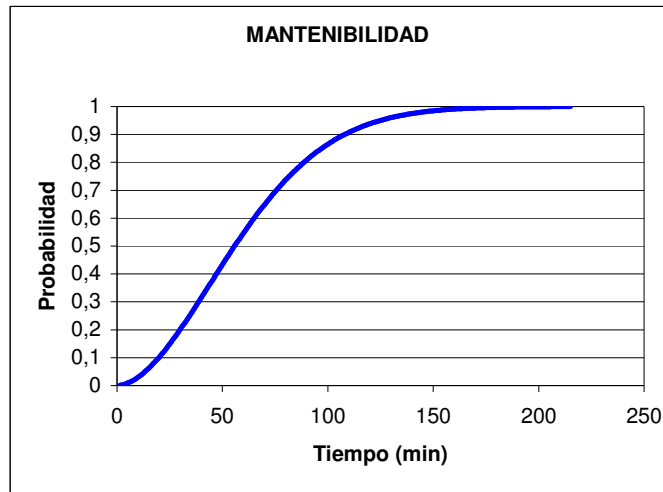
La curva de confiabilidad muestra que la probabilidad de que las máquinas Insertadora de Arandela Final operen sin que presente ninguna falla por debajo de 2157 minutos de funcionamiento es del 53%, lo que corresponde al tiempo medio entre mantenimientos correctivos (MTBMc).

El tiempo de funcionamiento proyectado por el área de mantenimiento es no presente ninguna falla antes de realizarse un mantenimiento programado cada 8400 minutos, pero se esta presentando una frecuencia de fallos aproximadamente cada 4.3 días.

El objetivo es disminuir la probabilidad del tiempo hasta un 50% antes de los 3000 minutos de operación.

3.4.4.2. Análisis de resultado de Mantenibilidad

Ilustración 27. Curva de mantenibilidad (correctivos)



VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento correctivo; se observa que hay una probabilidad del 60% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de 65 minutos, una probabilidad del 12% de que el mantenimiento se haya terminado después de 100 minutos, el 12% de los mantenimientos correctivos se demoran menos de 23 minutos.

La meta es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento correctivo; es decir, tener una probabilidad del 60% de que el mantenimiento se realice antes de los 50 minutos.

3.4.4.3 Análisis de resultado de Mantenimientos programados

Ilustración 28. Probabilidad de ocurrencia de mantenimientos programados

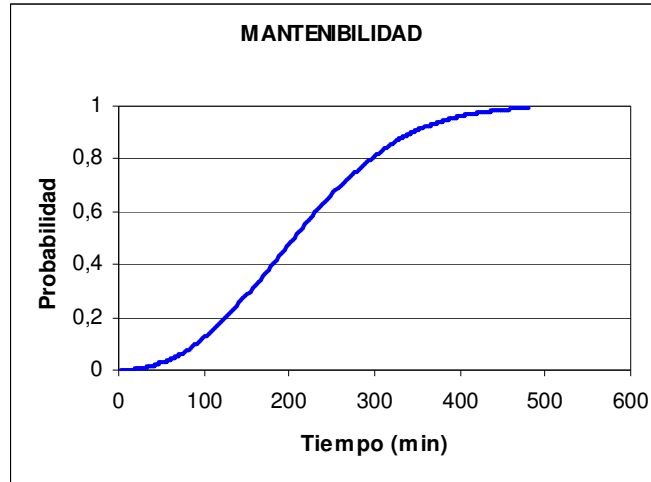


VALRAMOR 4

La probabilidad de que los mantenimientos programados se realicen en el tiempo de 16174 minutos de operación es del 37%. La probabilidad de que se realice antes de 4200 minutos de operación es del 77%.

La proyección del área de mantenimiento, es que los mantenimientos programados se realicen cada 8400 minutos de operación; es decir que la probabilidad de que se realice cada 8400 minutos de producción sea del 40%.

Ilustración 29. Curva de mantenibilidad (programados)



VALRAMOR 4

La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado; se observa que hay una probabilidad del 53% de que los mantenimientos programados se hayan terminado antes de 213 minutos, una probabilidad del 10% de que el mantenimiento se haya terminado después de 340, el 20% de los mantenimientos programados se demoran menos de 130 minutos.

El objetivo es disminuir el tiempo de reparación durante un mantenimiento programado; es decir, tener una probabilidad del 70% de que el mantenimiento se haya terminado antes de 200 minutos.

3.4.4.4. Análisis de resultado de la Disponibilidad Alcanzada

El cálculo del indicador de tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) se realiza de acuerdo a la ecuación 18.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{2904.94} + \frac{1}{4900}} = 1823.74 \text{ min}$$

El tiempo medio entre mantenimientos es de 1823.74 minutos, indica la frecuencia de cualquier mantenimiento, sea planeado o no planeado que se realizan en las máquinas de Insertadora de Arandela Final 1 y 2.

El cálculo del indicador de tiempo de mantenimiento activo (\bar{M}) se realiza de acuerdo a la ecuación 19.

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{\frac{316.88}{2904.94} + \frac{208}{4900}}{\frac{1}{2904.94} + \frac{1}{4900}} = 276.36 \text{ min}$$

El tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento es de 276.36 minutos.

La disponibilidad alcanzada es calculada de acuerdo a la ecuación 17.

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M} = \frac{1823.74}{1823.74 + 276.36} = 0.8684$$

La disponibilidad alcanzada es del 86.84%.

A continuación se presenta un resumen de los cálculos de la Disponibilidad Alcanzada de las máquinas en la línea de producción de pila R20.

Tabla 42. Resumen cálculos Disponibilidad alcanzada

MÁQUINA	MTBM	\bar{M}	A_A
Body Maker	1398,85	271,21	83,76
Tubuladora	2755,32	295,27	90,32
Cerradora	1760,28	152,75	92,01
Ensambladora-Domeadora	1545,49	404,95	79,23
Bright Star	1209,68	352,19	77,45
Cortadoras	5275,1	246,3	95,53
Tester	2361,78	197,72	92,27
Línea de Papel	7230	246,42	96,7
Zona de Empaque	3877,62	235,82	94,26
Zona de Mezclas	5029,02	176,96	96,6
Extrusor	4463,49	594,32	88,24
Rebordadora de Celdas	4567,3	121,55	97,4
Insertadora Arandela Final	1823,74	276,3	86,89
Sistema de Asfalto	1455,04	95,18	93,85
Sistema de Transporte	2716,94	113,49	95,98

3.5. CONCLUSIONES

El objetivo del área de mantenimiento es disminuir el tiempo improductivo de producción debido a mantenimientos correctivos, y ayudar con la meta de área de producción de tener una eficiencia del tiempo a producir del 85%.

Así mismo, disminuir el tiempo de mantenimientos programados para aprovechar el personal de mantenimiento en la realización de los demás trabajos de mantenimientos a las otras máquina de la planta.

Los objetivos citados anteriormente son proyecciones que el área de mantenimiento desea cumplir a medio plazo y para esto se requiere trabajar en conjunto con el análisis de fallas el cual define los sistemas y subsistemas mas críticos.

Los valores del MTTR son necesarios reducirlos aún más, empleando estrategias y trabajos de mantenimiento o modificativos en los sistemas mas criticos de las máquinas analizadas en el capitulo anterior.

4. TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS

4.1. OBJETIVO

Desarrollar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo a partir del estudio de la criticidad.

4.2. INTRODUCCIÓN

Las tareas de mantenimiento son las actividades humanas que garantizan la existencia y funcionalidad de un servicio de una calidad esperada. Cualquier clase de trabajo hecho en sistemas, subsistemas, equipos, máquinas, etc., para que éstos continúen o regresen a proporcionar el servicio con la calidad esperada, son trabajos de mantenimiento, pues están, ejecutados con ese fin. El trabajo típico del mantenimiento es la búsqueda y reforzamiento de los eslabones mas débiles de la cadena de servicio que forma la fábrica (Villanueva,1998,42).

La función principal del mantenimiento preventivo es conocer el estado actual de los equipos mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste entonces en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos al desgaste (Mora,2005,262).

La secuencia de pasos para la implementación, desarrollo, plan de inspecciones, rutas lógicas, programa de chequeos, inspecciones, etc., en las acciones

preventivas debe tener en cuenta el historial de los mantenimientos correctivos y programados, el análisis de fallas (263).

El mantenimiento predictivo basa sus principios en el conocimiento permanente del estado y la operatividad de los equipos, mediante la medición de diferentes variables. El control que se tiene de estas variables determina la utilización del predictivo. La principal ventaja radica en la velocidad de detección de la avería (en forma anticipada y temprana al hecho), mientras que en otros casos sólo es posible establecer una frecuencia. A su vez, las acciones predictivas incorpora algunas variables que aumentan la información del estado de los equipos. La cantidad de información que proporciona este tipo de mantenimiento, sumando a la rapidez con que se mida la información, supera ampliamente a las acciones de mantenimiento descritas anteriormente (Navarro y otros,1997,35).

La selección de tareas debe ser enfocadas directamente a la causa y efectivas con respecto a los costos evitados.

La aplicación de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo mejora la mantenibilidad, eliminan las causas de falla y tienen un costo efectivo (Gutiérrez,2007).

4.3. TAREAS DE MANTENIMIENTO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20

Las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo en la línea de producción de pila R20, se desarrollan a partir del estudio de mantenimientos realizados a las máquinas, sus reparaciones y frecuencia de falla; es decir, la frecuencia de las tareas es un estimado de los resultados de los indicadores CMD, y la creación de

tareas es estipulado a partir del historial de mantenimiento realizados en las máquinas.

Tabla 43. Tareas de mantenimiento máquinas Body Maker

BODY MAKER				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Sensor inductivo NO 110 VCA	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Ventosa	Inspeccionar, cambiar	La ventosa no debe estar agrietada.	Mecánico	S01
	Limpieza	Limpiar la ventosa y la rosca.	Mecánico	S-01
	Inspeccionar presión	Verificar que el sistema tenga correcta presión.	Supervisor - Operario	D-01
Banda en V tipo B	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadenas de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Motor, motofreno	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Caja acumuladora de blindaje	Soplar	Soplar después de cada producción del día.	Operario	D-01
	Inspeccionar, apretar, cambiar	Apretar los tornillos ó cambiarlos.	Mecánico	S-01
	Inspeccionar, rectificar	Revisar la superficie si se encuentra rugosa, pulirla.	Mecánico	M-06
Banda acumuladora	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda transportadora.	Mecánico	A-01
Chumaceras, ejes de la banda	Inspeccionar, lubricar, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento y el desgaste del eje.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Elevador	Limpieza	Limpiar la superficie de la banda con agua y jabón.	Operario	S-02
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar el juego entre el rodillo y el eje. Cambiar los resortes.	Mecánico	M-06
	Lubricar	Según plan de lubricación.	Mecánico	
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S-01
Riel de transporte	Soplar	Soplar el riel y sus alrededores.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar la superficie del riel y sus alrededores.	Operario	S-01
	Inspeccionar, limpieza, rectificar, apretar, cambiar	Bajar el riel para limpiarlo completamente, rectificar la superficie rugosa, apretar o cambiar tornillos.	Mecánico	A-01
Uñas, resortes, pisadores	Inspeccionar	Palpar las uñas para verificar si el resorte no se encuentra reventado. Verificar el ajuste de los pisadores y uñas.	Operario - Mecánico	D-01, S-01
	Rectificar, cambiar, ajustar	Cambiar los resortes de las uñas. Rectificar los pisadores y uñas.	Mecánico	A-01
Troquel hembra	Soplar	Soplar el paquete de troqueles.	Operario	D-01
	Limpieza	Bajar el paquete de troqueles para la limpieza y ajuste.	Mecánico	M-03
	Inspeccionar, rectificar, cambiar	Verificar el desgaste y el juego con el troquel macho.	Mecánico	M-03
Troquel macho	Soplar	Soplar el paquete de troqueles.	Operario	D-01
	Limpieza	Bajar el paquete de troqueles para la limpieza y ajuste.	Mecánico	M-03
	Rectificar, cambiar, ajustar	Rectificar los troqueles macho y ajustar el paquete.	Mecánico	S-01
	Apretar, cambiar	Apretar tornillos.	Mecánico	S-01, A-01
Porta troquel hembras	Inspeccionar, limpieza, rectificar, cambiar	Limpiar y verificar las medidas del portatroquel.	Mecánico	A-01
Uña resorte tope de troquel	Inspeccionar, rectificar, cambiar, ajustar	Cambiar los resortes de las uñas. Rectificar uñas.	Mecánico	A-01
Cola de milano	Inspeccionar, calibrar, rectificar, cambiar	Verificar el exceso de juego de las medidas en las guías.	Mecánico	A-01
Cuchilla, tope, cama, portacaja	Soplar, limpieza	Todo el sistema.	Operario	D-01, S-01
	Inspeccionar	Verifica la altura de corte y el grafado del blindaje	Mecánico	D-01
	Inspeccionar, limpieza, calibrar, rectificar, cambiar	Verificar la calibración, el ajuste y el juego entre las piezas.	Mecánico	M-03
Mandril formador	Limpieza	Limpiar el mandril.	Operario	S-01
	Inspeccionar, calibrar, cambiar	Revisar el estado de desgaste del eje. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra desgastado.	Mecánico	A-01
Yunke	Limpieza	Limpiar el yunke.	Operario	S-01
	Inspeccionar, calibrar, rectificar, cambiar	Verificar la calibración con el mandril formador. Rectificar el yunke.	Mecánico	A-01
Garras	Apretar, ajustar	Apretar los tornillos.	Mecánico	D-02
	Cambiar	Cambiar tornillos de las garras.	Mecánico	M-02
	Inspeccionar, calibrar, cambiar	Inspeccionar el estado de desgaste de las garras.	Mecánico	M-08
Resortes de garras	Inspeccionar, cambiar	Los resortes si se encuentran estirados se cambian.	Mecánico	M-04
Anillo asentador, rebordeador (hembra, macho).	Limpieza	Limpiar el sistema de rebordeo.	Operario	S-01
	Rectificar, cambiar	Rectificar el rebordeador hembra, macho y asentador.	Mecánico	M-03
Sistema de muñeca	Apretar, cambiar	Apretar los tornillos.	Mecánico	M-03
	Calibrar, rectificar, cambiar	Verificar el sistema de la muñeca.	Mecánico	M-06
Uña del rebordeador	Inspeccionar, calibrar, cambiar	Calibrar la uña. Si se encuentra corta, se cambia.	Mecánico	M-03
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	
	Mantenimiento eléctrico	Según manual.	Eléctrico	A-01

