

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE
MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA METALES Y PROCESOS DEL
ORIENTE S.A. (MEPSA)

ZAYRA YULIETH PEÑA ROJAS
BRYAN SAMIR SANDOVAL MARÍN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO
PARA LA EMPRESA METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. (MEPSA)

Zayra Yulieth Peña Rojas
Bryan Samir Sandoval Marín

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:
Pedro José Díaz Guerrero
MSc. Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

A Dios, por no desamparar mi anhelo de tener un título y guiar mi camino orientando la toma decisiones.

A mi Abuelita Emma, mis compañeros de cuatro patitas: Yiyo, Teo e Itachi, que se encuentran en el cielo y a mi querido hijo de cuatro patitas Bijuu Hachibi que me dieron todo el amor posible para tener fuerzas de seguir día a día.

A mis padres Luis Peña y Yanith Rojas, a mi Mokosa Nayely Peña Rojas, por apoyarme cuando intentaba decaer, son el regalo y orgullo más hermoso que poseo como familia.

A mis amigos, compañeros y hoy colegas por momentos de diversión, seriedad y caos que me han dejado los mejores recuerdos.

Atte.: Zayra Peña Rojas

En primer lugar a Dios quien ha sido mi guía y fortaleza, que me ha permitido culminar esta etapa de mi vida y su amor y fidelidad me han acompañado hasta el día de hoy.

A mis padres Lorena y Fabio, mi agradecimiento más profundo por su apoyo incondicional, amor y paciencia. Sea este título un tributo y un reconocimiento a la lucha que dieron en su vida por sacarme adelante.

A mi abuela Isabel por sus consejos sabios y el apoyo incondicional que me brindó a lo largo de la carrera.

A mis hermanos quienes han sido pilares de ejemplo y admiración, y me han motivado para seguir adelante.

A mis amigos, compañeros por el apoyo brindado y los momentos compartidos de los cuales me llevo los mejores recuerdos.

Atte.: Bryan Samir Sandoval

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica por su formación integral como profesionales.

Al Docente Ing. MSC. Pedro José Díaz por su asesoría y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la empresa Metales y Procesos del Oriente S.A., en especial a los ingenieros: Iván Sánchez, Ernesto Alfonso, Katherine Pita y Jose Parra por su acompañamiento durante el desarrollo del proyecto y por brindar consejos como futuros profesionales.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. DESCRIPCIÓN Y GENERALIDADES DE LA EMPRESA	16
1.1 ORGANIZACIÓN	17
1.1.1 Misión.....	18
1.1.2 Visión	18
1.2 MAQUINARIA.....	18
1.3 PROCESO	28
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	32
2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	33
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	34
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	36
4.1 FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	36
4.2 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.....	38
4.2.1 Proceso de implementación del Análisis de Modos y Efectos de Falla.	38
4.3 CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD (CMD).....	43
4.3.1 Confiabilidad	45
4.3.2 Mantenibilidad.....	48
4.3.3 Disponibilidad	52
4.3.4 Tiempos esenciales para el análisis CMD.	57
4.3.5 Fundamentos de la distribución de Weibull	59
4.3.6 Modelo universal para pronosticar CMD	60

4.4 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	64
4.4.1 Metodología “5 S”	66
4.4.2 Las Seis Grandes Pérdidas	69
4.4.3 Niveles de implementación del Mantenimiento Autónomo	70
5.IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD	83
5.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN MEPSA.....	83
5.2 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	83
5.3 BASE DE DATOS	85
5.4 FICHAS TÉCNICAS.....	86
5.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	87
6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	91
7. ANÁLISIS DE INDICADORES CMD	100
7.1 CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD	101
7.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD	111
8.ANALISIS DE RESULTADOS.....	128
9.ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	129
9.1 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN MEPSA.....	129
9.2 METODOLOGÍA 5S.....	134
9.2.1 Seiri-Clasificación.....	135
9.2.2 Seiton-Orden.	138
9.2.3 Seiso-Limpieza.....	139
9.2.4 Seiketsu-Estandarización.....	140
9.2.5 Shitsuke-Disciplina.....	140
10. ALTERNATIVAS DE SOFTWARE	142
11. CONCLUSIONES	145
12. RECOMENDACIÓN	148

BIBLIOGRAFÍA.....149
ANEXOS.....151

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Codificación por área de ubicación del equipo.....	84
Tabla 2. Codificación por tipo de equipo.....	84
Tabla 3. Codificación de activos línea de producción mepsa.	85
Tabla 4. Ficha técnica de equipos.	87
Tabla 5. Criterio de frecuencia de falla.	88
Tabla 6. Criterio de impacto operacional.	88
Tabla 7. Criterio de flexibilidad operacional.	89
Tabla 8. Criterio de costos de mantenimiento.....	89
Tabla 9. Criterio de impacto a la seguridad humana y medio ambiente.	89
Tabla 10. Resultados del análisis de criticidad por equipos.....	90
Tabla 11. Modos de fallo del tren de desbaste.	92
Tabla 12. Modos de fallo del tren continuo.	92
Tabla 13. Modos de fallo del tren acabador.....	92
Tabla 14. Planteamiento de hipótesis y análisis de causas raíces para desbaste.....	95
Tabla 15. Planteamiento de hipótesis y análisis de causas raíces continuo.....	96
Tabla 16. Planteamiento de hipótesis y análisis de causas raíces acabador.	96
Tabla 17. Disponibilidad por el método puntual de promedios	101
Tabla 18. Resultados de parámetros tren de desbaste	108
Tabla 19. Resultados de parámetros tren continuo	109
Tabla 20. Resultados de parámetros tren acabador	109
Tabla 21. Pautas para organizar artículos necesarios.	139

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fotografía de antaño de la entrada de mepesa.	16
Figura 2. Estructura organizacional del departamento de mantenimiento.	17
Figura 3. Equipo de trabajo mepesa.	18
Figura 4. Cizalla de palanquilla.	19
Figura 5. Empujador de palanquilla.	20
Figura 6. Horno.	20
Figura 7. Lanza del horno.	21
Figura 8. Ripador.	21
Figura 9. Mesa basculante.	22
Figura 10. Tren 350/450 o tren de desbaste.	22
Figura 11. Mesa fija.	23
Figura 12. Cizalla corte cabeza-cola.	24
Figura 13. Tren continuo.	24
Figura 14. Bucleador.	25
Figura 15. Tren acabador.	25
Figura 16. Cizalla de corte largo.	26
Figura 17. Mesa de enfriamiento.	27
Figura 18. Cizalla de corte final.	27
Figura 19. Mesa de conteo y empaque.	28
Figura 20. Perfiles de acero y varilla corrugada en diferentes calibres.	31
Figura 21. Matriz de criticidad básica.	37
Figura 23. Árbol lógico propuesto por la técnica rca con el alcance hasta fmea. ..	42
Figura 24. Relaciones y leyes que gobiernan un sistema de mantenimiento.	43
Figura 25. Diagrama de estados de un equipo (perfil de funcionalidad).	44
Figura 26. Curva de confiabilidad y de probabilidad de falla para distribución weibull.	48
Figura 27. Curva de la bañera o de davies.	50

Figura 28. Curva de davies de acciones y tácticas adecuadas de acuerdo al valor de beta.....	51
Figura 29. Curva de mantenibilidad para distribución weibull.	52
Figura 30. Tiempos importantes, siglas y demás convenciones cmd.	53
Figura 31. Tipos de disponibilidades a usar en cmd.	54
Figura 32. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran.	56
Figura 33. Distribuciones para estimación cmd.	58
Figura 34. Gráficas para diferentes betas de $\lambda(t)$, $f(t)$ y $f(t)$ en weibull.	60
Figura 35. Modelo universal propuesto para la medicion cmd.	62
Figura 36. Relación de actividades y responsabilidades en el ma.	65
Figura 37. Efectos producidos por suciedad.	73
Figura 38. Evolución hacia la detección de anomalías desde la limpieza.	73
Figura 39. Etiquetas para la señalización de anomalías.	74
Figura 40. Actividades a realizar en la primera etapa.	75
Figura 41. Problemas que se pueden presentar en el ma y acciones para superar las dificultades.	82
Figura 42. Registro de información en el inventario.	86
Figura 43. Matriz de criticidad para la jerarquización de activos.	90
Figura 44. Diagrama de pareto de modos de fallo tren de desbaste.	93
Figura 45. Diagrama de pareto de modos de fallo tren continuo.	93
Figura 46. Diagrama de pareto de modos de fallo tren acabador.	94
Figura 47.Árbol lógico rca tren de desbaste.	97
Figura 48. Árbol lógico rca tren continuo.	98
Figura 49. Árbol lógico rca tren acabador.	98
Figura 50 Disponibilidad por el método puntual de promedios.	101
Figura 51. Datos tbf y ttr tren de desbaste programa cmd.	102
Figura 52. Datos tbf y ttr tren continuo programa cmd.	102
Figura 53. Datos tbf y ttr tren acabador programa cmd.	103
Figura 54. Resultados de mtbf y mtrr tren de desbaste con cmd.	104

Figura 55. Resultados de mtbf y mtrr tren continuo con cmd.....	104
Figura 56. Resultados de mtbf y mtrr tren acabador con cmd	105
Figura 57. Resultado de mtbf tren de desbaste	105
Figura 58. Resultado de mtrr tren de desbaste	106
figura 59. Resultado de mtbf tren continuo	106
Figura 60. Resultado de mtrr tren continuo.....	107
Figura 61. Resultado de mtbf tren acabador.....	107
Figura 62. Resultado de mtrr tren acabador	108
Figura 63. Curva de supervivencia con cmd.....	111
Figura 64. Curva de supervivencia con weibull.....	111
Figura 65. Probabilidad de falla (no confiabilidad) con cmd.....	112
Figura 66. Probabilidad de falla (no confiabilidad) con weibull	113
Figura 67. Densidad de fallas con weibull.....	113
Figura 68. Tasa de fallas con weibull.....	114
Figura 69. curva de mantenibilidad con cmd	115
Figura 70. Curva de mantenibilidad con weibull.....	115
Figura 71. Densidad de reparaciones con weibull	116
Figura 72. Curva de supervivencia con cmd.....	117
Figura 73. Curva de supervivencia con weibull.....	117
figura 74. Probabilidad de falla (no confiabilidad) con cmd.....	118
Figura 75. Probabilidad de falla (no confiabilidad) con weibull	118
Figura 76. Densidad de fallas con cmd.....	119
Figura 77. Tasa de fallas con cmd	120
Figura 78. Curva de mantenibilidad con cmd.....	120
Figura 79. Curva de mantenibilidad con weibull.....	121
Figura 80. Densidad de reparaciones con cmd	121
Figura 81. Curva de supervivencia con cmd.....	122
Figura 82. Curva de supervivencia con weibull.....	122
Figura 83. Probabilidad de falla (no confiabilidad) con cmd.....	123
Figura 84. Probabilidad de falla (no confiabilidad) con weibull	123

Figura 85. Densidad de fallas con cmd.....	124
Figura 86. Tasa de fallas con cmd.....	124
Figura 87. Curva de mantenibilidad con cmd.....	125
Figura 88. Curva de mantenibilidad con weibull.....	125
Figura 89. Densidad de reparaciones con cmd	126
Figura 90. Lista de chequeo general de los equipos.....	131
Figura 91. Rutina de inspección operativa autónoma.....	132
Figura 92. Tarjeta de anomalía que debe atender el área de mantenimiento.....	133
Figura 93. Tarjeta de anomalía que debe atender el área operativa.	133
Figura 94. Diagrama de flujo clasificación de objetos.....	136
Figura 95. Formato tarjeta roja 5s.....	137
Figura 96. Formato lista de elementos innecesarios.....	138
Figura 97. Evaluación de la metodología 5s.....	141
Figura 98. Software mp empresarial versión 10.....	142
Figura 99. Software infomante.....	143
Figura 100. Software win administrador de mantenimiento.....	143
Figura 101. Software mántumcmms.....	144

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Fichas técnicas de los equipos.....	151
Anexo B. Base de datos de fallas de los equipos que conforman la línea de producción (año 2019).....	165

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. (MEPSA)*

AUTORES: ZAYRA YULIETH PEÑA ROJAS Y BRYAN SAMIR SANDOVAL MARÍN**

PALABRAS CLAVE: MEPSA, MANTENIMIENTO, CRITICIDAD, AMEF, CMD.

DESCRIPCIÓN:

Este documento presenta el diseño de un plan para la gestión de mantenimiento con base en la metodología de mantenimiento autónomo para la empresa Metales y Procesos del Oriente S.A. (MEPSA), empresa del sector siderúrgico dedicada a la fabricación de perfiles de acero estructurales como los son cuadrados, ángulos, platinas, varillas lisas y corrugadas.

La primera parte del proyecto consiste en presentar la información teórica que será de utilidad para los autores en el desarrollo del proyecto. En segundo lugar, se recopila y actualiza la información de los equipos pertinentes a la única línea de producción de modo que se pueda evaluar el nivel de criticidad de los activos y actuar sobre los equipos con un alto índice de criticidad. Se realiza un análisis de modos y efectos de falla a los equipos críticos para identificar las causas de mayor incidencia que producen las fallas funcionales, con posterior análisis CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) para evaluar los indicadores de mantenimiento.

Por otra parte, para los equipos que conforman la línea de producción se diseña una estrategia de mantenimiento autónomo que tiene por objetivo involucrar al personal operativo en la ejecución de rutinas de diferente frecuencia de mantenimiento. Finalmente, se sugiere a la empresa adquirir un CMMS (Computerized Maintenance Management System) que facilite el control automatizado en la ejecución del mantenimiento. Para ello se exponen cuatro alternativas de software en las que se evalúa el costo-beneficio de su utilidad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero, MSc. Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A COMPREHENSIVE MAINTENANCE MANAGEMENT MODEL FOR THE COMPANY METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. (MEPSA)*

AUTHORS: ZAYRA YULIETH PEÑA ROJAS Y BRYAN SAMIR SANDOVAL MARÍN**

KEY WORDS: MEPSA, MAINTENANCE, CRITICITY, FMEA, RAM.

DESCRIPTION:

This document presents the design of a maintenance management plan based on the autonomous maintenance methodology for the company Metales y Procesos del Oriente S.A. (MEPSA), a company in the steel sector dedicated to the manufacture of structural steel profiles such as squares, angles, plates, smooth and corrugated rods.

The first part of the project consists of presenting the theoretical information that will be useful for the authors in the development of the project. Second, the information from the equipment relevant to the single production line is collected and updated so that the criticality level of the assets can be assessed and the equipment with a high criticality index can be acted upon. A failure mode and effect analysis is performed on critical equipment to identify the causes of greatest incidence that produce functional failures, with subsequent RAM analysis (Reliability, Maintainability and Availability) to evaluate the maintenance indicators.

On the other hand, for the equipment that make up the production line, an autonomous maintenance strategy is designed that aims to involve the operating personnel in the execution of routines of different maintenance frequencies. Finally, it is suggested that the company acquire a CMMS (Computerized Maintenance Management System) that facilitates automated control in the execution of maintenance. For this, four software alternatives are exposed in which the cost-benefit of its utility is evaluated.

* Degree work.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Pedro José Díaz Guerrero, MSc. Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La empresa Metales y Procesos del Oriente S.A. desarrolla sus labores en la ciudadela industrial de la ciudad de Duitama haciendo parte del sector siderúrgico logrando posicionar su variedad de perfiles como productos de buena calidad a nivel nacional. Su actual gestión de mantenimiento se basa en corregir las fallas cuando ocurren, de manera que el objetivo del proyecto es diseñar una estrategia de mantenimiento que esté orientada a prevenir las fallas por medio de actividades rutinarias de mantenimiento que involucren al personal operativo.

El mantenimiento correctivo que maneja la empresa obliga a que el personal involucrado en la solución es únicamente el que hace parte del área de mantenimiento. Por lo cual se estudia la posibilidad de poner en práctica un mantenimiento de clase mundial que permita la participación general de la familia MEPSA, dejando que el área de mantenimiento se convierta en un equipo de supervisión y en última instancia de intervención, dando el espacio para que la solución a problemas sea resuelta por los miembros operativos de la línea.

Para la correspondiente ejecución de la estrategia se requirió un estudio inicial de los equipos, donde se hallaron equipos y/o mecanismos adaptados al trabajo requerido y con un estudio de ajuste a la necesidad, por lo cual no poseían información de fábrica. Se sintetizó en medios informáticos la información encontrada, con el fin de exportar la información a un CMMS que proporcionara un manejo más sistematizado del mantenimiento a realizar, no obstante la finalidad del desarrollo del proyecto fue brindarles una estrategia que puedan implementar, con ayuda de diferentes software existentes y así elevar estándares de calidad como empresa, dejando al mantenimiento correctivo como aquel necesario cuando ocurra alguna falla inminente, pero con menos frecuencia del manejo del mismo y adaptando el mantenimiento autónomo como el pionero en el área.

1. DESCRIPCIÓN Y GENERALIDADES DE LA EMPRESA

La empresa Metales y Procesos del Oriente S.A. (MEPSA), es una empresa metalúrgica ubicada en la ciudadela Industrial de Duitama que inicio sus actividades en el año 1981 como una pequeña organización, utilizando materias primas como despuntes y cobres de acero.

Figura 1. Fotografía de antaño de la entrada de MEPSA.



Fuente: Metales y Procesos del Oriente S.A. Marzo 13 de 2021

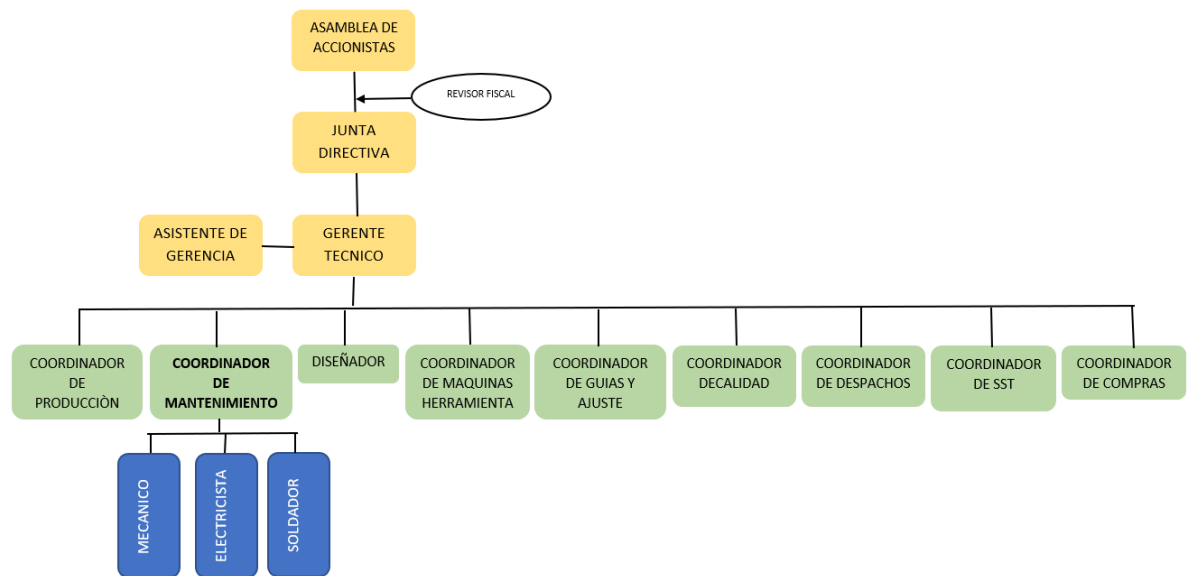
El objeto social básico es la fabricación de productos de acero en diferentes presentaciones y dimensiones para la industria y la construcción mediante el proceso denominado laminación. El proceso de fabricación se realiza por medio de laminado en caliente el cual, se basa en elevar la temperatura del material al punto de cristalización, donde su microestructura empieza a sufrir una transformación en su red cristalina, formando una nueva estructura. Dicho proceso de laminado es usado en aceros aleados donde se manejan temperaturas 0.9 veces la temperatura de fusión. Debido a que el proceso se realiza a altas temperaturas, se usan vías de rodillos que permiten la disminución de la temperatura.

Actualmente usa palanquilla de acero saliente de máquinas de colada continua para realizar el proceso de laminación en caliente con la finalidad de obtener perfiles livianos de acero al carbono más usados en el mercado; como lo son: perfiles cuadrados, platinas, ángulos, varilla lisa y varilla corrugada.

1.1 ORGANIZACIÓN

La empresa MEPSA posee su organigrama de jerarquización, donde se aprecia como tiene entes definidos administrativamente, para el caso actual se citará la organización del área de mantenimiento.

Figura 2. Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento.



Fuente: Metales y Procesos del Oriente S.A. Marzo 13 de 2021

Como toda compañía los valores empresariales se tienen presente para un objetivo de crecer y generar estatus entre las compañías siderúrgicas del país. Se recalca que su creación fue de tipo familiar por lo que el bienestar de su grupo de trabajo es pieza clave en su crecimiento productivo.

1.1.1 Misión. Brindar a nuestros clientes soluciones a sus necesidades constructivas a través de un amplio portafolio de productos que adicionalmente generen valor para nuestros accionistas y contribuyan a la calidad de vida de nuestros trabajadores.

1.1.2 Visión. Alcanzar mayor competitividad sustentada en la eficiencia de nuestra cadena de valor, participación y reconocimiento en el mercado.

Figura 3. Equipo de trabajo MEPSA.



Fuente: Metales y Procesos del Oriente S.A. Marzo 13 de 2021

1.2 MAQUINARIA

- Cizalla de palanquilla: Máquina encargada de cortar la palanquilla a una longitud específica de 60 cm con sección transversal de 13x13 cm. Su proceso se realiza introduciendo la barra de palanquilla hasta un tope ya designado, donde el operario mediante un accionamiento por pedal le permitirá ejercer la fuerza de corte.

Figura 4. Cizalla de palanquilla.



- Empujador de palanquilla: Máquina compuesta de un tornillo sin fin, mesa y barra que permite el movimiento lineal de empuje de los cortes de palanquilla a introducción al horno. En la mesa hay un cupo para 12 empujadas¹ (cada empujada se compone de 9 cortes de palanquilla), que con su sistema lineal permite que cada corte empiece a elevar su temperatura. El empujador de palanquilla tiene un movimiento lineal hasta la entrada del horno, pero la mesa sobre la cual se encuentran las empujadas de palanquilla va hasta el extremo final del horno.

¹ (*) Empujada: termino coloquial de producción para armar un bloque de 9 cortes a 60 cm de palanquilla.

Figura 5. Empujador de palanquilla.



- Horno: Compuesto por quemadores a base de combustible que eleva la temperatura dentro de la mesa, con la ayuda de ladrillos refractarios que permiten aislar el calor del interior con el exterior y posee una solera con un área de 30 m². Su capacidad interna permite el comienzo del proceso de laminación a una temperatura aproximada de 1150 a 1300 °C. Como máquinas de apoyo se tiene la lanza del horno y ripador. Capacidad de almacenamiento dentro del horno es de 108 cortes de palanquilla.

Figura 6. Horno



- Lanza del horno: Mecanismo compuesto por sistema de transmisión por cadena, donde un piñón permite el movimiento básico del equipo (avance y retroceso). El diseño del piñón es único para que pueda encajar con los

eslabones que posee la lanza. Su movimiento facilita el cambio de dirección del corte de palanquilla que debe salir del horno para empezar el proceso de desbaste.

Figura 7. Lanza del horno.



- Ripador: Mecanismo diseñado similar a un camino de rodillos con la modificación de que cada cierto paso posee un garfio de agarre que permite sujetar el corte saliente del horno y poderlo transportar hasta los canales de la mesa basculante, donde la pieza empezará el proceso de desbaste.

Figura 8. Ripador



- Mesa basculante: Como su nombre lo indica se compone de una base con divisiones que permite acanalar el paso de la palanquilla a desbastar por el tren 350/450 (tren de desbaste). Tiene la particularidad de que esta mesa tiene un movimiento ascendente-descendente y con este movimiento permite introducir la palanquilla en cada uno de los pasos requeridos para tomar la forma que se desea moldear.

Figura 9. Mesa basculante.



- Tren de desbaste: También llamado como tren 350/450 compuesto por un castillo o caja que almacena los cilindros de desbaste, que de acuerdo a la forma, permiten que la palanquilla tome la forma de un hilo a una temperatura ligeramente menor en comparación de cuando sale del horno; esto se debe a que los cilindros son refrigerados con agua ambiente y retiran porción de calor de la varilla.

Figura 10. Tren 350/450 o tren de desbaste.



- Mesa fija: Compuesta por canales de rodillos que facilitan el movimiento transversal del hilo de desbaste saliente y entrante por el tren de desbaste. Su trabajo es supervisado por un operador que está al tanto de que el hilo de palanquilla sea inyectado perfectamente al cilindro correspondiente del tren de desbaste para cumplir los pasos necesarios que tiene la fabricación del perfil.

Figura 11. Mesa fija.



- Cizalla corte cabeza-cola: Máquina encargada de realizar el despunte del hilo desbastado, con el fin de que mejore la calidad del perfil. El perfil una vez sale del desbaste donde su proceso disminuye ligeramente su temperatura, se ve afectado por grietas en los extremos que influye en la calidad del producto, por tal razón la cizalla realiza un corte limpio en cada uno de sus extremos para retirar estas imperfecciones. El corte se realiza por medio de un sensor y un temporizador: el sensor activa el primer corte “cabeza” y luego de este corte hay un temporizador que al terminar produce el corte final “cola”.

Figura 12. Cizalla corte cabeza-cola.



- Tren continuo: Área compuesta por tres secciones en la que cada sección cuenta con un motor, un reductor, un castillo de cilindros. Este tren maneja una velocidad en aumento y va generando la forma en la que el perfil se desea. Usa transmisión cardan para transmitir su potencia desde el área motriz al actuador.

Figura 13. Tren continuo.



- Bucleador: Mecanismo diseñado en fábrica que permite crear un bucle que no afecte la calidad del producto y empalme el tren continuo con el tren dos (tren acabador). Compuesto por un sensor y un actuador que cambia la

dirección del hilo con el fin de generar un tiempo de inyección óptimo a la siguiente sección.

Figura 14. Bucleador



- Tren acabador: Esta sección al igual que el tren anterior posee tres secciones, con la diferencia que su posición es en paralelo y la compone un sólo motor con su correspondiente reductor. Este proceso se encarga de darle la forma final al perfil, que según sea la fabricación requerirá uno o dos pasos. En esta área es necesario un operador que realice el trabajo de recibir e inyectar el perfil con herramienta de agarre para que el operario no sufra ningún incidente.

Figura 15. Tren acabador.



- Cizalla de corte largo: Esta máquina del fabricante Danieli, cumple la función de recibir el hilo con el acabado final y producir un corte de longitud a 18 metros. Este proceso se realiza por medio de un sensor y temporizador que esta adecuado para que efectúe el corte de longitud deseada.

Figura 16. Cizalla de corte largo.



- Mesa de enfriamiento: Mesa compuesta por una sección de láminas y otra de rejillas, con movimiento accionado por cadenas que permite el movimiento transversal del perfil. La sección en lámina es la que recibe el perfil a una temperatura alta y su finalidad es absorber las altas temperaturas para que el perfil fabricado selle propiedades y pase a un enfriamiento ambiente para su posterior traslado al área de corte y empaque. Medidas de la mesa 3 m de ancho por 18 m de largo. Pendiente de 10°.

Figura 17. Mesa de enfriamiento.



- Cizalla de corte final y mesa de empaque: Su funcionamiento es igual al de la cizalla de corte largo, con la variación de que su temporizador esta para efectuar un corte a 6 metros, con lo cual el perfil pasa a la mesa para el conteo y empaque.

Figura 18. Cizalla de corte final



Según sea el perfil a distribuir el operario en esta área tiene el cálculo de la cantidad que se empaca para su correspondiente cargue en tractocamión y su transporte al lugar deseado.

Figura 19. Mesa de conteo y empaque



1.3 PROCESO

La producción de perfiles se hace con estudio previo de cantidad de palanquilla que se debe cortar, introducir al horno y la cantidad de empaquetado. Con el fin de optimizar tiempos de producción y distribución. La empresa posee un calendario de producción de perfiles con el fin de programar el cambio al área de producción y efectuar las variaciones en los trenes para que el perfil posea la forma deseada. La compañía incluye tiempos de cambios en trenes y posibles perfiles defectuosos. Posee laboratorio de ensayos, donde cada producción es evaluada para su óptimo desempeño.

1. La materia prima es la palanquilla que llega por distribución directa de diferentes proveedores, la cual se debe trasladar a un camino de rodillos que la transporte en hilera a la cizalla de palanquilla para proceder a cortar a 60 cm de longitud. Los cortes se realizan a una cantidad específica que cubra la producción del perfil requerido.
2. Con el fin de armar un bloque de “empujada” que será puesto en la mesa de introducción al horno y que el empujador procede a introducir al horno.

3. Dentro del horno hay espacio para el proceso lineal de calentamiento para 12 empujadas que por medio de sensor mantiene un límite y así se realice un proceso cíclico de empujar y retroceder a posición inicial para controlar el proceso.
4. Una vez se encuentra la materia prima dentro del horno, esta eleva su temperatura hasta empezar el proceso de laminación. En su expulsión del horno trabajan dos equipos secuencialmente.
5. La lanza del horno permite llevar la palanquilla a la puerta de salida al ripador. Dicho proceso se realiza de la siguiente manera: dentro del horno los cortes a 60 cm que entran en fila son empujados dando el espacio para que únicamente lleve un corte al inicio del ripador.
6. En el ripador, mediante su mecanismo único se engancha la palanquilla a una temperatura elevada (en esta área la palanquilla sale al rojo vivo donde su forma se puede empezar a moldear). El ripador le permite al corte trasladarse hacia la mesa basculante, donde la palanquilla empieza su proceso de desbaste.
7. El proceso de desbaste se realiza por medio de tres maquinarias las cuales trabajan conjuntas:
 - Por la mesa basculante, que mediante su función permitirá la introducción y el paso por los canales del elemento a desbastar, con el fin de que quien realiza ese moldeo de material sea el tren 350.
 - Tren 350, donde al pasar 10 veces permite darle la forma de hilo a nuestro corte con una reducción de temperatura.
 - Mesa fija, permite el paso por canales del hilo desbastado.

La finalidad en esta área es que el bloque se convierta en un hilo alargado, y esto se logra: el bloque cae a la mesa basculante que se introduce a uno de los orificios de desbaste del tren 350 y sale a uno de los canales de la mesa fija. Esta se encarga de recibir y reintroducir por otro orificio del tren 350 el hilo desbastado, el cual vuelve a caer a la mesa basculante. Cada paso por el tren 350 se conoce como “pasada”, y el proceso de desbaste debe tener 10 pasadas.

8. Al obtener el hilo de palanquilla a una temperatura elevada, este pasa al camino de rodillos que deberá entrar al tren continuo que empieza a darle la forma del perfil deseado, pero ya que es un proceso de altas temperaturas, el material después de las pasadas por el tren de desbaste puede presentar aberturas en los extremos, por tal razón el hilo pasa antes por una cizalla denominada cabeza – cola que permite el corte en los extremos del hilo.
9. En el tren continuo su temperatura empieza a disminuir a un punto en el que aún se deje moldear. Su tono seguirá siendo rojo brillante, pero el perfil ya empieza a tomar la forma deseada.
10. Luego de su paso por el tren continuo, el hilo pasa por un bucleador, el cual permite hacer un seno en el hilo para que el mismo no pierda la forma ya otorgada, debido a la variación de velocidad que tiene el tren acabador con respecto al tren continuo.
11. En el tren acabador permite la disminución de temperatura y el perfil final deseado, con el cual el proceso estaría casi finalizado.
12. La expulsión del perfil va a un camino de rodillos, el cual comunica el tren acabador con la mesa de enfriamiento. En este camino hay un paso obligado por la cizalla de corte, la cual permite cortar el perfil a 18 metros de longitud.

13. El perfil llega a la mesa de enfriamiento en la cual inicialmente se acerca a unas placas que absorben la temperatura final que trae el perfil después de su paso por el tren acabador.
14. Finalmente, luego de su paso por las placas, pasa a las rejillas de la mesa de enfriamiento que ya empiezan a regular a temperatura ambiente y trasladar el perfil al canal de transporte a la zona de empaque.
15. Con el propósito de facilitar el transporte de los perfiles se ve obligado a que la varilla pase por una cizalla de corte a 6 metros. Según sea el perfil producido se tiene la contabilidad de que cantidad de perfiles hacen el peso de amarre para proceder al cargue y distribución del perfil extruido.

Figura 20. Perfiles de acero y varilla corrugada en diferentes calibres.



Fuente: Metales y Procesos del Oriente S.A. Marzo 13 de 2021

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Metales y Procesos del Oriente S.A. es una metalúrgica ubicada en la ciudadela industrial de Duitama Boyacá con más de 35 años de experiencia dedicada a la fabricación de productos de acero para la industria nacional en diferentes presentaciones y dimensiones en las que incluye: perfiles y varilla de diferentes calibres, elaboradas por medio de una línea de producción continua la cual está sometida actualmente a un mantenimiento correctivo con inspecciones periódicas, pero este tipo de mantenimiento no es suficiente para satisfacer el buen funcionamiento de los equipos y prevenir las fallas, de ahí que sea necesario diseñar una metodología que permita gestionar el mantenimiento de los equipos de manera adecuada.

El estado de la maquinaria, su funcionamiento, las condiciones del área de trabajo, entre otros factores, influyen directamente en la producción, por lo tanto, es importante conocer las principales causas que pueden generar fallas en los equipos, paros en la producción, tiempos muertos, altos costos de mantenimiento, baja calidad en los productos, y de alguna manera prevenir que esto suceda.

Asimismo, se requiere fomentar una cultura de organización y cuidado de los equipos por parte del personal operativo, que adquieran habilidades para resolver cualquier tipo de falla que se presente en la línea de producción para garantizar las mejores condiciones de operación.

Por otra parte, la empresa requiere de un software de mantenimiento que permita sistematizar toda la información referente a los equipos, realizar un seguimiento de las actividades de mantenimiento y facilitar su ejecución, por esto es importante

buscar un programa que se ajuste a los requerimientos y brinde un entorno adecuado para la planificación del mantenimiento.

Con el fin de que la empresa optimice la ejecución del mantenimiento, se plantea diseñar una estrategia de mantenimiento autónomo para la maquinaria que conforma la línea de producción de la empresa de manera que los incluya en un mantenimiento de clase mundial.

2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Con el fin de posicionar a la empresa Metales y Procesos del Oriente S.A. en un mantenimiento de clase mundial se propone diseñar una estrategia de mantenimiento autónomo que permita hacer partícipe el personal operativo en la ejecución del mantenimiento en los equipos que conforman la única línea de producción existente en la empresa.

El diseño de la estrategia incluye la recolección, organización, análisis, tratamiento y documentación de la información de los equipos que conforman la única línea de producción con base a la norma ISO 14224, de manera que se puedan identificar los equipos más críticos y las causas primarias que ocasionan sus fallas funcionales. Asimismo, realizar una evaluación integral y específica del manteamiento mediante un análisis probabilístico de CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad).