Tabla 44. Tareas de mantenimiento máquinas Slitter de Blindaje

SLITTER DE CUERPOS Y TIRAS				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Cuchillas	Afilar	Se desmonta las cuchillas y se afilan.	Mecánico	A-01
Porta Cuchillas	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Se verifica el desgaste del eje de cuchillas, se cambian los rodamientos.	Mecánico	A-01
Uñas, resortes de uñas	Inspeccionar	Palpar las uñas para verificar si el resorte no se encuentra reventado. Verificar el ajuste de las uñas.	Operario - Mecanico	D-01, S-01
	Rectificar, cambiar, ajustar	Cambiar los resortes de las uñas. Rectificar uñas.		
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	A-01
Cadenas de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Motor 1 HP	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Piñones, ejes, bujes	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
		Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico
	Mantenimiento eléctrico	Según manual.	Eléctrico	A-01

Tabla 45. Tareas de mantenimiento máquina Flexadora

FLEXADORA				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Motor 1/2 HP	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Cadenas de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	A-01
Guía, soporte, rodillo flexador	Limpieza, ajustar, apretar	Verificar el ajuste de los tornillos y apretarlos. Inspección de la altura de la guía con el blindaje.	Mecánico	D-01, M-01
	Rectificar	Rectificar el rodillo para eliminar rugosidad.	Mecánico	A-01
Caja acumuladora	Soplar	Soplar la caja para eliminar el polvo y la aleyuya.	Operario	D-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	
	Mantenimiento eléctrico	Según manual.	Eléctrico	A-01

Tabla 46. Tareas de mantenimiento máquina Tubuladora

TUBULADORA				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Cuchillas	Afilar, cambiar	Afilar el juego de cuchillas.	Mecánico	M-04
Portacuchillas	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Se verifica el desgaste del eje de cuchillas, ajustar los tornillos y chapetas.	Mecánico	M-04
Tornillo limitador cuerpo cuchilla	Cambiar	Cambiar tornillo.	Mecánico	A-01
Resortes portacuchillas	Inspeccionar, cambiar	Verificar la compresión de resortes.	Mecánico	M-04
Mandril de corte y cuchilla	Soplar	Soplar el mandril y sus alrededores para eliminar el scrap del cartón.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar para eliminar el colbón que queda pegado.	Operario	S-01
	Inspeccionar, cambiar	Verificar el estado de desgaste del cromo y las dimensiones.	Mecánico	A-01
Caucho del mandril	Inspeccionar, ajustar, cambiar	Ajustar la altura del caucho, y verificar su estado.	Mecánico	M-04
	Soplar	Soplar las bandas formadoras.	Operario	D-01
Bandas formadoras de tubo	Limpieza	Limpiar con agua y jabón las bandas para eliminar el colbón y la parafina.	Operario	S-01
	Inspeccionar la tensión	Verificar si la tensión para la formación del traslape es la correcta.	Operario - Mecánico	D-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
Varilla dosificador colbón	Limpieza	Limpiar con exceso de agua y jabón para eliminar el colbón.	Operario	S-01
	Inspeccionar, cambiar	Cambiar la varilla cuando las ranuras se encuentren lisas.	Mecánico	A-01
Bandas en V	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	A-01
Cadenas de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	A-01
Sistema de transmisión (cauchos, ejes, rodamientos)	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	A-02
Motor principal	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Embrague	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
Chumaceras, ejes de la banda	Inspeccionar, lubricar, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento y el desgaste del eje.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	A-01
Elevador	Limpieza	Limpiar la superficie de la banda con agua y jabón.	Mecánico	S-02
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar los cangilones y ajustar.	Mecánico	M-08
	Lubricar	Según plan de lubricación.	Mecánico	A-01
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S-01
Sensor inductivo NO 110 VCA - Microsuiche	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Sistema de lubricación	Cambiar	Cambiar el aceite del sistema de bombeo.	Operario - Mecánico	A-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 47. Tareas de mantenimiento máquina Ensambladora-Domeadora

ENSAMBLADORA-DOMEADORA				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	A-01
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
Chumacera	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
Motor principal, motor tobogán, motor elevador	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite.	Mecánico	A-01
Sensor reflex con mira - Sensor inductivo NO 110 VAC - Microsuiche	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Disco acumulador	Limpieza	Limpiar con disolvente el disco.	Mecánico	S-01
	Soplar, limpieza	Soplar el canal de disco.	Operario - Mecánico	D-01, S-01
Canal de disco	Inspeccionar, rectificar	Pulir si la superficie del disco y el canal se encuentren rugosa.	Mecánico	A-01
	Ajustar, apretar, cambiar	Ajustar y apretar los tornillos.	Mecánico	S-01
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S-01
Elevador	Limpieza	Limpiar la superficie de la banda con agua y jabón.	Operario	S-02
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar el juego entre el rodillo y el eje. Cambiar los resortes.	Mecánico	M-06
	Lubricar	Según plan de lubricación.	Mecánico	
Bujes, sombrero de domers superiores	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Bajar los bujes para limpieza, verificación de medidas y lubricar de nuevo.	Mecánico	A-01
Resortes de dommers superiores	Inspeccionar, cambiar	Verificar la compresión de los resortes.	Mecánico	A-01
Dommer superior e inferior	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Verificar el estado de desgaste de los dommers, lubricar.	Mecánico	S-02
Hembras	Limpieza, rectificar, lubricar, cambiar	Verificar el estado de desgaste y rectificar.	Mecánico	M-02
Resortes de hembras	Inspeccionar, cambiar	Verificar la compresión de los resortes.	Mecánico	M-02
Seguidor de leva	Inspeccionar, cambiar	Verificar con lupa el desgaste de la superficie y de la sujeción.	Mecánico	S-02
Pista de leva, leva	Inspeccionar, limpieza, lubricar, reparar	Verificar el desgaste de la superficie y reparar.	Mecánico	A-01
Cabeza y pin de cabeza dommer inferior	Inspección, limpieza, cambiar	Verificar el ajuste y apretar.	Mecánico	S-02
Resorte cabeza dommers inferior	Inspeccionar, cambiar	Verificar la compresión de los resortes.	Mecánico	S-02
	Plan de lubricación	Según manual	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado	Eléctrico	A-01

Tabla 48. Tareas de mantenimiento máquinas Bright Star

BRIGHT STAR				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Sistema hidráulico	Inspeccionar	Medir las temperaturas de los componentes y red del sistema, verificar la presión y el nivel de aceite.	Aux. mantenimiento	D-01
	Inspeccionar, cambiar	Si se presenta algo anormal llamar al asesor del sistema hidráulico.	Aux. mantenimiento	D-01
	Inspeccionar, apretar, cambiar	Verificar que el sistema no contenga fugas, apretar o cambiar elementos de conexión.	Aux. mantenimiento - Mecánico	D-01
	Analizar, cambiar	Análisis de espesor del tanque y red de aceite.	Externo	M-06
	Analizar, cambiar	Análisis de aceite.	Externo	M-06
	Limpieza	Lavar el taque de almacenamiento de agua.	Operario	M-06
	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si la alarma prende.	Eléctrico	D-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Motor del sistema hidráulico	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Cilindro hidráulico	Inspeccionar	Verificar que la presión de trabajo sea la correcta para la operación, y que las llaves se encuentren abiertas.	Supervisor - Mecánico	D-01
	Inspeccionar presión y temperatura	El calentamiento del cilindro debe ser menor a 45°C y la presión menor a 1200 psi.	Aux. mantenimiento	D-01
	Inspeccionar, cambiar	Observar que el cilindro no contenga fugas, si las tiene se cambia el kit de oring.	Mecánico	D-01
	Apretar, ajustar, cambiar	Verificar el ajuste y apretar el cilindro en el soporte. Cambiar tornillos.	Mecánico	S-01, M-02
	Inspeccionar, apretar, rectificar, alinear	Verificación de la rosca, la alineación y el ajuste del vástago con el eje del pilón.	Mecánico	D-01
Válvula hidráulica	Inspeccionar temperatura	El calentamiento de la válvula debe ser menor a 45°C.	Aux. mantenimiento	D-01
	Inspeccionar, cambiar	Observar que la válvula no contenga fugas, si las tiene se cambia el kit de oring.	Mecánico	D-01
	Apretar, ajustar, cambiar	Verificar el ajuste y apretar la válvula en el soporte. Cambiar tornillos.	Mecánico	S-01, M-02
	Apretar, ajustar, cambiar	Verificar el ajuste y apretar la válvula en el soporte. Cambiar tornillos.	Mecánico	S-01, M-02
Sistema inyección de carbones	Soplar	Soplar el sistema y sus alrededores para eliminar el polvo de la mezcla y de carbones.	Operario	D-01
Varilla empujadora de carbón	Inspección, limpieza, rectificar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas, rectificar las puntas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-04
	Limpieza	Raspar toda la mezcla seca que queda incrustada en las varillas.	Operario	M-01
Resorte transportador de carbones	Soplar, limpieza, cambiar	Soplar internamente los resorte y limpiar externamente.	Operario - Mecánico	S-01, M-01, A-1 1/2
Paquete de compactadores	Soplar	Soplar el sistema y sus alrededores para eliminar el polvo de la mezcla y de carbones.	Operario	D-01
	Limpieza	Raspar toda la mezcla seca que queda incrustada en las varillas y juego de compactadores.	Operario	S-01
	Rectificar	Rectificar fondo stellite y guías colas de milano.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego. Verificar el estado de resortes.	Mecánico	M-08
Bujes, eje paquete de compactadores	Inspeccionar, limpieza, rectificar, cambiar	Verificar medidas entre los bujes de bronce y el eje trasero y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-03
Alambre tope de carbones	Inspeccionar, limpieza, rectificar, cambiar	Verificar el estado del alambre tope, rectificar puntas.	Mecánico	M-03
Juego de compactadores	Inspeccionar, cambiar	Verificar las medidas y desgaste del juego de compactadores.	Mecánico	M-03
Cruceta, leva, seguidor	Inspeccionar, cambiar	Verificar medidas de cruceta, leva.	Mecánico	M-08
	Analizar	Verificar el desgaste de cruceta, y leva con líquidos penetrantes.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, rectificar, cambiar	Inspección de la luz entre el seguidor y la pista de la cruceta.	Mecánico	M-08
Vibrador de carbones	Inspeccionar, apretar, cambiar	Las platinas deben de estar bien ajustadas, calibradas y que no se encuentren reventadas.	Mecánico	D-01, M-01
	Inspeccionar, cambiar	Verificar el amperaje (potencia) de la bobina.	Eléctrico	M-01
	Limpieza	Limpiar y raspar la superficie del vibrador.	Operario	M-01
	Rectificar	Rellenar la superficie del vibrador.	Mecánico	A-03

Tabla 49. Tareas de mantenimiento máquina Troqueladora Arandela de Compactación

TROQUELADORA ARANDELA DE COMPACTACION				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Motor 1 HP	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	A-01
Sensor inductivo PNP 24VDC	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Rapid air	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Inspeccionar el estado de las partes externas e internas, verificar el estado de desgaste de oring. Lubricar (Según manual de mantenimiento).	Mecánico	S-01
Troquel	Afilar, cambiar	Afilar troquel.	Mecánico	M-03
Varillas acumulador, soporte	Pulir, rectificar	Rectificar la rosca y el soporte.	Mecánico	A-01
Guía alimentación del troquel, volante	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 50. Tareas de mantenimiento máquinas Selladora de Blister

SELLADORA DE BLISTER 1 Y 2				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Motor 1/2 HP	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
Resistencias, control de temperatura, bujía	Inspeccionar	Verificar que las resistencias si estén calentando y que tenga la temperatura correcta para la operación.	Eléctrico	D-01
	Cambiar, reparar	Cambio de cableado eléctrico y verificación de temperatura de las resistencias.	Eléctrico	M-09
Microsuiche	Inspeccionar, cambiar	Verificar la señal del microsuiche.	Eléctrico	M-09
Teflón	Limpieza, cambiar	Limpiar el teflón.	Eléctrico	S-01, M-02
Riel transportador	Limpieza, ajustar	Verificar la sujeción del riel, cambio de tornillos.	Mecánico	M-09
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 51. Tareas de mantenimiento máquina Túnel Termoencogible

TUNEL TERMOENCOGIBLE				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Eléctrico	Inspeccionar, apretar, cambiar	Verificar todo el sistema eléctrico y de temperatura, cambiar.	Eléctrico	M-06, A-01
Lona	Inspeccionar, tensionar, cambiar	Inspección del estado y de la tensión de la lona.	Mecánico	M-06, A-01
Resistencias, control de temperatura, bujía del horno	Inspeccionar	Verificar que las resistencias si estén calentando y que tenga la temperatura correcta para la operación.	Eléctrico	D-01
	Cambiar, reparar	Cambio de cableado eléctrico y verificación de temperatura de las resistencias.	Eléctrico	M-09
Motor principal, ventilador	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Piñones, ejes	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Banda en V	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01

Tabla 52. Tareas de mantenimiento Sistema de Transporte

SISTEMA DE TRANSPORTE				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Elevador	Limpieza	Limpiar la superficie de la banda con agua y jabón.	Operario	S-02
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar el juego entre el rodillo y el eje. Cambiar los resortes.	Mecánico	M-06
	Lubricar	Según plan de lubricación.	Mecánico	
Banda transportadora ó elevadora	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda transportadora.	Mecánico	A-01
Chumaceras, ejes de la banda	Inspeccionar, lubricar, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento y el desgaste del eje.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Motor	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite.	Mecánico	A-01
Piñones, ejes, bujes	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Banda en V	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadenas de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01

Tabla 53. Tareas de mantenimiento máquina Mesa Doble Carril de Asfalto

MESA DOBLE CARRIL DE ASFALTO				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Motor 1 HP	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Piñones, ejes, cadenas, leva	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite.	Mecánico	A-01
Banda en V tipo B	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, lubricar, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento y el desgaste del eje.	Mecánico	M-03
Sensor inductivo PNP 10-30 VDC	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Banda transportadora	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda transportadora.	Mecánico	A-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 54. Tarea de mantenimiento Sistema de Asfalto

SISTEMA ASFALTO				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Tanque nordson	Limpieza	Limpieza de tanques con aceite . Según el procedimiento de mantenimiento de estos equipos.	Operario	S-01
	Overhaul	Mantenimiento completo (según procedimiento).	Mecánico - Eléctrico	M-06
	Limpieza	Limpieza de filtros.	Mecánico	D-02
	Inspeccionar, cambiar	Si al módulo se le observa pasar la brea, se debe de cambiar.	Mecánico	M-03
Tanque Sta-warm	Limpieza	Raspar la superficie del tanque y sacar toda la brea sucia. Limpieza de la malla e inspección.	Operario	M-06
	Inspeccionar	Verificar que las resistencias si tengan la temperatura mayor a 100°C.	Eléctrico	D-01

Tabla 55. Tareas de mantenimiento máquinas Insertadora de Arandela Final

INSERTADORA DE ARANDELA FINAL				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Motor 1 HP	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite.	Mecánico	A-01
Piñones, ejes, cadenas, leva, resorte	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Sensor inductivo PNP 24 VDC - Sensor inductivo NO 110 VCA	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Mecánico	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Mecánico	M-01
Rapid air	Inspeccionar, limpieza, lubricar cambiar	Inspeccionar el estado de las partes externas e internas, verificar el estado de desgaste de oring. Lubricar (Según manual de mantenimiento).	Mecánico	S-01
Troquel (macho-hembra- inserto)	Soplar	Soplar el sistema de troquelado.	Operario	S-01
	Limpieza	Limpiar todo el sistema de corte.	Operario	S-01
	Inspeccionar, rectificar, cambiar	Rectificar el troquel, si se encuentra muy corto se reemplaza.	Mecánico	M-02
Porta troquel	Soplar	Soplar el sistema de troquelado.	Operario	D-01
	Inspeccionar, limpieza, rectificar, cambiar	Limpiar y verificar las medidas del portatroquel.	Mecánico	M-02
Pin posicionador arandela	Inspeccionar, cambiar	Cambiar cuando se encuentre desgastado.	Mecánico	M-02
Placa, estrella	Soplar	Soplar toda la máquina.	Operario	D-01
Estrella	Limpiar, inspeccionar, cambiar	Raspar la mezcla seca que queda en la estrella. Cambiar cuando se encuentre desgaste y juego entre la estrella y la celda.	Operario - Mecanico	S-01
Cola de milano	Calibrar, rectificar	Calibrar las guías ó rectificar dependiendo del juego.	Mecánico	A-01
Cinta transportadora de celdas	Inspeccionar, tensionar, cambiar	Verificar la tensión de la cinta. Cambiar.	Mecánico	S-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 56. Tareas de mantenimiento máquina Slitter de Cartón

SLITTER DE CARTON				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Cuchillas	Afilar	Se desmonta las cuchillas y se afilan.	Mecánico	A-01
Porta Cuchillas	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Se verifica el desgaste del eje de cuchillas, se cambian los rodamientos.	Mecánico	A-01
Uñas, resortes de uñas	Inspeccionar	Palpar las uñas para verificar si el resorte no se encuentra reventado. Verificar el ajuste de las uñas.	Operario - Mecanico	D-01, S-01
	Rectificar, cambiar, ajustar	Cambiar los resortes de las uñas. Rectificar uñas.	Mecánico	A-01
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	A-01
Cadenas de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	A-01
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Motor 1 HP	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	
	Mantenimiento eléctrico	Según manual.	Eléctrico	A-01

Tabla 57. Tareas de mantenimiento máquinas Rebordeadora de Celdas

REBORDEADORA DE CELDAS				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Motor 1/2 HP	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite.	Mecánico	A-01
Piñones, ejes, cadenas, leva, resorte	Inspeccionar, limpieza, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Sensor inductivo PNP 10-30 VDC	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Rebordeador, asentador	Limpieza	Limpiar el sistema de rebordeo.	Operario	S-01
	Inspección, limpieza, rectificar, cambiar	EL sistema de rebordeador, asentador, macho.	Mecánico	S-01, M-03
Placa, estrella	Soplar	Soplar el sistema.	Operario	D-01
	Limpiar, inspeccionar, cambiar	Raspar la mezcla seca que queda en la estrella. Cambiar cuando se encuentre desgaste y juego entre la estrella y la celda.	Operario - Mecánico	S-01
Cola de milano	Calibrar, rectificar	Calibrar las guías ó rectificar dependiendo del juego.	Mecánico	A-01
Cinta transportadora de celdas	Inspeccionar, tensionar, cambiar	Verificar la tensión de la cinta. Cambiar.	Mecánico	S-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 58. Tareas de mantenimiento máquinas Extrusor

EXTRUSOR				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Sistema formador	Soplar	Soplar el sistema formador .	Operario	D-01
	Limpieza	Limpieza del sistema formador.	Operario	S-01
Aguantador, boquilla, porta boquilla	Limpieza	Limpieza de piezas.	Operario	S-01
	Inspeccionar, ajustar, cambiar	Verificar que el porta-rod y el rod estén bien ajustados y centrados.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspección, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspección, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-02
Tuerca empujador, tuerca boquilla	Inspeccionar, apretar, ajustar	Verificar la alineación del sistema de formador, ajustar (Según procedimiento).	Supervisor	D-01
Rod	Inspeccionar, limpieza, ajustar, cambiar	Verificar al prender la máquina, el centro del rod con respecto a la hembra y boquilla. Verificar las medidas y el ajuste con la boquilla.	Supervisor - Mecánico	D-01, M-02
Botador tarros, sujetador soporte botador, Soporte botador	Inspeccionar, ajustar, cambiar	Verificar que las piezas estén bien ajustados.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-04
Eje botador, cuadrante	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-04
Hembra, base de hembra, aguantador de hembra	Limpieza	Limpieza de piezas.	Operario	S-01
	Inspeccionar, ajustar, cambiar	Verificar que la base y la hembra estén bien ajustados y centradas.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-02
Pernos sujetador de sufridera, tornillo y tuerca centrador de hembra,	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-02
Sujetador (superior, inferior) de moneda, posicionador, tornillo guía posicionador	Soplar	Soplar el sistema para eliminar el scrap del zinc.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sistema de alimentación.	Operario	S-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-03
Mecanismo rotula moneda, brazo mecanismo muñeca, mecanismo muñeca	Soplar	Soplar el sistema para eliminar el scrap del zinc.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sistema de alimentación.	Operario	S-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Verificar la alineación y apretar tornillos del sistema de alimentación.	Operario - Supervisor	D-01
	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-03
Cadena muñeca	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que la cadena no esté estirada.	Mecánico	M-06
Resistencias, control de temperatura	Inspeccionar	Verificar que las resistencias si estén calentando y que tenga la temperatura correcta para la operación.	Eléctrico	D-01
	Cambiar, reparar	Cambio de cableado eléctrico y verificación de temperatura de las resistencias.	Eléctrico	M-09
Cangilones pasadores	Limpieza	Limpieza de la banda y cangilones de monedas.	Operario	S-03
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar los cangilones y ajustar.	Mecánico	M-08
Banda transmisión principal plana	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico - Operario	M-02
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que la cadena no este estirada.	Mecánico	M-02
Sensor de lubricación	Soplar, limpieza	Soplar y limpiar el sensor.	Mecánico	M-04
Aceite ISO 100	Analizar, cambiar	Análisis de aceite y cambio.	Externo - Mecánico	M-06
Motor principal	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Embrague	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01

Tabla 59. Tareas de mantenimiento máquinas Línea de Papel

LÍNEA DE PAPEL				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Motor principal motor papel, motor desenrollador	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Bandas en V tipo A y B	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Rache	Inspeccionar, ajustar, cambiar	Verificar el juego entre el rache y el eje. El desgaste de la superficie.	Mecánico	M-05
Eje de rache	Inspeccionar, ajustar, cambiar	Verificar el juego entre el rache y el eje. El desgaste de la superficie.	Mecánico	M-05
Biela de la cuchilla, tornillo tensor de biela, brazo	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Rotula, platina empujadora, muñeca	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Tenedor posicionador de papel, eje sistema de papel	Inspeccionar, apretar, ajustar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Eje succionador papel electrolítico flauta	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar medidas y la succión de este. Limpieza.	Mecánico	M-05
Bujes de flauta	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar medidas y estado de desgaste. Limpieza.	Mecánico	M-05
Cuchilla (superior, inferior)	Inspeccionar, rectificar, cambiar	Verificar el corte y desgaste del filo.	Mecánico	M-02
Seguidor de leva de papel	Inspeccionar, cambiar	Verificar con lupa el desgaste de la superficie y de la sujeción.	Mecánico	M-03
Pista de leva, leva de papel	Inspeccionar, limpieza, lubricar, reparar	Verificar el desgaste de la superficie y reparar.	Mecánico	A-01
Seguidor de leva de arandela	Inspeccionar, cambiar	Verificar con lupa el desgaste de la superficie y de la sujeción.	Mecánico	M-03
Pista de leva, leva de arandela	Inspeccionar, limpieza, lubricar, reparar	Verificar el desgaste de la superficie y reparar.	Mecánico	A-01
Resortes troquel disco de fondo, internos rodillos	Inspeccionar, cambiar	Verificar la compresión de los resortes.	Mecánico	M-02
Troquel (macho-hembra- inserto)	Soplar	Soplar el sistema de troquelado.	Operario	S-01
	Limpieza	Limpiar todo el sistema de corte.	Operario	S-01
	Inspeccionar, rectificar, cambiar	Rectificar el troquel, si se encuentra muy corto se reemplaza.	Mecánico	M-02
Porta troquel	Soplar	Soplar el sistema de troquelado.	Operario	D-01
	Inspeccionar, limpieza, rectificar, cambiar	Limpiar y verificar las medidas del portatroquel.	Mecánico	M-02
Sensor inductivo PNP 24 VDC, Sensor inductivo NO 110 VAC, Sensor autoreflex PNP 24 VDC, Sensor de mercurio	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Rapid air	Inspeccionar, limpieza, lubricar cambiar	Inspeccionar el estado de las partes externas e internas, verificar el estado de desgaste de oring. Lubricar (Según manual de mantenimiento).	Mecánico	S-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 60. Tarea de mantenimiento Zona de Mezclas