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Fortalecer el vínculo universidad-empresa, y contribuir con la misión institucional de la Universidad Industrial de Santander en el desarrollo de soluciones a las necesidades de la industria al diseñar una estrategia de mantenimiento autónomo en los equipos que actúan en la línea de producción de la empresa Metales y Procesos del Oriente S.A.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y actualizar la información referente a los equipos en cuanto a inventario, frecuencias de falla, codificación, fichas técnicas de los equipos, entre otros.
- Identificar los equipos más críticos de la línea de producción con base en un análisis de criticidad.
- Realizar un análisis de modos y efectos de falla a los activos críticos que intervienen en la línea de producción identificando las causas primarias que pueden ocasionar fallas funcionales, de manera que se puedan determinar estrategias para aumentar la confiabilidad de los equipos.
- Realizar un análisis de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad a los activos críticos a partir de la información recopilada de mantenimientos.

- Diseñar una metodología de mantenimiento autónomo que involucre al personal operativo en la ejecución de rutinas de mantenimiento, delegando funciones y asumiendo responsabilidades sobre los equipos para garantizar mayor seguridad y disponibilidad de los activos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

4.1 FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar de acuerdo a su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos humanos, económicos y tecnológicos², creando así una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basándose en la realidad actual.

El modelo de criticidad se describe como un proceso de análisis semicuantitativo, soportado en el concepto del riesgo. Una aplicación de este método fue desarrollada por el grupo de consultoría inglesa (The Woodhouse Partnership Ltd.) y con esta metodología se puede hacer una estimación del riesgo causado por fallas y sus consecuencias. A continuación se muestra la expresión para calcular la criticidad de un activo:

$$\text{Criticidad} = FF * C$$

FF = Frecuencia o tasa de falla

C = Consecuencia de los eventos de falla

Para hallar la consecuencia de falla se utilizan factores ponderados de cada uno de los criterios que serán evaluados, que para este caso son el impacto operacional, flexibilidad operacional, los costos de reparación de equipos y el impacto en la seguridad y el medio ambiente:

$$C = (IO * FO) + CM + SA$$

IO = Impacto Operacional

FO = Flexibilidad Operacional

² PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Sevilla: Ingeman, 2012. p.57.

CM = Costos de Mantenimiento

SA = Impacto en Seguridad y Ambiente

Las características para cada criterio y la selección de los factores ponderados se determinan de acuerdo al contexto operacional del activo en estudio. Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo se toman los valores de cada uno de los factores principales de frecuencia y consecuencia de falla y se ubican en la matriz de criticidad (Ver Figura 21). El valor de la frecuencia de falla se ubica en el eje vertical y el valor de la consecuencia en el eje horizontal (se toma el resultado total de la ecuación 2) y el rango de las áreas jerarquizadas puede variar de acuerdo con los criterios y parámetros de los evaluadores. La matriz permite visualizar el nivel de criticidad del equipo y jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

Figura 21. Matriz de criticidad básica.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Sevilla: Ingeman, 2012. p.62.

4.2 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

El Análisis de modos y efectos de falla (FMEA siglas en inglés) es una de las herramientas con el mayor potencial para ayudar a cumplir los objetivos de minimizar el impacto de las fallas y de maximizar la confiabilidad operacional de los activos³. La metodología FMEA se fundamenta en la necesidad de resolver problemas encontrando las causas primarias de estos, de manera que se puedan identificar soluciones adecuadas.

Existen muchos tipos de problemas y varias formas de resolverlos. En muchos casos los problemas han sido resueltos basándose en reglas previamente establecidas. Desafortunadamente, el día a día está basado en eventos y en muchos casos estos no siguen reglas. Sin embargo, el FMEA reconoce que los problemas pueden agruparse en las siguientes dos categorías:

- Problemas basados en reglas: son aquellos basados en convenciones y reglas que dictan una respuesta correcta única.
- Problemas basados en eventos: son aquellos que dependen de las leyes causa y efecto donde existe más de una solución.

Al ignorar las diferencias intrínsecas entre estas dos definiciones, se intenta resolver problemas basados en eventos con soluciones que únicamente aplican a los basados en reglas. Esta es una de las principales causas de la ineffectividad de las soluciones implementadas.

4.2.1 Proceso de implementación del Análisis de Modos y Efectos de Falla.

- Formación del equipo de trabajo: El equipo de trabajo se define dentro del contexto del FMEA como un conjunto de personas que cumplen diferentes

³ LATINO, Robert y LATINO, Kenneth. Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom Line Results. 2 ed. Florida: CRC Press, 2002. 264 p.

roles en la organización y que trabajan juntos para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. Este grupo debe estar capacitado en el análisis de fallas, los niveles de causas y por supuesto tener conocimiento de los pasos a seguir para aplicar la metodología FMEA.

- Definición y jerarquización de los problemas: La primera actividad que debe desarrollar el equipo de trabajo consiste en definir y jerarquizar los problemas existentes en el área que va ser evaluada. Para definir adecuadamente un problema se debe responder de forma estructurada las siguientes preguntas:

¿Qué?: ¿Qué fue lo que ocurrió y cuáles fueron los síntomas? Esta pregunta se recomienda que se responda a nivel de equipos o sistemas. Por ejemplo: fallos en el sistema de compresión (síntoma: baja presión), fallos en el sistema de bombeo (síntoma: bajo caudal), fallos en el motor eléctrico (síntoma: alta vibración).

¿Cuándo?: ¿Cuándo ocurrió? Se incluyen las fechas y las frecuencias de recurrencia del evento.

¿Dónde?: ¿Dónde se presentó el problema? Se debe registrar el área o instalación en la cual ocurrió el problema.

¿Importancia? Se describe el impacto y las consecuencias del evento de falla sobre las personas, el ambiente y las operaciones.

- Definición y priorización de los modos de fallo: En la etapa anterior se definen los problemas y el impacto de estos dentro de su contexto operacional. En esta etapa del proceso se toman los problemas de mayor impacto y se identifican los posibles modos de fallo que provocaron estos problemas. Los modos de fallos se definen como los eventos físicos que generan el paro

imprevisto⁴ (problema identificado). El proceso de definición de los modos de fallo, permitirá crear una base de datos común de fallos, la cual debe ser el origen del proceso estadístico de definición de indicadores (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), indicadores que más adelante se utilizaran en el proceso de optimización del mantenimiento.

Se recomienda que se oriente la validación de hipótesis para aquellos modos de fallos que tengan la mayor oportunidad de mejora, y para esto se propone utilizar el criterio de Pareto para analizar y definir las hipótesis en los modos de fallos que generan el 80% de las pérdidas.

- Definición y validación de hipótesis: Una vez definidos los modos de fallos, el equipo de trabajo selecciona los de mayor impacto y se procede a identificar las diferentes hipótesis para cada modo de fallo a ser evaluado. Las hipótesis se definen como los posibles mecanismos que provocan los modos de fallo⁵. Al ser verificada una hipótesis, esta se convierte normalmente en una causa raíz. El resultado final de la etapa de definición de hipótesis consiste en validar las hipótesis más probables y en descartar aquellas que son inconsistentes. Durante el proceso de validación de las hipótesis se deben evaluar aspectos como por ejemplo:

- Variables de operación (información relevante de operación del sistema o equipo, temperatura, presión, flujo, etc.).
- Historiales de mantenimiento.
- Resultados de inspecciones (visuales, ensayos no destructivos, etc.).
- Procedimientos de mantenimiento.

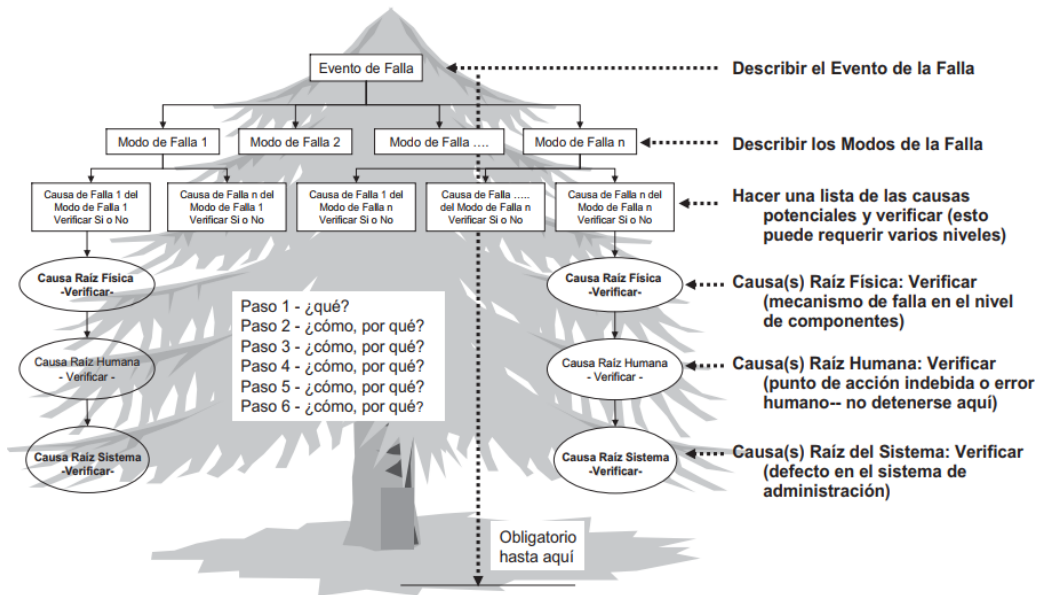
⁴ LATINO, Robert y LATINO, Kenneth. Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom Line Results. 2 ed. Florida: CRC Press, 2002. p.31.

⁵ LATINO, Robert y LATINO, Kenneth. Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom Line Results. 2 ed. Florida: CRC Press, 2002. p.101.

- Procedimientos operacionales.
 - Datos y modificaciones sobre los diseños.
- Definición y validación de modos y efectos de falla: Una vez identificadas las hipótesis se procede a definir las posibles causas primarias para cada una de las hipótesis validadas. La metodología propone identificar y clasificar las causas en tres categorías:
- Causa Física: Se refiere al tipo de causas que envuelven materiales o cosas tangibles.
 - Causa Humana: Se refiere a las causas que generan fallos por errores humanos.
 - Causa Latente: Causas relacionadas con la deficiencia de los sistemas de gestión (reglas, procedimientos, guías, etc.) que permiten que un fallo ocurra.

A continuación, se muestra el árbol de fallos propuesto para la metodología FMEA:

Figura 22. Árbol lógico propuesto por la técnica RCA con el alcance hasta FMEA.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.342.

➤ Definición y evaluación de la efectividad de las soluciones propuestas: Se deben plantear soluciones a un problema para evitar o al menos reducir la recurrencia y el impacto que trae consigo el evento de fallo a la seguridad de las personas, al ambiente, a la calidad y a la producción. Las soluciones propuestas deben satisfacer los siguientes criterios:

- Prevenir o mitigar el problema.
- Prevenir problemas similares.
- No crear problemas adicionales (nuevos modos de fallo).
- Satisfacer las metas y objetivos de la organización y del área afectada (maximizar rentabilidad del negocio).

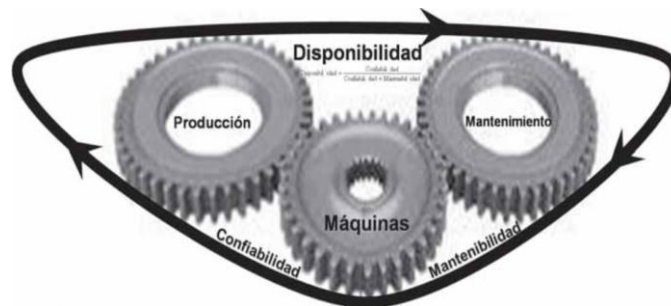
Cuando ya se ha implantado la solución, se propone medir el desempeño de dicha solución con el fin de poder cuantificar el beneficio real del cambio.

4.3 CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD (CMD)

La confiabilidad, mantenibilidad y la disponibilidad (RAM siglas en inglés) son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos para el análisis, evaluación integral y específica del mantenimiento⁶. Por medio del CMD se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar la gestión y la operación del mantenimiento. Asimismo, los indicadores CMD proveen los principios básicos estadísticos y proyectivos de las dos manifestaciones magnas de mantenimiento: fallas y reparaciones.

Los elementos mantenimiento, producción y máquinas se relacionan entre sí a partir de premisas y normas de aceptación universal, de manera que la relación entre productores (producción) y máquinas la establecen los principios de la confiabilidad, la relación entre mantenedores (mantenimiento) y máquinas se define por las reglas de la mantenibilidad y la relación entre mantenedores y productores se da por una relación indirecta a través de los equipos y se soporta en los principios de la disponibilidad⁷.

Figura 23. Relaciones y leyes que gobiernan un sistema de mantenimiento.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.93.

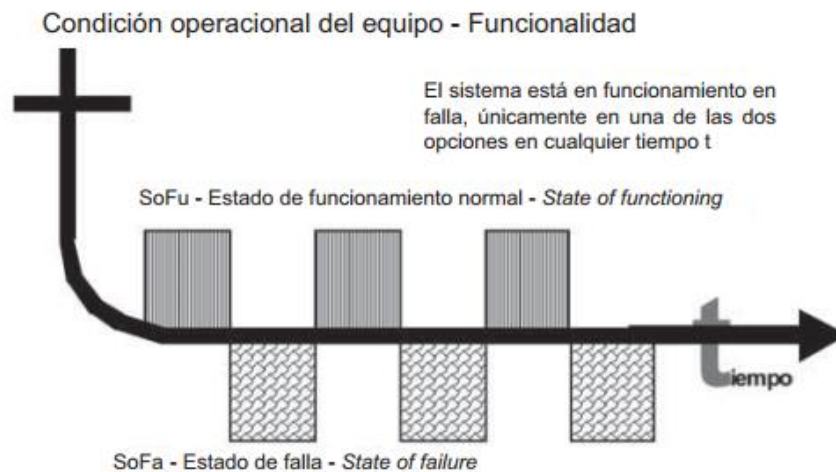
⁶ MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.58-59.

⁷ MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.58.

La confiabilidad se mide a partir del número y la duración de las fallas (tiempos útiles, reparaciones, tareas proactivas, etc.). La mantenibilidad por su parte se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones (o mantenimientos planeados), mientras que la disponibilidad se mide (o se obtiene por cálculo o deducción matemática) a partir de la confiabilidad y mantenibilidad. En pocas palabras, la confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de generar servicios o productos.

Para entender el proceso de estimación de los indicadores CMD es necesario tener bien definido los siguientes términos: falla, tiempos de operación (estado de funcionamiento normal) y tiempos de inactividad (estado de falla) de un activo de producción (Ver figura 25).

Figura 24. Diagrama de estados de un equipo (perfil de funcionalidad).



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.61.

Por falla se entiende el cese de la aptitud de un equipo para realizar la función requerida⁸. En consecuencia, tras la falla el equipo se encuentra en estado de

⁸ CRESPO, Adolfo. The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance. London: Springer-Verlag London Ltd, 2007. 356 p.

avería. Cuando una falla se presenta, existe una o más evidencias físicas que la ocasionaron y este concepto que asocia la evidencia física encontrada, se denomina el modo de fallo del equipo. Además de conocer el modo de fallo del elemento, es importante conocer por qué este tuvo lugar, o cual fue la causa de la falla. Las causas del fallo pueden estar relacionadas con el diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento del elemento.

Con respecto a los estados y tiempo de operación e inactividad de un equipo (Ver figura 25), son datos que se desprenden del concepto de modo de fallo, que es la transición desde un estado en el que un activo cumple con su función requerida, a otro en el que no la cumple. Por tanto, existen dos estados fundamentales del equipo: el estado de disponibilidad, cuando el equipo puede cumplir con su función requerida, y el estado de indisponibilidad, cuando el equipo es incapaz de realizar dicha función.

La forma como se realiza la estimación de los indicadores CMD es amplia y diversa, la literatura universal sobre el tema provee diversas formas y métodos, en los cuales se encuentran también elementos y principios comunes; las diferentes estimaciones aportan metodologías disímiles, o afines en otros casos.

En resumen, lo importante en la metodología CMD consiste en la capacidad de predecir el comportamiento de los equipos, en cuanto a fallas o reparaciones (tiempos y fechas de ocurrencia), los tiempos útiles (duración y días en que ocurrirán), los mantenimientos planeados (para su programación en tiempos y frecuencias) y demás actividades relacionadas a la planeación de las máquinas, con el objetivo de establecer planes concretos de operación y efectividad.

4.3.1 Confiabilidad. La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación,

ambientales y del entorno⁹. De manera que, la definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que determinan su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, periodo y condiciones específicas.

Las mediciones de confiabilidad se hacen en términos de probabilidad, la cual se define como el mayor o menor grado de posibilidad de que un evento aleatorio ocurra; el desempeño satisfactorio indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que se considera como una operación satisfactoria; el periodo se refiere a la duración del funcionamiento o vida útil del componente o equipo y las condiciones de operación son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione.

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo¹⁰. Si no hay fallas el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento nunca debe fallar (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores diseños, montajes y mantenimientos fallan alguna vez¹¹.

Curva de confiabilidad: La forma gráfica de como se expresa la confiabilidad depende de su formulación matemática. Primero se define la probabilidad de ocurrencia de un evento (No confiabilidad) con la siguiente expresión:

$$P_f = \frac{n}{N}$$

⁹ BLANCHARD, Benjamín. Ingeniería Logística. Madrid: Isdefe, 1995. 153 p.

¹⁰ ESREDA. Industrial Application of Structural Reliability Theory. Hovik: Esreda Working Group Report, 1998. Vol. Esreda Safety Series No. 2. 283 p. ISBN 82-515-0233-0.

¹¹ BAZOVSKY, Igor. Reliability Theory and Practice. New York: Dover Publications Inc., 2004. 304p.

$$P_f = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$

Donde P_f es la probabilidad de falla, n son los eventos de falla por estudiar y N es el número total de eventos posibles.

$$R_a = 1 - P_f$$

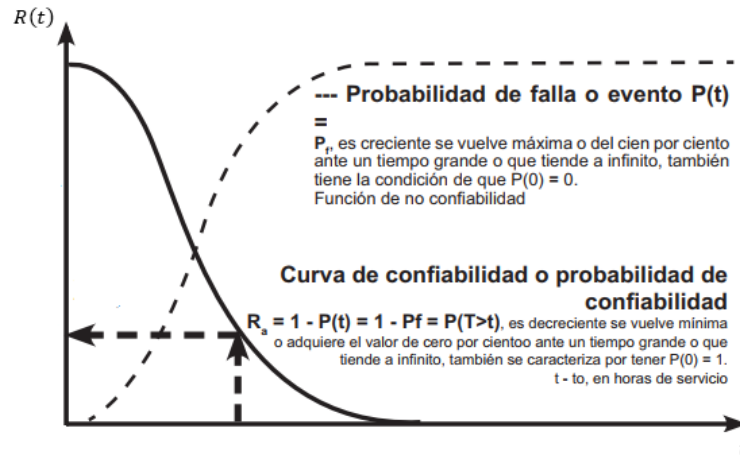
R_a es la probabilidad de confiabilidad o de éxito en un tiempo a , siendo P_f la probabilidad de falla en ese mismo tiempo.

La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de que transcurre un tiempo t en un periodo T total. Se entiende como la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de que transcurre un determinado tiempo t . La representación matemática de la función de confiabilidad se muestra a continuación:

$$R(t) = P [t < T]$$

Donde $R(t)$ es la función de confiabilidad o supervivencia, la cual decrece en la medida que se incrementa el tiempo, al igual $R(0) = 1$ o sea que siempre la probabilidad de confiabilidad de cualquier elemento antes de iniciar su funcionamiento es máxima; t es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento. $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$, expresa que todo elemento o máquina, siempre entra en estado de falla, en un tiempo grande o infinito.

Figura 25. Curva de confiabilidad y de probabilidad de falla para distribución Weibull.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.102.

4.3.2 Mantenibilidad. La mantenibilidad es la probabilidad de que un elemento, máquina o sistema, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar tareas de mantenimiento, para eliminar las causas que generan la interrupción¹².

La mantenibilidad se asocia a la facilidad con que un elemento o dispositivo se puede restaurar a sus condiciones de funcionalidad establecidas y en general la forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento que permiten llevar al elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad.

¹² MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p. 104.

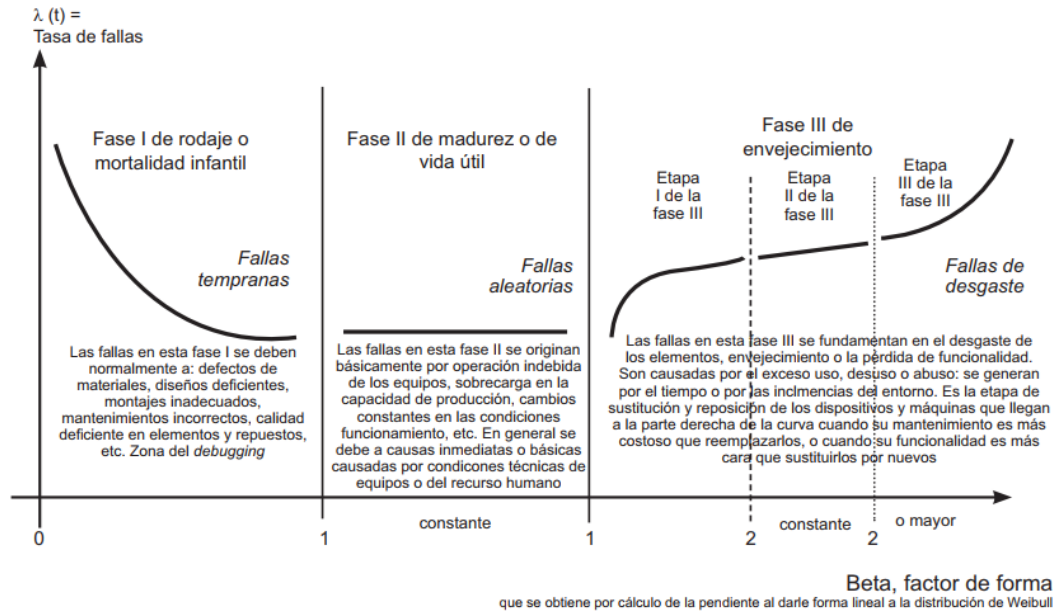
Curva de la bañera o de Davies: Las diferentes acciones que se deciden sobre las tareas que se deben realizar por parte mantenimiento (y producción), dependen entre otros parámetros de la curva de la bañera o de Davies la cual muestra la evolución en el tiempo frente a la tasa de fallas y el valor del parámetro de forma Beta del equipo que se evalúa. El indicador de confiabilidad Beta es una medida de dispersión del comportamiento de las fallas y es inverso a la duración promedio de ellas.

En la Fase I el comportamiento de la tasa de fallas es decreciente, pues en la medida en que pasa el tiempo la probabilidad de que ocurra una falla disminuye. Las fallas son minúsculas e intensas en tiempo, son impredecibles y de comportamiento atípico. Las operaciones sugeridas para esta fase son de tipo correctivo y modificativo. Las acciones modificativas permiten corregir todo defecto de diseño o montaje, calidad de materiales, métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier otra falla característica de esta fase.

La fase II se caracteriza por fallas de origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos. En esta fase se empieza a tener control sobre las fallas imprevistas y empiezan a estabilizarse en tiempo y duración. En esta etapa se siguen adaptando las acciones modificativas, ya que al generarse por utilidades fuera de lo estándar (de equipos o de personas), se requiere modificar esos equipos y/o procesos, dentro de nuevos estándares. La probabilidad de falla en la fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra.

Durante la fase III se presentan varias etapas; en la etapa I de esta fase la tasa de fallas empieza a aumentar de forma leve. Las fallas que se presentan son conocidas y se empieza a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, las cuales se deben a los efectos del tiempo por causas de uso, abuso o desuso. En esta fase ya se pueden utilizar acciones planeadas preventivas ya que las fallas se conocen y se tiene algún control sobre ellas.

Figura 26. Curva de la bañera o de Davies.

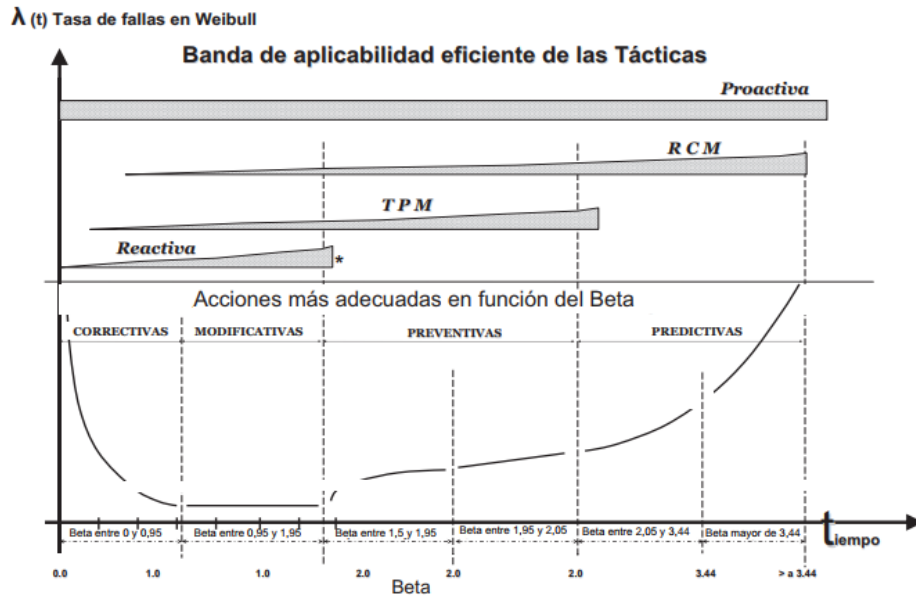


Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.108.

En la etapa II de la fase III se incrementa la tasa de fallas en forma y se inicia la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas y el comportamiento de las fallas empieza a ser predecible.

Por último, aparece la etapa III de esta misma fase donde la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa exponencialmente. En esta etapa se estabiliza el uso de acciones predictivas, pero cuando estas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina se recurre a la sustitución como única alternativa.

Figura 27. Curva de Davies de acciones y tácticas adecuadas de acuerdo al valor de Beta.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.109.

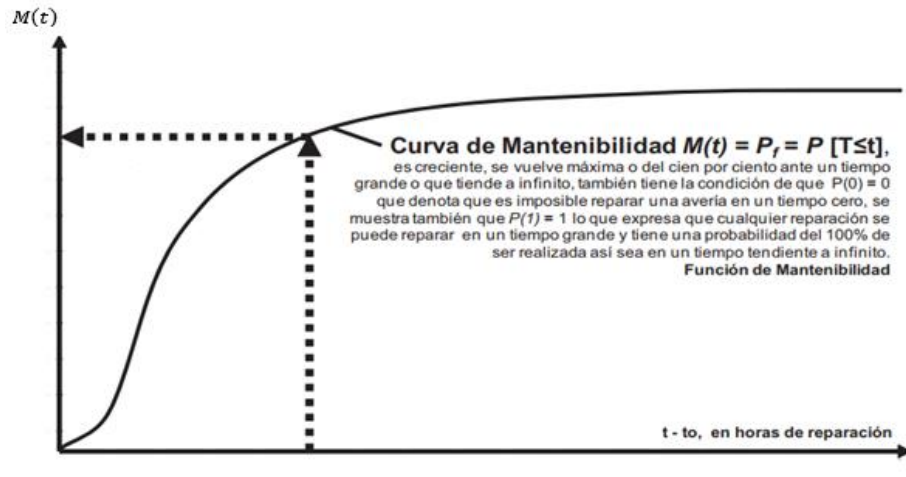
Curva de mantenibilidad: Esta función se representa por $M(t)$ e indica la probabilidad de que la función del sistema se recupere y el equipo se repare dentro de un tiempo definido t antes de un tiempo especificado T .

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

Donde $M(t)$ es la función de mantenibilidad o reparación la cual va aumentando a medida que se incrementa el tiempo t , $M(0) = 0$ denota que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero es cero. T es el tiempo máximo o límite superior total y t es el tiempo establecido para realizar la acción de mantenimiento. La expresión $T \leq t$ denota que siempre el tiempo total T es menor o igual que el tiempo de evaluación t de estudio de la reparación o, es decir, la finalización de la reparación se logra siempre en un tiempo T menor a t .

$\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$ expresa que cualquier elemento tiene una probabilidad tendiente al 100% de ser bien reparado, así sea en un tiempo infinito.

Figura 28. Curva de mantenibilidad para distribución Weibull.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.112.

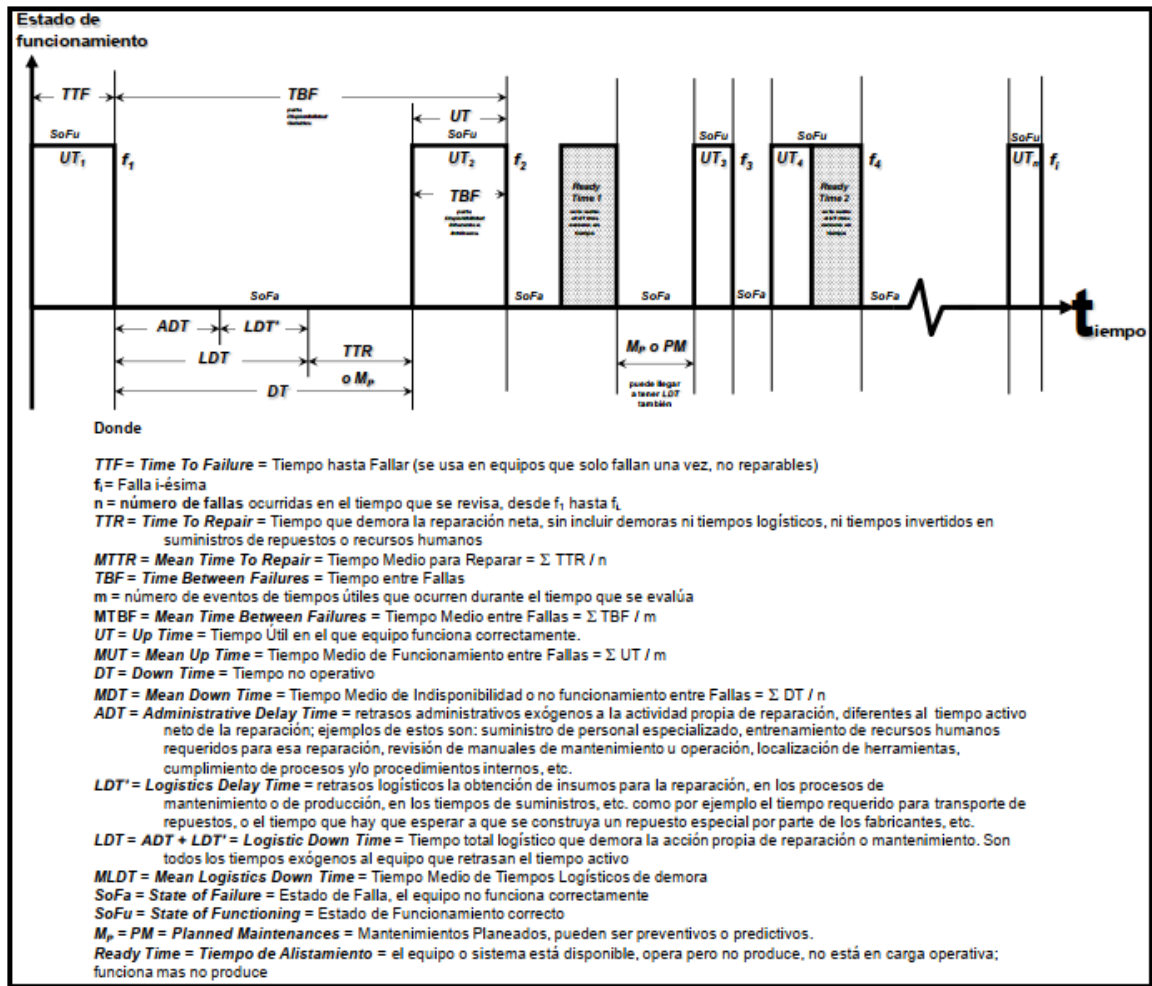
4.3.3 Disponibilidad. La disponibilidad se define como la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en el que sea requerido después del comienzo de su operación¹³. La relación de disponibilidad se expresa con la siguiente ecuación:

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

Existen varios tipos de disponibilidad a evaluar de acuerdo con los datos de tiempos que se posean y los equipos que se desean controlar, pero para entender cada una de las disponibilidades a continuación se muestran los tiempos con sus siglas utilizados en la medición y predicción CMD.

¹³ BLANCHARD, Benjamín. Ingeniería Logística. Madrid: Isdefe, 1995. 153 p.

Figura 29. Tiempos importantes, siglas y demás convenciones que se usan en CMD.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín: Editorial AMG, 2005. p.60.

Figura 30. Tipos de disponibilidades a usar en CMD.

Disponibilidad factible de calcular o deseada de utilizar				
Genérica	Inherente o intrínseca	Alcanzada	Operacional	Operacional Generalizada
<p>Es útil cuando no se tienen desglosados los tiempos de reparaciones o de mantenimientos planeados; o cuando no se mide con exactitud ni los tiempos logísticos, ni administrativos ni los tiempos de moras por repuestos o recursos humanos que afecten el DT</p> <p>No asume que los UT sean altos y los DT bajos. Es útil al iniciar procesos CMD, engloba todas las causas</p> <p>Debe usarse entre 2 y en eventos</p>	<p>Considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación</p> <p>No incluyen los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni los tiempos de demora en suministros. Asume idealmente que todo está listo al momento de realizar la reparación</p> <p>Se debe cumplir que los UT sean muy superiores en tiempo a los MTTR (al menos unas 8 o más veces) y que DT tienda a cero en el tiempo</p>	<p>Tiene en cuenta tanto las reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivos); no incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos mora en suministros</p> <p>Los mantenimientos planeados en exceso pueden disminuir la disponibilidad alcanzada, aún cuando pueden incrementar el MTBM</p>	<p>Comprende, a efectos de la no funcionalidad, el tener en cuenta: tiempos activos de reparación correctiva, tiempos de mantenimientos planeados (preventivos o predictivos), tiempos logísticos (preparación, suministros de repuestos o recursos humanos), tiempos administrativos, de moras, etc.</p> <p>Es útil cuando existen equipos en espera para mantenimiento</p>	<p>Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continua, o en los eventos en que el equipo está disponible pero no produce</p> <p>Es necesaria cuando se requiere explicar los tiempos no operativos. Asume los mismos parámetros de cálculo de la alcanzada, adicionando el Ready Time tanto en el numerador como en el denominador</p> <p>Se usa cuando las máquinas están listas (Ready Time) u operan en vacío</p>

Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.73.

Para el caso particular que se estudiará se necesita la disponibilidad genérica e inherente, por lo tanto, a continuación se mencionan los conceptos más relevantes de estos dos tipos de disponibilidad.