MEZCLAS				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Tanques	Inspeccionar, limpieza	Verificar espesor de tanque, y limpieza externa e interna	Externo - Operario	M-06
	Cambiar	Cambio de tornillos y flanche.	Mecánico	M-06
Tubería	Inspeccionar, cambiar	Verificar fugas y cambio de tubería y conexiones. Limpieza de filtro y malla.	Mecánico	M-06
Filtros	Inspeccionar, limpieza	Verificar fugas y cambio de tubería y conexiones.	Mecánico	A-01
Desionizador de agua	Inspeccionar, limpieza	Verificar fugas y cambio de tubería y conexiones.	Mecánico	A-01
Abbe	Inspeccionar, limpieza	Verificar fugas y cambio de tubería y conexiones.	Mecánico	M-03
	Cambiar	Cambio de prensa estopa y tronillo de compuerta,	Mecánico	M-03
Bombas diafragma	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar la válvula de bronce, cambiar.	Mecánico	M-06
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 61. Tarea de mantenimiento máquina Chequeadora

CHEQUEADORA (Tester)				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Motor principal y elevador	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite.	Mecánico	A-01
Banda en V tipo B	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Elevador	Limpieza	Limpiar la superficie de la banda con agua y jabón.	Operario	S-02
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar el juego entre el rodillo y el eje. Cambiar los resortes.	Mecánico	M-06
	Lubricar	Según plan de lubricación	Mecánico	
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S-01
Sensor reflex con mira	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Paquete chequeador	Limpieza	Limpiar el paquete.	Operario	S-01
Contactores	Inspeccionar, ajustar, rectificar, cambiar	Verificar el estado de las puntas y rectificarlos.	Mecánico	D-01, M-01
Estrella	Calibrar, ajustar	Calibrar la estrella de acuerdo al tiempo de chequeo, ajustar el freno.	Mecánico	A-01
Seguidor de leva - leva	Inspeccionar, limpieza, lubricar, reparar	Verificar el desgaste de la superficie y reparar.	Mecánico	A-01
	Plan de lubricación	Según manual.	Mecánico	A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 62. Tareas de mantenimiento máquinas Trimmer Chinas

TRIMMER (Cortadoras)				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Cuchillas (superior, inferior)	Soplar	Todo el sistema después de producción.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar las cuchillas y todo el sistema de corte.	Operario	S-01
	Afilar, cambiar	Afilar cuchillas, si ya se encuentra con el filo muy corto ó muy desgastado se cambia.	Mecánico	M-04
Eje cuchilla, piñones, cruz de malta, bujes soporte de cuchilla y botador.	Inspección, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes, cruz de malta, soportes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Resorte buje y cuchilla inferior	Inspeccionar, cambiar	Verificar la compresión y tensión de los resortes.	Mecánico	A-01
Limitador de tarro, empujador de tarros	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	A-01
Flejes	Inspeccionar	Verificar que estén ajustados y calibrados de acuerdo a su función.	Supervisor producción - Operario	D-01
Botador	Soplar	Soplar todo el sistema de botador.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el botador y todo su sistema.	Operario	S-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de desgaste. Verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	A-01
Estrella	Soplar	Soplar todo el sistema.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sistema.	Operario	S-01
	Limpiar, inspeccionar, cambiar	Cambiar cuando se encuentre desgaste y juego entre la estrella y el vaso.	Mecánico	M-04
Sensor inductivo PNP 10-30 VDC	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor producción - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Motor 1/2 HP	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
	Lubricar	Lubricar según el plan de lubricación.	Mecánico	
Pista de leva, leva, cruz de malta	Inspeccionar, limpieza, lubricar, reparar	Verificar el desgaste de la superficie y reparar.	Mecánico	A-01
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S-01
	Plan de lubricación	Según manual.		A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual. cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

Tabla 63. Tarea de mantenimiento máquina Cortadora Trimmer Y23

TRIMMER Y23				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Botador, bujes, anillo, resortes, caucho	Inspeccionar, Limpieza, cambiar	Inspeccionar y limpiar las piezas de corte del sistema, verificar estado de los resortes y cambiarlos.	Mecánico	M01
Cuchilla móvil, fija	Inspeccionar, Limpieza, cambiar	Inspeccionar y limpiar las piezas de corte del sistema.	Mecánico	M01
	Inspeccionar, rectificar, cambiar	Rectificar las cuchillas si el filo se encuentra desgastado	Mecánico	M01
Sensor inductivo NO 110VAC - Sensor reflex con mira PNP 24VDC - Sensor inductivo PNP 10-30 VDC	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M01
Banda de transmisión tipo B	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M03
Motor 2 HP	Soplar	Soplar internamente el motor.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S01
Banda salida de tarros	Soplar	Soplar para que el scrap de zinc no se quede en la banda.	Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar con disolvente la banda.	Operario	S-01
	Cambiar	Cambio de banda siliconada.	Mecánico	M02
	Plan de lubricación	Según manual.		A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M04

Tabla 64. Tarea de mantenimiento máquina Cerradora

CERRADORA				
Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Encargado	Frecuencia
Banda en V tipo A	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Revisar la superficie, la tensión y limpiarla.	Mecánico	M-03
Cadena de transmisión	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar que las cadenas no estén estiradas.	Mecánico	M-03
Chumaceras	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Inspeccionar el estado del rodamiento.	Mecánico	A-01
Motor principal, motor tobogán, motor	Soplar	Soplar internamente los motores.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar que las piezas internas no se encuentren desgastadas.	Mecánico	A-01
	Inspeccionar, cambiar	Revisar que las escobillas no se encuentren desgastadas.	Eléctrico	A-01
Reductor	Cambiar	Cambio de aceite	Mecánico	A-01
Piñones, ejes, poleas, bujes	Inspección, limpiar, lubricar, cambiar	Revisar el estado de desgaste de piñones, ejes, soportes y bujes. Se debe de verificar las medidas y cambiar si se encuentra exceso de juego.	Mecánico	M-06
Cabezote, mordazas	Inspeccionar, ajustar	Verificar el ajuste y apretar. Inspección del desgaste del cabezote.	Mecánico	A-01
Sensor inductivo PNP 24 VDC	Inspeccionar señal, cambiar	Al comienzo de la producción, verificar si el sensor sensa correctamente.	Supervisor - Operario	D-01
	Limpieza	Limpiar el sensor externamente con trapo y disolvente cuidadosamente.	Operario	M-01
	Inspeccionar cable y conexión	Verificar si el cable se encuentra en buen estado. No debe estar doblado ni reventado.	Eléctrico	M-01
Disco acumulador	Limpieza	Limpiar con disolvente el disco	Mecánico	S-01
Canal de disco	Soplar, limpieza	Soplar el canal de disco.	Operario - Mecánico	D-01, S-01
	Inspeccionar, rectificar	Pulir si la superficie del disco y el canal se encuentran rugosa.	Mecánico	A-01
	Ajustar, apretar, cambiar	Ajustar y apretar los tornillos.	Mecánico	S-01
Chiflis	Limpieza	Limpiar con disolvente.	Operario	S-01
Elevador	Limpieza	Limpiar la superficie de la banda con agua y jabón.	Operario	S-02
	Inspeccionar, cambiar	Revisar el estado de la superficie de la banda.	Mecánico	M-08
	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar el juego entre el rodillo y el eje. Cambiar los resortes.	Mecánico	M-06
	Lubricar	Según plan de lubricación	Mecánico	
Estrella	Limpieza, ajustar	Limpiar la estrella con disolvente y apretar los tornillos.	Mecánico	S-01
Anillo asentador, rebordeador (hembra,	Limpieza	Limpiar el sistema de rebordo.	Operario	S-01
	Rectificar, cambiar	Rectificar el rebordeador hembra, macho y asentador.	Mecánico	M-03
Resorte del rebordeador	Inspeccionar, cambiar	Inspección del estado del resorte.	Mecánico	M-03
Pin eyector	Inspeccionar, limpieza, cambiar	Verificar el estado, limpieza.	Mecánico	M-06
	Plan de lubricación	Según manual.		A-01
	Mantenimiento eléctrico	Según manual, cambio de cableado.	Eléctrico	A-01
	Mantenimiento neumático	Según manual.	Mecánico	M-04

4.4. CONCLUSIONES

La programación de tareas operativas y de mantenimiento (ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación), se deben llevar a cabo con una frecuencia en base al plan establecido y no a una demanda del operario o usuario.

El propósito de incluir el plan de mantenimiento preventivo y predictivo en las máquinas de la línea de producción de pila R20, es prever las fallas para mantener los equipos operativos, a los niveles de disponibilidad y eficiencia óptima.

Las ventajas que obtiene la línea de producción de pila R20, al planear y ejecutar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo es lograr que los equipos operen en condiciones de seguridad, porque se conoce su estado operacional y minimiza el tiempo improductivo de producción debido a mantenimientos correctivos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. OBJETIVO

Concluir los principales resultados obtenidos con el fin de hacer recomendaciones útiles para la empresa, aplicables a otras líneas de trabajo.

5.2. CONCLUSIONES

La división de las máquinas en sistemas, subsistemas y componentes permite conocerlas mejor desde el punto de vista de su contexto operacional, lo cual redundará en mejorar la confiabilidad al identificar la forma en la cual funcionan y por ende en la cual pueden fallar. Representa un punto de partida para estandarizar y plantear el stock de repuestos que se requiere para garantizar un óptimo funcionamiento.

La metodología del análisis y riesgo de falla es una herramienta de gran ayuda para solucionar los problemas que se puedan presentar en los equipos; Además constituye una guía para plantear tareas de mantenimiento de acuerdo con el impacto que tengan las consecuencias de las fallas, estableciendo una prioridad para cada una de ellas.

El análisis de falla muestra que para eliminar las causas derivadas de los modos de falla más críticos pueden requerirse acciones de mantenimiento de tipo correctivo, preventivo, predictivo, modificativo o el estudio de posibles rediseños.

Los datos obtenidos a partir del estudio de análisis de fallas orientan a la ejecución de proyectos de mejoramiento que permitan cambiar los procedimientos, instructivos y procesos, partiendo de aquellos que tienen mayor impacto según el análisis de riesgos.

La estrategia para encontrar las causas de falla que evitan que las máquinas se desempeñen correctamente requiere de varios elementos: la actitud de las personas hacia el cambio para encontrar las fuentes de errores, el grado de entrenamiento para el desarrollo de habilidades y competencias analíticas del personal de producción, calidad y mantenimiento que permitan realizar los estudios y dedicar parte del tiempo en la captura de las causas de las fallas.

El análisis de datos obtenidos en los procesos de mantenimiento y producción mediante las herramientas estadísticas, es una metodología que ayuda a encontrar fallas para su eliminación o control, causas de productos y servicios defectuosos para su erradicación, fundamentos cuantitativos para la selección o mejora de acciones y estrategias de mantenimiento y/o producción, elementos básicos para una mejor toma de decisiones sobre el manejo y operación de los instrumentos básicos de mantenimiento, producción y calidad.

El análisis de Pareto permite enfocarse en las principales causas que derivan en la mayor parte de los problemas. En la línea de producción de pila R20 muestra que el 80.83% de los tiempos improductivos de producción por efectos de mantenimiento correctivo se encuentran en el 30% de las máquinas correspondientes al proceso de producción.

El cálculo CMD es una metodología que permite visualizar de manera rápida las tendencias y comportamientos que un equipo o máquina presenta bajo condiciones operacionales determinadas.

La aplicación de cálculos estadísticos a los comportamientos de las fallas e intervenciones de mantenimiento son de gran ayuda para los ingenieros, cuyo objetivo fundamental es disminuir al máximo el tiempo improductivo en las máquinas, entonces por medio de los indicadores CMD, se presenta de forma clara la ocurrencia y tendencia de los fallos e intervenciones de mantenimiento y con base en este análisis se pueden tomar acciones pertinentes para lograr las metas establecidas por las áreas de mantenimiento y producción.

La metodología para calcular la confiabilidad y la mantenibilidad por medio de distribuciones es más precisa y acorde con la realidad, comparada con el cálculo por promedios, ya que permite visualizar el comportamiento por medio de curvas que facilitan su interpretación.

La implantación de los indicadores de CMD en una empresa busca aumentar al máximo la disponibilidad de todos sus equipos por medio del incremento del MTBF y la reducción del MTTR.

El resultado obtenido en el diagrama de Pareto para evaluar las máquinas que tienen mayor impacto en la productividad por efecto de mantenimientos correctivos, concuerda con el resultado de los cálculos CMD, el cual determina que los equipos que tienen menor disponibilidad alcanzada son aquellos que presentan mayor número de fallas, razón por la cual deben tomarse acciones de mantenimiento con el fin de aumentar la confiabilidad y la disponibilidad y por ende aumentar el índice de eficiencia de producción.

La disponibilidad alcanzada de las máquinas Bright Star es del 77.45%, lo cual coincide con lo observado en el análisis y riesgo de fallas específicamente en el sistema de compactación, pues aquí se presentan el mayor número de fallas y aquellas que tienen un gran impacto operacional, principalmente debido a la una operación incorrecta, un ajuste y reparación inadecuados y un desgaste acelerado entre piezas, lo que ocasiona la parada del sistema por espacios pequeños repetitivos (fallas crónicas) o grandes paros (fallas esporádicas).

El sistema de formación en la máquina Ensambladora-Domeadora representa el mayor número de paradas en este equipo debido a la mala formación y ensamble de pila; este tipo de fallas no es fácil de controlar ya que depende de parámetros como la calidad de la materia prima, ajuste preciso entre las piezas y tiempos de intervención elevados porque requiere un desarme total para realizar cualquier reparación con el fin de identificar el desgaste de las piezas, lo cual da como resultado una disponibilidad alcanzada del 79.23%.

Las máquinas Body Maker representan una disponibilidad alcanzada del 83.76%, debido a las paradas por fallas en los sistemas de formación y transporte de blindaje.

Las máquinas Insertadoras de Arandela Final representan una disponibilidad alcanzada del 86.89%, debido a las paradas por fallas en los sistemas de formación de la arandela.

Al no existir índices de gestión en el área de mantenimiento, no es posible evaluar, controlar, ni tomar medidas de mejoramiento, pues se desconoce el estado actual en el que se encuentra la gestión.

Las tareas de mantenimiento programadas para la línea de producción de pila R20 a partir del presente estudio permiten aumentar la eficiencia y confiabilidad dentro del contexto operacional, es decir, conllevan a la disminución de los tiempos improductivos por mantenimientos correctivos, evitan las fallas que tienen alta severidad y ocurrencia e incrementan la disponibilidad de los activos.

El mantenimiento de los sistemas productivos considera un cambio de mentalidad y enfoque que requiere respuestas y decisiones rápidas teniendo en cuenta que los problemas generados se deben básicamente a la falta de información de los procesos, errores humanos en operación y mantenimiento y falta de procedimientos.

Las máquinas sufren desgastes y desajustes debidos a su operación normal, la importancia del mantenimiento radica en realizar ciertas actividades que se anticipen a la ocurrencia de las fallas, y en el caso en que ocurre una avería, se debe buscar una solución técnica y rápida para reiniciar las labores de producción.

5.3. RECOMENDACIONES

Implementar en forma estricta las tareas de mantenimiento y acciones correctivas derivadas del presente estudio con el fin de controlar o eliminar las causas de falla en las máquinas que tienen un impacto mayor por tiempos improductivos y así poder aumentar la disponibilidad alcanzada de cada una de ellas.

Dar continuidad a las tareas de análisis de fallas y mantenimiento basado en riesgos para ir erradicando las principales fallas que afectan los tiempos de producción.

Las metodologías de análisis de fallas y mantenimiento basado en riesgo funcionan siempre y cuando, dentro de los procesos de análisis, se apliquen conceptos de ingeniería u otras áreas del conocimiento con el fin de poder determinar las causas inmediatas y la causa raíz; es poco probable encontrar la fuente de los problemas con el sentido común que se maneja en forma habitual en la empresa, por esta razón se deben aplicar las metodologías involucrando a las áreas de calidad, producción, medio ambiente, salud ocupacional y mantenimiento, de tal forma que se inicien procesos de registro, recolección y cuidado de las evidencias, los análisis de fallas, la implementación y la vigilancia de los controles y ejecución de acciones correctivas, preventivas y de mejora.

Se recomienda implementar la metodología de análisis de falla y mantenimiento basado en riesgos en las demás máquinas de la empresa con el propósito de mejorar los índices CMD.

La implementación de cálculos y evaluación de indicadores CMD en la empresa Tronex Battery Company S.A., requiere de una capacitación de todo el personal responsable del mantenimiento y producción (ingenieros, mecánicos, y operarios), que permita obtener un adecuado control en la adquisición del registro de datos de tiempo y situación de las máquinas, que posteriormente servirán para calcular y analizar correctamente los diferentes indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Se propone elaborar instructivos tanto de operación como de mantenimiento de las máquinas, documentar las mejoras, y llevar un registro de las variables que permitan identificar la condición de las máquinas en un momento determinado.

Para que la adquisición y registro de datos arrojados por las máquinas sean confiables, es necesario hacer una evaluación exhaustiva de cómo son diligenciados los registros de órdenes de trabajo por los mecánicos de

mantenimiento y operarios de producción, con el propósito de registrar con la mayor exactitud posible los tiempos improductivos, las causas de la reparación y la parte, componente o mecanismo que falla.

La comunicación del personal de las áreas involucradas en el proceso de producción de la pila R20 debe ser confiable, clara y oportuna para que el personal de mantenimiento intervenga en la reparación de las máquinas con la información precisa.

Las acciones predictivas se deben implementar en las máquinas involucradas en la línea de producción de pila R20, porque permiten diagnosticar el comportamiento en tiempo real y dar indicios de la aparición de fallas o situaciones que se salgan de las condiciones estándares. Las tareas predictivas recomendadas son: el análisis de aceite para el sistema hidráulico en las máquinas Bright Star y en el sistema de lubricación de las máquinas Extrusoras, la termografía infrarroja en el sistema eléctrico de la empresa, y el análisis metalográfico y uso de líquidos penetrantes para detectar las causas que ocasionan las fisuras y verificar el estado de piezas, primordialmente en las máquinas Extrusoras.

BIBLIOGRAFIA

BAJARIA, H.J, Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design, Warrendale, PA, USA, Society of Automotives Engineers, Inc. 1983, 158p ISBN: 0962922307.

BAZOVSKY, Igor. Reliability Theory and Practice. USA: Dover Publications Incorporated, 2004. ISBN: 0486438678.

BILLINTON, Roy y ALLAN, Ronald. Reliability Evaluation of Engineering Systems, London, Great Britain, Pitman Advanced Publishing Program, 1983, 123p ISBN: 058298890X.

BLANCHARD, Benjamín S., VERMA, Dinesh., PETERSON, Elmer. Maintenibility: a key to effective serviceability and maintenance management: Series Nuevas dimensiones en Ingeniería. USA: Edit. Wiley Interscience. Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. ISBN: 0486438678.

CESPEDES GUTIERREZ, Pedro Alejandro, y TORO OSORIO, Juan Carlos. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Medellín, 2001, 134 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

CESPEDES ZAPATA, Lucas, y MEJIA ISAZA, Santiago. Implementación de un sistema de indicadores para la gestión de mantenimiento de una empresa

textilera. Medellín, 2005, 194 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

CALIDAD, Documentación del departamento de Calidad de la Empresa Tronex Battery Company S.A, . 2007.

DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento, Caracas, Venezuela: Ediciones IESA, 1992. 109p. ISBN 9802710682.

DOUNCE, VILLANUEVA, Enrique. La Productividad del Mantenimiento Industrial, México D.F, México: CECSA. 1998. 165p. ISBN: 9682610893.

EBELING, Charles E. An introduction to reliability and maintainability engineering. New York, NY, USA. McGraw-Hill. 1997. 486p ISBN: 0070188521.

FORCADAS, Jorge. Confiabilidad en los Sistemas. En: Revista SAI. No.4 Vol.1. 1983. ISBN: 01205862.

GARCÍA, Luís. La disponibilidad como objetivo. En: Ingeniería Química. No.3-20. Enero 1996. p 190.

GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor. Probabilistic Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley & Sons. 1995. 518p ISBN: 0471305022.

GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto, y VARA SALAZAR Román. Control Estadístico de calidad y seis sigma, Editorial: Mc Graw Hill, México, 2004, ISBN: 9701047249.

GUTIÉRREZ, Juan Ignacio. Documentación RCM. 2007.

JARAMILLO ÁLVAREZ, Juan Felipe, y GONZÁLEZ CALLE, Germán Esteban. Implementación de un sistema CMD en la máquina formadora de Cristalería Peldar S.A. Medellín, 2004, 107 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

KELLY, Anthony. y HARRIS, M. J. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid, España: Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar. Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo. 1998. ISBN: 84-923506-0-1. Traducido de Management Industrial Maintenance Soft. – Edit. Butterworth-Heinemann – USA: 1983. ISBN: 040801377X.

KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad, Madrid, España: Isdefe. 1996. 137p. ISBN: 0412802702.

LEEMIS, Lawrence M. RELIABILITY: Probabilistic Models and Statistical Methods. Englewood Cliffs Prentice-Hall, NJ, USA. 1995. 319p ISBN: 0137215171.

LEWIS, Elmer E., Introduction to Reliability Engineering. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1995. ISBN: 0471018333.

LYONNET,P., Maintenance Planning. Editorial Charman & Hall, NY, USA, 1991, ISBN: 0442312326.

MODARRES, Mohammed, What every engineer should know about reliability and risk analysis. Editorial Marcel Dekker. New York, USA: 1993. ISBN: 082478958X.

MORA, Luís Alberto; TORO, Juan Carlos y CÉSPEDES, Pedro Alejandro. Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación, II Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI, Ecuador, Julio 23 al 26,2001.

MORA, Luís Alberto. Diplomado en gestión y control de mantenimiento (IRI). ACIEM, 2003.

MORA, Luís Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano, Medellín, Colombia: Editorial AMG. 2006. 306p. ISBN 958-338218-3.

NACHLAS, Joel A. Fiabilidad. Madrid, España. Isdefe. 1995. 217p ISBN: 978-84-89338-07-4.

NAVARRO ELOLA, Luis. Gestión Integral de Mantenimiento. Barcelona, España. Marcombo S.A. 1997. 112p ISBN: 8426711219.

O'CONNOR, Patrick D. T. Practical Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley & Sons. 1985. 398p. ISBN: 0471905518.

PRODUCCIÓN, Documentación del departamento de Producción de la Empresa Tronex Battery Company S.A, . 2007.

STAMARIS, D.H., Failure Mode and Effect Analysis. FMEA from Theory to Execution. Editorial: ASQC, Quality Press, NY, USA, 1995, ISBN: 087389300X.

RAMAKUMAR, R., Engineering Reliability: Fundamentals and Applications. NJ, USA: Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1993. 482p. ISBN: 0132767597.

REY Sacristán, Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento, Madrid, España: Editorial TGP Hoshin, S.L. 1996. 165p. ISBN: 8495428180.

ROJAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogotá. Colombia. Universidad de los Andes. 1975. 214p.

VALLEJO JARAMILLO, Juan Santiago. Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD. Medellín, 2004, 153 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

WIREMAN, Terry. Developing Performance Indicators for Managing Maintenance. New York, USA. Industrial Press. 1998. 195p ISBN: 0831130806.