Disponibilidad Genérica: La disponibilidad genérica es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no funcionalidad, los cuales se miden en forma global. Este tipo de disponibilidad se expresa con la siguiente ecuación:

$$D_G = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Donde D_G es la disponibilidad genérica, MUT es la media de los tiempos útiles de funcionamiento y MDT es la media de los tiempos de no funcionalidad. La D_G se mide en porcentaje, y los parámetros UT , DT , MUT y MDT se miden en unidades de

tiempo. En los tiempos no operativos (*DT*) no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, retrasos, acciones correctivas o modificativas, tiempos planeados, de manera que están implícitos.

En la disponibilidad genérica se cumple lo siguiente:

$$\begin{aligned}MTBF &= MUT + MDT \\MDT &= MLDT + MTTR\end{aligned}$$

Siendo *MTBF* el tiempo medio entre fallas (*Mean Time Between Failure*), *MLDT* el tiempo medio logístico de demora de los mantenimientos (*Mean Logistics Down Time*) y *MTTR* el tiempo medio para reparar (*Mean Time To Repair*).

Se dice que se utiliza la disponibilidad inherente cuando el promedio de tiempos útiles de funcionamiento del equipo (*MUT*) es mucho más grande (al menos unas 10 veces) en comparación con el promedio de los tiempos no operativos (*MDT*), por lo tanto se puede deducir que $MTBF \cong MUT$ asumiendo que *MDT* es muy pequeño. De igual manera, se dice que la media de tiempos logísticos (*MLDT*) es igual a cero debido a que no se incluyen estos tiempos en la disponibilidad inherente, por lo cual se puede deducir que $MDT \cong MTTR$. Haciendo una equivalencia entre la disponibilidad genérica e inherente obtenemos lo siguiente:

$$\frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

De manera que los términos *MUT* y *MDT* son propios de la disponibilidad genérica, *MTBF* y *MTTR* de la disponibilidad inherente o intrínseca.

Disponibilidad Inherente o Intrínseca: Como su palabra lo expresa, considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación. La fórmula matemática es la siguiente:

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

Donde D_I es la disponibilidad inherente o intrínseca, $MTBF$ el tiempo medio entre fallas y $MTTR$ el tiempo medio para reparar. La D_I no contempla los mantenimientos planeados, ya que esta basada solamente en la distribución de fallas y en la distribución de tiempo de reparación.

En definitiva, se puede decir que los diferentes factores que afectan la funcionalidad de los equipos son considerados por las distintas maneras de calcular la disponibilidad. Cada empresa decide cual tipo de disponibilidad puede adoptar de acuerdo con los datos que posee. A continuación se muestra los factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que deben ser consideradas en cada caso.

Figura 31. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran.

		Factores que disminuyen la funcionalidad del dispositivo, equipo o sistema						
		Tiempo de no disponibilidad Down Time de cualquier indole	Fallas que implican reparación correctiva	Mantenimientos planeados preventivos o predictivos	Tiempos administrativos	Retrasos logísticos de insumos, repuestos o recursos humanos	Tiempos logísticos que generan indisponibilidad Pts suma de ADT + LDT'	Ready Time, tiempo en que el equipo está disponible pero no produce
Término		DT	TTR	PM	ADT	LDT'	LDT	RT
Disponibilidad que considera el concepto	Genérico A_G	X						
	Inherente A_I		X					
	Alcanzada A_A		X	X				
	Operacional A_O		X	X	X	X	X	
	Operacional generalizada A_{OO}		X	X	X	X	X	X

Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.92.

4.3.4 Tiempos esenciales para el análisis CMD. Los tiempos que se mencionan son los más relevantes para la medición CMD (Ver figura 30) y se definen a continuación:

- Tiempo medio hasta el fallo (*MTTF Mean Time To Failure*): Indicador de confiabilidad que expresa el tiempo de operación del equipo y se usa generalmente para elementos no reparables.
- Tiempo medio de funcionamiento entre fallas (*MUT Mean Up Time*): Es la media del tiempo útil en el que el equipo funciona correctamente.
- Tiempo medio entre fallas (*MTBF Mean Time Between Failure*): Es uno de los indicadores mas importantes en confiabilidad y muestra un promedio de cada cuanto presenta fallas el equipo.
- Tiempo medio útil entre mantenimientos (*MTBM Mean Time Between Maintenance*): es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos planeados y no planeados.

$$MTBM = \frac{1}{\left(\frac{1}{MTBM_C}\right) + \left(\frac{1}{MTBM_P}\right)}$$

Donde $MTBM_C$ es el tiempo medio entre mantenimientos no planeados y $MTBM_P$ es el tiempo medio entre mantenimientos planeados. En ausencia de mantenimiento preventivo $MTBM \cong MTBF$.

- Tiempo medio para reparar (*MTTR Mean Time To Repair*): Es el indicador clave de mantenibilidad que mide el tiempo medio en el que se realiza mantenimiento correctivo al equipo. Si el mantenimiento es preventivo o predictivo el indicador es M_p (*PM Planned Maintenances*).

- Tiempo medio de indisponibilidad entre fallas (MDT Mean Down Time): Es la media de los tiempos no operativos del equipo, que incluye el tiempo de reparación y el tiempo logístico de demora.
- Tiempo medio logístico de demora de los mantenimientos (*MLDT Mean Logistics Down Time*): Es la media de los tiempos de retraso logístico que demora la acción de reparación o mantenimiento.

Distribuciones para estimación de Confiabilidad y Mantenibilidad: Para realizar las estimaciones se puede utilizar el método puntual de promedios para hallar cada uno de los indicadores, pero este método carece de precisión y exactitud, de manera que es mejor utilizar las distribuciones porque modelan adecuadamente los datos de tiempos para hallar cada uno de los parámetros de Confiabilidad y Mantenibilidad. A continuación, se muestran los modelos de distribuciones más utilizadas con los criterios para aplicarlas según se requiera.

Figura 32. Distribuciones para estimación CMD.

<i>Distribución</i>	<i>Criterios</i>
Normal	- Describe fenómenos de envejecimiento de equipos (Díaz, 1992). - Describe fenómenos de modelos de fatiga (Ebeling,2005) - Describe fenómenos naturales (Ramakumar, 1996). - Los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste (Rojas, 1975).
Exponencial	- Las reparaciones constituyen un intercambio de piezas estándar. - Fallas aleatorias y que no dependan del tiempo que lleve en funcionamiento. - Describe situaciones de función de tasa de falla constante (Rojas, 1975). - El componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo. - Modelar componentes electrónicos (Díaz, 1992). Es un caso particular de la Gamma cuando $\beta = 1$.
Weibull	- Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución (Kelly y otro,1998,24). - Representar la vida de los componentes. - Vida de servicio de tubos y equipos electrónicos (Rojas, 1975).
Gamma	- Conveniente para caracterizar los tiempos de fallas de equipos durante periodos de rodaje (Rojas,1975). - Adecuada para representar sistemas con componentes <i>stand-by</i> (Díaz, 1992).
Log normal	- Describe bien cuando la mayor parte de las intervenciones son de corta duración (Díaz,1992). - Aplicada para equipos electrónicos y electromecánicos (Blanchard,1994). - Se aproxima a la distribución exponencial, y siendo ésta mucho más sencilla de manejar, es esta última la que más se utiliza.
Binomial	- Se aplica en eventos mutuamente excluyentes, falla o no falla (Lewis, 1995).
Poisson	- Frecuentemente usada en gestión de inventarios. - Se usa también en lugar de la distribución binomial cuando se manejan probabilidades de fallas bajas (Díaz,1992).
Beta	- Usada principalmente en procesos acotados en dos extremos (Díaz, 1992).
Erlang	- Es un caso especial de la distribución gamma, K entero (Díaz, 1992).
Rayleigh	- Es un caso especial de la distribución Weibull, $\beta=2$ (Ebeling, 2005).
Chi cuadrada	- Es un caso especial de la distribución gamma, $\lambda=0.5$, y $\nu = 2\alpha$ (Leemis, 1995).
Valores Extremos	- Es usada en modelos que limitan los valores máximos y mínimos (Díaz, 1992).

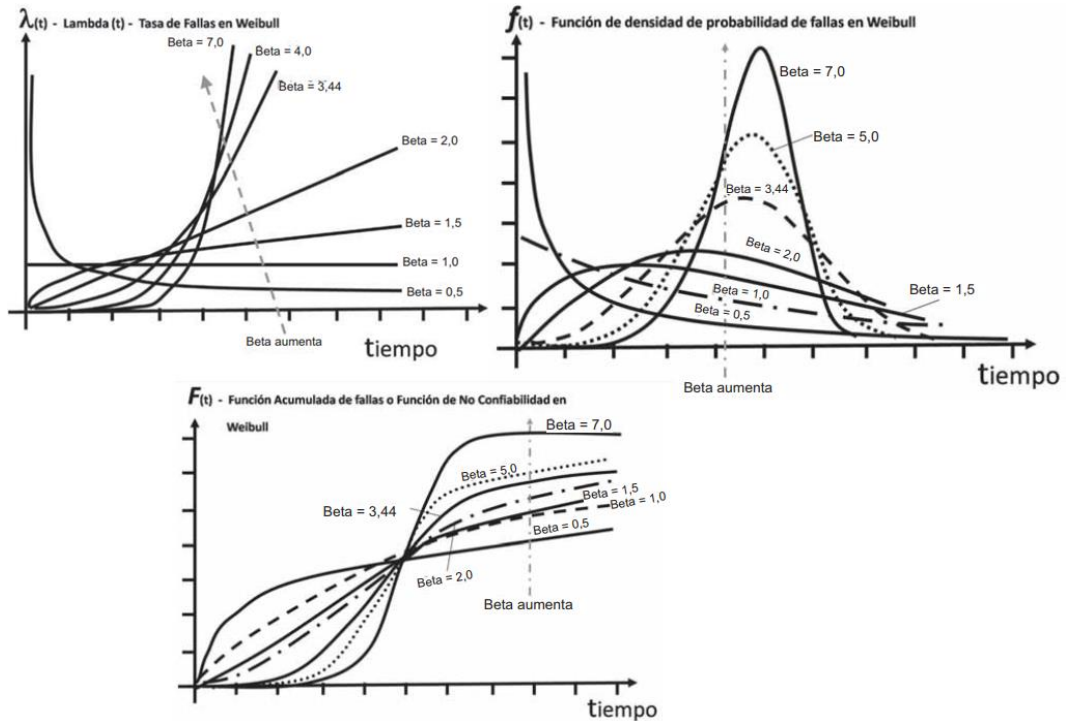
Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p.119.

4.3.5 Fundamentos de la distribución de Weibull. Una de las ventajas significativas de la distribución de Weibull consiste en que se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies. La distribución de Weibull posee en su forma general los siguientes tres parámetros:

- Gamma-Parámetro de posición (γ): El más complejo de estimar y por esta razón se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- Eta-Parámetro de escala o característica de vida útil (η): Su valor es determinante para fijar la vida útil del equipo. Un valor alto de este parámetro indica que las máquinas pueden estar destinadas a trabajos de mayor duración.
- Beta-Parámetro de forma (β): Refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución. El parámetro Beta permite que la distribución Weibull tome diversas formas de manera que cuando β es inferior a 1 se encuentra en la fase de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); cuando β toma valores cercanos a 1 está en la fase de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria) y en el caso de que β tome valores mayores a 1 se encuentra en la fase de envejecimiento o desgaste (tasa de fallas creciente).

Curvas características de Weibull: A continuación se muestra una aproximación del comportamiento del parámetro β para cada una de las curvas características en la distribución de Weibull.

Figura 33. Gráficas para diferentes Betas de $\lambda(t)$, $f(t)$ y $F(t)$ en Weibull.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. P.146-147.

4.3.6 Modelo universal para pronosticar CMD. El modelo mostrado para la medición CMD consta de varias etapas (Ver figura 35). El primer paso consiste en la obtención y registro de datos de tiempos útiles, tiempos perdidos de producción, fallas, reparaciones de equipos, etc.

Posteriormente en la segunda etapa se debe decidir la disponibilidad mas adecuada a calcular de acuerdo con los datos que se posean y los elementos que se desean controlar. En la tercera etapa se debe escoger el método de estimación para calcular los parámetros de no confiabilidad (probabilidad de fallas) y de mantenibilidad con las opciones que se muestran como el método i-kaésimo, rango de medianas con tablas, método de Benard (aproximación de rango de mediana) o Kaplan y Meyer. Los métodos mencionados requieren alineación para la función de Weibull (en dos

versiones: gráfica o numérica de mínimos cuadrados o de regresión). Como otra opción está el método directo de máxima verosimilitud (MLE) que no hace alineación.

Sea para el método MLE o el de Weibull se deben comprobar los valores de ajuste que se obtienen, mediante la valoración de los índices de bondad de ajuste: r (coeficiente de correlación múltiple) y r^2 (coeficiente de determinación muestral), que sirven para saber el grado de ajuste de los resultados que se obtienen en cualquiera de los casos.

La cuarta etapa se trata de los cálculos en sí y de las pruebas de bondad de ajuste de Weibull: Kolmogórov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado Ji^2 . La quinta etapa sirve para parametrizar y realizar la alineación o MLE, en caso de que se requiera, con otra función diferente a Weibull, y así estimar sus bondades de ajuste. En la etapa seis, se realizan los cálculos CMD, con la función que se seleccione y cumpla bien todos los ajustes.

El gran aporte de este modelo propuesto es que desde el principio usa la metodología Weibull que sirve para las tres etapas de la curva de Davies: fase de rodaje, vida útil y envejecimiento de un elemento, de modo que este tipo de distribución de Weibull es mucho más precisa en el pronóstico de CMD.

Figura 34. Modelo universal propuesto para la medición CMD.

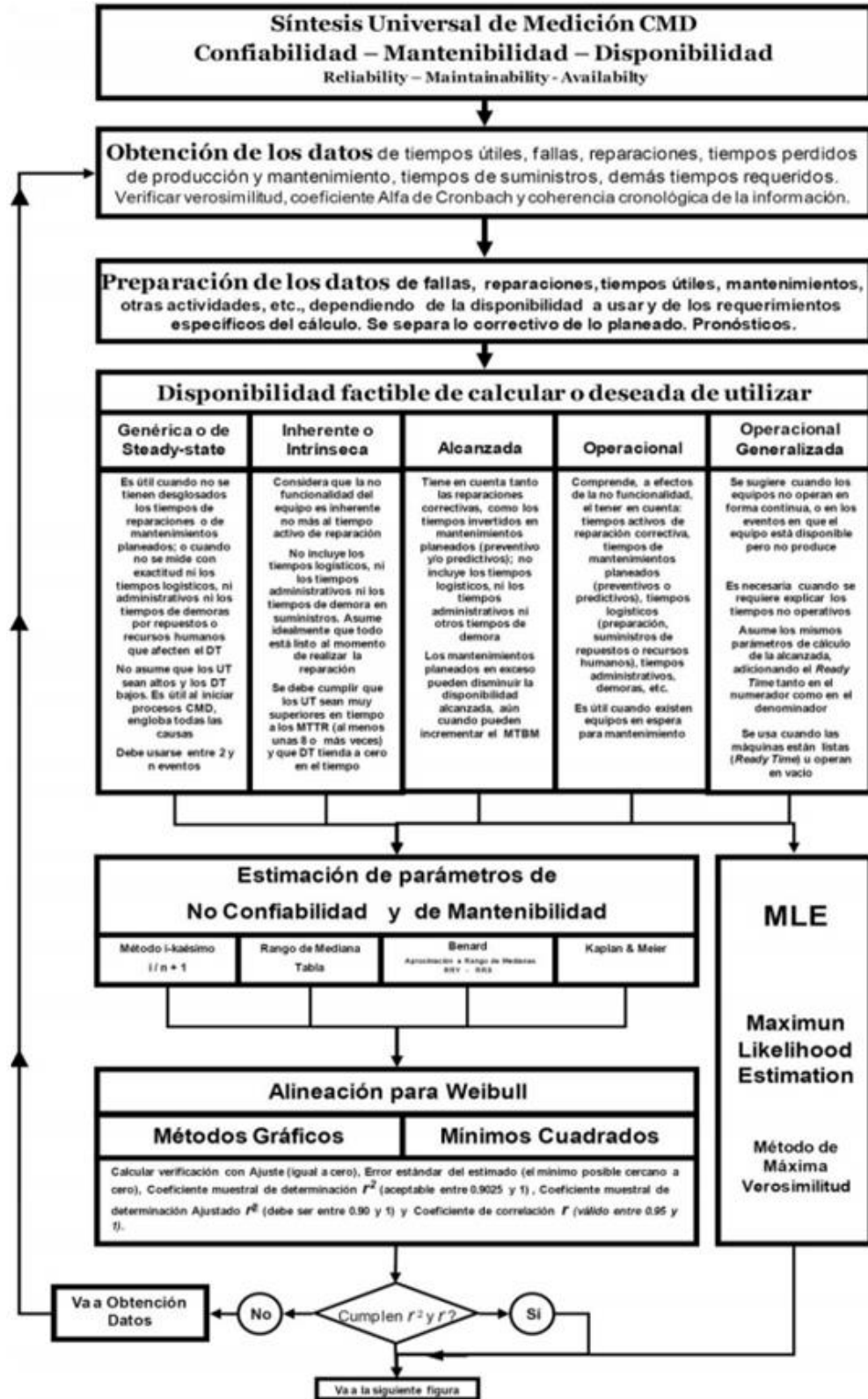
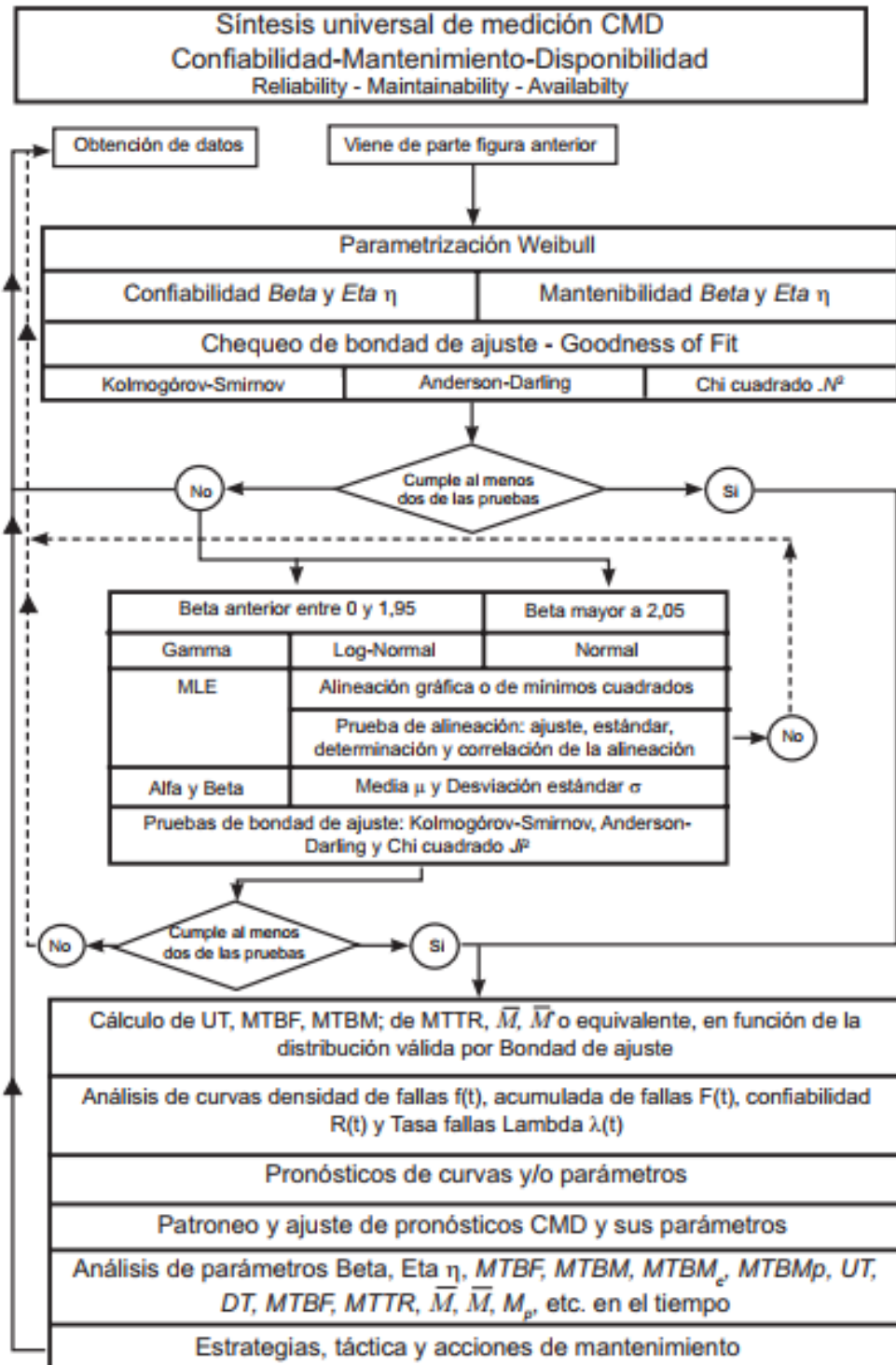


Figura 35. (Continuación)



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. P.68-69.

4.4 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

El Mantenimiento Autónomo (MA) es uno de los pilares fundamentales del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y tiene como objetivo alcanzar la autogestión plena de los operadores, que adquieran la capacidad de resolver problemas que se presenten en las máquinas sin la intervención de otros sectores salvo para tareas específicas, de manera que, ellos mismos sean responsables de su equipo de trabajo¹⁴. Esto aumenta la disponibilidad de la máquina, evita gran cantidad de averías producidas por falta de limpieza, lubricación y ajuste, reduce las pérdidas productivas y mejora la seguridad en el entorno.

Inicialmente el área de mantenimiento transfiere tareas de primer nivel como limpieza, lubricación, ajustes menores y hasta cambio de piezas. A medida que van incrementando las competencias del operador, se va asumiendo rutinas un poco más complejas hasta alcanzar un nivel óptimo en la gestión total del sistema. La eficacia, eficiencia y efectividad del trabajo autónomo sigue siendo responsabilidad del área de mantenimiento.

Los especialistas de mantenimiento capacitan a los operarios de producción transmitiéndoles progresivamente destrezas y habilidades, como resultado se puede evidenciar que los expertos del área de mantenimiento pueden dedicarse a trabajos de mayor envergadura como el análisis de fallas crónicas y complejas. En el caso particular, de que el grupo de operarios adquiera un alto nivel en sus competencias, esto conlleva a que puedan realizar tareas de carácter reactivo, incrementando la disponibilidad del activo y reduciendo los tiempos de reparación de acuerdo a la experiencia.

¹⁴ PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 3 ed. Buenos Aires: Editorial AJ Pistarelli, 2010. p.410.

Debido al carácter polivalente el personal autónomo también podrá participar en la gestión del mantenimiento aportando ideas para mejorar la Confiabilidad y Mantenibilidad. Además, se espera que mantengan su área de trabajo organizada y libre de fuentes de contaminación. Cabe resaltar, que con el tiempo y la experiencia el grupo autónomo adquiere la capacidad de identificar situaciones de peligro disminuyendo el riesgo de accidentes.

Por otra parte, las actividades de Mantenimiento Autónomo se llevarán a cabo en combinación con las de Mantenimiento Preventivo y, por supuesto, las del correctivo, involucrando también actividades de mejora de mantenibilidad, dado que los trabajadores que operan con el equipo conocen sus puntos débiles, y pueden diagnosticar y reparar el equipo con éxito en el menor tiempo posible.

A continuación, se muestra la distribución lógica de responsabilidades de mantenimiento y mejoras entre el personal operativo y el de mantenimiento.

Figura 35. Relación de actividades y responsabilidades en el MA.

ACTIVIDAD	MANT. / MEJORA	Personal Prod.	Personal Mant.
Producción	Preparación y ajuste	•	
	Operación	•	
Mantenimiento Autónomo	Limpieza	•	
	Engrase	•	
	Aprietes mecánicos	•	
	Otros diarios	•	
Mantenimiento Preventivo	Inspecciones y comprobaciones	•	•
	Actividades periódicas de mantenimiento		•
Mantenimiento Correctivo	Averías reparables desde puesto trabajo	•	
	Averías no reparables desde puesto trabajo		•
Mejoras	Operativas	•	•
	Automatización y calidad		•
	Chequeos y concepción global		•

Fuente: CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. p.133.

Se observa, que en la limpieza, ajuste y mantenimiento diario es donde se puede implementar la mayor cantidad de actividades de Mantenimiento Autónomo, teniendo en cuenta que estas actividades, bien desarrolladas, permiten reducir la cantidad de problemas que se presentan por averías y fallos en general, incluso de carácter crónico, de manera que se puede comprender la importancia de implementar el MA como metodología para el cuidado y la preservación de los equipos y el entorno de trabajo.

4.4.1 Metodología “5 S”. El Mantenimiento Autónomo está basado en el método de las “5 S”, que es una técnica de gestión apropiada para mantener el lugar de trabajo en excelentes condiciones. Son cinco principios que, en japonés, empiezan con la letra S y tienen el siguiente significado:

- Seiri - Clasificación (selección)

Separar cosas necesarias de aquellas innecesarias, dando un destino para aquellas que dejaron de ser útiles en el lugar de trabajo. Por ejemplo, herramientas y útiles que no se usan, artículos obsoletos, recortes y excesos de materia prima. Una forma efectiva de identificar estos elementos que habrán de ser eliminados es el llamado "etiquetado en rojo". En efecto una tarjeta roja es colocada a cada artículo que se considera no necesario para la operación y estos son llevados a un área de almacenamiento transitorio donde se dividirán en dos clases, los que se pueden utilizar para otra operación y los que definitivamente serán desechados.

- Seiton - Orden (sistematización)

Tener las cosas en los lugares adecuados con la distribución adecuada para que puedan ser usadas inmediatamente. Cuando se trata de ordenar las cosas, necesariamente el ambiente queda más arreglado, más agradable para el trabajo y por consecuencia, más productivo. Algunas estrategias que se pueden implementar para mantener el orden es la identificación adecuada de cada uno de los elementos del área de trabajo, con etiquetas, tarjetas y rótulos con la

información pertinente y visible, siempre y cuando estos elementos tengan una ubicación idónea.

El objetivo es que el personal operativo tenga las herramientas a la mano en el lugar correcto para evitar pérdidas de tiempo y mayores esfuerzos. También se pueden delimitar áreas, por ejemplo, con líneas de color verde las áreas de trabajo, de color amarillo para los pasillos y de color naranja delimitar áreas para stocks u otro tipo de ubicaciones, con el fin de diferenciar las zonas que conforman el lugar de trabajo.

- Seiso - Limpieza (inspección)

Eliminar la suciedad, inspeccionando para descubrir y atacar las fuentes de problemas. La limpieza debe ser encarada, como una oportunidad de inspección y de reconocimiento del ambiente. Para esto, es de fundamental importancia, que la limpieza sea hecha por el propio usuario del ambiente, o por el operador de la máquina o equipo.

Lo ideal es mantener esta limpieza diariamente con el fin de detectar, por la inspección que propicia, problemas reales o latentes de los equipos y conservar el área de trabajo libre de fuentes de suciedad. Para contrarrestar esto, se identificarán las fuentes de contaminación, analizando sus causas y la manera en la que se deben eliminar cada una de ellas, priorizando en función del impacto que tienen sobre el operario, el entorno y el proceso, cuales abordar y en qué orden.

Algunos de los problemas que se pueden encontrar cuando se está realizando la limpieza e inspección son fugas, partes con excesiva vibración o temperatura, desalineamientos en los componentes, superficies con deformaciones o fracturas y todo esto puede ocasionar graves fallas en los equipos.

- Seiketsu – Estandarización (perfeccionamiento)

Procurar que las tres primeras etapas de clasificación, orden y limpieza se ejecuten de forma continua, esto a través de la estandarización de hábitos, normas y procedimientos. Cuando no se estandariza la actuación que asegura el cumplimiento de las primeras “S”, las condiciones de operación probablemente vuelven a ser las mismas del inicio, es decir, se encontrarán elementos innecesarios en el lugar de trabajo, falta de orden en los mismos y fuentes de suciedad o problemas de los equipos que se hayan detectado con la inspección que sigue a la limpieza.

Por esta razón, es fundamental sistematizar los procedimientos que nos han permitido implementar las tres primeras “S”, fijando un programa donde se establece la periodicidad (diaria, semanal, etc.) y los responsables de esas actividades.

- Shitsuke - Disciplina (control de sí mismo)

Cumplir rigurosamente las normas y todo lo que sea establecido por el grupo. El énfasis aquí es crear un lugar de trabajo con buenos hábitos y disciplina. De nada servirá, establecer una metodología para mantener las áreas de trabajo organizadas, ordenadas y limpias y haber establecido un estándar para ello, si esto no se va llevar a la práctica. De manera que, mantener el hábito de cumplir con los estándares exige una dosis importante de disciplina por parte de los operarios, motivación por parte de los líderes del área de mantenimiento y el reconocimiento adecuado a la labor bien hecha.

Se puede concluir que implementar el programa de “5 S” de la mano del Mantenimiento Autónomo permitirá mejoras importantes en la productividad, costes, calidad y seguridad de las operaciones y constituirá la base de la mayoría de las actividades que se implementarán en el desarrollo del plan de MA.

4.4.2 Las Seis Grandes Pérdidas. El MA tendrá como objetivo la eliminación de las Seis Grandes Pérdidas, en la medida que el operario pueda desde su puesto de trabajo reducir o eliminar cada una de estas pérdidas citadas a continuación:

- Pérdidas de la puesta en marcha

Estas pérdidas son las que ocurren debido al rendimiento reducido desde el momento de arranque de la máquina hasta que la producción se estabiliza. La puesta en marcha rápida y efectiva depende del operador o la persona encargada del equipo y su destreza. Normalmente requiere de un mayor grado de seguimiento del proceso, de forma transitoria, hasta que este sea estable.

- Pérdidas de velocidad del proceso

Las pérdidas por reducción de velocidad se generan cuando hay una diferencia entre la velocidad con la cual se diseñó la máquina y su velocidad de operación actual. Esto afecta la eficiencia del proceso de producción por lo cual es importante en lo posible eliminar este desfase de velocidades.

- Averías y fallos

Las averías son el grupo de pérdidas más grande de las seis mencionadas, y estas se dividen en dos tipos: averías de pérdida de función y de reducción de función. Las averías de pérdida de función suceden de repente y se detectan con mayor facilidad porque el equipo se detiene por completo. En las averías de función reducida el equipo sigue funcionando pero no está en óptimas condiciones, por lo cual es más difícil detectar el problema que presenta el equipo y se recomienda una inspección exhaustiva.

- Pérdidas de preparación y ajuste

Son pérdidas que se presentan cuando se deben ajustar las máquinas para iniciar una nueva operación, bien sea que se deban cambiar piezas del equipo o ajustar

parámetros de operación y estos ajustes se pueden dar cuando el equipo está parado o en funcionamiento. Cabe aclarar que hay ajustes que es necesario hacerlos y otros que se pueden evitar.

- Defectos de calidad

Los defectos de calidad son pérdidas originadas por disfunciones de las máquinas o por la inadecuada operación de los equipos por parte del personal. Los defectos esporádicos se pueden corregir rápidamente restaurando el equipo a condiciones normales de operación, pero a veces se presentan defectos crónicos que exigen una inspección profunda del equipo para determinar sus causas. El objetivo es alcanzar la meta de cero defectos y el aseguramiento de la calidad del proceso también será responsabilidad del personal operativo y se deben dar las pautas para que se garantice la calidad óptima de los productos.

- Pequeñas paradas

Dependerá en gran medida del trabajador, bien sea que ocurra con una máquina con la que opera directamente o una línea automatizada que de igual manera este a su cargo y donde suelen presentarse la mayoría de las pequeñas paradas. El operario debe conocer muy bien el equipo, de manera que pueda advertir las desviaciones en las condiciones de operación que provocan estas paradas y así tomar acciones para eliminarlas.

4.4.3 Niveles de implementación del Mantenimiento Autónomo. La implementación del Mantenimiento Autónomo implica que se involucren las personas y la organización en la nueva gestión de los equipos y su mantenimiento, con los cambios y aprendizajes necesarios, de manera que dicha implementación se pueda desarrollar de forma gradual, asumiendo diferentes niveles cada uno de los cuales suponga un nuevo avance. A continuación se enumeran los niveles de implementación del MA, que aseguran mejorar la eficiencia, productividad y flexibilidad:

- Nivel Básico
- Nivel de eficiencia
- Nivel de plena implementación

Condicionantes básicos para la implementación de Mantenimiento Autónomo: La implementación del MA supone un importante cambio de mentalidad para el personal. Más allá de la operación del equipo el operario debe estar familiarizado con la máquina teniendo un conocimiento mucho más profundo de sus necesidades y de los problemas que puede tener antes de que ocurran.

Para lograr este propósito el operario debe asumir las responsabilidades correspondientes sobre el producto, las relacionadas con los equipos e instalaciones, y la adecuada gestión previa de los equipos y otros elementos del proceso, antes de iniciarse la producción. Esto depende del tipo de línea en la cual se va realizar, de manera que será más sencilla la introducción del MA en una línea pequeña o célula de fabricación que tenga su ciclo controlado por el operario, a diferencia de una línea más grande y con un grado más alto de automatización.

Un aspecto que se debe tener en cuenta antes de comenzar con el MA es la fijación de objetivos y la forma de medirlos para tener constancia de que se están cumpliendo progresivamente. Sean cuales sean estos objetivos, deben estar enfocados en la reducción de las Seis Grandes Pérdidas expuestas anteriormente y en la mejora de la productividad del proceso.

Inicialmente, los primeros problemas que aparecen al intentar implementar el Mantenimiento Autónomo comienzan con la sensación de pérdida de tiempo que embarga al operario de la máquina, en el sentido de que “no está produciendo”. En efecto, el operario está acostumbrado a que se le valore únicamente por su capacidad de producir, pero es sólo cuestión de cambiar el pensamiento y entender que las tareas implantadas por el MA serán de gran beneficio en el proceso productivo.

Se le debe transmitir al operario que la óptima realización de las tareas asignadas mediante el MA es tan importante como el resto de las tareas productivas, ya que esto incide directamente en la reducción de averías de las máquinas y las condiciones óptimas del proceso asegurando la calidad de los productos. A continuación, se exponen los aspectos importantes para la implementación de un programa de Mantenimiento Autónomo, en base a los tres niveles mencionados anteriormente.

4.4.3.1 Nivel Básico. Este nivel es la base sobre la cual se apoyan las siguientes etapas y será el primer paso para comprobar que el operario está receptivo al cambio en la manera de afrontar su trabajo diario al implementar el Mantenimiento Autónomo. Es el momento de que el operario asimile como propias unas tareas sencillas, que antes probablemente no interpretaba como suyas. En este nivel se desarrollan las siguientes etapas que hacen parte del programa de Mantenimiento Autónomo:

1. Limpieza inicial.
2. Eliminación de focos de suciedad y limpieza de zonas inaccesibles.
3. Establecer estándares de limpieza, inspección y otras tareas sencillas del Mantenimiento Autónomo.

- Etapa 1: Limpieza inicial

La primera etapa del Mantenimiento Autónomo consiste en la limpieza inicial del equipo y sus accesorios, dado que la actividad de producción y los mismos equipos con los que se opera pueden generar suciedad. Cabe aclarar que la limpieza no es una actividad meramente estética o de maquillaje del equipo, hay que entender su significado como medio de inspección y control del equipo y sus componentes, de manera que, la limpieza represente tocar, observar cada pieza y cada área escondida del equipo, removiendo partículas de polvo, residuos, grasa, suciedad, etc. que se adhieren al equipo, y buscando defectos ocultos y disfunciones latentes,

lo que supone una limpieza profunda de la máquina tanto a nivel interno como externo. En la siguiente figura se muestran los principales problemas que pueden ocurrir por falta de una limpieza diaria:

Figura 36. Efectos producidos por suciedad.

1. FALLOS:	El polvo y las partículas extrañas se introducen en los elementos rotativos o deslizantes de las máquinas, en los circuitos eléctricos, etc., provocando fallos o averías por obstrucción, fricción, resistencia, cortocircuito, etc.
2. DEFECTOS DE CALIDAD:	Las materias extrañas pueden provocar disfunciones del equipo que afecten a la calidad o bien pueden contaminar el producto.
3. DETERIORO ACELERADO:	La suciedad favorece la degradación del equipo a la vez que dificulta la visibilidad de defectos a corregir.
4. PÉRDIDAS DE VELOCIDAD:	El polvo y la suciedad producen resistencia por fricción, desgaste, y pérdidas de precisión que ocasionan frecuentes paradas y tiempos en vacío.

Fuente: CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. p.152.

Como se menciona anteriormente hablar de limpieza en el contexto de Mantenimiento Autónomo equivale a descubrir anomalías, disfunciones, etc. y la descripción secuencial de esta teoría se puede observar en la siguiente figura.

Figura 37. Evolución hacia la detección de anomalías desde la limpieza.



Fuente: CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. p.153.

Cuando se detectan anomalías por medio de la inspección es recomendable identificarlas y señalarlas debidamente con el fin de que se pueda realizar la mejora. Estas anomalías se pueden identificar con etiquetas o tarjetas que se fijan en el punto en el que se encontró el problema, y se pueden utilizar de dos tipos dependiendo si la mejora se debe efectuar por el grupo asignado para el Mantenimiento Autónomo, o si es responsabilidad directa del personal de mantenimiento. A continuación se muestran los dos tipos de tarjeta:

Figura 38. Etiquetas para la señalización de anomalías.

The figure shows two identical TPM (Total Productive Maintenance) anomaly tags. Each tag has a trapezoidal top section with a circle containing the letter 'O' and the letters 'TPM' below it. Below this is a rectangular section with a grey header containing the title of the tag. The left tag is titled 'ANOMALÍAS GRUPO AUTÓNOMO' and the right tag is titled 'ANOMALÍAS DEPT. MANTENIMIENTO'. Both tags have a form with the following fields: 'Departamento: _____', 'Máquina/equipo: _____', and 'Grupo: _____ Fecha: _____'. Below these fields is a list of seven items, each with a checkbox and a line for notes: 'Pérdida de aceite/grasas', 'Pérdidas de agua/líquidos', 'Fugas de aire/gases', 'Pernos o sujeciones flojos', 'Focos de suciedad', 'Limpieza dificultosa', and 'Otros: _____'.

Fuente: CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. p.154.

Figura 39. Actividades a realizar en la primera etapa.

LIMPIEZA	INSPECCIÓN	DETECCIÓN ANOMALÍAS
<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar diariamente el equipo. • Limpiar en profundidad toda la suciedad acumulada durante años. • Limpiar todos los rincones, zonas inaccesibles, áreas escondidas, etc. • Limpiar del mismo modo las piezas externas al equipo, accesorios, herramientas, plantillas o unidades de equipos auxiliares. • Limpiar los alrededores del equipo a conciencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar defectos visibles e invisibles. • Chequear tornillos y tuercas. • Chequear puntos de engrase, niveles de lubricante, alimentación de combustibles. • Averiguar los obstáculos que impiden una limpieza, lubricación y sujeción de tornillos adecuados. • Chequear etiquetas, placas de identificación, etc. • Chequear aparatos de medida y control. • Chequear herramientas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tornillos y tuercas flojos. • Grietas y fisuras. • Rozaduras. • Abolladuras. • Golpes. • Piezas rotas o en mal estado. • Vibraciones. • Calentamientos. • Fugas o escapes. • Corrosiones internas. • Obstrucciones. • Debilidades que dificultan las tareas. • Inaccesibilidad.

Fuente: CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. p.154.

- Etapa 2: Eliminar fuentes de contaminación y lugares de difícil acceso

Esta etapa se presenta después de realizar la limpieza inicial y comprobar que el equipo se vuelve a ensuciar rápidamente o existen zonas cuyo acceso es imposible o peligroso. Esto lleva a que los operarios encuentren y eliminen cualquier fuente de suciedad que no permita que los lugares se mantengan en condiciones óptimas para la operación. Las actividades propias de esta fase son:

- Identificar y eliminar los focos de suciedad.
- Mejorar la accesibilidad en las zonas en las cuales se dificulta la limpieza.
- Elaborar los planes más adecuados para realizar una limpieza efectiva, mejorando progresivamente los métodos utilizados en lo que se refiere a la eliminación de los focos de suciedad y la accesibilidad en algunas áreas para su limpieza.

A continuación, se citan algunos ejemplos de soluciones para los problemas de limpieza, incluidos lugares de difícil acceso y focos de suciedad:

- Protecciones para zonas delicadas y difíciles de limpiar para que no llegue a ellas la suciedad.
 - Recogedores de viruta (los más comunes son de tipo magnético).
 - Sistema de aspiración de polvo, fibras u otros elementos.
 - Bandejas o recipientes para recoger agua, aceites o lubricantes que puedan contaminar las áreas de trabajo.
-
- Etapa 3: Establecimiento de estándares de limpieza, inspección y otras tareas sencillas de Mantenimiento Autónomo

En esta etapa ya se pueden establecer las condiciones básicas de limpieza, lubricación, apretado de tornillos y tareas sencillas de MA que aseguran que los equipos se encuentren en óptimas condiciones, por lo cual, los operarios fijarán estándares de estas tareas básicas y asumirán la responsabilidad de mantener en buen estado sus equipos. Los estándares deben ser elaborados por los mismos operarios basados en su experiencia con el equipo. Los siguientes aspectos deben ser contemplados en el momento de formular y aplicar los estándares:

- Elementos a inspeccionar y que serán incluidos en la estandarización.
- Metodología a estandarizar empleando métodos sencillos para chequear los equipos en los que se pueden incluir controles visuales. También se deben incluir los útiles y herramientas que serán utilizados.
- Asignar un tiempo determinado para las tareas y establecer objetivos alcanzables. Estos tiempos deben ir disminuyendo a medida que se van implantando mejoras.
- Fijar la frecuencia de las inspecciones y supervisar los resultados.
- Asignar claramente las funciones de cada persona.

- Asegurar el cumplimiento de los estándares.

Para preparar estos estándares es necesario instruir a los operarios sobre la creación de estándares comprobando su importancia a través de ejemplos y es fundamental el entrenamiento, la formación y la motivación para llevarlos a cabo. A su vez los estándares establecidos deben responder a las siguientes preguntas: ¿Dónde?, ¿Qué?, ¿Cuándo?, ¿Por qué?, ¿Quién?, y ¿Cómo?, conocidas como “5 W y 1 H” (*Where, What, When, Why, Who y How*), que es una metodología que le permite al personal de MA realizar correctamente y sin olvidos los chequeos diarios.

Estos estándares de limpieza y de tareas básicas de mantenimiento deben ser documentados en el propio puesto de trabajo. La documentación deberá contener las instrucciones para efectuar las tareas, también la frecuencia con la que deben ser realizadas y una hoja de registros en la cual se llevará el control de cuando ha sido realizada la labor y quien la ha llevado a cabo.

4.4.3.2 Nivel de Eficiencia. Este nivel cubre otras dos etapas del programa de Mantenimiento Autónomo y son las siguientes:

4. Inspección general del equipo.
5. Inspección general del proceso.

- Etapa 4: Inspección general del equipo

La inspección general pretende introducir controles sobre los elementos vitales del equipo que mantengan el mismo funcional y en perfecto estado, de manera que se garantice la calidad de la producción y la seguridad del proceso. Los operarios deben tener la capacidad de interpretar lo que perciben en el equipo mediante las inspecciones y chequeos, por lo cual es necesario instruirlos sobre la estructura, características, tecnología y funciones del equipo que manejan. Solo así podrán realizar inspecciones válidas sobre el deterioro del equipo.

Una vez hayan sido entrenados y tengan la práctica necesaria para llevar inspecciones generales, pueden preparar hojas de chequeo que cubran sus propios requerimientos con instrucciones específicas que se ajusten a las necesidades de cada uno de los equipos.

Actualmente la introducción de la fotografía digital en los estándares contribuye de manera eficaz en el seguimiento de los parámetros del equipo. Son parámetros que en ocasiones son difíciles de describir, estandarizar o cuantificar mediante una lista de chequeo, por lo que es conveniente incluir imágenes en el documento que sirvan de evidencia y que muestren por ejemplo el desgaste, desalineación o nivel de suciedad del equipo.

Para que se pueda llevar a cabo la inspección general se debe dar a conocer al operario información relevante de la máquina y las herramientas o útiles necesarios para desarrollar la labor. También hay que controlar las frecuencias de inspección según su planificación (que pueden ser diarios, semanales, mensuales).

- Etapa 5: Inspección general del proceso

Los objetivos de las cuatro etapas anteriores son desarrollar operarios competentes en equipos y mejorar la confiabilidad de los mismos. Sin embargo, solamente estos logros no asegurarán una operación y control eficaces, por esta razón los operarios deben comprender profundamente el rendimiento y las funciones de sus procesos.

Durante el proceso, los materiales que se manejan cambian frecuentemente de estado, y sus propiedades tales como la concentración y la pureza a menudo varían conforme se somete el material a temperaturas y presiones extremas. Un solo error de ajuste del proceso, o un fallo en rectificar apropiadamente una anomalía, pueden causar un serio accidente o una gran cantidad de producto no conforme.

Los operarios deben tener la capacidad de realizar ajustes y montajes precisos con base en un profundo conocimiento de los materiales que se manejan, deben reconocer a tiempo las señales de anormalidades y tomar acción apropiada, para así evitar que se presenten pérdidas en la calidad del producto y reproceso.

El propósito de esta etapa es crear plantas seguras, y libres de pérdidas y desperdicio. La confiabilidad operacional y la seguridad del equipo se elevan formando a los operarios para que sean competentes en procesos, operaciones, y técnicas de inspección general. Se consideran las siguientes fases en esta etapa:

- Revisión de los estándares establecidos en las etapas tres y cuatro, de manera que deben revisarse los resultados obtenidos en la mejora de las Seis Grandes Pérdidas, reducción del MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas), aumento de la productividad y mejora en las condiciones de trabajo.
- Objetivos de la inspección, partiendo de las especificaciones de diseño del equipo y de su historial de fallas, se determinan los puntos que deben ser objeto de inspección, ya sea que produzcan averías, pérdidas de capacidad o defectos del producto.
- Establecer los niveles que se deben alcanzar para los objetivos de la inspección, fijando los valores en cuanto a los niveles de capacidad, cantidad de averías, valores de MTBF, y tolerancias para la calidad que se consideren correctos.
- Creación de un equipo de trabajo que esté integrado por personal de ingeniería, mantenimiento, calidad y producción, con el fin de analizar y solucionar los problemas fijados en los objetivos de la inspección.

- Instrucciones para la inspección y las actividades correspondientes a los nuevos estándares que se deben implementar.
- Por último, el departamento de mantenimiento debe establecer un plan de formación del personal encargado del Mantenimiento Autónomo, con el fin de capacitarlos para el desarrollo de las actividades programadas.

Como resultado, los operarios de producción podrán realizar las inspecciones generales que correspondan, valorar los resultados y estandarizar los procedimientos de inspección.

4.4.3.3 Nivel de plena implementación. Este nivel supone la autogestión completa del Mantenimiento Autónomo, y la estandarización de los métodos, operaciones y chequeos. Se presentan las últimas dos etapas del proceso de implementación del MA:

6. Sistematizar el Mantenimiento Autónomo
7. Practicar la autogestión plena.

- Etapa 6: Sistematizar el Mantenimiento Autónomo

Completando los primeros cinco pasos del plan de Mantenimiento Autónomo, se logran condiciones óptimas en los equipos y se establece un sistema de estándares que apoya esas condiciones. Los operarios competentes en equipos y procesos son capaces de detectar y prevenir las fallas a través de chequeos y operaciones apropiadas.

Uno de los objetivos de esta etapa es facilitar a los operarios que realicen un mantenimiento autónomo profundo y amplio del proceso ampliando sus actividades al campo del mantenimiento de calidad. Las actividades incluyen la estandarización

de los diversos elementos de control, la preparación de diagramas de flujo del proceso, manuales de mantenimiento de calidad y profundizar en que los operarios comprendan la relación entre equipo y calidad.

Los operarios descubren las fuentes de los defectos de calidad realizando inspecciones generales del mantenimiento de calidad, anotando observaciones en los diagramas de flujo el proceso y en diagramas estructurales simples de los equipos, de manera que con el tiempo puedan detectar y rectificar pronto anomalías que afectan a la calidad.

- Etapa 7: Practicar la autogestión plena

En esta última etapa se habrá alcanzado condiciones óptimas en los equipos apoyadas en un sistema de estándares adecuados. Los operarios expertos en los equipos que manejan son capaces de detectar y corregir las anomalías ocurridas en su trabajo diario, a través de chequeos y otras actividades. Poco a poco se van refinando las acciones y efectuando mejoras.

Por otra parte, cabe aclarar que las distintas etapas del Mantenimiento Autónomo deben abordarse con mucha precaución y con total seguridad de que se puede pasar de una etapa a la siguiente, es decir que hasta que no haya una garantía de que ha sido superado todo lo que exige una etapa no debería pasarse a la que sigue, de manera que se debe establecer una auditoría interna con la supervisión de los responsables de la implementación del MA, para aprobar el cambio de etapa cuando todos los objetivos alcancen el nivel de suficiencia exigida para cada una de las etapas.

Cuando una organización intenta introducir un sistema de Mantenimiento Autónomo se puede encontrar con ciertas dificultades. En la siguiente figura se muestran

posibles problemas que pueden presentarse inicialmente, y que se pueden superar con éxito conforme se va consolidando el programa de Mantenimiento Autónomo.

Figura 40. Problemas que se pueden presentar en el MA y acciones para superar las dificultades.

DIFICULTADES	OBJETIVOS
El equipo opera constantemente durante día y noche durante largos periodos de tiempo y nunca hay oportunidad de descansos	Actividades divididas en categorías de trabajos Planes de actividades detallados para los periodos de vacaciones
Los operarios supervisan un gran número de máquinas	Clarificar qué máquinas serán el centro de las actividades Tener en cuenta las tendencias críticas, por ejemplo cuellos de botella
Hay muchas máquinas complejas	Reforzar las actividades de mantenimiento especializado Potenciar la seguridad en todos los aspectos
La corrosión actúa en las máquinas sin que los operarios sean conscientes, causando averías	Desarrollar un sistema de mejoras individuales Estudio de los materiales y selección de recambios
Operarios desconocedores de su equipo	Operarios competentes y conocedores del equipo Operarios motivados y con alto grado de polivalencia
Falta de comunicación entre departamentos	Cooperación entre departamentos Comunicación fluida

Fuente: CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. p.168.

5. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD

5.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN MEPSA

Mediante visitas técnicas a las instalaciones, se recopila información básica de los diferentes equipos que conforman la línea de producción. Se encontraron los siguientes problemas en el proceso de recolección de datos:

- El inventario de equipos se encuentra desactualizado; algunas máquinas y componentes no poseen codificación y muchos de los dispositivos codificados presentan incongruencias en sus códigos.
- No se cuenta con un sistema de información estructurado o un CMMS, que permita gestionar de manera adecuada el mantenimiento de equipos.
- El Departamento de Mantenimiento no posee una estrategia de mantenimiento definida para los equipos que conforman la línea de producción. Actualmente se realiza mantenimiento correctivo y en ocasiones se practica el mantenimiento preventivo.
- La documentación técnica de los equipos como catálogos y manuales del fabricante se encuentra desactualizada o no existe.

Para empezar, se debe establecer una codificación para los equipos que conforman la línea de producción, realizar el inventario de máquinas y posteriormente actualizar la información de fichas técnicas de equipos.

5.2 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

En esta parte se procede a realizar la codificación de los equipos para facilitar la identificación de la maquinaria y para llevar a cabo este proceso se tuvo en cuenta

la norma ISO 14224. La codificación se realizó con un diseño alfanumérico de tres niveles, que consta de 6 caracteres y se describen de la siguiente manera:

- Dos letras que indican el área de ubicación del equipo.
- Tres letras que indican el tipo de equipo.
- Dos dígitos que indican la secuencia de los equipos en el proceso de producción.

Las siguientes tablas muestran la codificación correspondiente por niveles y el resultado del código general para cada equipo.

Tabla 1. Codificación por área de ubicación del equipo.

CÓDIGO	ÁREA
MP	Patio Materias Primas
LA	Laminación
CE	Corte y Empaque

Tabla 2. Codificación por tipo de equipo.

CÓDIGO	EQUIPO
CIP	Cizalla de palanquilla
PGM	Puente grúa materia prima
EMP	Empujador de palanquilla
HOR	Horno
LAH	Lanza del horno
RIP	Ripador
MEB	Mesa basculante
TRD	Tren de desbaste
MEF	Mesa fija
CIC	Cizalla corte cabeza-cola
TRC	Tren continuo
BUC	Bucleador
TRA	Tren acabador o tren dos
CIX	Cizalla de corte largo
MEE	Mesa de enfriamiento
CIY	Cizalla de producto terminado
PGB	Puente grúa bodega

Tabla 3. Codificación de activos línea de producción MEPSA.

ÍTEM	CÓDIGO	EQUIPO
1	MP-CIP-00	Cizalla de palanquilla
2	MP-PGM-01	Puente grúa materia prima
3	MP-EMP-02	Empujador de palanquilla
4	LA-HOR-03	Horno
5	LA-LAH-04	Lanza del horno
6	LA-RIP-05	Ripador
7	LA-MEB-06	Mesa basculante
8	LA-TRD-07	Tren de desbaste
9	LA-MEF-08	Mesa fija
10	LA-CIC-09	Cizalla corte cabeza-cola
11	LA-TRC-10	Tren continuo
12	LA-BUC-11	Bucleador
13	LA-TRA-12	Tren acabador o tren dos
14	LA-CIX-13	Cizalla de corte largo
15	LA-MEE-14	Mesa de enfriamiento
16	CE-CIY-15	Cizalla de producto terminado
17	CE-PGB-16	Puente grúa bodega

5.3 BASE DE DATOS

Teniendo ya codificados los equipos se organiza la información recopilada en una base de datos. Esta información contiene los siguientes parámetros: nombre del equipo, fabricante, modelo, funciones y características. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de los datos registrados con la respectiva codificación en una de las máquinas que conforman la línea de producción.

Figura 41. Registro de información en el inventario.



The screenshot displays the MIEPSA (Metales y Procesos del Oriente S.A.) inventory system interface. The header includes the company logo, name, and website (www.mepsa.com.co). The main content area is divided into a table for equipment details and a video player. The table contains the following information:

Código del equipo	LA-CIX-13
Nombre del equipo	CIZALLA DE CORTE LARGO
Fabricante	DANIELI
Modelo	V30FR1
Funciones y/o características	Cumple la función de recibir el hilo con el acabado final y producir un corte de longitud a 18 metros. Este proceso se realiza por medio de un sensor y temporizador que esta adecuado para que efectúe el corte de longitud deseada.

To the right of the table is a video player showing a close-up of the industrial equipment in operation. Below the video player is a control panel with navigation buttons (back, forward, stop, play) and a close button.

5.4 FICHAS TÉCNICAS

La actualización de las fichas técnicas comienza con el diseño de un nuevo formato, el cual fue aprobado por el Departamento de Mantenimiento, y en el cual se registra toda la información técnica de cada uno de los equipos.

Teniendo la información recopilada en el inventario se procede a registrar los datos de cada máquina en la ficha técnica, incluyendo información de componentes y sus características. El objetivo es que en estas fichas se encuentre la información resumida en caso de que se requiera para la ejecución de actividades de mantenimiento u otros fines. La tabla 4 muestra el ejemplo de la ficha técnica.

Las fichas técnicas de los equipos que conforman la línea de producción se encuentran en el anexo A.

Tabla 4. Ficha técnica de equipos.

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepesa.com.co	
	FICHA TÉCNICA				
Código:	MP-CIP-00		Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	CIZALLA DE PALANQUILLA		Imagen ilustrativa		
Fabricante:	PEDDINGHAUS				
Modelo:	582				
Fecha de compra:					
Valor de Compra:					
Funciones y/o características:					
Permite fraccionar la materia prima, para formar bloques que se introducen al horno. Es operada por personal capacitado para su correcto uso, lo acompañan diferentes sistemas que permiten realizar el trabajo señalado.					
COMPONENTES					
1 ELEMENTOS MOTRICES					
1.1 Motor de cizalla					
Código	MP-CT-07-079-001		Modelo	13585M35	
Marca	The Louis Allis Co.		Tensión	220/440 V	
Potencia	100 HP		Corriente	242/121 A	
Velocidad	1775 RPM		Tipo de arranque	Y - Δ	
			Tipo de acople	Brida	
1.2 Motor de mesa de corte					
Código	MP-CT-37-090-001		Tensión	220/440 V	
Marca	SIEMENS		Corriente	2422/121 A	
Potencia	15 HP		Tipo de arranque	Directo	
Velocidad	1800 RPM		Tipo de acople	Polea y correa	
1.3 Reductor mesa de corte					
Código	MP-CT-37-090-053		Modelo	OP017140	
Marca	D' Alsar		Relación	25:1	
Potencia	15 HP		Tipo de acople IN	Polea y correa	
Velocidad in	1800 RPM		Tipo de acople OUT	Piñon cadena	
Velocidad out	90 RPM				
2. TRANSMISIÓN					
2.1 Volante de cizalla					
Código	213003		Diametro	1765 mm	
ANEXOS					

5.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La jerarquización de activos de la línea de producción de MEPSA se realiza aplicando análisis de criticidad. El desarrollo de este análisis se basa en el método de factores ponderados expuesto en el capítulo 3. Esta metodología se soporta en el concepto del riesgo y el índice de criticidad se calcula con la siguiente expresión:

$$Criticidad = FF * C$$

FF = Frecuencia o tasa de falla

C = Consecuencia de los eventos de falla

Donde la frecuencia se asocia al número de eventos o fallas que presentan los equipos y la consecuencia se refiere a los criterios que se consideran relevantes en el contexto operacional de la máquina. La consecuencia se evalúa en función de cada criterio con la siguiente expresión:

$$C = (IO * FO) + CM + SA$$

IO = Impacto Operacional

FO = Flexibilidad Operacional

CM = Costos de Mantenimiento

SA = Impacto en Seguridad y Ambiente

Se establecen características que describen cada criterio de evaluación de acuerdo a las condiciones operacionales de los equipos que hacen parte de la línea de producción y se les designa un puntaje, lo cual constituye los factores para el cálculo de criticidad. En las siguientes tablas se muestran los diferentes criterios y su valor de ponderación.

Tabla 5. Criterio de frecuencia de falla.

Criterio	Característica	Puntaje
Frecuencia de falla	No más de 1 por año	1
	Entre 2 y 5 por año	3
	Entre 6 y 10 por año	5
	Más de 10 fallas por año	7

Tabla 6. Criterio de impacto operacional.

Criterio	Característica	Puntaje
Impacto operacional	No genera ningún riesgo en la operación	1
	Impacta a niveles de calidad e inventarios	3
	Impacta la operación e influye a otros sistemas	5
	Pérdida o parada total de la producción	7

Tabla 7. Criterio de flexibilidad operacional.

Criterio	Característica	Puntaje
Flexibilidad operacional	Se cuenta con unidades de reserva para realizar mantenimiento	1
	No se cuenta con unidades de reserva, pero hay disponibilidad de unidades con el proveedor	3
	No se cuenta con unidades de reserva y no hay disponibilidad con el proveedor	5

Tabla 8. Criterio de costos de mantenimiento.

Criterio	Característica	Puntaje
Costos de Mantenimiento	Menos de \$500.000	1
	Entre \$500.000 y \$1.000.000	3
	Entre \$1.000.000 y \$5.000.000	5
	Más de \$5.000.000	7

Tabla 9. Criterio de impacto a la seguridad humana y medio ambiente.

Criterio	Característica	Puntaje
Impacto en la Seguridad y Medio Ambiente	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales	1
	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud, y/o incidente ambiental menor	3
	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración	5
	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental catastrófico	7

Una vez se realiza la evaluación de cada uno de los criterios para todos los equipos que componen la línea de producción, se procede con el cálculo y jerarquización de la criticidad. Para hallar el nivel de criticidad de cada equipo se propone la matriz mencionada en el capítulo 3 (Figura 21) y la cual ha sido adaptada para el caso que se encuentra en estudio. Los resultados de la metodología aplicada se muestran en la tabla 9.

Figura 42. Matriz de criticidad para la jerarquización de activos.

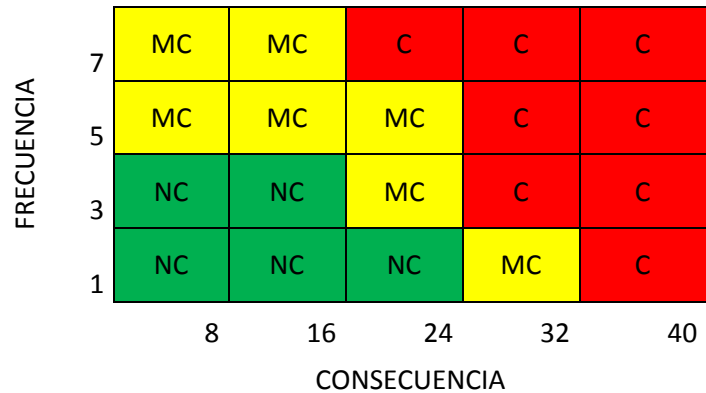


Tabla 10. Resultados del análisis de criticidad por equipos.

CÓDIGO	EQUIPO	Frecuencia de falla	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costos de Mantenimiento	Impacto en Seguridad y Medio Ambiente	CRITICIDAD	NIVEL DE CRITICIDAD
LA-TRC-10	Tren continuo	7	7	1	7	5	133	CRÍTICO
LA-TRA-12	Tren acabador	7	7	1	7	5	133	CRÍTICO
LA-TRD-07	Tren de desgaste	7	7	1	5	5	119	CRÍTICO
LA-MEB-06	Mesa basculante	5	5	3	3	5	115	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-MEE-14	Mesa de enfriamiento	7	3	1	7	3	91	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-BUC-11	Bucleador	5	5	1	5	3	65	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-LAH-04	Lanza del horno	3	3	5	1	5	63	MEDIANAMENTE CRÍTICO
MP-EMP-02	Empujador de palanquilla	3	5	3	1	3	57	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-CIC-09	Cizalla corte cabezala	3	3	3	5	5	57	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-CIX-13	Cizalla de corte largo	5	3	1	5	3	55	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-HOR-03	Horno	1	7	3	5	5	31	MEDIANAMENTE CRÍTICO
LA-RIP-05	Ripador	3	5	1	1	3	27	NO CRÍTICO
LA-MEF-08	Mesa fija	3	3	1	3	3	27	NO CRÍTICO
MP-CIP-00	Cizalla de palanquilla	1	5	1	1	3	9	NO CRÍTICO
CE-CIY-15	Cizalla de producto terminado	1	5	1	1	3	9	NO CRÍTICO
MP-PGM-01	Puente grúa materia prima	1	3	1	1	1	5	NO CRÍTICO
CE-PGB-16	Puente grúa bodega	1	3	1	1	1	5	NO CRÍTICO

El resultado del análisis nos muestra que los equipos críticos de la línea de producción de MEPSA son el tren de desgaste, tren continuo y tren acabador, de manera que es conveniente que la estrategia de mantenimiento se enfoque en reducir el impacto negativo y las pérdidas de producción que pueden generar estos equipos debido a paradas imprevistas. En la siguiente parte del proyecto se realizará análisis causa raíz y análisis CMD en cada equipo crítico.

6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

La primera etapa del análisis de modos y efectos de falla consiste en identificar los problemas existentes en cada uno de los equipos críticos que conforman la línea de producción. Se hace el análisis a estos equipos debido a que su frecuencia de fallas es mayor y tienen un alto impacto operacional, de manera que, generan mayor riesgo en el proceso productivo.

Sólo se contaba con información de fallas del año 2019 y 2020. El análisis de modos y efectos de falla se realiza con base en el historial de fallas del año 2019, ya que fue un año de trabajo ordinario. El año 2020 fue un año anormal en la forma de trabajo debido a que hubo paro en producción y ajustes de turnos laborales, disminuyendo el ritmo normal de producción debido a pandemia ocasionada por el COVID 19.

En el proceso de identificación del problema se debe conocer que fue lo que ocurrió, el impacto en la seguridad, el ambiente y la producción, si esa falla se ha presentado antes con qué frecuencia, entre otros aspectos. La idea es enfocar el análisis en los problemas que generan mayor riesgo operativo.

El siguiente paso es identificar los posibles modos de fallo que ocasionaron estos problemas. Cabe aclarar que el modo de fallo es el evento físico que genera el paro imprevisto. En las tablas que se muestran a continuación se describen los modos de fallo y el número de veces de ocurrencia, esto para cada uno de los equipos críticos.

Tabla 11. Modos de fallo del tren de desbaste.

TREN DE DESBASTE		
ÍTEM	MODO DE FALLO	Nº DE VECES DE OCURRENCIA
1	Daños en caja de piñones (Desalineamientos, rotura de acoples)	5
2	Daños en sistemas de transmisión de potencia (Rotura de correas)	2
3	Daños en reductor (Volante y/o catalina)	2
4	Daños en cilindros de desbaste	1
5	Rotura de rodamientos	1

Tabla 12. Modos de fallo del tren continuo.

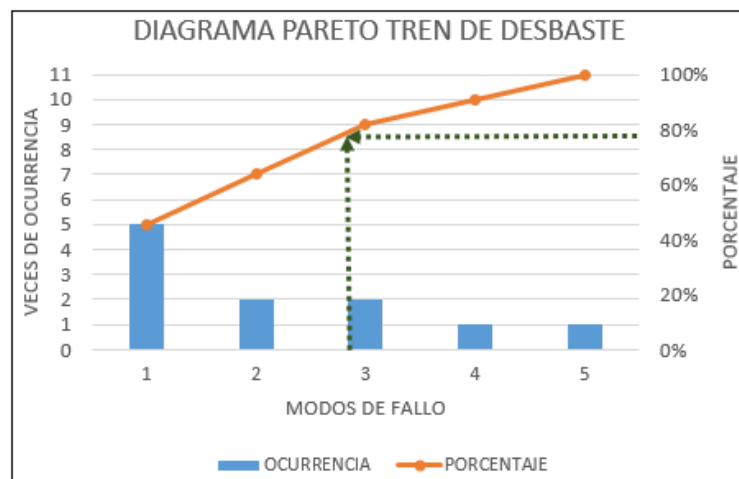
TREN CONTINUO		
ÍTEM	MODO DE FALLO	Nº DE VECES DE OCURRENCIA
1	Daños en el sistema de control eléctrico de los motores	15
2	Rotura de rodamientos	10
3	Daños en sistemas de transmisión de potencia (Daños en piñones, transmisión Cardan)	4
4	Daños en reductores	1

Tabla 13. Modos de fallo del tren acabador.

TREN ACABADOR		
ÍTEM	MODO DE FALLO	Nº DE VECES DE OCURRENCIA
1	Rotura de rodamientos	25
2	Daños en sistemas de transmisión de potencia (Rotura de correas)	3
3	Daños en el ajuste del sistema motriz	2
4	Daños en sistemas de transmisión de potencia (Daños en piñones, transmisión Cardan)	1
5	Avería y/o rotura en elementos de sujeción	1

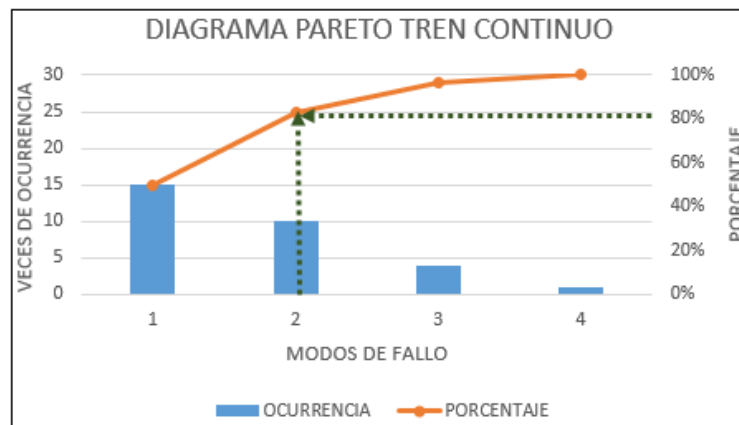
Una vez identificados los modos de fallo se hace el análisis para aquellos que tengan mayor oportunidad de mejora, por lo cual se propone realizar el diagrama de Pareto. La función del diagrama de Pareto básicamente es priorizar los modos de fallo que pueden generar el 80% de las pérdidas, es decir, encontrar cuales son los modos de fallo que producen el mayor impacto en la operación del equipo. A continuación, se muestra el resultado del diagrama de Pareto para cada equipo.

Figura 43. Diagrama de Pareto de modos de fallo tren de desbaste.



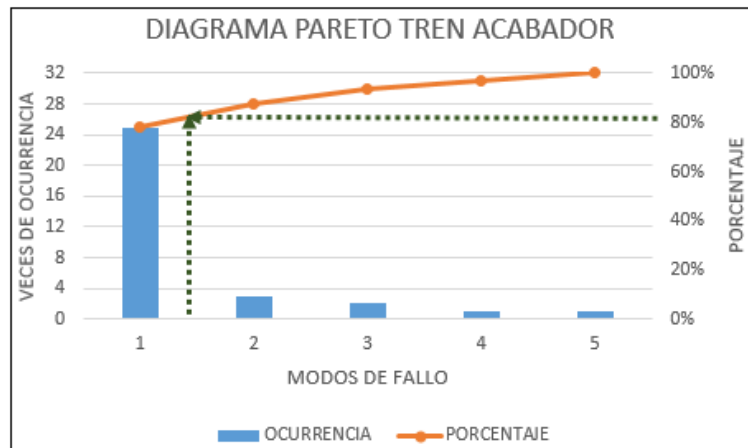
Según el diagrama de Pareto los modos de fallo que generan los mayores problemas en el tren de desbaste son daños en la caja de piñones y en los sistemas de transmisión de potencia.

Figura 44. Diagrama de Pareto de modos de fallo tren continuo.



En el tren continuo los modos de fallo que generan mayores problemas son los daños que se presentan en el sistema eléctrico de los motores y la rotura de rodamientos.