INTERNET

AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. [Documento Electrónico]. España: 2003. (Citada: 3 Marzo 2007) <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/bib/notas/propulsores.asp>

BARRINGER, H. Paul. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. [Documento Electrónico]. Humbl, Texas, USA: 1997. (Citada: 10 Febrero 2007) <http://www.barringer1.com/reliability.htm>

BENITEZ, Gustavo Calidad de datos: factor crítico. [Documento Electrónico], (Citada: 3 Marzo 2007) <http://www.netpaper-online.com/article/55288.html>

GIOUPM. Grupo de Ingeniería de Organización Universidad Politécnica de Madrid. [Documento Electrónico]. Madrid, España (Citada: 29 Enero 2007) <http://tecnologias.gio.etsit.upm.es/sistemas-informacion/sistemas-de-informacion--76.asp>

KOLMOGOROV-SMIRVOV. National institute of standars and technology [Documento Electrónico], (Citada: 23 de Marzo 2007).
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>

MARTINEZ S. Larissa G., ventajas y características de Lotus y Excel [Documento Electrónico], (Citada: 25 Marzo 2007)
<http://www.monografias.com/trabajos15/lotus-excell/lotus-excell.shtml>

MOLINA, José. Mantenimiento y seguridad industrial [Documento Electrónico]. 1997. (Citada: 18 Febrero 2007)
http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento_industrial.shtml

MOLINERO Luis M. ¿Qué es el método de estimación de máxima verosimilitud y cómo se interpreta? [Documento Electrónico]. 2003. (Citada: 17 Enero 2007)
<http://www.seh-lelha.org/maxverosim.htm>

PARRA C, Moreno A. Semana de la Ingeniería de Mantenimiento. [Documento Electrónico]. Santiago de Chile: 2004. (Citada: 10 Enero 2007)
<http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/cap/cursos/Parra-SemanaMant.pdf>

SIS. Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías paz del río s.a. [Documento Electrónico]. 2006. (Citada: 30 Marzo 2007) <http://trabajos.pdf/sistemas-mantenimiento/sistemas>

RELIASOFT. Analysis Examples. [Documento Electrónico], (Citada 23 Febrero 2007)

<http://www.picosearch.com/cgi-bin/ts.pl?index=174989&psel=ReliaSoft&query=Weibull>

WIKIPEDIA la enciclopedia libre. [Documento Electrónico]. 2006. (Citada: 18 Enero 2007) <http://es.wikipedia.org/wiki>

ANEXOS

Anexo A.. Programa de mantenimiento preventivo de componentes eléctricos

ELABORACIÓN TAREAS PREVENTIVAS DE COMPONENTES ELÉCTRICOS			
Componente	Tarea	Instructivo-Procedimiento	Herramienta
Suiche tambor	Inspección visual	Chequear el estado del suiche en general.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos se encuentren en buen estado y apretarlos. Porque si no se quemar los tonillos y el cable.	
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
	Limpieza	Aspirar el suiche y sus alrededores.	Aspiradora
Suiche	Inspección visual	Chequear el estado del suiche. Observar golpes o daños por mal funcionamiento.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar los tornillos que estén en buen estado y apretarlos bien para no provocar sobrecorriente.	
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
	Limpieza	Aspirar el suiche y los alrededores.	Aspiradora
Piloto	Inspección visual	Chequear el estado; si no prende el bombillo se debe cambiar el piloto.	
	Limpieza	Aspirar el piloto y sus alrededores.	Aspiradora
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque si no se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Inspección de sobre-voltaje	Al cambiar un piloto se debe de verificar el voltaje del piloto sustituto si cumple con el voltaje del tablero de control.	
Térmico	Inspección visual	Chequear el estado del térmico, los pines de entrada del tablero, la conexión y el funcionamiento de push de stop y reset.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar los tornillos que estén en buen estado y apretarlos bien para no provocar sobrecorriente.	
	Calibración de amperaje	Al instalar un térmico en el tablero de potencia, se verifica que este en condiciones de proteger el amperaje que se requiere para protección del equipo.	
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
	Prueba funcionamiento	Verificar el amperaje se conserva.	
	Limpieza	Aspirar el térmico y sus alrededores.	Aspiradora
Cuchilla	Inspección visual	Verificar el estado de la cuchilla y que sus partes mecánicas, las parte fija y móvil deben de estar en condiciones perfectas además de su ubicación. Las platinas, resortes y tornillos deben de estar en su sitio ya que si alguna se mueve la cuchilla pierde la función. Si el tornillo se desplaza se da golpes con un destornillador hasta llegar al punto adecuado.	
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
	Limpieza	Aspirar la cuchilla sus alrededores.	Aspiradora
Fuente de voltaje	Inspección visual	Verificar el estado de la fuente y sus conectores.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Inspección amperaje	Verificar el amperaje de la fuente si la corriente que da si es la que dice la ficha técnica.	
	Limpieza	Aspirar el equipo y sus alrededores.	Aspiradora
	Prueba funcionamiento	Verificar el amperaje y el voltaje se conserva.	

Reset de falla	Inspección visual	Chequear el estado. El push no se debe de atrancar al operarlo.	
	Limpieza	Aspirar el reset y sus alrededores.	Aspiradora
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
Paro de emergencia	Inspección visual	Chequear el estado. El push no se debe de atrancar al operarlo.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque si no se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
Pulsador	Inspección visual	Chequear el estado. El push no se debe de atrancar al operarlo.	
	Limpieza	Aspirar el piloto y sus alrededores.	Aspiradora
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
Fusible	Inspección visual	Verificar el estado. No debe de estar quemado, no debe de haber corto a la salida del fusible.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque si no se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Medición de continuidad de voltaje	La continuidad de voltaje se mide con un tester, si da continuidad, el fusible está bueno.	Tester
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
	Sustitución	La conexión debe ser en serie, no debe de ser en paralelo porque produce corto circuito.	
Portafusible	Inspección visual	Verificar el estado y la conexión de entrada y salida.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
Relé	Inspección visual	Verificar el estado; los contactos no deben de estar pegados. Verificar que la señal que mande sea la correcta.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
	Sustitución	Verificar que el amperaje del relé sea el adecuado para la operación.	
Borneras	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos de conexión de las borneras, estén bien ajustados porque se puede sulfatar el tornillo, los cables y el componente de conexión. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
Breaker	Inspección visual	Verificar el estado del componente. Si el breaker se dispara se debe de revisar que todo este en perfectas condiciones tanto las partes eléctricas como mecánicas. Además el mecanismo se puede dañar por la mala operación. Inspeccionar los tableros y componentes que protege el breaker.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables y provoca corto circuito. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Prueba de amperaje	En la instalación se verificar que el amperaje sea de acuerdo al consumo y verificar si se mantiene durante el uso.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
Contactor	Inspección visual	Verificar el estado; los contactos no deben de estar pegados.	
	Prueba de amperaje	En la instalación se verifica el amperaje de acuerdo al consumo e inspeccionar si se mantiene durante el uso. Revisar que el voltaje que le entre a la bobina del contactor sea la misma y adecuada para su funcionamiento.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora

	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables y provoca corto circuito. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
Guarda motor	Inspección visual	Verificar el estado y la conexión de entrada y salida.	
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables y provoca corto circuito. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Prueba de amperaje	En la instalación calibrar el amperaje de acuerdo al consumo e inspeccionar si se mantiene durante el uso.	
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
	Revisar sobrecorriente	Inspeccionar con el termómetro puntos calientes.	Termómetro
PLC	Inspección visual		
	Limpieza	Aspirar con la aspiradora	Aspiradora
Regulador de voltaje	Inspección visual	Observar detalladamente	
	Verificar regulación de voltaje	Con un tester verificar el voltaje de entrada y salida. Si el voltaje de entrada y salida no son los correspondientes a la ficha técnica, verificar internamente el porque se esta presentando el problema con ayuda del manual o comunicarse con el proveedor del equipo.	Tester
	Limpieza	Aspirar el componente y sus alrededores.	Aspiradora
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables y provoca corto circuito y quemar el equipo. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
Variador de velocidad	Inspección visual	Observar el estado del equipo, no debe de presentar hundidos por golpes o por mal funcionamiento de operación.	
	Inspección visual pantalla variador	Verificar en la pantalla del variador si las condiciones de programación están con los mismos requisitos del manual de funcionamiento del equipo.	Manual- Proveedor
	Prueba de amperaje y voltaje	Medir con un tester y un amperímetro si la corriente y el voltaje de entrada y salida se conserva.	Tester
	Limpieza	Cuidadosamente aspirar por los alrededores del variador teniendo precaución de no hundir ningún botón.	Aspiradora
	Para realizar mantenimiento debe de tener a la mano el manual del equipo el mecánico encargado.		
Temporizador	Inspección visual	Observar el estado físico del componente. Inspeccionar la calibración del tiempo que se requiere en la máquina ya que por uso o mala operación se descalibra.	
	Limpieza	Cuidadosamente aspirar por los alrededores del variador teniendo precaución de no hundir ningún botón.	Aspiradora
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables y provoca corto circuito y quema el equipo. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Prueba de voltaje y amperaje	Verificar con tester, el voltaje de entrada y salida debe ser constante.	Tester
	Chequear funcionamiento de contacto	Chequear con tester la continuidad del contacto. El contacto que deba cerrar si este cerrando y el que deba abrir que abra.	Tester
Transformador de voltaje	Inspección visual	Observar el estado físico del componente. Inspeccionar que el voltaje de transformación sea el adecuado para la operación.	
	Chequear voltaje	El voltaje se chequea con tester en cada bobina ya sea principal o secundaria. El voltaje debe ser constante.	Tester
	Apretar Tornillos de cable	Verificar que los tornillos no estén desajustados porque se sulfatan los tornillos y cables y provoca corto circuito y quema el equipo. Se debe de apretar si se encuentran flojos.	
	Limpieza	Cuidadosamente aspirar por los alrededores del variador teniendo precaución de no hundir ningún botón.	Aspiradora

	Chequear nivel de aceite	Verificar el nivel de aceite y su estado de pureza. Si se encuentra en mal estado cambiarlo. Si el aceite se ve en estado sospechoso se debe de enviar muestra de aceite a revisión.	
	Verificar estado de chapas	Observar si las chapas protectoras están en buen estado, no debe de haber golpes ni daños del material. Las chapas reducen pérdidas por histéresis magnética y aumenta la resistividad del acero.	
	Verificar eficiencia del transformador	Inspeccionar dependiendo del trabajo del transformador, el voltaje y el amperaje. Estos deben ser constantes con la energía que hay dentro de él. Se mide la potencia de entrada y salida.	
	Inspección estado de bobinados y espiras		

Anexo B. Programa de mantenimiento preventivo de componentes neumáticos

ELABORACIÓN TAREAS PREVENTIVAS DE COMPONENTES NEUMÁTICO

Componente	Tarea	Instructivo - Procedimiento	Herramienta
Venturi para succión	Inspección visual	Observar estado físico del componente.	
	Limpieza	Se realiza con pistola sopladora de aire por el exterior del venturi y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire
	Revisión conexión - Revisión de fugas	Chequear la conexión de entrada y salida de aire; estas deben de encontrarse en buen estado. La rosca no debe de estar desgastada o mal desajustadas, si se encuentra en estas condiciones se debe de cambiar o ajustar, los racores no deben de estar con quiebre y los sellos no deben de estar desgastados, si se encuentran en mal estado se debe cambiar.	Oído y con la planta apagada
	Lubricación	La lubricación se hace manual. Se lubrica por la entrada de aire con aceite niebla, esta entra forzada por la manguera.	Aceite niebla
	Al no aspirar bien se abre la unidad de mantenimiento para que el lubricador incorporado se abra y lleve lubricación por la red neumática del sistema a todos los elementos neumáticos.		
Cilindro neumático	Inspección visual	Hacer una revisión general de todas las partes del cilindro, verificar estado físico, funcionamiento mecánico.	
	Revisión linealidad del vástago	El vástago debe estar completamente alineado con respecto a la camisa, no debe de estar doblado ni sufrir pandeo.	
	Revisión rascador interno	Observar detalladamente si el rascador este en buen estado si no se debe cambiar. Cuando da fuga	
	Limpieza camisa	El interior de la camisa debe de estar en completa limpieza. Porque al estar con impurezas presenta deficiencia de fuerza del eje. Para realizar esta limpieza	
	Inspección retenedor		
	Cambio de cilindro	El cilindro se cambia cuando el resorte interno se daña (es sellado). Esto se ve cuando presenta fugas	
	Inspección fugas	Verificar fugas entre el vástago y la camisa, esto puede ser por daño del eje, buje o rascador.	
	Cambio de sellos		
	Revisión buje de bronce (Doble efecto)	Se verifica el estado del buje, si se encuentra desgastado o el diámetro esta-----.	
	Revisión tornillos amortiguadores (Doble efecto)	Desgaste de la rosca por el estado del ambiente o por que apretaron la rosca sin la adecuada herramienta o sin ningún cuidado.	
	Revisión estado eje		
Lubricación	La lubricación se hace por medio del lubricador de la unidad de mantenimiento. Se abre el lubricador y este debe de lubricar los componentes neumáticos y mangueras de la máquina.		
Válvula rodillo	Inspección visual	Verificar el estado actual de todas las partes que la componen. Teniendo en cuenta las imperfecciones que vean en la carcasa protectora como golpes además si se encuentra degradado por la contaminación ambiental.	