Figura 45. Diagrama de Pareto de modos de fallo tren acabador.



Con respecto al tren acabador el modo de fallo que genera la mayor parte de problemas es la rotura de rodamientos.

El proceso de análisis continúa con el planteamiento de las hipótesis para cada modo de fallo. Las hipótesis se definen como los posibles mecanismos que provocan los modos de fallo. Se deben validar las hipótesis más probables y descartar aquellas que son inconsistentes.

Una vez descartadas las hipótesis que no se consideran consistentes, se procede a definir las causas primarias para cada una de las hipótesis validadas. Estas se clasifican en tres categorías: físicas, humanas y latentes.

- Las causas físicas se refiere a las que involucran materiales o cosas tangibles.
- Las causas humanas cuando se producen por errores humanos.

- Las causas latentes se producen por anomalías en el sistema de gestión, por ejemplo, un procedimiento mal diseñado.

En las siguientes tablas se muestra el FMEA realizado para cada equipo crítico.

Tabla 14. Planteamiento de hipótesis y análisis de modos y efectos de falla para tren de desbaste.

TREN DE DESBASTE				
ÍTEM	MODO DE FALLO	HIPÓTESIS	TIPO DE CAUSA RAÍZ	CAUSA RAÍZ
1	Daños en caja de piñones (Desalineamientos, rotura de acoples)	Fatiga de material	CRF	Características físicas del material (Vida útil o defectos de fábrica)
			CRH	Montaje inadecuado
		Vibraciones excesivas	CRF	Falta lubricación
			CRL	Logística inadecuada
		Mal apriete	CRF	Herramienta de trabajo inadecuada
			CRL	Procedimiento incompleto
2	Daños en sistemas de transmisión de potencia (Rotura de correas)	Desgaste (abrasivo, corrosivo, adhesivo)	CRF	Características físicas del material (Vida útil o defectos de fábrica)
			CRH	Mala selección de correas
		Instalación inadecuada	CRH	Montaje inadecuado
			CRL	Procedimiento de ejecución inadecuado
		Poleas en mal estado	CRF	Vida útil del material
			CRF	Cargas variables en los elementos
		Impurezas en el área de operación	CRH	Mala ejecución de procedimientos de limpieza
			CRL	Procedimientos de limpieza inadecuados

Tabla 15. Planteamiento de hipótesis y análisis de modos y efectos de falla para tren continuo.

TREN ACABADOR				
ÍTEM	MODO DE FALLO	HIPÓTESIS	TIPO DE CAUSA RAÍZ	CAUSA RAÍZ
1	Rotura de rodamientos	Fatiga de material	CRF	Características físicas del material (Vida útil o defectos de fábrica)
			CRH	Montaje inadecuado
		Desgaste	CRF	Deficiencias en procedimientos de lubricación
			Contaminación del área de operación	CRH
		CRL		Procedimientos de limpieza inadecuados
		Instalación inadecuada	CRH	Montaje inadecuado
			CRL	Procedimiento de ejecución inadecuado

Tabla 16. Planteamiento de hipótesis y análisis de modos y efectos de falla para tren acabador.

TREN CONTINUO				
ÍTEM	MODO DE FALLO	HIPÓTESIS	TIPO DE CAUSA RAÍZ	CAUSA RAÍZ
1	Daños en el sistema de control eléctrico en los motores	Elementos en mal estado	CRF	Falta de calibración de parámetros
			CRL	Falta de mantenimiento preventivo a dispositivos electricos
		Contaminación del área de operación	CRF	Desgaste corrosivo
			CRH	Mala ejecución de procedimientos de limpieza
			CRL	Procedimientos de limpieza inadecuados
		Manipulación inadecuada	CRH	Montaje inadecuado
			CRL	Procedimiento de ejecución inadecuado
2	Rotura de rodamientos	Fatiga de material	CRF	Características físicas del material (Vida útil o defectos de fábrica)
			CRH	Montaje inadecuado
		Desgaste	CRF	Deficiencias en procedimientos de lubricación
			Contaminación del área de operación	CRH
		CRL		Procedimientos de limpieza inadecuados
		Instalación inadecuada	CRH	Montaje inadecuado
			CRL	Procedimiento de ejecución inadecuado

Como resultado se genera el árbol lógico producto del análisis de modos y efectos de falla. El árbol lógico muestra de forma gráfica los modos de fallo más importantes que se determinaron por medio del diagrama de Pareto, las hipótesis que fueron consideradas válidas y las causas raíces que corresponden a cada hipótesis. A continuación se muestra el árbol lógico para cada uno de los equipos críticos.

Figura 46. Árbol lógico RCA tren de desbaste.

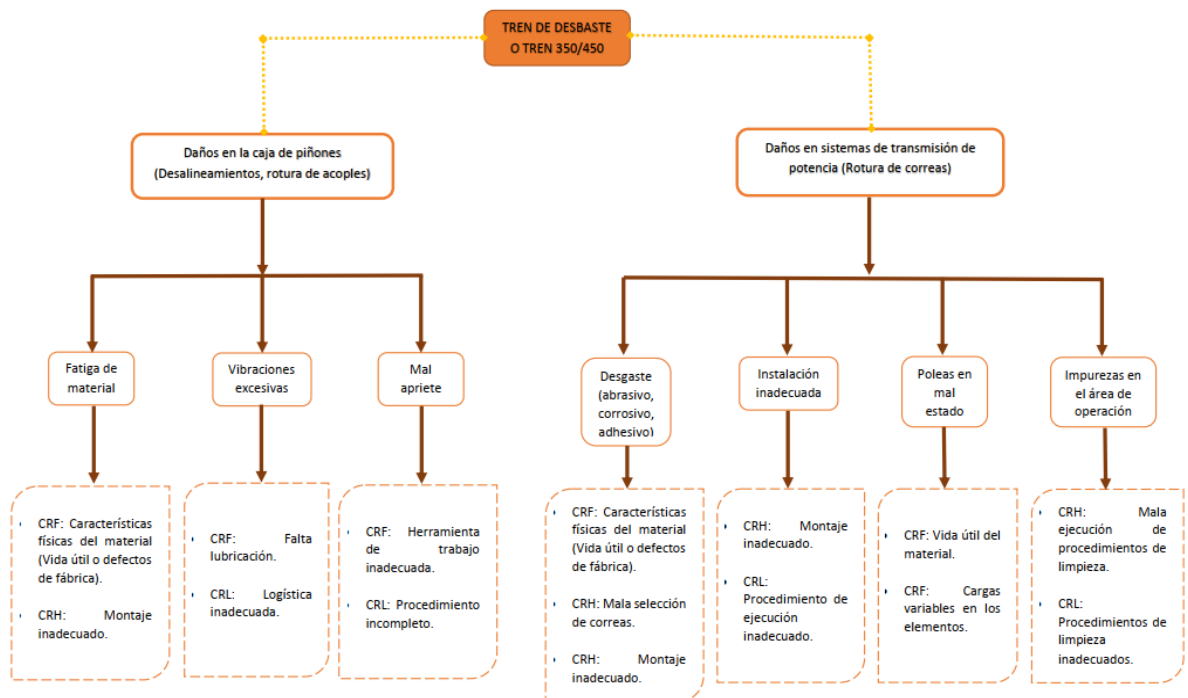


Figura 47. Árbol lógico RCA tren continuo.

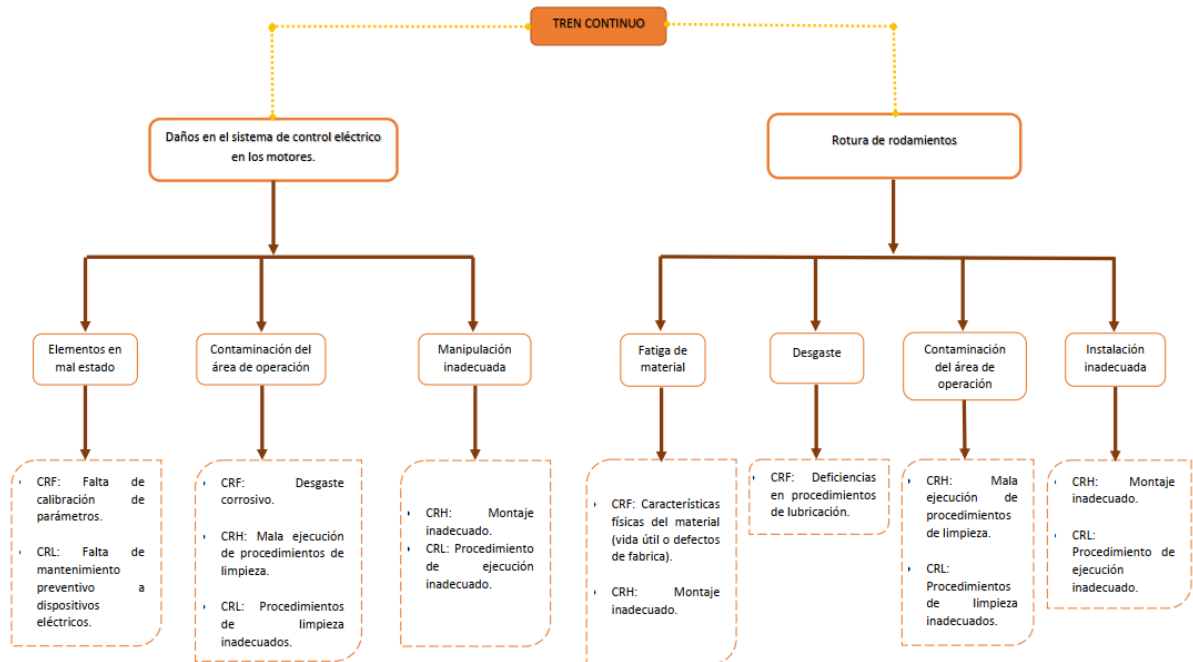
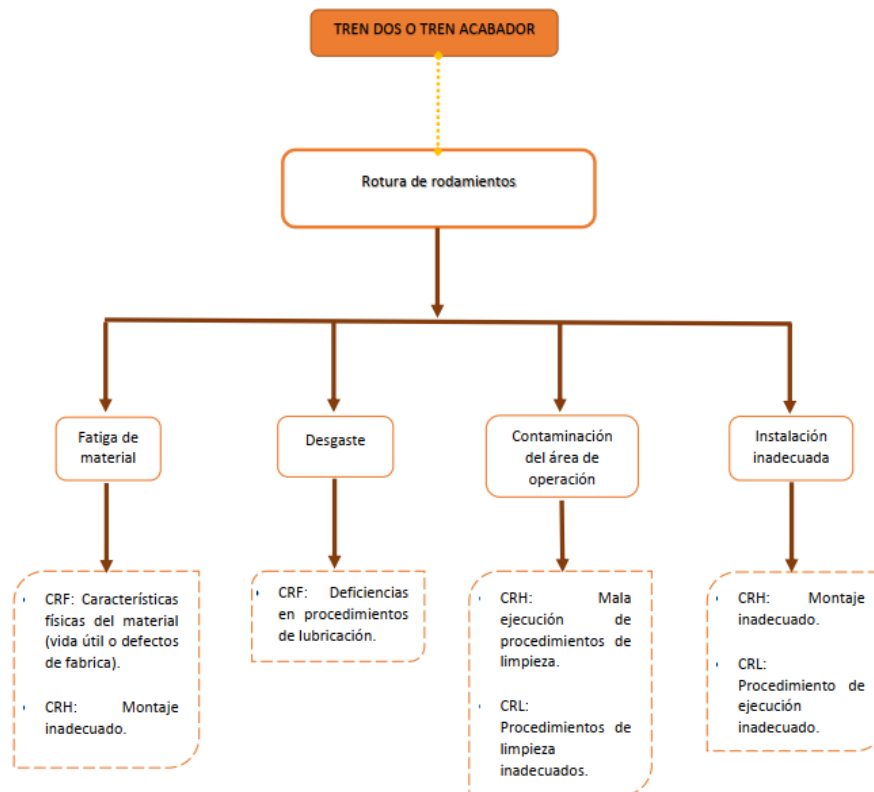


Figura 48. Árbol lógico RCA tren acabador



Mediante la aplicación de la técnica FMEA se pudo determinar cuáles son los principales problemas que generan fallos o imprevistos en las máquinas, encontrando las causas que producen los modos de fallo. Por lo tanto, este análisis es un gran aporte a la estrategia de mantenimiento para establecer actividades que permitan minimizar los eventos de fallas y asegurar una mayor confiabilidad operacional en los equipos analizados.

7. ANÁLISIS DE INDICADORES CMD

El análisis CMD se realiza en base al modelo universal citado en la figura 35 y tiene por objetivo analizar los equipos críticos que conforman la línea de producción, con el fin de estudiar indicadores que evalúan el desempeño de los equipos para plantear una estrategia de mantenimiento adecuada que permita cumplir con los requerimientos de funcionamiento de los equipos. Asimismo, a través del diagnóstico del estado actual de los equipos se puede pronosticar su comportamiento en un periodo de tiempo determinado.

Por lo cual, el primer paso es la obtención de datos, que incluye el historial de fallas con información de tiempos útiles de funcionamiento y tiempos perdidos de producción debido a reparaciones y mantenimiento. El historial de fallas proporcionado por la empresa fue el que se registró en los últimos dos años (2019 y 2020). El año 2020 fue atípico ya que la frecuencia laboral y de producción fue afectada por la declaración de pandemia por COVID 19, por lo tanto sus registros no eran suficientes para someterlos a una evaluación. La base de datos de fallas que fue objeto de estudio se muestra en el Anexo C y corresponde al año 2019.

La segunda parte de la metodología consiste en calcular la disponibilidad adecuada de acuerdo a los datos que se posean de los equipos. En la figura 31 se mencionan los tipos de disponibilidad y las condiciones para usar cada una de ellas. Para el caso puntual de este análisis los tiempos útiles de funcionamiento (UT) son muy superiores con respecto a los tiempos de reparación (TTR). Asimismo, no se cuenta con información precisa de tiempos logísticos, por lo tanto se considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación y sólo se aplica mantenimiento correctivo, de manera que haciendo válidas estas condiciones se usa la disponibilidad inherente.

7.1 CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD

A continuación, se realiza el cálculo de la disponibilidad inherente (D_I) por el método puntual de promedios teniendo en cuenta que dicho cálculo se efectúa con los datos de fallas correspondientes al año 2019 de cada uno de los tres equipos críticos de la línea de producción. La expresión matemática para calcular la disponibilidad por el método puntual es la siguiente:

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

Donde $MTBF$ es el tiempo medio entre fallas y $MTTR$ el tiempo medio para reparar. Los cálculos de cada parámetro $MTBF$ Y $MTTR$ se realizan teniendo en cuenta la gráfica de tiempos (Ver figura 30). En la tabla 14 se muestra el valor de disponibilidad calculada por el método puntual de promedios para cada uno de los equipos críticos. Los valores de tiempo TTR y TBF estan en horas.

Figura 49 Disponibilidad por el método puntual de promedios

TREN CONTINUO		TREN ACABADOR		TREN DE DESBASTE	
TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF
2.25	18.00	1.33	103.00	0.33	210.33
0.50	59.00	0.50	264.25	6.00	771.67
0.58	4.91	1.67	136.75	0.17	925.67
0.67	10.58	1.42	85.75	2.00	237.34
0.17	5.17	1.00	16.75	1.50	25.50
1.17	2.84	1.33	514.83	3.33	193.16
3.00	12.50	1.42	131.02	0.17	644.59
1.67	3.17	0.83	1571.63	5.83	1266.23
0.67	160.18	0.92	6.17	2.17	875.50
2.00	757.83	0.75	16.25	0.25	34.50
0.67	227.84	1.33	2.75	0.17	32.67
1.83	6.16	1.00	25.00	MTRR= 1.99 MTBF=474.29	
2.00	13.00	1.33	14.49	Disponibilidad=99.6%	
0.25	343.75	1.33	184.99		
3.00	254.75	2.08	30.16		
2.33	95.00	0.25	457.92		
9.08	293.50	0.50	44.50		
0.83	10.75	1.00	320.75		
2.33	19.75	1.00	18.00		
1.00	1115.50	0.42	656.25		
0.92	190.25	0.25	343.25		
0.25	483.67	1.00	216.00		
0.33	270.16	2.00	119.00		
0.33	0.50	0.17	18.17		
0.75	329.50	1.33	97.49		
2.50	240.83	0.83	386.44		
1.00	611.25	2.67	152.76		
1.42	2.50	0.42	27.67		
0.50	218.75	MTRR= 1.07 MTBF=212.93			
1.17	164.50	Disponibilidad=99.5%			
MTRR= 1.51 MTBF=197.54					
Disponibilidad=99.2%					

Los resultados obtenidos por el método puntual de promedios no son muy aceptables ya que este método carece de precisión y exactitud. Por esta razón, es conveniente calcular los parámetros de tiempo MTBF y MTTR usando una herramienta ofimática de manera que los resultados sean confiables.

A continuación, se realizan los cálculos de cada parámetro con la ayuda del programa informático CMD¹⁵ y también se utiliza un software para comparar los resultados. Estos programas toman los valores de TTR y TBF y calculan cada uno de los parámetros basándose en la distribución de Weibull.

Primero se calculan los parámetros con el programa CMD por lo cual se introducen los datos de tiempos TTR y TBF (en horas) de cada uno de los equipos analizados.

Figura 50. Datos TBF y TTR tren de desbaste programa CMD

Seleccione la Función de Cálculo que desea por favor Weibull	Dato Número 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18	Tiempos de Confiabilidad Tomados TBF 1	Tiempos de Mantenibilidad Tomados TTR 2
Escoja el Método de Alineación o No que desea BENARD		210.33	0.33
Defina qué prueba de Bondad de Ajuste desea - Goodness of Fit Kolmogórov - Smirnov		771.67	6.00
		925.67	0.17
		237.34	2.00
		25.50	1.50
		193.16	3.33
		644.59	0.17
		1266.23	5.83
		875.50	2.17
		34.50	0.25
		32.67	0.17
Salida segura del programa			

Figura 51. Datos TBF y TTR tren continuo programa CMD

¹⁵ (*) Programa informático CMD propiedad intelectual del Dr. PhD. Luis Alberto Mora Gutiérrez.

Seleccione la Función de Cálculo que desea por favor		Dato Número	Tiempos de Confiabilidad Tomados TBF	Tiempos de Mantenibilidad Tomados TTR
Weibull			1	2
Escoja el Método de Alineación o No que desea		1	18.00	2.25
BENARD		2	59.00	0.50
Defina qué prueba de Bondad de Ajuste desea - Goodness of Fit		3	4.91	0.58
Kolmogórov - Smirnov		4	10.58	0.67
Salida segura del programa		5	5.17	0.17
		6	2.84	1.17
		7	12.50	3.00
		8	3.17	1.67
		9	160.18	0.67
		10	757.83	2.00
		11	227.84	0.67
		12	6.16	1.83
		13	13.00	2.00
		14	343.75	0.25
		15	254.75	3.00
		16	95.00	2.33
		17	293.50	9.08
		18	10.75	0.83
		19	19.75	2.33
		20	1115.50	1.00
		21	190.25	0.92
		22	483.67	0.25
		23	270.16	0.33
		24	0.50	0.33
		25	329.50	0.75
		26	240.83	2.50
		27	611.25	1.00
		28	2.50	1.42
		29	218.75	0.50
		30	164.50	1.17

Figura 52. Datos TBF y TTR tren acabador programa CMD

Seleccione la Función de Cálculo que desea por favor		Dato Número	Tiempos de Confiabilidad Tomados TBF	Tiempos de Mantenibilidad Tomados TTR
Weibull			1	2
Escoja el Método de Alineación o No que desea		1	103.00	1.33
BENARD		2	264.25	0.50
Defina qué prueba de Bondad de Ajuste desea - Goodness of Fit		3	136.75	1.67
Kolmogórov - Smirnov		4	85.75	1.42
Salida segura del programa		5	16.75	1.00
		6	514.83	1.33
		7	131.02	1.42
		8	1571.83	0.83
		9	6.17	0.92
		10	16.25	0.75
		11	2.75	1.33
		12	25.00	1.00
		13	14.49	1.33
		14	184.99	1.33
		15	30.16	2.08
		16	457.92	0.25
		17	44.50	0.50
		18	320.75	1.00
		19	18.00	1.00
		20	656.25	0.42
		21	343.25	0.25
		22	216.00	1.00
		23	119.00	2.00
		24	18.17	0.17
		25	97.49	1.33
		26	386.44	0.83
		27	152.76	2.67
		28	27.67	0.42

El programa informático se basa en el modelo universal para pronosticar CMD (Ver figura 35). Se escoge el método de aproximación de rango de medianas Benard para estimar cada uno de los parámetros y la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov que se usa para determinar si la muestra de datos se ajusta o no a la distribución Weibull.

Figura 53. Resultados de MTBF y MTTR tren de desbaste con CMD

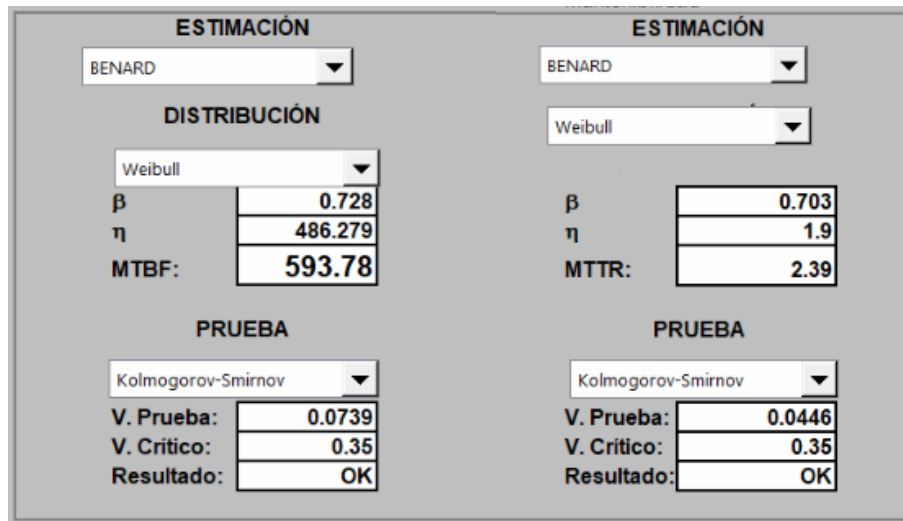


Figura 54. Resultados de MTBF y MTTR tren continuo con CMD

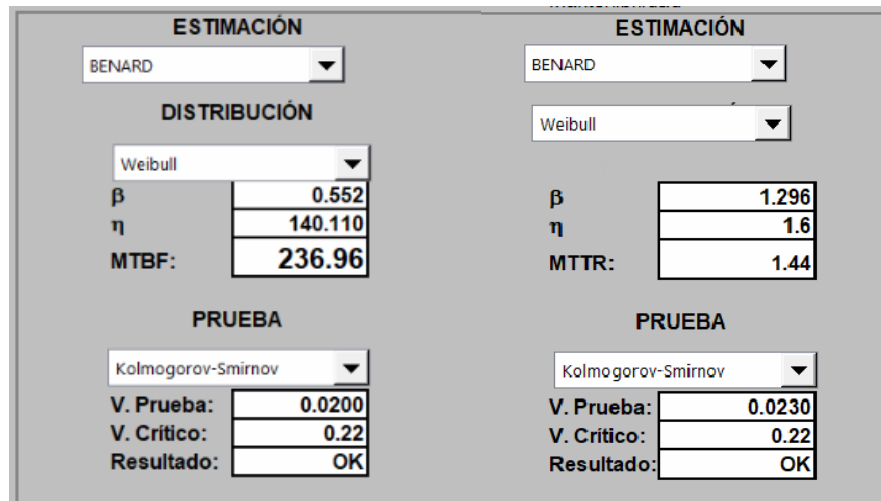
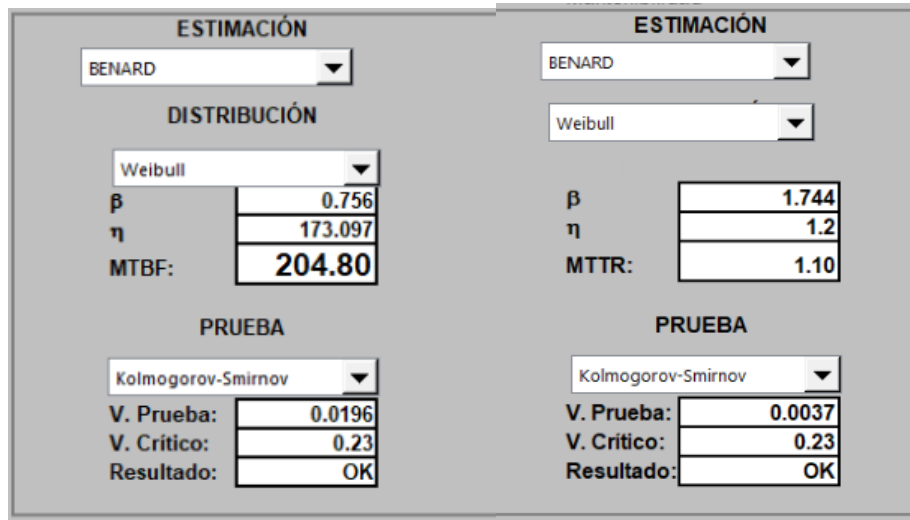


Figura 55. Resultados de MTBF y MTTR tren acabador con CMD



Ahora se procede a realizar los cálculos con el software para comparar los resultados y comprobar si son correctos.

Figura 56. Resultado de MTBF tren de desgaste

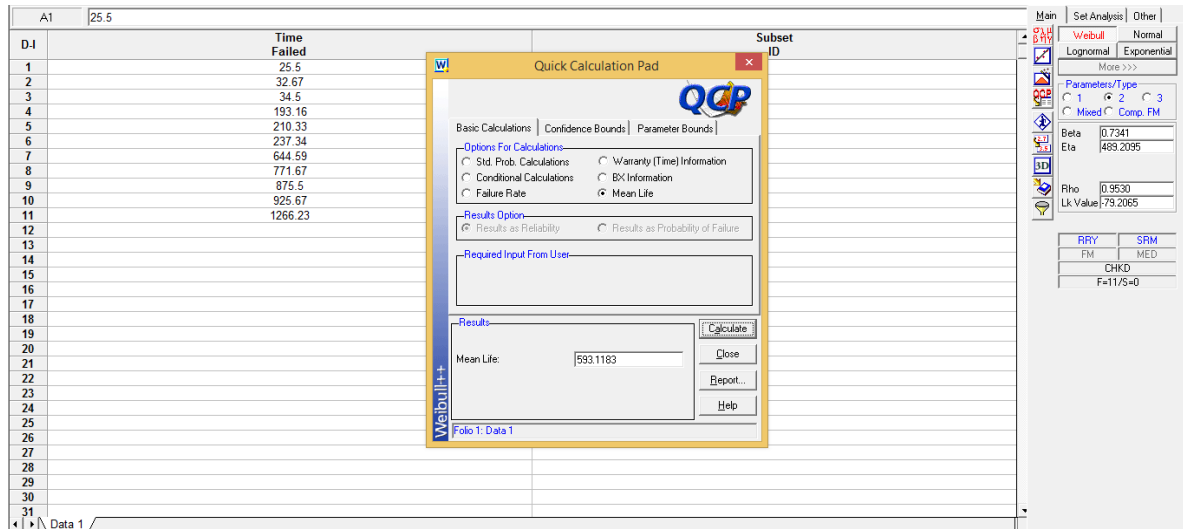


Figura 57. Resultado de MTTR tren de desbaste

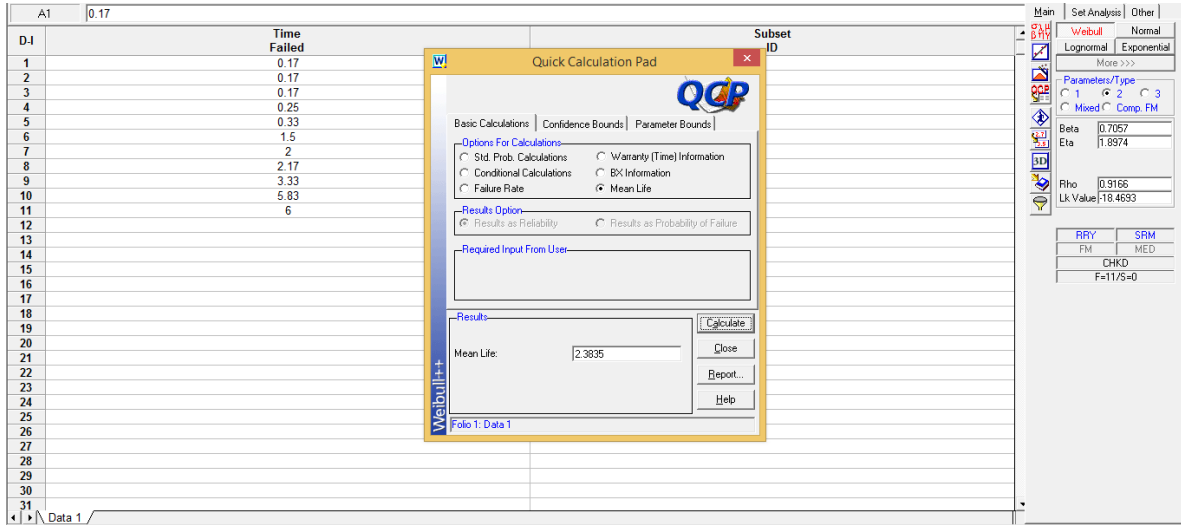


Figura 58. Resultado de MTBF tren continuo

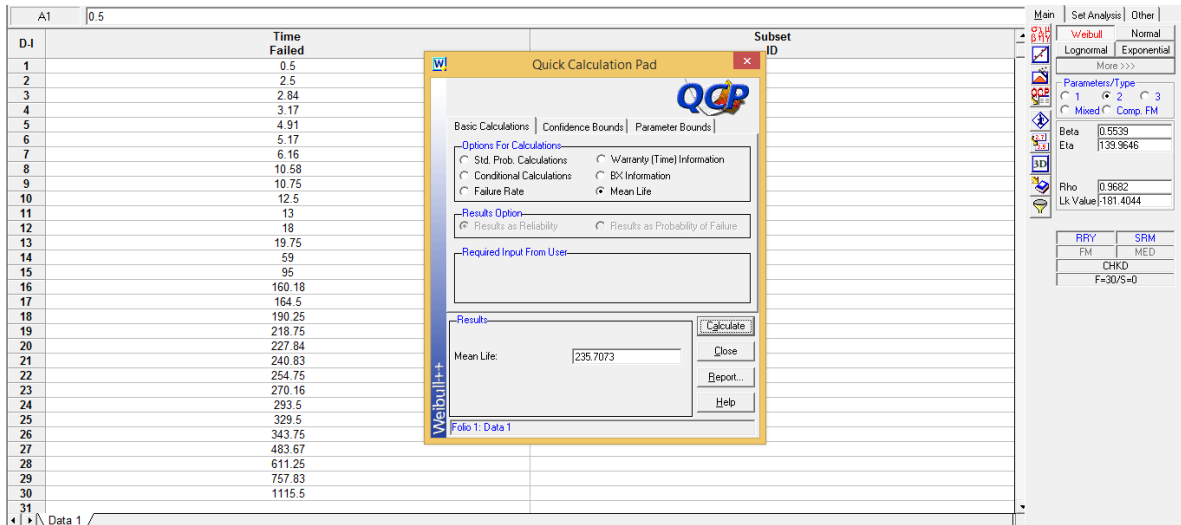


Figura 59. Resultado de MTTR tren continuo

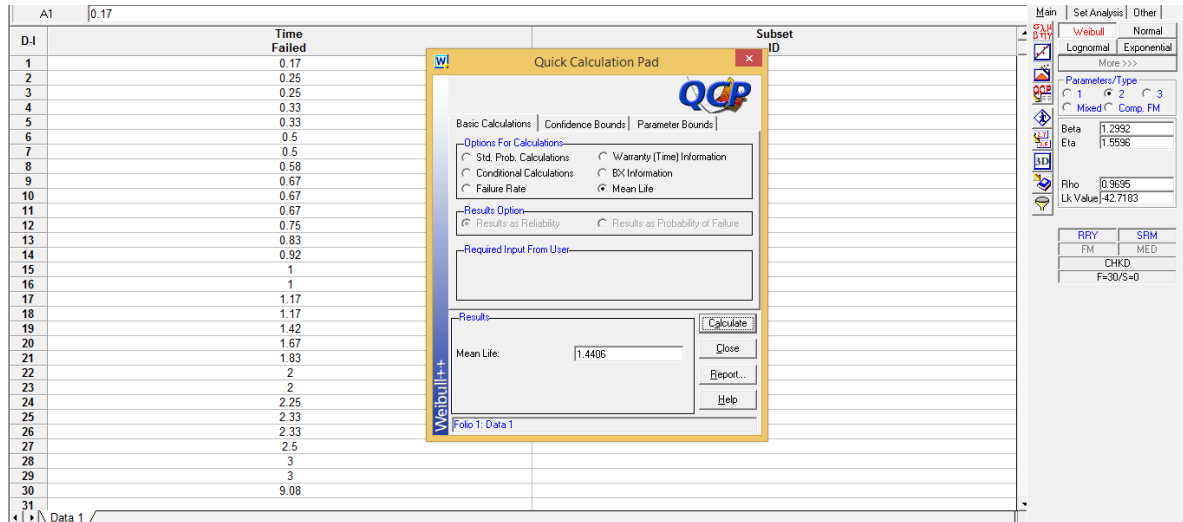


Figura 60. Resultado de MTBF tren acabador

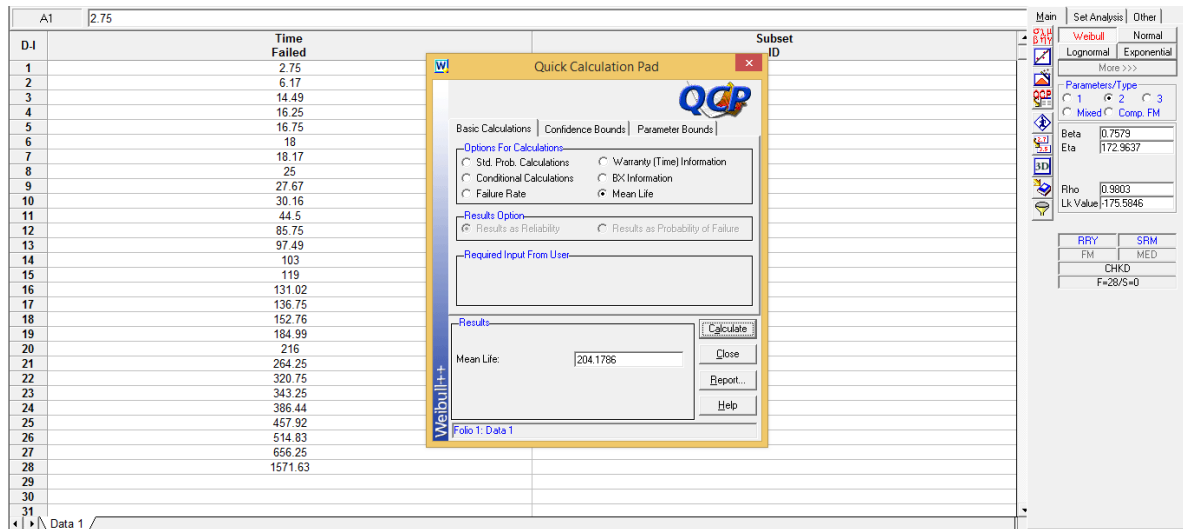
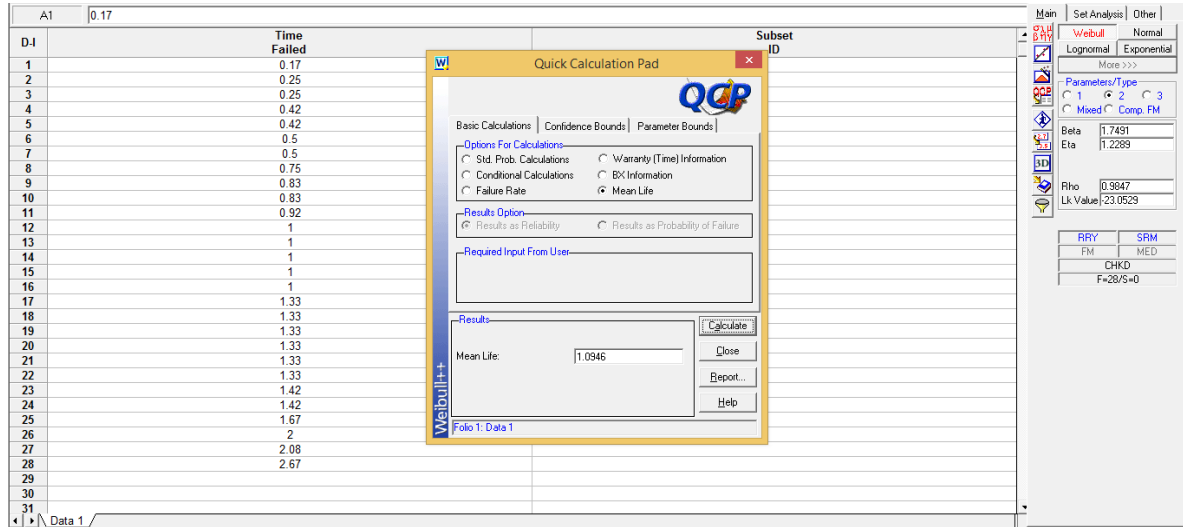


Figura 61. Resultado de MTTR tren acabador



Se realiza una comparación de los resultados de ambos paquetes informáticos obteniendo un error por debajo del 1.0%, por lo cual se asume que los valores son coincidentes y es correcto emplear cualquiera de los dos programas para realizar los cálculos respectivos al análisis y generar las curvas características de Confiabilidad y Mantenibilidad. A continuación, se muestra en tablas comparativas los resultados de los parámetros MTBF, MTTR, Beta (β), Eta (η) y la disponibilidad de cada uno de los equipos que han sido evaluados.

Tabla 17. Resultados de parámetros tren de desbaste

TREN DE DESBASTE	WEIBULL	WEIBULL	METODO PUNTUAL
	SOFTWARE	PROGRAMA DE EXCEL (CMD)	PROMEDIOS EN EXCEL
MTBF (horas)	593.12	593.78	474.29
β	0.73	0.73	NA
η	489.21	486.28	NA
MTTR (horas)	2.38	2.39	1.99
β	0.71	0.70	NA
η	1.90	1.90	NA
DISPONIBILIDAD	99.60	99.60	99.58

Tabla 18. Resultados de parámetros tren continuo

TREN CONTINUO	WEIBULL	WEIBULL	METODO PUNTUAL
	SOFTWARE	PROGRAMA DE EXCEL (CMD)	PROMEDIOS EN EXCEL
MTBF (horas)	235.71	236.96	197.54
β	0.55	0.55	NA
η	139.96	140.11	NA
MTTR (horas)	1.44	1.44	1.51
β	1.30	1.30	NA
η	1.56	1.60	NA
DISPONIBILIDAD	99.39	99.40	99.24

Tabla 19. Resultados de parámetros tren acabador

TREN ACABADOR	WEIBULL	WEIBULL	METODO PUNTUAL
	SOFTWARE	PROGRAMA DE EXCEL (CMD)	PROMEDIOS EN EXCEL
MTBF (horas)	204.18	204.80	212.93
β	0.76	0.76	NA
η	172.96	173.10	NA
MTTR (horas)	1.09	1.10	1.07
β	1.75	1.74	NA
η	1.23	1.20	NA
DISPONIBILIDAD	99.47	99.47	99.50

Se obtienen porcentajes altos de disponibilidad, lo cual es muy favorable. Esto indica que las pérdidas de producción por indisponibilidad de los equipos son mínimas. Mejorar los tiempos de funcionalidad entre correctivos incide directamente en un valor más alto de disponibilidad. La disponibilidad es casi la misma al utilizar la distribución Weibull y el método puntual, sin embargo es recomendable siempre utilizar los programas informáticos para hallar este indicador.

Con respecto al tiempo medio entre fallas (MTBF) el tren de desbaste posee el valor más alto, lo cual indica que tiene tiempos útiles de funcionamiento considerables en

comparación con el tren continuo y el tren acabador. Con la estrategia de mantenimiento se pretende aumentar el parámetro MTBF principalmente en estos dos equipos.

Los resultados para el tiempo medio de reparación (MTTR) muestran que el tren de desbaste tiene el valor más alto, de manera que se deben emplear estrategias para reducir los tiempos de reparación en ese equipo. Sucede lo contrario con el tren acabador que tiene el MTTR más bajo por tal razón los tiempos de reparación son más cortos. El tren continuo por su parte tiene un tiempo medio de reparación aceptable, sin embargo también hay que mejorarlo.

Se puede observar que los betas en confiabilidad son inferiores a 1 (0,73; 0,55 y 0,76 respectivamente) y teniendo en cuenta la curva de la bañera (Ver figura 27) teóricamente los tres equipos se encuentran en la zona donde el comportamiento de la tasa de fallas empieza a ser constante, terminando la fase de mortalidad infantil y comenzando una fase de madurez o de vida útil.

Con respecto a las betas en mantenibilidad se puede observar que en el tren continuo y en el tren acabador los valores son superiores a 1 (1,30 y 1,75 respectivamente) lo que denota que hay que tomar acciones preventivas en estos equipos para controlar el incremento en la tasa de fallas (Ver figura 28). Por su parte, el tren de desbaste tiene un beta de 0,71 lo cual indica que en este equipo se pueden seguir tomando acciones correctivas, sin embargo, lo que pretende la estrategia de mantenimiento es mejorar estos parámetros reduciendo la frecuencia de fallas y así evitar intervenir los equipos por mantenimiento correctivo.

Analizando las etapas en confiabilidad, estos son determinantes para fijar la vida útil de cada equipo. El tren de desbaste tiene el valor más alto, lo cual indica que es el equipo con la mayor capacidad de operación autónoma, de modo que puede ser sometido a trabajos de mayor duración presentando baja frecuencia de fallas. Por

su parte, el tren continuo y el tren acabador presentan etas más bajos, de manera que son máquinas en las cuales su capacidad productiva es menor, por lo tanto son equipos con una alta frecuencia de fallas siendo el tren continuo el que presenta mayores problemas.

7.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD

Ya teniendo la disponibilidad y los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad se procede a hallar las curvas características de Weibull por lo cual se escoge cualquiera de los dos programas informáticos para generar estas curvas ya que sus resultados son similares. A continuación, se muestran las curvas características de confiabilidad de cada uno de los equipos críticos que han sido analizados.

- Tren de desbaste

Figura 62. Curva de supervivencia con CMD

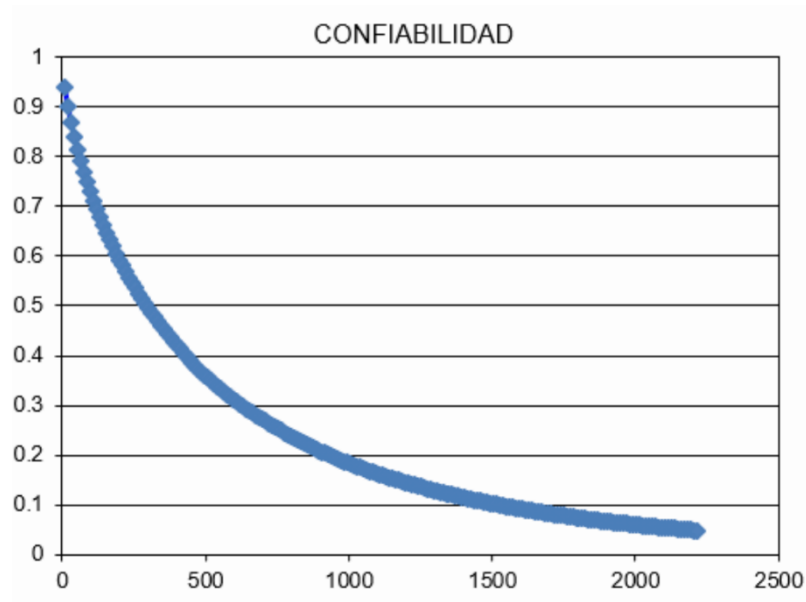
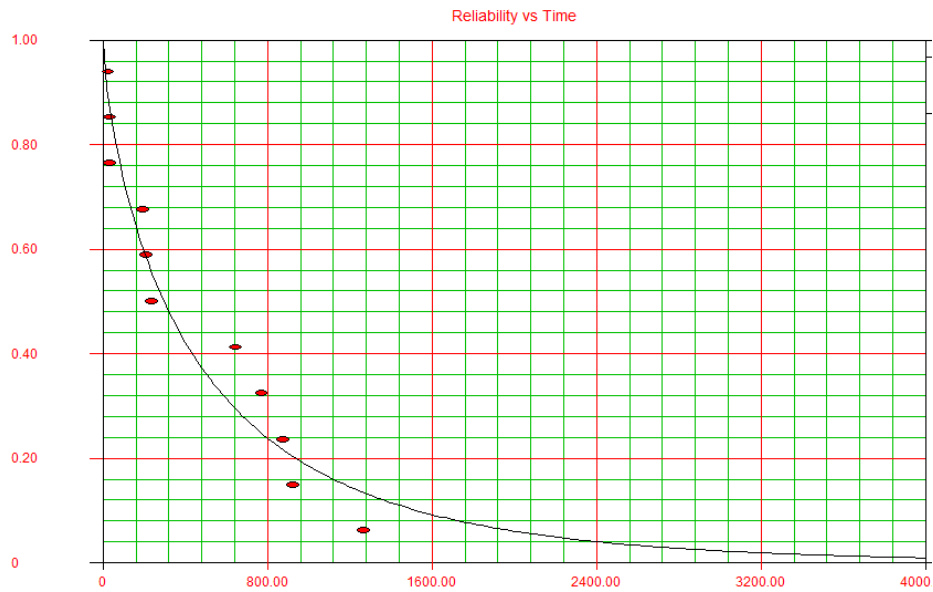


Figura 63. Curva de supervivencia con Weibull



La función de confiabilidad también llamada curva de supervivencia nos permite conocer cuál es la probabilidad de que la máquina dure T horas sin fallar, es decir, para este caso en particular por ejemplo la probabilidad de que el tren de desbaste dure 800 horas sin presentar fallas es del 24%.

Figura 64. Probabilidad de falla (No confiabilidad) con CMD

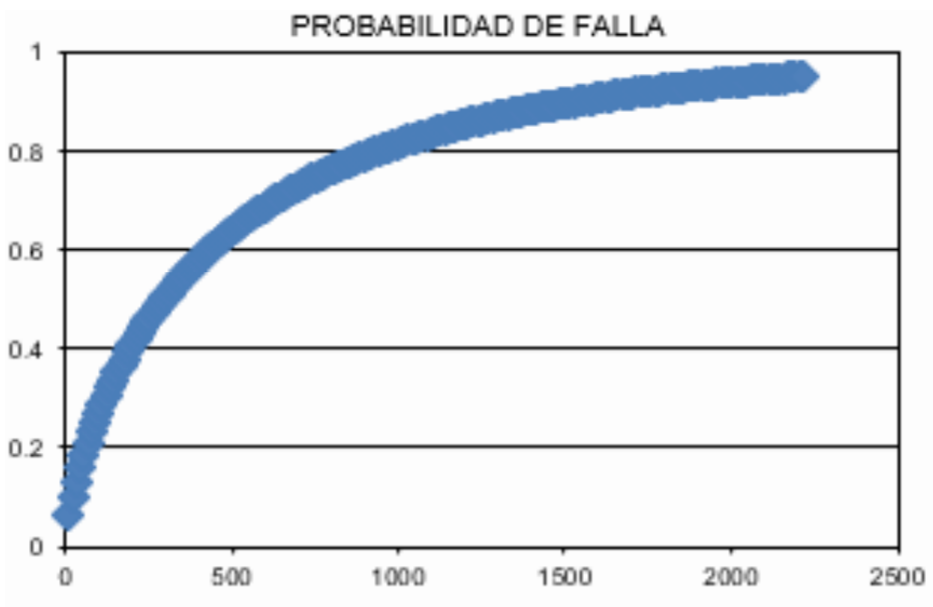
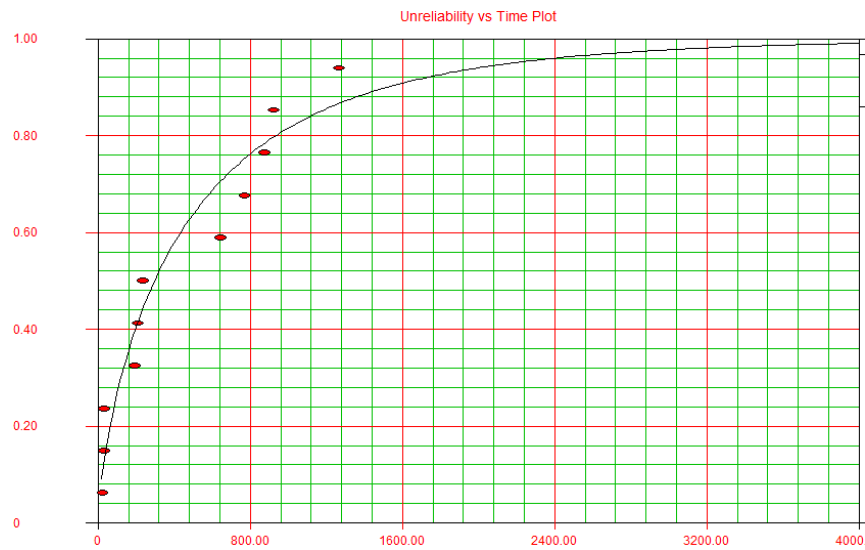
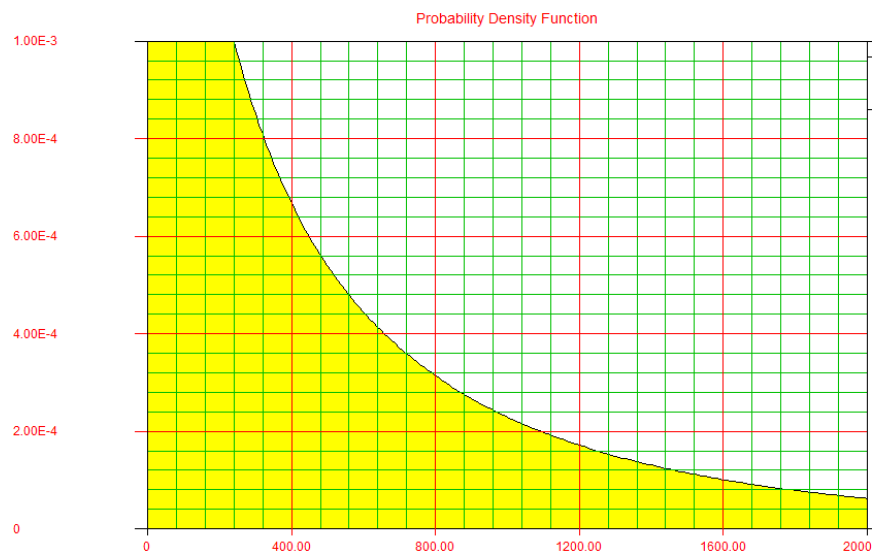


Figura 65. Probabilidad de falla (No confiabilidad) con Weibull



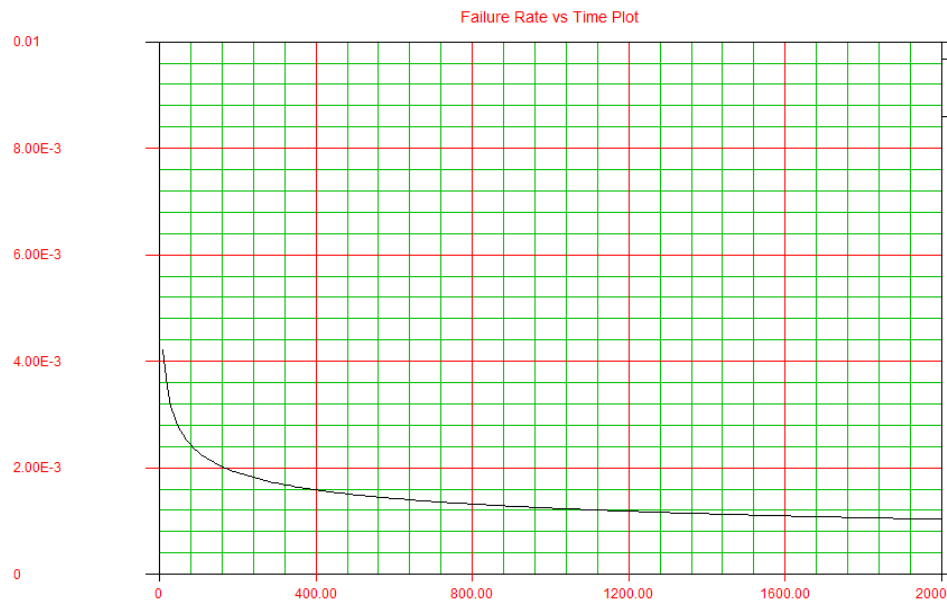
La probabilidad de falla también llamada función de no confiabilidad nos da a conocer cuál es la probabilidad de que el equipo falle al transcurrir un periodo de tiempo T . Por ejemplo, la probabilidad de que el tren de desbaste presente fallas cuando transurren 800 horas de operación es del 76%.

Figura 66. Densidad de fallas con Weibull



La función de densidad de fallas indica la probabilidad relativa de que una avería ocurra en un intervalo de tiempo en el tren de desbaste. También se le denomina probabilidad de falla acumulada.

Figura 67. Tasa de fallas con Weibull



La función de tasa de fallas indica la cantidad de averías o de reparaciones por unidad de tiempo. Esta función se describe con la curva de la bañera o de Davies (Ver figura 27) mencionada en el capítulo 3. En este caso la curva tiende a ser constante lo que denota que el equipo está en la fase de vida útil donde se pueden presentar fallas aleatorias.

Figura 68. Curva de mantenibilidad con CMD

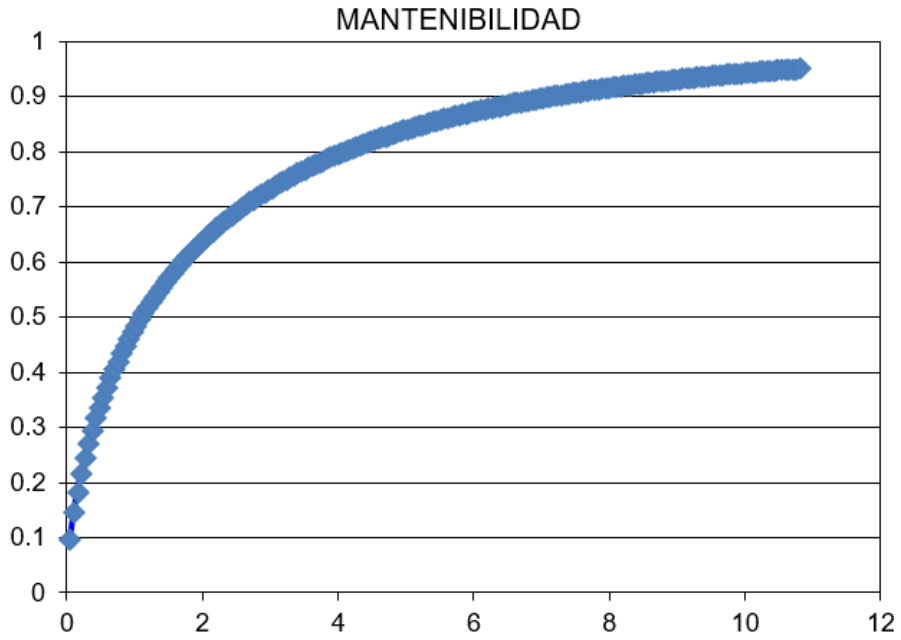
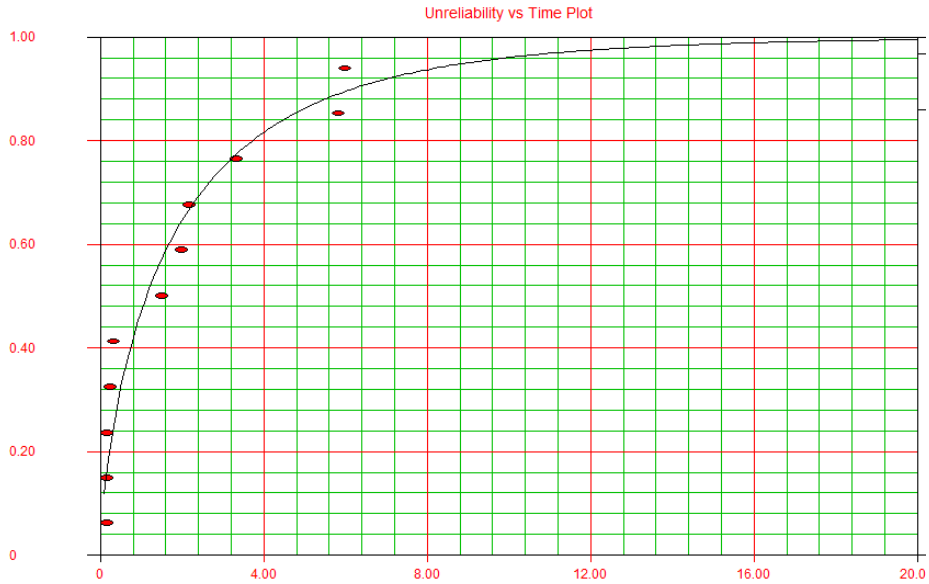


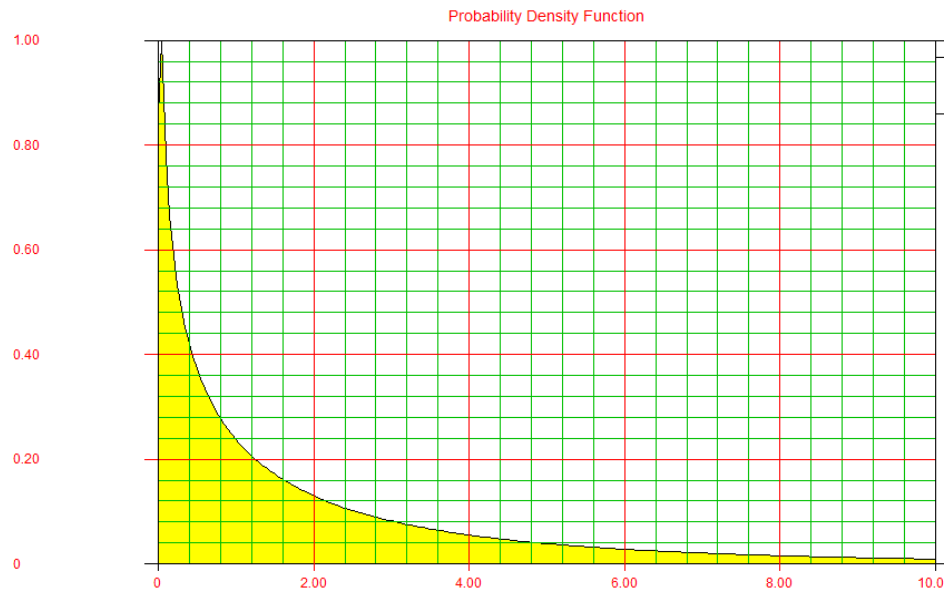
Figura 69. Curva de mantenibilidad con Weibull



La función de mantenibilidad indica la probabilidad de que una reparación que se realice en el equipo no dure más de T horas. Por ejemplo, la gráfica nos indica que existe una probabilidad del 81% de que una reparación que se haga en el tren de

desbaste no dure más de 4 horas. También se puede leer que el 81% de las reparaciones se realizan en tiempos inferiores a 4 horas.

Figura 70. Densidad de reparaciones con Weibull



La función de densidad de reparaciones indica la probabilidad relativa de que una reparación se pueda realizar en un intervalo de tiempo.

- Tren continuo

Figura 71. Curva de supervivencia con CMD

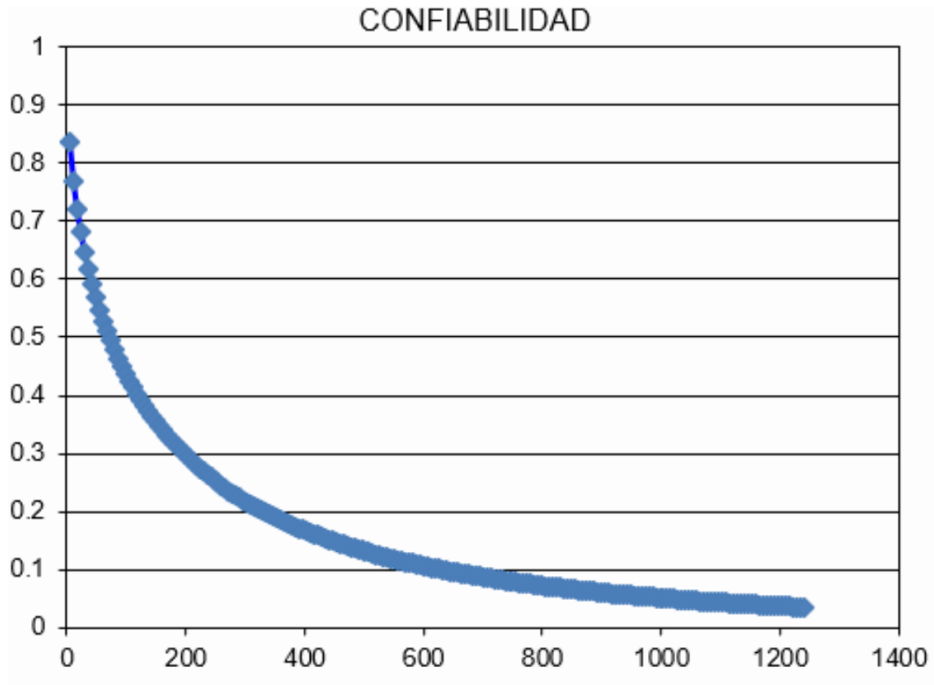
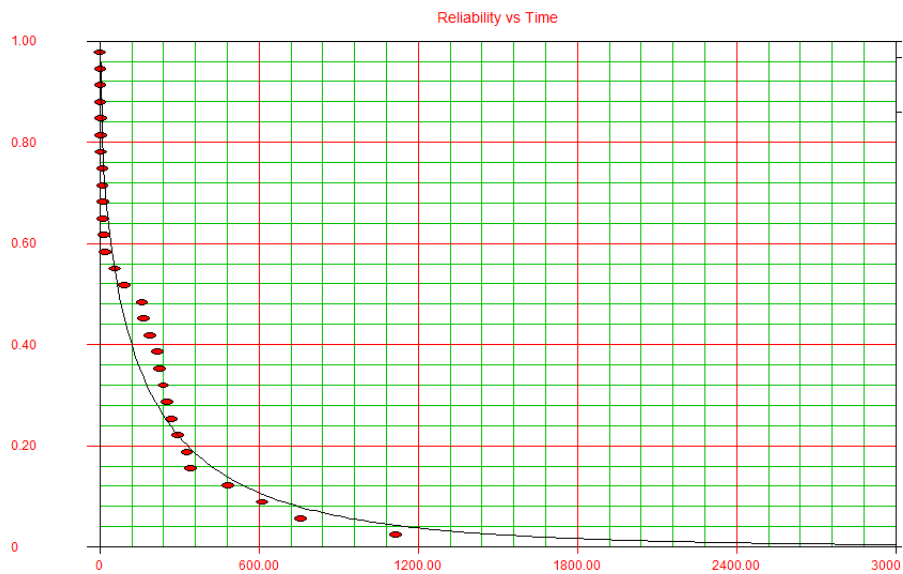


Figura 72. Curva de supervivencia con Weibull



Para el caso particular del tren continuo y escogiendo el mismo tiempo de 800 horas podemos observar que la probabilidad de que el equipo no presente fallas en ese

tiempo es aproximadamente del 7%. Esto indica que el tren continuo esta propenso a fallar más rápido que el tren de desgaste que presenta una probabilidad del 24% para las mismas 800 horas de operación.

Figura 73. Probabilidad de falla (No confiabilidad) con CMD

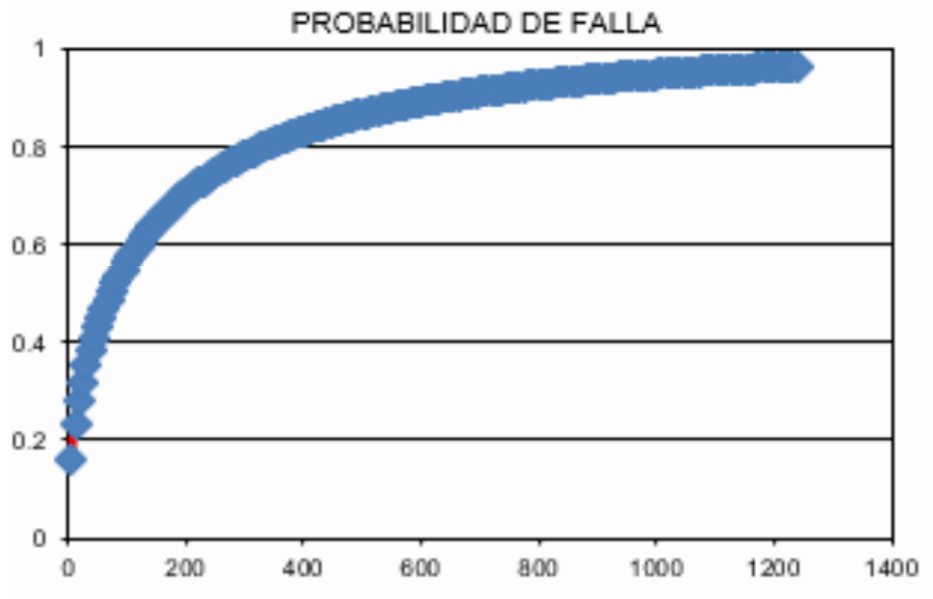
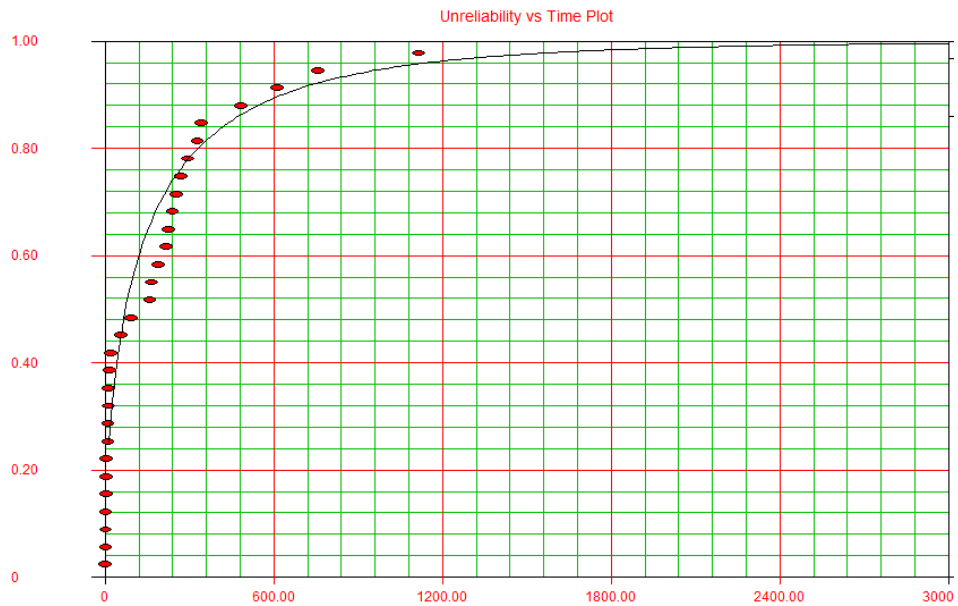
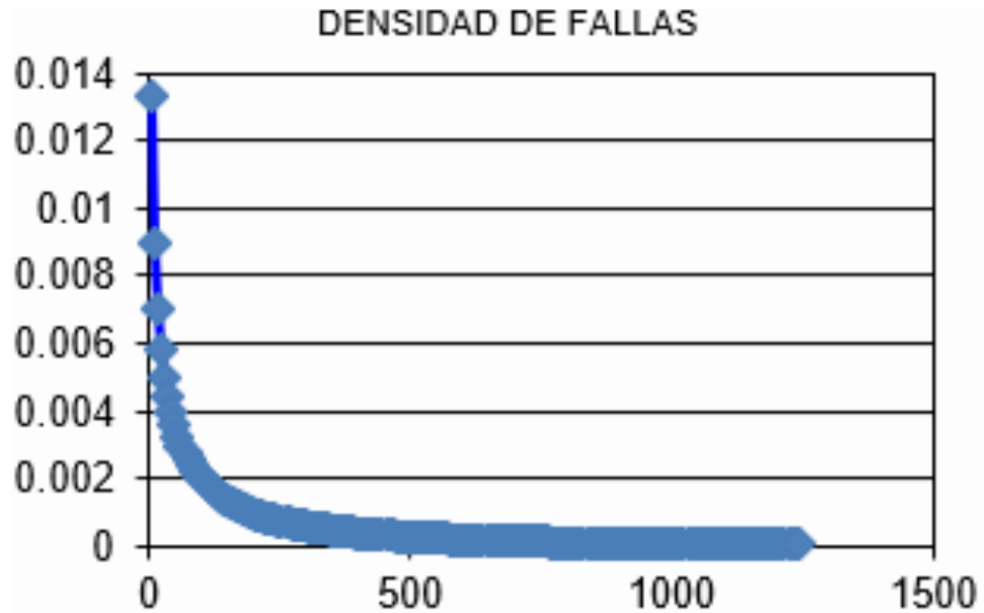


Figura 74. Probabilidad de falla (No confiabilidad) con Weibull



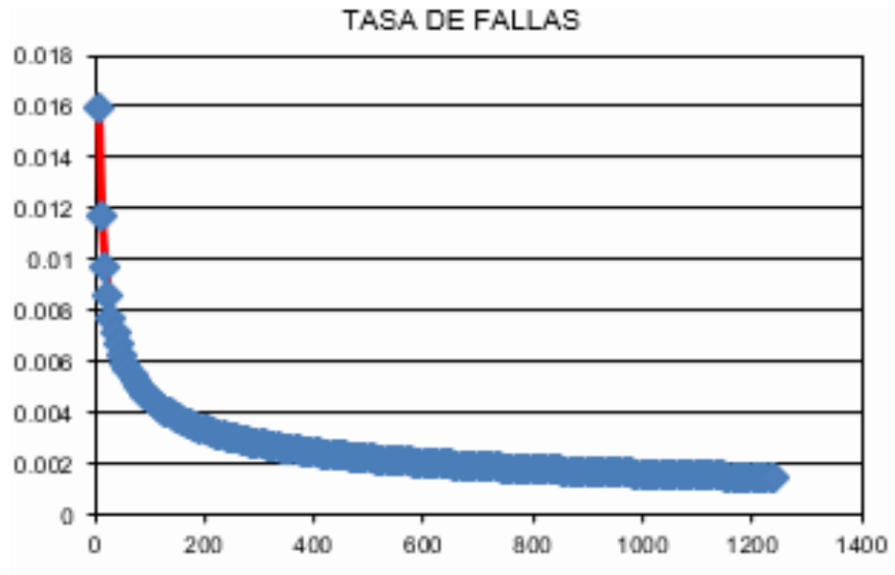
Para un tiempo de 800 horas de operación la probabilidad de que el tren continuo falle es de 92% aproximadamente. Comparándolo con el tren de desbaste que tiene una probabilidad del 76% se puede decir que el MTBF (Tiempo medio entre fallas) es mucho menor en el tren continuo, por lo tanto este equipo es más crítico.