	Revisión conexión	Los racores deben de estar bien ajustados, sino apretarlos con la presión requerida ya que se puede reventar ocasionando daño en la rosca. No debe de estar desgastados o con la rosca mala. Se verifica		
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores. La limpieza del rodillo debe de ser con trapo por si hay mugre pegada ya que si se encuentra con suciedad no da buena señal.	Pistola sopladora de aire	
	Inspección y revisión del rodillo	Verificar el estado del rodillo ya que por el uso puede haber un desgaste ocasionado mala señal de salida.		
	Lubricación	La lubricación se hace por medio del lubricador de la unidad de mantenimiento. Se abre el lubricador y este debe de lubricar los componentes neumáticos y mangueras de la máquina.	Lubricador unidad de mantenimiento - Aceite niebla	
	Ajuste mecánico			
	Se determina una válvula mala, cuando la salida del rodillo no acciona bien; es decir, cuando el rodillo no da la señal correcta en el momento justo de accionar el otro elemento.			
Electroválvula	Inspección visual	Verificar todas las partes de la electroválvula, especialmente el vástago debe de estar en buen estado, no debe de estar torcido ni puede haber desgaste físico.		
	Revisión resorte interno			
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no estén estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento.		
	Inspección instalación racor	El racor debe de estar instalado instalado, si no lo esta puede dañar la rosca. Debe de estar ajustado correctamente, si no apretar hasta que quede fija entre la rosca y la manguera.		
	Cambio del vástago: cuando no entrega señal la bobina a la electroválvula y no realiza campo eléctrico (la bobina acciona pero la electroválvula no), se destornilla el vástago y se cambia. El vástago depende de la bobina pero del diámetro de conexión más no del voltaje.			
	Lubricación	La lubricación se hace por medio del lubricador de la unidad de mantenimiento. Se abre el lubricador y este debe de lubricar los componentes neumáticos y mangueras de la máquina.	Lubricador unidad de mantenimiento - Aceite niebla	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire	
Válvula de escape rápido	Inspección visual	Chequear el estado de la válvula en general.		
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire	
	Lubricación	La lubricación se hace por medio del lubricador de la unidad de mantenimiento. Se abre el lubricador y este debe de lubricar los componentes neumáticos y mangueras de la máquina.	Lubricador unidad de mantenimiento - Aceite niebla	
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no estén estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento.		
	Revisión salida de aire	Chequear que el aire de salida es el adecuado para la función que realiza; si no lo es, se verifica el estado de del diafragma y si esta desgastado proceder a cambiarlo. COMO SE CAMBIA		
	Inspección visual-ruido de fugas	Observar detalladamente las partes críticas donde pueda presentar fugas y analizar el porque se esta presentado las fugas si es un racor mal instalado apretar bien si el empaque esta desgastado hay que cambiar la válvula.		
Válvula corredera	Inspección visual	Chequear el estado de la válvula en general. No puede presentarse golpes. El uso de la válvula se efectúa desplazando la corredera longitudinalmente.		
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no estén estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento.		

	Revisión y cambio oring	Verificar el estado del oring. Si el oring se encuentra desgastado: Se abre el candado, sacar el rodillo desplazador, cambiar oring, volver a poner el rodillo, cerrar el candado, verificar funcionamiento. Además verificar el estado del candado no puede estar cuadrado, debe de estar uniforme, sino se cambia.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire
	Lubricación	La lubricación se hace por medio del lubricador de la unidad de mantenimiento. Se abre el lubricador y este debe de lubricar los componentes neumáticos y mangueras de la máquina.	Lubricador de mantenimiento - Aceite niebla
	Inspección fugas	Inspeccionar y analizar detalladamente donde se puede presentar fugas y el porque. Puede presentarse fugas cuando el oring esta desgastado.	
Válvula reguladora de caudal	Inspección visual	Chequear el estado de la válvula en general. No puede presentarse golpes.	
	Revisión fugas	Chequear la entrada y salida de aire, la tuerca reguladora, si presentan fugas. Esto se realiza poniendo a circular aire por la válvula e inspeccionar si hay salida de aire al exterior por alguna parte de la válvula.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no estén estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento.	
	Ajuste de tuerca	Chequear y apretar la tuerca reguladora con la llave adecuada, el regulador no se debe llevar a los extremos porque se suelta el resorte interno. La regulación del aire se hace en la instalación y depende de que tanto caudal se necesita en circulación para el funcionamiento del componente a regular.	
	Si la válvula no está regulando el caudal; es decir, si el caudal esta directa se debe cambiar la válvula.		
Unidad de mantenimiento	Inspección visual	Observar el estado actual de los componentes. No debe presentar golpes. Verificar si el sistema neumático de la máquina sale con agua.	
	Revisar unidades	Verificar que los componentes no se encuentren con agua, suciedad. El aire comprimido debe de ser purificado.	
	Inspección de los componentes	Se debe seguir el procedimiento de mantenimiento preventivo de todos los componentes como se cita en este archivo.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire
Regulador de presión - Manómetro	Inspección Tope regulador	Verificar que el tope regulador no pase los límites máximo y mínimo; si pasa los límites se daña la regulación de presión del sistema. El tope regulador debe de estar en un intervalo de la presión requerida de trabajo para asegurar un valor constante de la presión de salida independientemente de las oscilaciones de presión en la red y el consumo de aire.	
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no deben de estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento.	
	Inspección instalación racor	El racor debe de estar bien instalado, si no lo esta puede dañar la rosca y presentar fuga. Debe de estar ajustado correctamente, si no apretar hasta que quede fija entre la rosca y la manguera.	
	Inspección de la presión adecuada de uso	Chequear que la presión sea la adecuada a la necesaria en el sistema, ya que al introducir mas o menos presión ocasiona daños en el sistema. La aguja del manómetro debe de permanecer en el intervalo de presión del sistema.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire
	Inspección visual-ruido de fugas	Inspeccionar cuidadosamente los conectores donde puede presentarse las fugas ya sea por un racor mal apretado o que tenga la rosca mala, y que el tope regulador este en el nivel adecuado del sistema.	
Condensador	Inspección rosca	Observar el estado de la rosca, que este puesta correctamente.	
	Inspección visual	Observar el estado actual de los componentes. No debe presentar golpes. Verificar si el sistema neumático de la máquina sale con agua.	

	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no deben de estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento.	
	Revisar la humedad relativa de los compresores		
	Inspección- abrir tornillo purgador	Verificar si se encuentra agua en el condensador y abrir el tornillo purgador para salir el condensado.	
	Inspección visual-ruido de fugas	Inspeccionar cuidadosamente los conectores donde puede presentarse las fugas ya sea por un racor mal apretado o que tenga la rosca mala, y que el tope regulador este en el nivel adecuado del sistema.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior y sus alrededores.	Pistola sopladora de aire
	Inspección filtro y regulador	Revisar que el filtro y el regulador no se encuentre con aire comprimido, suciedad o condensación. Verificar que el regulador tenga la presión adecuada de trabajo. Si el cartucho filtrante se encuentra desgastado o con demasiada mugre se debe cambiar.	
Purga automática	Inspección rosca	Observar el estado de la rosca, que este puesta correctamente.	
	Abrir tornillo purgador	Para salir el condensado, se debe abrir cuidadosamente AL enroscar la rosca para salir el condensado debe de quedar adecuadamente, si no puede ocasionar una caída de aire afectando el sistema neumático.	
	Inspección visual	Observar el estado actual de los componentes. No debe presentar golpes. Verificar si el sistema neumático de la máquina sale con agua.	
	Abrir constantemente el tornillo purgador para no acumular condensado porque puede ocasionar entrada de agua al sistema neumático.		
Lubricador	Inspección general	Chequear el estado del lubricador. No debe presentar golpes.	
	Inspección nivel de aceite	Observar el nivel de aceite, ya que si no hay la cantidad suficiente de aceite, no lubrica todo el sistema neumático de la máquina. El aceite recomendado es aceite niebla. Se cambia el aceite si hay poco nivel o el aceite esta en estado sospechoso.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior del lubricador.	Pistola sopladora de aire
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salida, deben de estar correctamente instaladas, no deben de estar al revés. Esto se realiza poniendo en funcionamiento a circular el aire y probar el funcionamiento. El tope regulador debe estar adecuado al sistema.	
	El tornillo lubricador se abre para lubricar todo el sistema de la máquina.		
Listón distribuidor - Bloque de derivación	Inspección general	Chequear el estado del bloque y listón. No debe tener golpes.	
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada y salidas, deben de estar correctamente instaladas, no deben de estar al revés. Los racores deben de estar bien ajustados ya que puede reventar la rosca. no pueden estar desgastados o con la rosca en mal estado.El listón es para conexión de válvulas, mientras el bloque es para conexión de racores.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior del componente	Pistola sopladora de aire
	Inspección visual-ruido de fugas	Inspeccionar cuidadosamente los conectores donde puede presentarse las fugas ya sea por un racor mal apretado o que tenga la rosca mala, y que el tope regulador este en el nivel adecuado del sistema.	
	Lubricación	La lubricación se hace por medio del lubricador de la unidad de mantenimiento. Se abre el lubricador y este debe de lubricar los componentes neumáticos y mangueras de la máquina.	Lubricador de mantenimiento - Aceite niebla
Expulsor neumático			
Ventosa	Inspección general	Chequear el estado de la ventosa. Debe de estar uniforme en todo su radio. Ni presentar girtas, ni desgaste de material.	
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada. La rosca debe estar bien ajustada y posicionada para no presentar fuga de aire. Al instalar la ventosa se verifica que la rosca entre sin dificultad para no dañar los hilos.	

	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior del componente.	Pistola sopladora de aire
Silenciador	Inspección visual - ruido	Observar el estado, y en puesta de funcionamiento verificar que no entregue ruido al ambiente. Si hay ruido se debe cambiar.	
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada. La rosca debe estar bien ajustada y posicionada para no presentar fuga de aire. Verificar que la conexión del silenciador sea la adecuada para la válvula.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior del componente y con un trapo y disolvente por el silenciador	Pistola sopladora de aire - Disolvente
Presostato	Inspección visual	Verificar el funcionamiento del presostato, la señal.	
	Revisión conexión	Observar y verificar la conexión de entrada. La rosca debe estar bien ajustada y posicionada para no presentar fuga de aire. Verifica además la conexión eléctrica.	
	Limpieza	Se realiza con la pistola sopladora de aire por todo el exterior del componente.	Pistola sopladora de aire

Anexo C. Plan de lubricación máquinas línea de producción de pila R20

MAQUINA	BRIGHT STAR
NUMERO	M673- M672

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Dosificadores carbon pines y resortes	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Dosificadores carbón guías horizontales traseras	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Guía carro varillas carbón adelante y	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Guía cuerpo de compactadores adelante y atrás	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje vertical carbones buje superior	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje vertical carbones buje inferior	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje vertical carbones leva	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Piñón tensor can turret	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Arandelas Uñas	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Barra deslizadora cilindro arandelas	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Chumaceras	8	Grasa	Grasera	
S-01	Bujes con puntos de graseras	2	Grasa	Grasera	
S-01	Rodamientos con puntos de graseras	8	Grasa	Grasera	
S-01	Cadenas	5	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-01	Piñón cadena	10	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-01	Piñones	10	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-01	Bandera pilon	2	Grasa	Grasera	
S-01	Centro can turret	1	Grasa	Tarro dispensador	
S-01	Centro plato moldes	1	Grasa	Grasera	
S-01	Banda entrada chumaceras	4	Grasa	Grasera	
S-01	Banda entrada rodillos tensores	3	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Banda salida chumaceras	2	Grasa	Grasera	
S-01	Banda salida rodillos cadena	1	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-01	Banda salida piñón cadena	2	Cadenoil	Tarro dispensador	
M-02	Caja indexadora 1	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio
M-02	Caja indexadora 2	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio
M-02	Motorreductor principal	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio

MAQUINA	ALIMENTADOR AUTOMATICO DE MEZCLA 1-2
NUMERO	M777-M802

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
S-01	Chumacera	2	Grasa	Grasera	
S-01	Cadena	1	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-01	Piñón cadena	2	Cadenoil	Tarro dispensador	