Figura 75. Densidad de fallas con CMD



Esta gráfica representa la probabilidad relativa de que una falla ocurra en un tiempo determinado en el tren continuo. Representa también la probabilidad acumulada de fallas.

Figura 76. Tasa de fallas con CMD



Según la curva de la bañera el tren continuo se encuentra en una fase de madurez o vida útil cuando la curva tiende a ser constante, donde se pueden presentar fallas causadas por condiciones técnicas del equipo o por cambios constantes en los parámetros de funcionamiento.

Figura 77. Curva de mantenibilidad con CMD

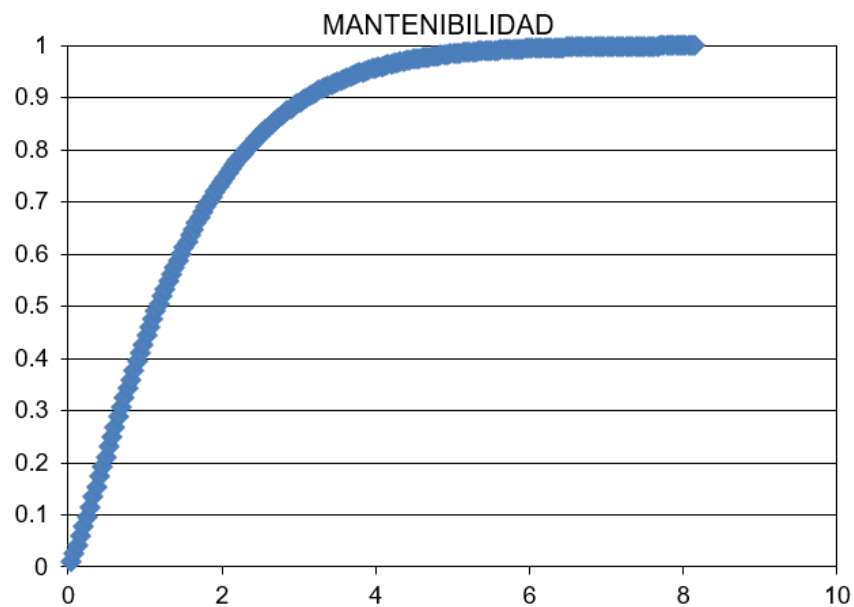
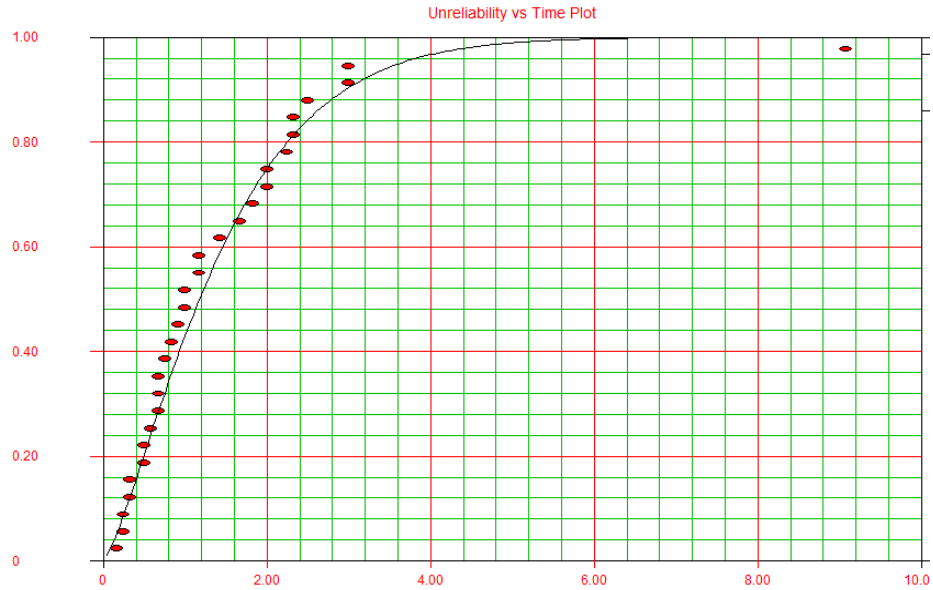
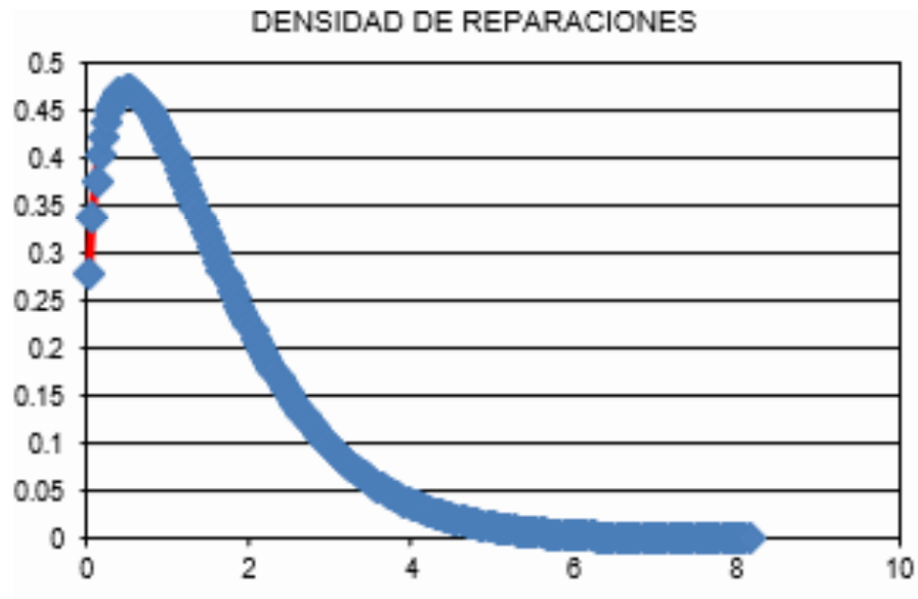


Figura 78. Curva de mantenibilidad con Weibull



Para el mismo tiempo de análisis (4 horas) del tren desbaste la curva nos indica que existe una probabilidad del 96% de que una reparación que se realice en el tren continuo no dure más de 4 horas. Esto quiere decir que el MTTR (Tiempo medio para reparar) es menor en el tren continuo.

Figura 79. Densidad de reparaciones con CMD



Esta curva muestra la probabilidad relativa de que una reparación se pueda realizar en un intervalo de tiempo en el tren continuo.

- Tren acabador o tren dos

Figura 80. Curva de supervivencia con CMD

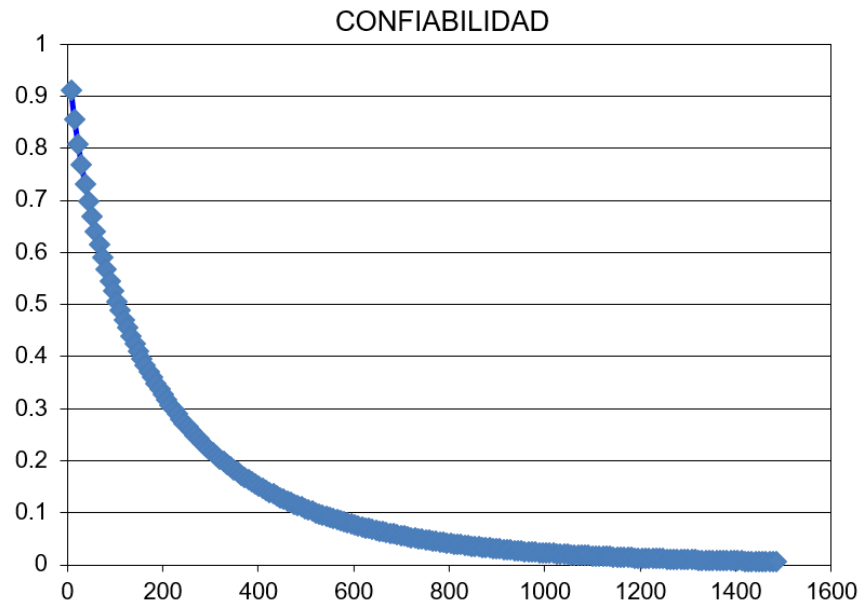
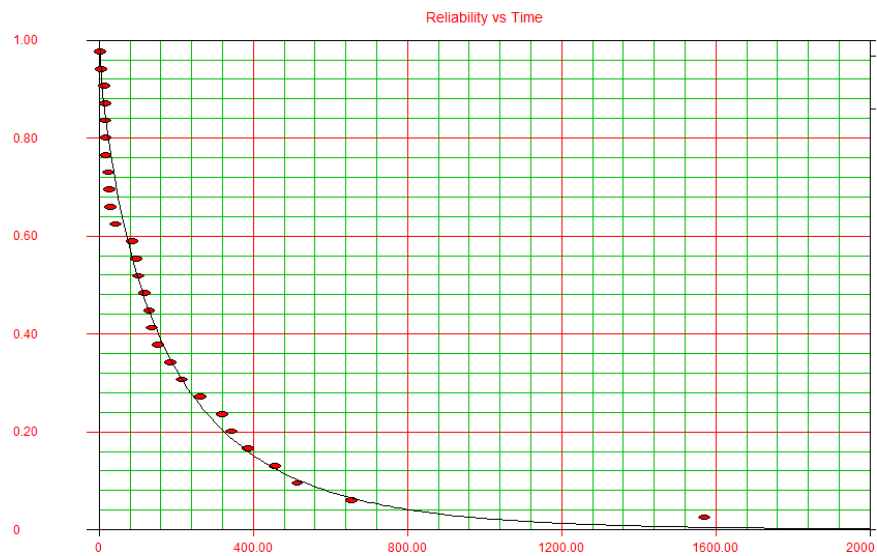


Figura 81. Curva de supervivencia con Weibull



Para el mismo tiempo de 800 horas de operación existe una probabilidad de 4% de que el tren acabador no presente fallas, lo cual indica que el tren acabador puede fallar más rápido que el tren de desbaste y el tren continuo ya que su confiabilidad es más baja en ese instante de tiempo.

Figura 82. Probabilidad de falla (No confiabilidad) con CMD

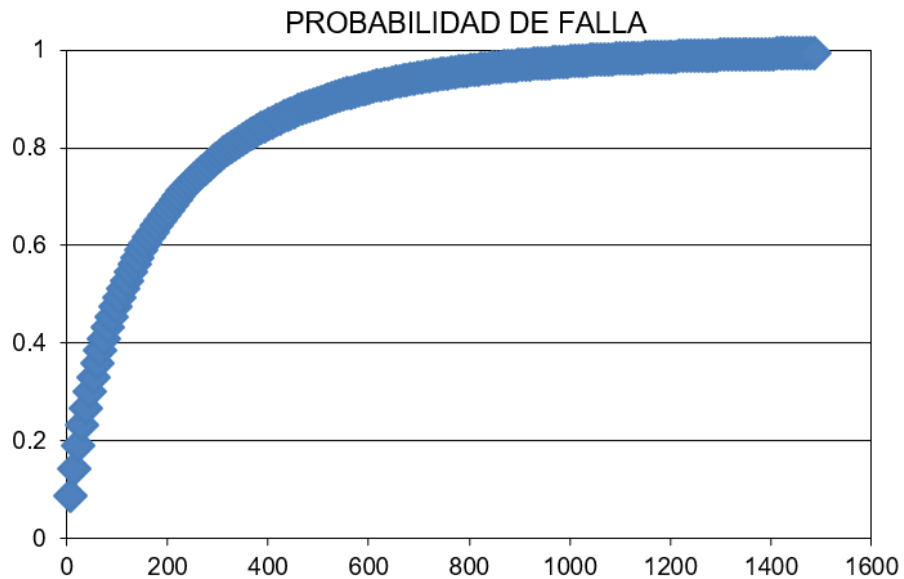
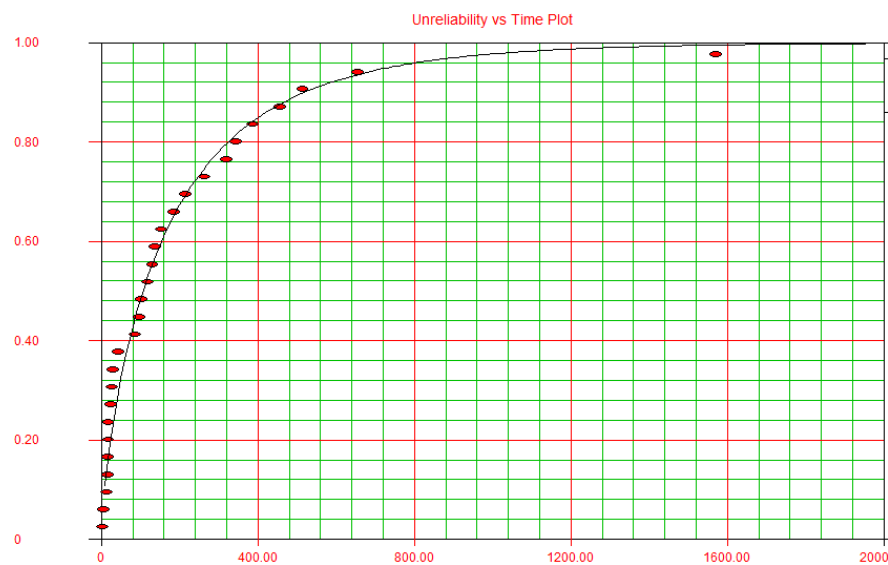
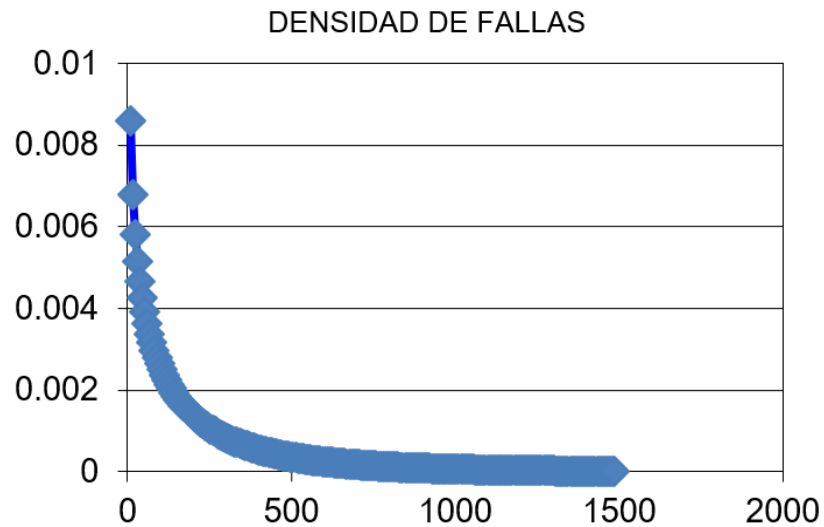


Figura 83. Probabilidad de falla (No confiabilidad) con Weibull



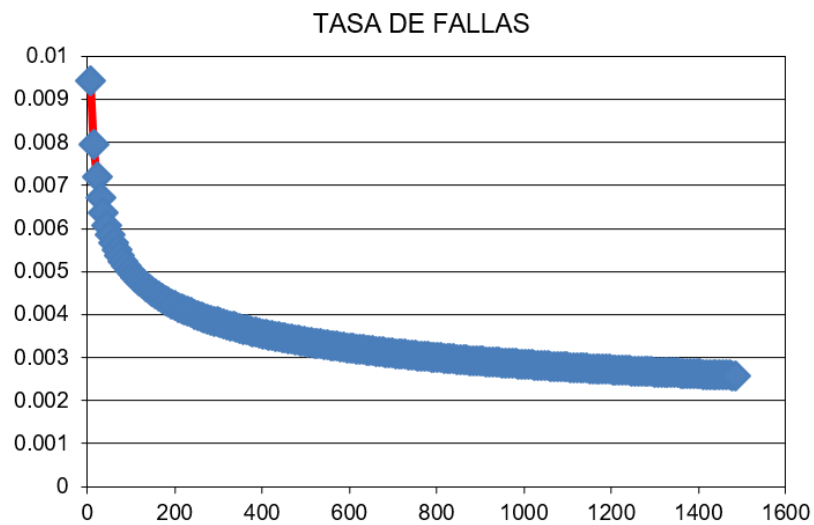
Para un tiempo de 800 horas la probabilidad de que el tren acabador falle es de 96%, un poco más alta que en el tren continuo y mucho más alta que el tren de desbaste, por tal razón se puede observar que la curva crece drásticamente.

Figura 84. Densidad de fallas con CMD



La curva de densidad de fallas indica la probabilidad relativa de que una avería ocurra en un tiempo determinado en el tren de desbaste.

Figura 85. Tasa de fallas con CMD



La tasa de fallas muestra que el tren acabador se encuentra en la fase de vida útil ya que la curva después de un tiempo tiende a ser constante. Según la curva de Davies el equipo en esta fase presenta fallas aleatorias causadas por condiciones técnicas del equipo o por cambios constantes en los parámetros de funcionamiento.

Figura 86. Curva de mantenibilidad con CMD

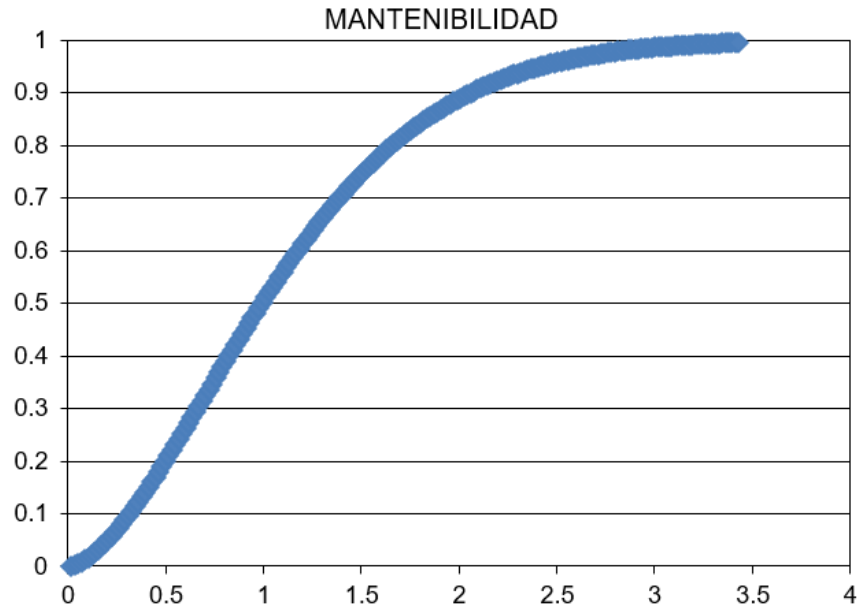
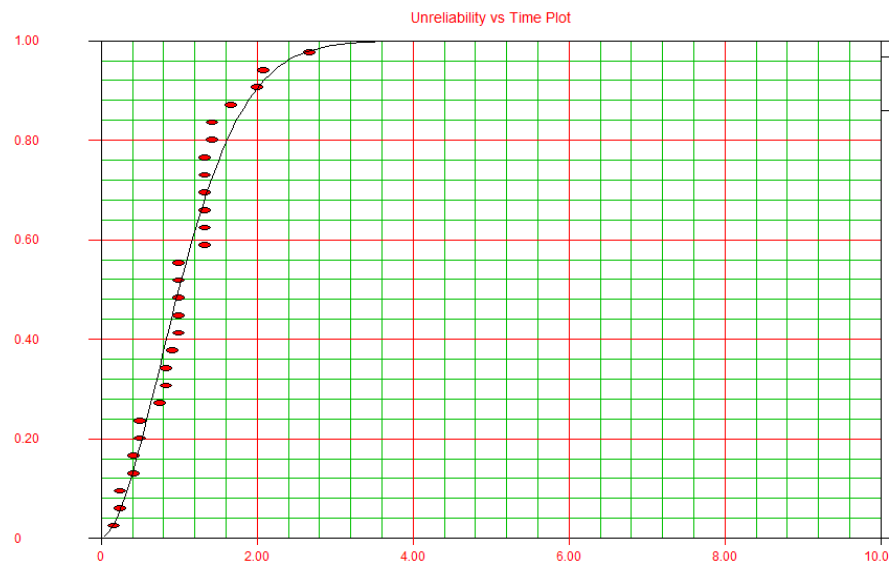
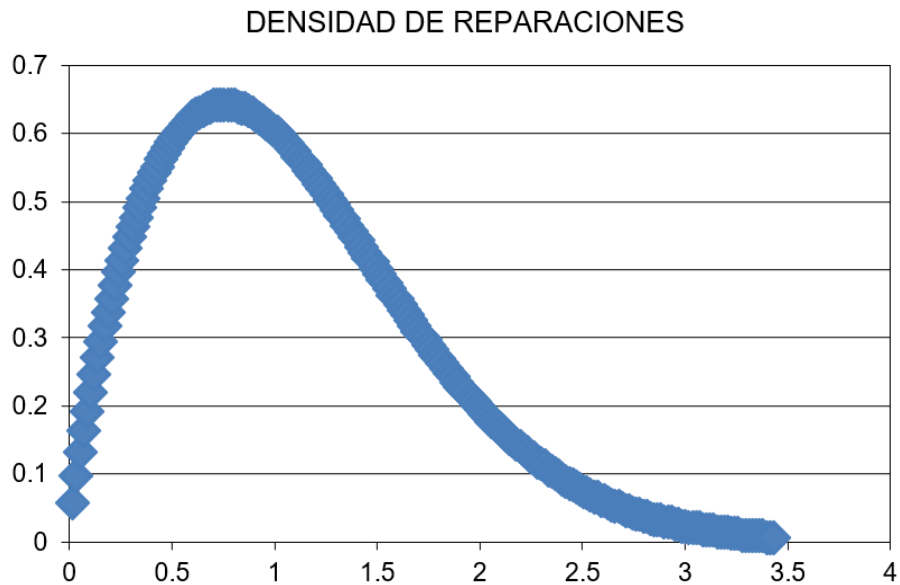


Figura 87. Curva de mantenibilidad con Weibull



La curva muestra que existe una probabilidad de 100% de que una reparación que se realice en el tren acabador no dure más de 4 horas, por lo tanto el MTTR del tren acabador es el más bajo en comparación con el tren de desbaste y el tren continuo.

Figura 88. Densidad de reparaciones con CMD



Esta gráfica muestra la probabilidad relativa de que una reparación se pueda realizar en un intervalo de tiempo en el tren acabador.

El análisis realizado permite detectar situaciones a mejorar en los equipos analizados, evaluando su rendimiento operativo mediante el hallazgo de indicadores CMD que permiten estudiar el comportamiento de las máquinas y establecer estrategias para mejorar sus condiciones operativas. Se debe dar mucha importancia a las medidas CMD porque son indicadores científicos y prácticos que permiten controlar todas las actividades inherentes a mantenimiento y producción.

Es importante recurrir al análisis de fallas para hallar las causas primarias que ocasionan problemas en los equipos y evitar que sucedan paradas imprevistas que afecten el proceso productivo. Mejorar los tiempos de funcionalidad entre correctivos que son la principal razón de la pérdida de disponibilidad en los equipos

y reducir los tiempos de reparación empleando estrategias contundentes de mantenimiento.

Con respecto al parámetro beta en confiabilidad los resultados indican que los equipos están saliendo de una fase de rodaje y empezando su madurez donde se presenta una tasa de fallas constante que se debe a las propias condiciones normales de trabajo de las máquinas o a veces por operación indebida de los equipos. El parámetro eta es una característica de la vida útil que permite conocer la capacidad de operación autónoma de los equipos.

Las curvas características de confiabilidad y mantenibilidad de Weibull permiten evaluar el desempeño de los equipos y pronosticar su comportamiento en un periodo de tiempo determinado, de manera que el análisis de estas gráficas puede ayudar a desarrollar estrategias de mejora en las actividades de mantenimiento y producción.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos anteriormente en el análisis de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad muestran incoherencia con la realidad tomando en cuenta que el historial de fallos corresponde a una serie de equipos que se encuentran obsoletos por vida útil. Se aclara que el único historial de fallos existente y proporcionado corresponde al año 2019 y algunos meses no factibles para estudio del año 2020.

Los valores correspondientes a las betas, que clasifican a los equipos en una fase correctiva se relacionan que serían adecuados siempre y cuando los equipos fueran adquiridos recién se inició el historial de fallos correspondiente al año 2019.

Por lo tanto, se recomienda profundizar el estudio de fallos de cada equipo, documentando a los mismos como activos modificados en mejora continua (rediseño por parte operativa de la empresa) para seguir empleándolos en la línea de producción estudiada.

Cabe aclarar que sin la obtención de una base de datos referente a costos de mantenimiento, se hace difícil proporcionar un valor correcto de los indicadores CMD de los equipos analizados de la línea de producción, ya que los análisis se hicieron en base a fallas.

9. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

9.1 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN MEPSA

El mantenimiento correctivo, es la estrategia más común en cualquier industria por ende es de aplicación inmediata y a cargo únicamente de la dependencia de mantenimiento. MEPSA como empresa con propiedad de una línea de producción aplica este modelo de estrategia, con lo cual mediante estudios previos de mejora, se propone diseñar una estrategia que optimice tiempos de operación, reparación y producción, empleando recursos existentes.

Como estrategia de mantenimiento de clase mundial se implementa el mantenimiento autónomo como el más óptimo a aplicar, ya que, al ser una empresa de carácter familiar, la unión de todos los entes vinculados en la empresa permite que la participación sea la más adecuada.


Como primera instancia se debe conformar un equipo de ejecución y control para capacitar al personal en general, dando a conocer la importancia que tiene cada persona en la implementación de esta metodología, donde el protagonismo lo toma el operario de cada equipo. El equipo de mantenimiento será el grupo indicado para coordinar la implementación del mismo. Inicialmente será el coordinador que supervise constantemente a los operarios, con la finalidad de orientar y escuchar aquellas mejoras en la estrategia a implementar. Progresivamente este equipo dejará que las soluciones de fallas menores sean resueltas por la parte operativa, dando paso a que su correcta ejecución permita dar un pronto diagnóstico de fallas que serán atendidas con brevedad por el personal adecuado para dicha tarea.

Los formatos con sus respectivos instructivos brindan la posibilidad de orientar la implementación del mantenimiento, donde se dará a conocer las actividades que se

deben realizar con el fin de que se haga participe todo el equipo operativo. Los formatos están sujetos a cambios, ya que el personal que está en contacto constante con el equipo es la persona clave que permita idear la mejor ruta de aplicación.

- Se expone un formato por nombre: CHECK LIST o lista de chequeo, el cual permitirá que la persona a cargo de iniciar la operación diligencie con suma brevedad y sinceridad para dar el aval de un equipo en condiciones de operación (Ver figura 89).

Figura 89. Lista de Chequeo general de los equipos.

 MEPSA METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. www.mepsa.com.co					
CHECK LIST INICIAL DEL EQUIPO					
FECHA			NOMBRE DEL OPERADOR		
CIZALLAS					
ITEM	ACCIÓN	CONDICIÓN			OBSERVACIÓN
		NO	SI	NA	
Pre-inspección					
1	¿Observa focos de suciedad?				
2	¿Observa biruta de material que genere impurezas?				
3	¿Percibe alguna obstrucción o piezas que necesiten ajuste?				
Lubricación					
4	¿La autolubricación funciona correctamente?				
5	¿Hay piezas mecanicas que presenten frenado?				
6	¿El equipo requiere fuentes hidricas?				
7	¿los niveles de lubricación son optimos para trabajo?				
Elemento motriz					
8	¿La vibración y/o ruido del motor es normal?				
9	¿La temperatura de trabajo del motor es normal?				
10	¿Percibe alguna averia en la zona de ubicación del motor?				
Transmisiones de potencia					
11	¿Observa alguna anomalia en el movimiento del volante?				
12	¿Los piñones se encuentran en buen estado?				
13	Si el equipo posee transmisión por correas, ¿Se encuentran en buen estado?				
14	Si el equipo posee transmision por cadena, ¿Se encuentra en buen estado sus elementos?				
15	Si el equipo posee transmision cardan, ¿Se encuentra en buen estado sus elementos?				
Herramientas de corte					
16	¿Las precuchillas tienen filo de corte?				
17	¿Las cuchillas permiten el corte limpio?				
18	Sugiere alguna revisión profunda de algun elemento?				

- Posterior a la lista de chequeo se deberá entregar al operario una rutina de inspección operativa autónoma (IOA), que será el instructivo que tendrá el operario para supervisar el buen funcionamiento de su equipo o en caso que se presente alguna alteración a su funcionamiento.

Figura 90. Rutina de inspección operativa autónoma.

IOA Rutina de Inspección Operativa Autónoma				MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	
Fecha		Elaborado por		ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO					
MARCA		CÓDIGO DE INVENTARIO			
REFERENCIA		ÁREA / UBICACIÓN			
ACTIVIDADES A REALIZAR		MODO	FRECUENCIA	TIEMPO	OBSERVACIÓN
* Realizar limpieza general del equipo		Manual	Se recomienda una frecuencia corta	3 min	Realizar al recibir el equipo después de un tiempo apagado del mismo. No manipular si el equipo ya esta encendido.
* Verificar que los niveles de lubricación sean los correctos para la operación		Visual	Al iniciar la operación	5 min	Realizar con el equipo en modo OFF, no intervenir si ya esta operativo
* Verificar que en el momento de encendido del equipo, no exista alguna anomalía.		Visual	Diaria	2 min	Es primordial, prestar atención a como inicia el equipo.
* Inspeccionar posibles focos de fugas, tomando en cuenta aquellos elementos que necesitan de una lubricación constante.		Visual	Se recomienda que sea varias veces al día	3 min	Se deben identificar los puntos de abastecimiento de lubricante y prestar atención en que momento se presenta fuga en el momento de operar.
* Verificar que la vibración en elementos motrices sea la normal.		Visual y auditiva	Se recomienda que sea varias veces al día	1 min	El ruido excesivo es una alerta de vibración fuera de lo normal, que avisa de una posible falla a atender.
* Extremar la atención en la acción de acoples y rodamientos existentes en el equipo. (Que la alineación sea la correcta y que no halla impurezas cerca		Visual	Se recomienda que sea varias veces al día	2 min	Con el fin de optimizar los tiempos de intervención al momento en que falle alguno de los elementos.
* Verificar que la temperatura del equipo sea la adecuada para la operación		Mecánica	Se recomienda tomar entre momentos: Al iniciar la operación, en el momento de mayor temperatura externa o trabajo pesado y al finalizar la operación	2 min	Usar elementos adecuados para la toma de medición, sin la intervención directa del equipo
* Verificar que los sistemas de transmisión de potencia estén en correcta sincronización y buen estado para trabajo.		Visual	Se recomienda por lo menos 1 vez al día	2 min	Optimizar las intervenciones de cada uno de los componentes a mantener en los sistemas de transmisión de potencia para no tener paros prolongados
* Al momento final de la operación, verificar si algun elemento presentó alguna avería durante el trabajo y dejarlo por escrito, si es algún cambio menor se puede realizar al siguiente turno con la mayor brevedad		Visual	Al finalizar la operación	5 min	Se deben identificar posibles alteraciones al buen funcionamiento para poder atender con celeridad
FIRMA DE RESPONSABLE				VoBo.	


- En caso de que se presente alguna anomalía el operario deberá solicitar las tarjetas de anomalías (Ver figuras 90 y 91), con el fin de identificar la falla a presentar y la ruta de acción a emprender.

Figura 91. Tarjeta de anomalía que debe atender el área de mantenimiento.

 MEPSA METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. www.mepsa.com.co	
TARJETA DE ANOMALÍAS	
Tarjeta de mantenimiento No. _____	Área: _____
Máquina: _____	Componente: _____
Detectado por: _____	Fecha: _____
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	

En la figura anterior se debe consignar aquellas fallas que son de carácter delicado y que sólo puede atender el área de mantenimiento. Se debe tener claro que el operario diligencia esta tarjeta con la intención de notificar la posible falla y dicho conteo permitirá llevar el control de estándares, siendo el objetivo principal que este tipo de tarjetas tengan una menor aparición.

Figura 92. Tarjeta de anomalía que debe atender el área operativa.

 MEPSA METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. www.mepsa.com.co	
TARJETA DE ANOMALÍAS	
Tarjeta de operador de equipo No. _____	Área: _____
Máquina: _____	Componente: _____
Detectado por: _____	Fecha: _____
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	

En la figura anterior se debe consignar aquellas fallas que son de carácter menor y que puede ser atendida por el operador. Se debe tener claro que el operario diligencia esta tarjeta con la intención de notificar la posible falla y dicho conteo permitirá llevar el control de acción por parte del área operativa, evaluando que el mantenimiento autónomo se está haciendo efectivo debido a la participación operativa en el correcto desarrollo del mismo.

Se definirá conjuntamente frecuencias óptimas de ejecución de cada actividad, tomando en cuenta los niveles de producción semanal que se tienen planeados. Las actuales frecuencias planteadas se dan como sugerencia a la ejecución de cualquier equipo en general.

Es importante que la limpieza sea el objetivo fundamental de la implementación de esta estrategia, puesto que permite optimizar la ejecución y control de cada equipo, proporcionando una mejora en recursos humanos, materiales y tiempos de mantenimiento al momento de presentar una falla inminente. Por esta razón, se consigna de igual manera el procedimiento a realizar de la metodología 5S, al ser una estrategia de viabilidad en el área que permita trabajar con el objetivo del LILA (Limpieza – Inspección – Lubricación – Ajuste) que se acomoda a la gestión de activos existentes en la empresa.