MAQUINA	LINEA DE PAPEL
NUMERO	M701-M700

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Eje transversal rodamientos	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje principal transversal bujes	3	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje principal transversal Engranajes	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje principal transversal	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Cuchilla papel electrolitico	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Piñones papel electrolitico	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje acero plata papel electrolitico (rodillo-rache)	3	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal cruz de malta Rodamientos	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal cruz de malta bujes	5	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal flauta leva	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal flauta bujes	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Sistema de corte bujes	7	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Sistema de corte brazo	3	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal rache bujes	7	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo engranajes	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo rodamientos	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo levas	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo bujes	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo seguidores	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo chaquiras	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo rodamiento	3	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo resortes	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje transversal arandela de fondo bujes	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal cruz de malta fondo rodamientos	3	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje longitudinal cruz malta fondo bujes	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Quiebre papel rodillos	5	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Eje principal transversal cchumacera	1	Grasa	Grasera	
S-01	Quiebre papel guias resortes	4	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Alimentacion papel rodillos caucho bujes	3	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Cadena	3	Cadenoil	Tarro dispensador	
M-01	Chumacera sistema papel	1	Grasa	Grasa	
M-06	Reductor desenrollador papel	1	Aceite	Manual	Revision-cambio
M-06	Reductor principal	1	Aceite	Manual	Revision-cambio

MAQUINA	TROQUELADORA ARANDELA DE COMPACTACION
NUMERO	M631

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-04	Buje eje Horizontal (principal)	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-04	Cola de milano	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-04	Terminales barra avance de cartón	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Engranajes	2	Grasa	Grasera	

MAQUINA	REBORDEADORA DE CELDAS 1-2
NUMERO	M639-690

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Rebordeador guías	3	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Piñon recto	2	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Cruz de malta	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Seguidor leva superior	1	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Leva	1	Grasa	Grasera	
M-01	Cadena	1	Cadenoil	Tarro dispensador	Revision-cambio
M-01	Piñon cadena	2	Cadenoil	Tarro dispensador	
M-01	Engranje conico	2	Grasa	Película mano-grasera	
M-01	Chumacera	8	Grasa	Grasera	
A-01	Reductor	1	Aceite	Manual	Revision-cambio

MAQUINA	INSERTADORA DE ARANDELA FINAL 1-2
NUMERO	M681-M684

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Troquel guías verticales	2	Aceite vactra	Tarro dispensador	
D-01	Guías verticales cola de milano	2	Aceite vactra	Tarro dispensador	
D-01	cruz de malta	1	Aceite vactra	Tarro dispensador	
S-01	Troquel guías verticales	2	Grasa	Grasera	
S-01	Guías verticales cola de milano	2	Grasa	Grasera	
S-01	Leva	1	Grasa	Grasera	
M-01	Engranaje cónico	6	Grasa	Película mano-grasera	
M-01	Cadena	3	Cadenoil	Tarro dispensador	Revisión-Lubricación
M-01	Piñón cadena	7	Cadenoil	Tarro dispensador	Revisión-Lubricación
M-01	Chumacera	10	Grasa	Grasera	
M-01	Chumacera desenrollador de cartón	2	Grasa	Grasera	
A-01	Reductor	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio

MAQUINA	ENSAMBLADORA R20 1
NUMERO	M612

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-04	Dommers seguidores de leva	48	Aceite vactra	Aceitera	
M-01	Cadena (Reductor-tobogán)	2	Cadencoil	Tarro dispensador	
M-01	Reductor (tambor)	2	Grasa	Grasera	
A-01	Reductor (tambor-tobogán)	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio

MAQUINA	DOMEADORA 1
NUMERO	M696

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-04	Dommers seguidores de leva	32	Aceite vactra	Aceitera	

MAQUINA	MESA ALMACENADORA DE CELDAS R20
NUMERO	M737

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
A-01	Reductor	1	Aceite	Manual	Revisión-Cambio

MAQUINA	MESA DOBLE CARRIL ASFALTO
NUMERO	M702

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Empujadores de tarros (2)	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Seguidores de leva	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Seguidores de leva	2	Grasa	Grasera	
M-01	Chumaceras eje de levas	4	Grasa	Grasera	
M-01	Chumaceras banda entrada	4	Grasa	Grasera	
M-01	Chumaceras banda salida	4	Grasa	Grasera	
M-06	Cadena	2	Grasa	Película mano-grasera	Revisión-lubricación
M-06	Piñón cadena	4	Grasa	Película mano-grasera	
A-01	Reductor	1	Aceite	Tarro dispensador	Revisión-cambio

MAQUINA	CERRADORA R20 1
NUMERO	M640

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Rebordeador seguidores verticales (cola milano)	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Exterior leva y seguidor	1	Grasa	Película mano-grasera	
S-02	Eje cabezote	3	Grasa	Grasera	
A-01	Caja	2	Aceite	Manual	Revisión-lubricación

MAQUINA	CHEQUEADORA R20 1
NUMERO	M664

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Contactos guías horizontales	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Contactos articulación	4	Aceite vactra	Aceitera	
M-01	Leva seguidor	1	Grasa	Película mano	
A-01	Reductor	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio

MAQUINA	BANDA SELLADORA DE BLISTER 1
NUMERO	M767

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
S-01	Cadena	2	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-01	Guías piñón cadena	4	Cadenoil	Tarro dispensador	
M-01	Cadena motor	1	Grasa	Película mano-Grasera	
A-01	Chumacera sellada	4			Revisión-cambio

MAQUINA	TUNEL TERMOENCOGIBLE 1
NUMERO	M706

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
M01	Chumacera	4	Grasa	Grasera	
M06	Cadena	1	Grasa	Película mano-Grasera	

MAQUINA	BODY MAKER
NUMERO	M613-M614

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	Punzones guías verticales	4	Aceite vactra 4 iso220	Aceitera	
D-01	Brazos Punzones rotulas	4	Aceite vactra iso220	Aceitera	
D-01	Cuerpos cuchillas y seguidor leva	6	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Garras pines articulación brazos	4	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Garras pines articulación buje	2	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Eje longitudinal principal bujes	3	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Eje longitudinal principal Levas	5	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Eje transversal 1 buje	1	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Eje transversal 2 bujes	2	Grasa	Grasa	1 Bombazo
D-01	Rebordeadora eje transversal 1 buje	2	Aceite iso220	Aceitera	1 Bombazo
D-01	Rebordeadora eje transversal 1Leva	3	Aceite iso220	Aceitera	1 Bombazo
D-01	Rebordeadora empujador longitudinal tarro guías	4	Aceite iso220	Aceitera	
D-01	Rebordeadora rebordeador tarro guías	4	Aceite vactra 4 iso220	Aceitera	
D-01	Rebordeadora empujador transversal tarro guías	2	Aceite vactra 4 iso220	Aceitera	
D-01	Rebordeadora empujador transversal tarro seguidor de levas	1	Aceite iso220	Aceitera	
D-01	Rebordeadora empujador transversal tarro articulación pin	1	Aceite iso220	Aceitera	
D-01	Rebordeadora empujador transversal tarro buje	1	Aceite iso220	Aceitera	
D-01	Rebordeadora empujador transversal tarro punto	1	Aceite iso220	Aceitera	
M-01	Brazos Punzones buje	2	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Brazos cuchillas 1 y 2 pivote	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Yunke guía vertical	2	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Yunke guía eje accionador	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Garras pines articulación buje	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Eje longitudinal engranajes cónicos	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Eje transversal 2 engranajes	4	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Eje transversal 3 bujes	2	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Eje transversal 3 levas	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Ventosa biela	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Ventosa eje guía	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Sistema de vacío ventosa biela	1	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Sistema de vacío ventosa cilindro	3	Grasa	Bomba	1 Bombazo
M-01	Rebordeadora eje transversal 2 chumaceras	2	Grasa	Bomba	1 Bombazo

MAQUINA	SLITTER CUERPOS DE BLINDAJE 1
NUMERO	M606

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
S-02	Barras de avance	2	Aceite	Aceitera	
S-02	Leva barras de avance	1	Grasa	Grasera	
M-02	Cadena	1	Cadenoil	Tarro dispensador	
M-06	Rodamientos cónicos	2	Grasa	Película mano-grasera	
M-06	Piñones	2	Grasa	Película mano-grasera	

MAQUINA	SLITTER TIRAS DE BLINDAJE 1
NUMERO	M607

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
M-02	Cadena	2	Cadenoil	Tarro dispensador	
M-06	Rodamientos cónicos	2	Grasa	Película mano-grasera	
M-06	Piñones	2	Grasa	Película mano-grasera	

MAQUINA	FLEXADORA
NUMERO	M616

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
S-02	Buje rodillos	2	Grasa	Grasera	
M-01	Engranaje	2	Grasa	Película mano-Grasera	

MAQUINA	TUBULADORA DE CARTON 1
NUMERO	M615

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
D-01	2 Ejes guías del carro corte de tubo	4	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje articulación conversor de movimiento	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Cuñeras eje de cuchillas	2	Aceite	Aceitera	
D-01	Mandril giratorio	1	Aceite vactra	Aceitera	
D-01	Eje piñón leva corte cuchilla	1	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Cuchillas	25	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Eje piñón leva corte cuchilla	1	Grasa	Película mano-grasera	
S-02	Chumacera eje piñón	2	Grasa	Grasera	
S-02	Mandril giratorio	2	Grasa	Grasera	
M-01	Eje transportadora (carreta) de mandril giratorio	1	Grasa	Grasera	Revisión-lubricación
M-01	Seguidores de la carreta del mandril giratorio	1	Grasa	Película mano-grasera	Revisión-lubricación
M-01	Eje soporte piñón cadena conducido	2	Grasa	Grasera	
M-01	Sistema cardanes, botellas, rodamiento (formadora)	12	Grasa	Grasera	Revisión-lubricación
M-06	Bomba sistema de lubricación	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio
M-06	Reductor (tubuladora)	2	Aceite	Manual	Revisión-cambio
M-06	Reductor de velocidad (formadora)	1	Aceite	Manual	Revisión-cambio
M-06	Cadena	6	Grasa	Película mano-grasera	
M-06	Chumacera	7	Grasa	Grasera	

MAQUINA	EXTRUSOR SCHULER X150 1-2
NUMERO	M645-M646

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
S-01	Eje acondicionador de la articulación de monedas	2	Grasa	Grasera	
S-01	Mecanismo muñeca	2	Grasa	Grasera	
S-01	Transportador de monedas	1	Grasa	Película mano-Grasera	
S-01	2 Rodamientos alimentador de monedas	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	2 Cadenas de la muñeca	2	Cadenoil	Tarro	
S-01	Brazo alimentador de monedas	1	Grasa	Película mano-Grasera	
S-01	Leva alimentador de monedas	1	Grasa	Película mano-Grasera	
S-01	Seguidor de leva alimentador de monedas	1	Grasa	Película mano-Grasera	
S-01	Buje articulación brazo alimentador de monedas	2	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Eje de articulación de monedas	1	Aceite vactra	Aceitera	
S-01	Resorte articulación del alimentador de monedas	1	Aceite vactra	Aceitera	
S-02	2 Cadenas transporte de banda de tarros	2	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-02	Ejes de piñón cadena banda de tarros	4	Grasa	Grasera	
S-02	2 Cadenas conductores de la banda de tarros	2	Cadenoil	Tarro dispensador	
S-02	Eje piñón cadena conductor de la banda de tarros	1	Grasa	Grasera	
M-01	Eje conductor y conducido jirafa alimentador de monedas	4	Grasa	Grasera	
M-06	Sistema volante-embrague	1	Grasa	Grasera	
M-06	Rodamiento sistema volante-embrague	1	Grasa	Película mano-Grasera	
M-06	Bomba sistema de lubricación	1	Grasa	Manual	Revisión-cambio
A-01	Analisis de aceite ó Cambio	1	Aceite		Omala 100

MAQUINA	TRIMMER R20
NUMERO	

FRECUENCIA	UBICACIÓN	PUNTOS LUBRICAR	LUBRICANTE	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIO
S-01	Eje cuchilla superior	1	Grasa	Grasera	
S-01	Eje pivote paquete cuchilla superior	1	Grasa	Grasera	
S-01	Piñón relación paquete cuchilla superior	1	Grasa	Grasera	
S-01	Eje cuchilla inferior	2	Grasa	Grasera	
S-01	Eje cruz de malta (estrella divisora)	3	Aceite	Aceitera	
S-01	Eje polea conducido del motor	2	Grasa	Grasera	
S-01	Eje seguidora cruz de malta	2	Grasa	Grasera	
S-01	Piñones rectos	13	Grasa	Película mano	
S-01	Leva mando cuchilla superior	1	Grasa	Película mano	
S-01	Articulación brazo cuchilla superior	2	Aceite Vactra	Aceitera	
S-01	Eje empujador de tarros	2	Aceite Vactra	Aceitera	
S-01	Eje guía botador	2	Aceite Vactra	Aceitera	