9.2 METODOLOGÍA 5S

La metodología 5S como se mencionó en el capítulo 3, está basada en cinco conceptos o principios de acción que una vez aplicados al ambiente de trabajo, generan transformaciones físicas que impactan positivamente la productividad de las operaciones que se ejecutan en el mismo.

Para su implementación se debe conformar un comité 5S encargado de gestionar el programa, y el cual debe estar conformado por líderes de distintas áreas de la

organización encargados de planificar las actividades de trabajo, gestionar los recursos necesarios, capacitar al personal operativo encargado de aplicar los principios de las 5S, dar seguimiento a las actividades de trabajo, analizar los resultados obtenidos, tomar acciones correctivas de ser necesarias e identificar nuevas oportunidades de mejora.

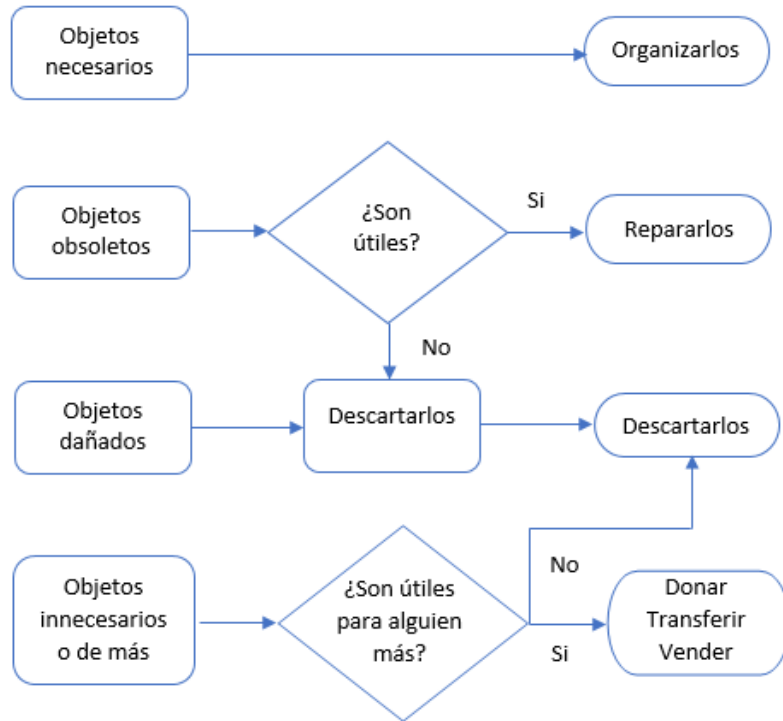
A continuación, se muestra el proceso de aplicación de cada una de las 5S para el área de producción de MEPSA.

9.2.1 Seiri-Clasificación. Significa remover todos los objetos innecesarios del lugar de trabajo, por ejemplo, herramientas y/o útiles que no se estén usando para la actividad de producción o administrativa que se esté realizando en el momento.

Pasos


1. Definir el área de trabajo donde se va a realizar la implementación.
2. Revisar que objetos (documentos, herramientas, máquinas, etc.) no son necesarios en el lugar de trabajo, y clasificarlos mediante el siguiente diagrama de flujo.

Figura 93. Diagrama de flujo clasificación de objetos.



3. Los objetos identificados como innecesarios deben ser marcados con la tarjeta roja. Esta tarjeta es una herramienta que se usa para señalar lo que se considera innecesario (Ver figura 90).
4. Los elementos identificados con la tarjeta roja se deben registrar en el formato “Lista de elementos innecesarios” (Ver tabla 18) de manera que se pueda llevar un control de la cantidad de tarjetas utilizadas y decidir qué hacer con cada uno de los elementos.

Figura 94. Formato tarjeta roja 5S.

 MEPSA <small>METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.</small> <small>www.mepsa.com.co</small>	
TARJETA ROJA 5S	
Fecha: _____	No. _____
Área: _____	
Encargado: _____	
Descripción de artículo(s)	
CATEGORÍA	
Máquina/Componente	
Herramienta	
Mobiliaria	
Documentación	
Materia prima	
Producto en proceso	
Producto terminado	
Otra categoría(Especifique)	
MOTIVO DE RETIRO	
Innecesario	
Defectuoso	
Obsoleto	
Material sobrante	
Reduce espacio	
Otro (Especifique)	
ACCIÓN REQUERIDA	
Reubicar	
Eliminar	
Reparar	
Inspeccionar	
Otras acciones (Especifique)	

cómo organizar los elementos de acuerdo a su frecuencia de uso. (Ver tabla 19).

Tabla 20. Pautas para organizar artículos necesarios.

FRECUENCIA DE USO	UBICACIÓN DEL ELEMENTO
A cada momento	Junto a la persona
Varias veces al día	Cerca de la persona
Varias veces por semana	Cerca al área de trabajo
Algunas veces al mes	En áreas comunes
Algunas veces al año	Área destinada para elementos de poco uso

3. Además de tener los útiles de trabajo en el lugar adecuado se debe realizar la señalización de las áreas que conforman la planta de MEPSA, demarcando con diferentes colores los pisos de cada zona.

9.2.3 Seiso-Limpieza. Se trata de mantener el área de trabajo libre de suciedad, atacando las fuentes de contaminación que puedan generar problemas funcionales en los equipos.

Pasos

1. Determinar cuáles son los equipos que deben ser sometidos a limpieza, los métodos que se van a usar y cuáles son los elementos que se requieren para la respectiva limpieza.
2. Establecer las actividades de limpieza, horarios y responsables de su ejecución. Cada persona debe hacerse cargo de su puesto de trabajo. Se debe hacer inspección a los equipos mientras se realizan las actividades de limpieza.

3. En el mapa de la planta, demarcar las áreas señalando en éstas los respectivos responsables de su limpieza y organización (Mapa 5S). Colocar el mapa y programa de limpieza en un lugar visible.

9.2.4 Seiketsu-Estandarización. Procurar que las tres primeras “S” (Clasificación, orden y limpieza) se ejecuten de forma continua por medio de la estandarización de hábitos y procedimientos.

Pasos


1. Sistematizar los procedimientos que nos han permitido implementar las tres primeras “S” fijando un programa donde se establece la frecuencia de ejecución de las tareas y los responsables de esas actividades.
2. Colocar en lugares visibles dichos procedimientos para que todo el personal de producción los tenga a su alcance. Si es posible colocar fotos en las paredes de cómo debe mantenerse el área de trabajo.
3. Reuniones por parte del comité para discutir aspectos relacionados con el proceso de estandarización.

9.2.5 Shitsuke-Disciplina. Mantener el hábito y la disciplina de cumplir con los estándares que se han establecido.

Pasos

1. La evaluación 5S debe ser realizada por el comité para verificar que se estén cumpliendo los procedimientos que se consideraron en las tres primeras etapas, se propone un formato de evaluación (Ver figura 96).
2. Mostrar los resultados de las 5S ante todo el grupo de trabajo y realizar una retroalimentación del proceso de implementación.

Figura 96. Evaluación de la metodología 5S.

 MEPSA METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.		www.mepsa.com.co			EVALUACIÓN 5S	
ÁREA:		ELABORADO POR:			FECHA:	
ITEM	S1-SEIRI-CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN			OBSERVACIONES	
		NO	SI	NA		
1	¿El área de trabajo esta libre de artículos o herramientas obsoletas que ya no se necesiten?					
2	¿Se encuentran todos los elementos y útiles necesarios para la operación en el área de trabajo?					
3	¿Las herramientas de trabajo se encuentran en óptimas condiciones para su uso?					
4	¿El operario tiene a disposición todos los elementos necesarios para proteger su integridad física?					
S2-SEITON-ORDEN						
1	¿Están claramente señalizados los pasillos, áreas de almacenamiento y lugares de trabajo?					
2	¿Están todas las herramientas u objetos de uso frecuente ordenados, en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?					
3	¿Están al alcance del operario todos los elementos necesarios para la limpieza de equipos y demás?					
4	¿Se encuentran correctamente ubicados y al alcance los elementos de protección personal?					
S3-SEISO-LIMPIEZA						
1	¿Los pasillos están limpios, secos y libres de residuos?					
2	¿Hay manchas de aceite, polvo o residuos alrededor de los equipos?					
3	¿El área de trabajo esta libre de recortes o exceso de materia prima que obstaculice el paso?					
4	¿Los equipos o sistemas estan libres de particulas o suciedad que pueda afectar su operación?					
5	¿Se limpian las máquinas con frecuencia y se mantienen libres de grasa, viruta, etc.?					
6	¿Las herramientas de trabajo se encuentran limpias y en buen estado?					
S4-SEIKETSU-ESTANDARIZACIÓN						
1	¿Existen instrucciones claras para la ejecución de actividades de las tres primeras etapas?					
2	¿Se asegura el cumplimiento de la tres primeras etapas de clasificación, orden y limpieza?					
3	¿Se generan regularmente mejoras en los procedimientos de las tres primeras etapas?					
S5-SHITSUKE-DISCIPLINA						
1	¿Se efectúa el control diario de orden y limpieza?					
2	¿Se realizan los informes diarios o semanales correctamente y a su debido tiempo?					
3	¿Está el personal capacitado y motivado para llevar a cabo cada una de la actividades?					

10. ALTERNATIVAS DE SOFTWARE

La empresa Metales y Procesos del Oriente S.A. manifiesta la necesidad de adquirir una herramienta CMMS (Computerized Maintenance Management System) para la gestión y planeación de actividades de mantenimiento, por lo cual se inicia la búsqueda de un software que se adapte a los requerimientos del departamento de mantenimiento y como resultado de la búsqueda se encuentran cuatro alternativas de software que se consideran los más adecuados para la gestión de mantenimiento de equipos en la compañía. A continuación se muestra cada uno de los CMMS propuestos a la empresa.

Figura 97. Software MP Empresarial versión 10.

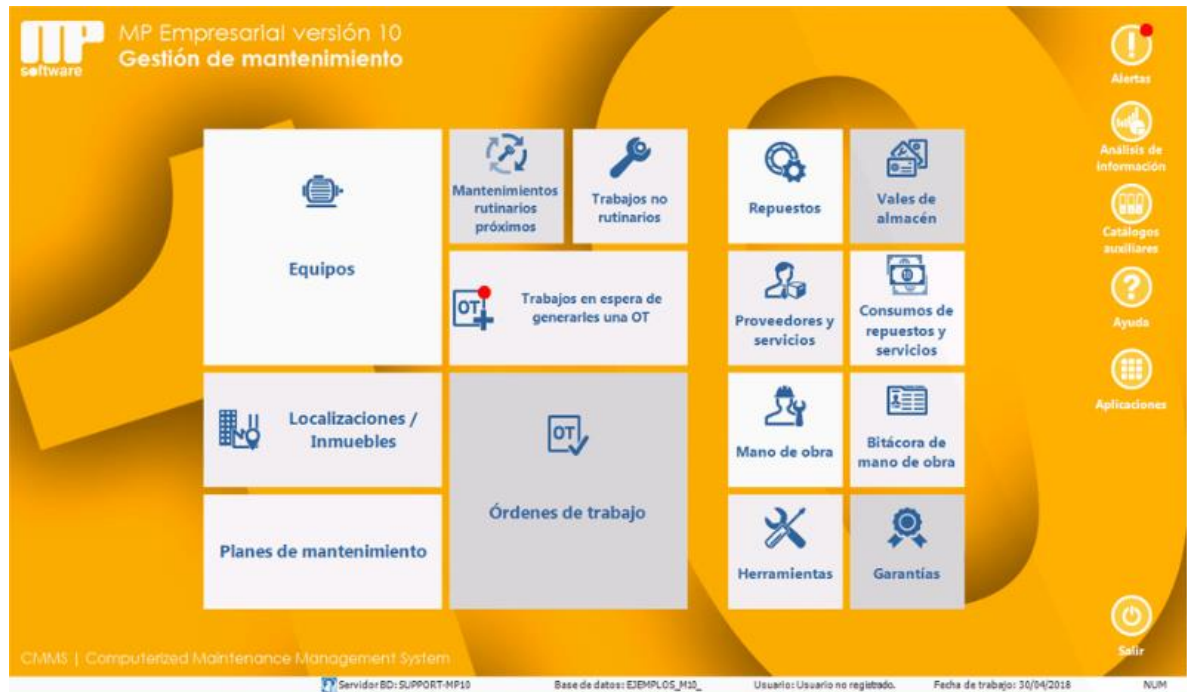


Figura 98. Software Infomante.

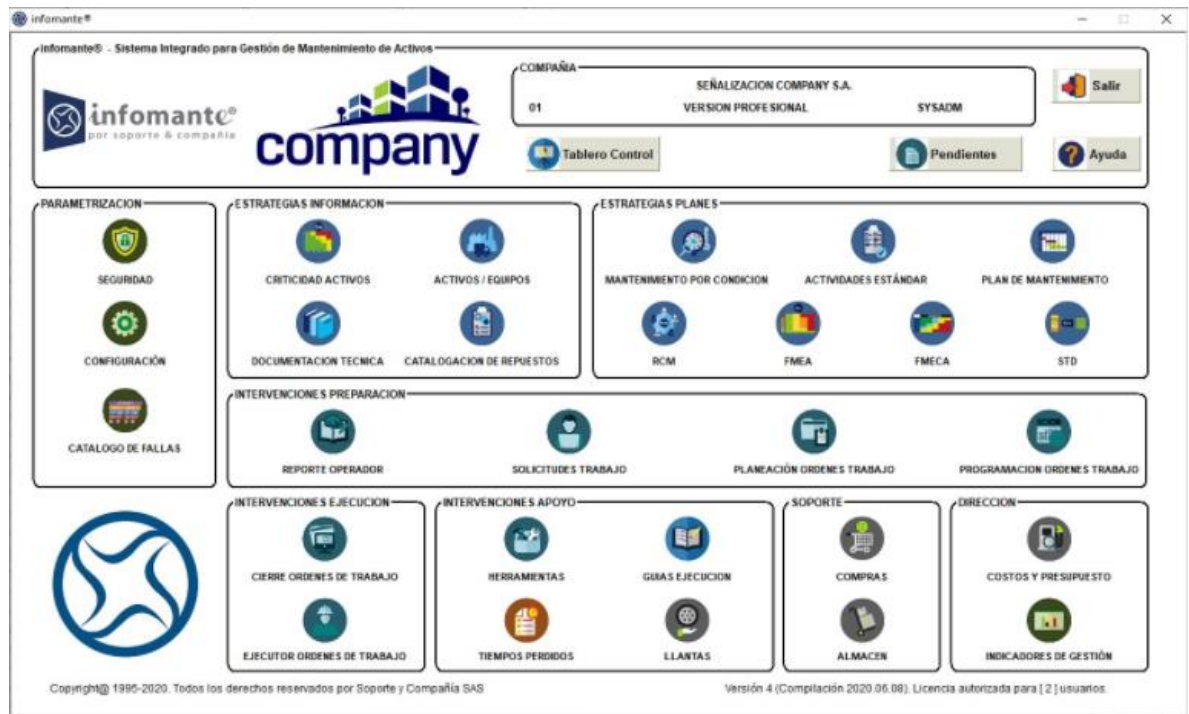


Figura 99. Software WIN Administrador de Mantenimiento.

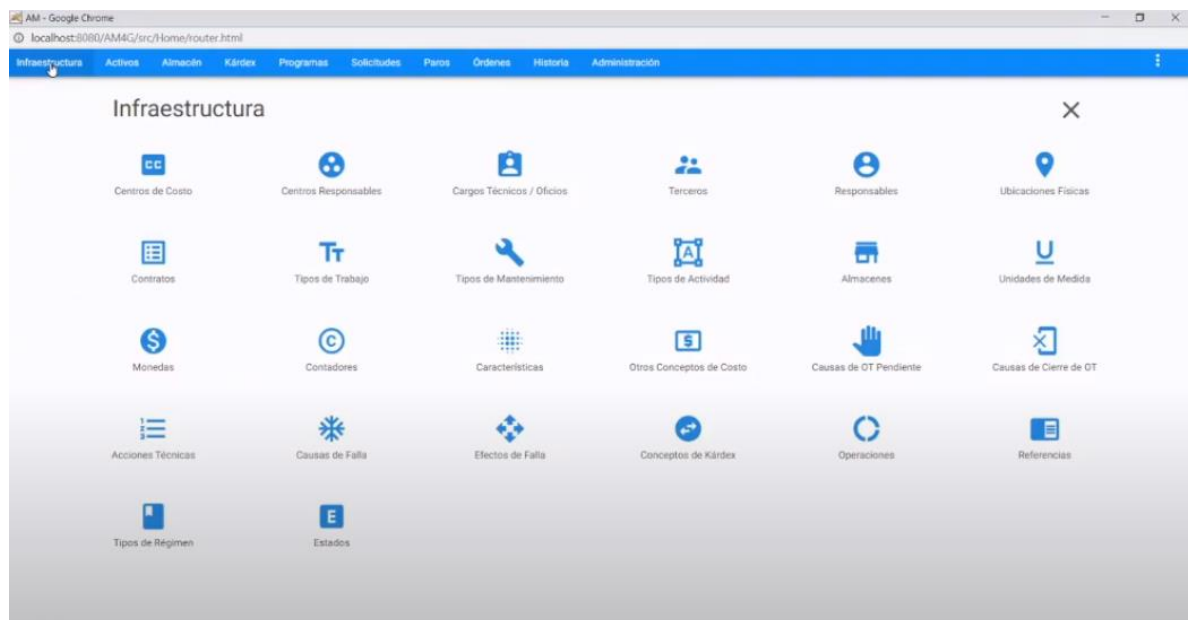
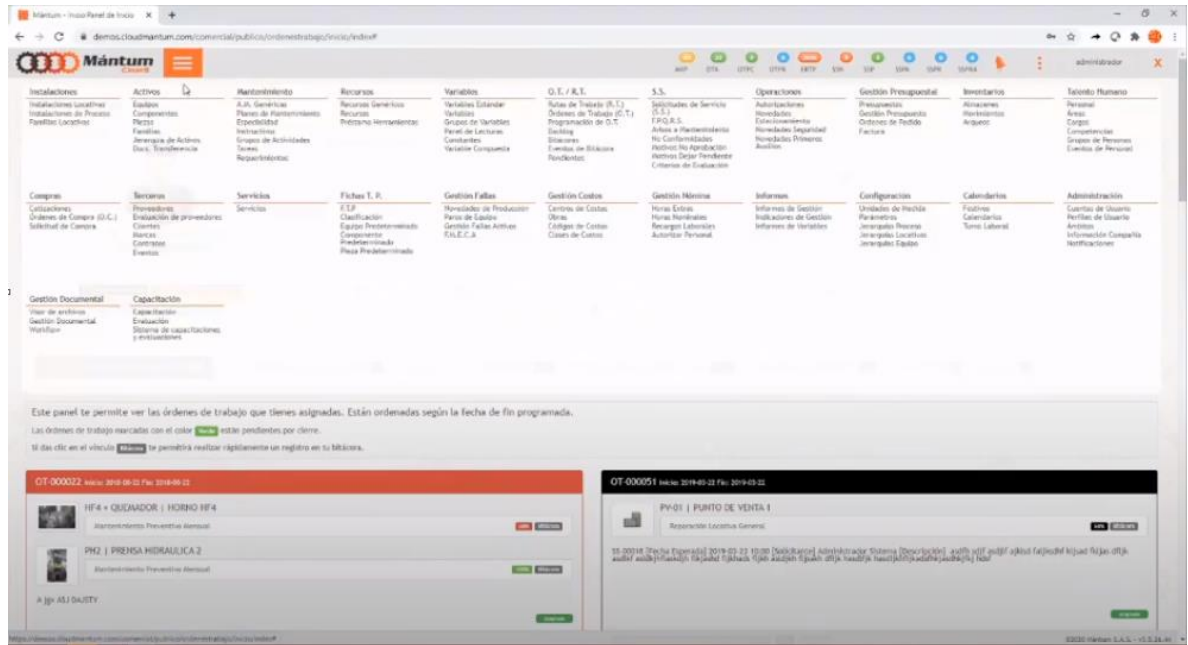


Figura 100. Software MántumCMMS.



Se contacta cada proveedor para solicitar información detallada de la funcionalidad y características de los programas de mantenimiento. Por su parte el proveedor realiza la presentación del software por videoconferencia dando a conocer el funcionamiento del mismo.

Finalmente, después de revisar las propuestas comerciales de cada software y sus características la empresa realiza un análisis de costo-beneficio y decide adquirir el software MP Empresarial versión 10. Es un software que se adapta a la necesidad y requerimientos del departamento de mantenimiento y además es compatible con el software contable y administrativo (Siigo) que actualmente maneja la empresa.

A la fecha de finalización de este proyecto no se ha efectuado la compra del software debido a que la empresa aún no cuenta con el capital financiero para adquirirlo, por tal motivo no se incluye en el proyecto la sistematización de la información de equipos y su mantenimiento.

11. CONCLUSIONES

Por medio de visitas coordinadas se logró identificar cada equipo que hace parte de la línea de producción de perfiles de diferentes calibres. La información recopilada se complementó con aquella existente como información base de componentes de equipos. Lo anterior permitió sintetizar la información relevante en fichas técnicas y realizar la codificación de equipos, obteniendo un total de 17 activos que conforman la línea de producción. De igual forma se elaboró una nueva base de datos de los equipos, que diera la oportunidad de exportación de esta nueva data a un CMMS que permite llevar el control sistematizado del mantenimiento a implementar.

Mediante el análisis de criticidad se halló que los equipos que permiten dar forma al perfil deseado (trenes de laminación) son aquellos que presentan alto nivel de criticidad, debido a las condiciones operativas y funcionales a las que están sometidos, por lo cual fueron objeto de estudio para intervenir en la estrategia de mantenimiento que se ideaba. Los resultados muestran que, de un total de 17 equipos analizados, 3 tienen una alta criticidad, 8 medianamente críticos y 6 no críticos en la línea de producción.

Según el FMEA los trenes de desbaste, continuo y acabador presentan una alta incidencia de fallas en dispositivos móviles y de sujeción debido a las impurezas que el paso del material en proceso de laminación deja en el equipo. La acumulación de estos residuos provoca desajustes en los elementos, como también desplazamiento de los mismos hasta llegar a la rotura, la falla más común es la rotura de rodamientos ya que en ellos se concentra una alta carga dinámica del movimiento estructural. Por lo tanto, es fundamental que la empresa se apoye en el análisis de fallas para conocer las causas primarias que ocasionan las paradas imprevistas, de manera que se puedan eliminar total o parcialmente y poder de esta forma mejorar los tiempos de funcionalidad de los equipos.

A partir del análisis CMD se puede evidenciar que el indicador de disponibilidad tiene un alto porcentaje en los tres equipos analizados (trenes de laminación). Esto se traduce en tiempos útiles de funcionamiento considerables, lo cual garantiza una mayor productividad y por supuesto mayor rendimiento de los activos, teniendo en cuenta que para hallar este indicador sólo se consideró el tiempo de inactividad de los equipos debido a paradas por mantenimiento correctivo. Sin embargo, el valor hallado de disponibilidad carece de credibilidad ocasionada por una insuficiente base de datos de fallas de la empresa.

Según la curva de la bañera los tres equipos críticos se encuentran en una zona donde la tasa de fallas empieza a ser constante terminando una fase de rodaje y comenzando su vida útil. Se recuerda que los datos hallados de valores beta están desfasados debido a que las condiciones de los equipos muestran que hace un tiempo se superó esta fase de madurez donde se debería obtener en promedio unos valores de Beta aproximadamente de 2. El MTTR debe tener una reducción principalmente en el tren de desbaste puesto que es el equipo que presenta los mayores tiempos de reparación. Para el caso contrario del MTTR, el MTBF debe aumentar más específicamente en los trenes continuo y acabador con el fin de mantener la disponibilidad en los trenes y mejorar la confiabilidad de la línea de producción.

La estrategia de mantenimiento diseñada es útil una vez la empresa implemente el mantenimiento preventivo, donde posteriormente se permita asegurar una área con mayor limpieza que permita diagnosticar posibles fallos y/o fallencias que posea el equipo para optimizar tiempos de reparación o intervención, elevando los indicadores de mantenimiento previamente analizados, y a su vez aumentando los tiempos útiles de buen funcionamiento de los equipos permitiendo que el operario sea la persona con mayor participación en el pronto diagnóstico.

La estrategia de mantenimiento diseñada no fue posible de implementar en primera estancia debido a que no poseen aún un mantenimiento preventivo con un software donde consignar los diferentes formatos para llevar un control. También debido a contingencia de aislamiento ocasionada por pandemia de COVID 19, lo cual produjo que la empresa cerrara por un tiempo y luego de su apertura se restringiera el acceso de personal.

12. RECOMENDACIÓN

Se aclara que la implementación de la estrategia de mantenimiento por parte de los autores no fue posible debido al tiempo invertido en el mismo, ya que por “COVID 19”, el proyecto se vio implicado en una extensión tiempo, por tal razón se advierte que la continuación sería únicamente la implementación con la recopilación de los resultados del mismo, y los aportes del área operativa. Se recomienda adquirir un CMMS más específicamente MP Software, que con el análisis de oferta y demanda es la herramienta óptima para la empresa. Cabe aclarar que la base de datos suministrada está sujeta a complementos y/o cambios viables para el equipo que actúe en el desarrollo del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

BORRAS PINILLA, Carlos. Ingeniería de mantenimiento: Material docente. Bucaramanga, 2013. 281 p.

CUATRECASAS, Lluís y TORELL, Francesca. TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial, 2010. 411 p.

LATINO, Robert y LATINO, Kenneth. Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom Line Results. 2 ed. Florida: CRC Press, 2002. 264 p.

METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE. “Página oficial de MEPSA”.
<http://www.mepesa.com.co/>

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Envigado: Editorial AMG, 2006. 309 p.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. 504 p.

NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción S.A., 1991. 127 p.

PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Sevilla: Ingeman, 2012. 260 p.

PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 3 ed. Buenos Aires: Editorial AJ Pistarelli, 2010.




SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: Editorial TGP-Hoshin, 1995. 390 p.




ANEXOS




Anexo A. Fichas técnicas de los equipos.

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	MP-CIP-00	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	CIZALLA DE PALANQUILLA		Imagen ilustrativa	
Fabricante:	PEDDINGHAUS			
Modelo:	582			
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Permite fraccionar la materia prima, para formar bloques que se introducen al horno. Es operada por personal capacitado para su correcto uso, lo acompañan diferentes sistemas que permiten realizar el trabajo señalado.			
COMPONENTES				
1 ELEMENTOS MOTRICES				
1.1 Motor de cizalla				
Código	MP-CT-07-079-001		Modelo	13585M35
Marca	The Louis Allis Co.		Tensión	220/440 V
Potencia	100 HP		Corriente	242/121 A
Velocidad	1775 RPM		Tipo de arranque	Y - Δ
			Tipo de acople	Brida
1.2 Motor de mesa de corte				
Código	MP-CT-37-090-001		Tensión	220/440 V
Marca	SIEMENS		Corriente	2422/121 A
Potencia	15 HP		Tipo de arranque	Directo
Velocidad	1800 RPM		Tipo de acople	Polea y correa
1.3 Reductor mesa de corte				
Código	MP-CT-37-090-053		Modelo	OP017140
Marca	D' Alsar		Relación	25:1
Potencia	15 HP		Tipo de acople IN	Polea y correa
Velocidad in	1800 RPM		Tipo de acople OUT	Piñon cadena
Velocidad out	90 RPM			
2. TRANSMISIÓN				
2.1 Volante de cizalla				
Código	213003		Diametro	1765 mm
ANEXOS				




	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepssa.com.co	
	FICHA TÉCNICA				
Código:	MP-PGM-01		Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	PUENTE GRÚA DE CARGUE AL HORNO			Imagen ilustrativa	
Fabricante:					
Modelo:					
Fecha de compra:					
Valor de Compra:					
Funciones y/o características:	Equipo que permite el izaje y traslado de cargas y/o elementos de gran peso. Compuesto por una viga, carro testero (movimiento transversal) y polipastos (movimiento longitudinal).				
COMPONENTES					
1 POLIPASTOS					
1.1 Polipasto de cargue al horno					
Código	113001		Capacidad	5 Ton	
Marca	NITCHI		Corriente	12,5/6,5 [A]	
Potencia	3 [kW]		Velocidad lineal de cadena	3,1 [m/min]	
Tensión	220/440 [V]		Cadena	11,2 mm	
Motor	3"				
1.2 Motoreductor 1 movimiento longitudinal					
Código	LA-ET-01-1-012-091-1		Referencia	S67DT90L4MM 15	
Marca	Sew Eurodrive		Torque	182 N.m	
Potencia	1.5 [kW]		Velocidad de entrada	68 RPM	
Tensión	440 [V]		Velocidad de salida	13 RPM	
Corriente	3,2 [A]		Relación	5,23:1	
1.2 Motoreductor 2 movimiento longitudinal					
Código	LA-ET-01-1-012-091-2		Referencia	S67DT90L4MM 15	
Marca	Sew Eurodrive		Torque	182 N.m	
Potencia	1.5 [kW]		Velocidad de entrada	68 RPM	
Tensión	440 [V]		Velocidad de salida	13 RPM	
Corriente	3,2 [A]		Relación	5,23:1	
1.3 Motor carro movimiento transversal					
Código	MP-ET-01-013-001		Referencia	D90LF3777L	
Potencia	3 [HP]		Velocidad	1750 [RPM]	
Tensión	220 [V]		Tipo de arranque	acople	
Corriente	9,6 [A]		Tipo de acople	Directo	
1.4 Motor carro movimiento longitudinal					
Código	MP-ET-01-012-001		Referencia	AM 132 MZ	
Potencia	6 [HP]		Velocidad	980 [RPM]	
Tensión	220/440 [V]		Tipo de arranque	directo con inversor de giro tpo	
Corriente	21/12 [A]		Tipo de acople	Araña 125	
1.5 Motor gancho movimiento longitudinal					
Código	MP-ET-01-033-001		Referencia	C132 MFE	
Potencia	12 [HP]		Velocidad	1750 [RPM]	
Tensión	220/440 [V]		Tipo de arranque	directo con inversor de giro tpo	
Corriente	21/16 [A]		Tipo de acople	Directo	
ANEXOS					

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepesa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	MP-EMP-02	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	EMPUJADOR DE PALANQUILLA	Imagen ilustrativa		
Fabricante:	MEPSA			
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Máquina encargada de dirigir la materia prima al horno para su proceso de calentamiento. Diseño propio, con adecuaciones para su buen funcionamiento, operada por recurso humano y sensor guía.			
COMPONENTES				
1 MOTRICES				
1.1 Motor empujador de palanquilla				
Código	LA-CP-11-001-1		Modelo	B160 L6/EC
Marca	Voges		Tensión	220/380/440 V
Potencia	20 HP		Corriente	54/31,2/27 A
Velocidad	1165 RPM		Tipo de arranque	Directo
			Tipo de acople	Araña 125
1.2 Motor empujador de palanquilla				
Código	LA-CP-11-001-2		Modelo	1 LA3 166 6YB 70
Marca	Siemens		Tensión	220/380/440 V
Potencia	20 HP		Corriente	54/31,2/27 A
Velocidad	1165 RPM		Tipo de arranque	Directo
			Tipo de acople	Araña 125
1.3 Reductor empujador de palanquilla				
Código	LA-CP-11-053-1		Modelo	
Marca				
ANEXOS				


	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. www.mepso.com.co		
	FICHA TÉCNICA		
Código:	LA-HOR-03	Fecha:	10-10-2020
Nombre:	HORNO	Imagen ilustrativa 	
Fabricante:	MEPSA		
Modelo:			
Fecha de compra:			
Valor de Compra:			
Funciones y/o características:			
Eleva la temperatura de las barras de palanquilla, permitiendo que la materia prima se vuelva maleable para darle la forma que se desea.			
COMPONENTES			
1 MOTRICES			
1.1 Motobomba de refrigeración de extractor de palanquilla y puerta del horno			
Código	LA-CP-41-002-1-002	Modelo	CP 670
Marca	Pedrollo	Caudal	20/40 L/min
Tipo de bomba	Centrifuga	Tensión	220/440 V
Potencia	3 HP	Tipo de acople	Directo
Ø del eje	1 1/4 in		
1.2 Bomba caterpillar 1			
Código	LA-CP-44-002-1-002	Modelo	B-21
Marca	Blackmer	Tensión	440 V
Tipo de bomba	engranajes	Corriente	5,2 A
Potencia	3 HP	Tipo de sellado	Cordon de teflón grafitado 3/16"
Velocidad	860 RPM	Tipo de acople	Polea y correas
Ø del eje	31,75 mm	Ø de la turbina	58 mm
Ø del engranaje	7,3x2,2 mm		
1.3 Bomba caterpillar 2			
Código	LA-CP-44-002-2-001	Tensión	208/230/460 V
Marca	Sew Eurodrive	Corriente	4,6/4,2/2,1 A
Potencia	4,5 HP	Tipo de arranque	Directo
Velocidad	1145 RPM	Tipo de acople	Omega
1.4 Bomba Caterpillar 3			
Código	LA-CP-44-002-2-002	Caudal	87 Gal/min
Marca	Blackmer	Tipo de acople	Directo
Tipo de bomba	Centrifuga	Tipo de sellado	Cordon de Teflón grafitado 3/16"
Potencia	2 HP	Ø del eje	28,6 mm
Velocidad	780 RPM		
2 VENTILACIÓN			
2.1 Ventilador Aire Caliente			
Código	LA-CP-44-073-1	Modelo/Referencia	GAP 30-3
Marca	GYLICO	Capacidad	1000 ft³/min
Potencia	12 HP		
Velocidad	3550 RPM		
2.2 Motor ventilador aire caliente			
Código	LA-CP-44-073-1-001	Modelo/Referencia	1 LA1 130 2YB 70
Marca	Siemens	Tensión	220/440 V
Potencia	9 HP	Corriente	24/12 A
Velocidad	3520 RPM	Tipo de arranque	Directo
Ø del eje	38 mm	Tipo de acople	Polea y correa
2.3 Ventilador Aire Frio			
Código	LA-CP-44-073-2	Modelo/Referencia	FB1 - 1010
Marca	Hauck		
2.2 Motor ventilador aire frío			
Código	LA-CP-44-073-2-001	Modelo/Referencia	1 LA1 131 2YB 70
Marca	Siemens	Tensión	220/440 V
Potencia	12 HP	Corriente	32/16 A
Velocidad	3525 RPM	Tipo de arranque	Directo
		Tipo de acople	Polea y correa
ANEXOS			

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-LAH-04	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	LANZA DEL HORNO	Imagen ilustrativa		
Fabricante:	MEPSA			
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Mecanismo de empuje con lanza mecánica, y sistema de transmisión piñón cadena. 8 rodamientos 32212, manguera de 3/4" npt, racor giratorio hembra en ambos extremos, longitud 2,20 metros			
COMPONENTES				
1 MOTRICES				
1.1 Motor de Lanza				
Código			Modelo	
Marca				
ANEXOS				




	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-RIP-05	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	RIPADOR	Imagen ilustrativa		
Fabricante:	MEPSA			
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Mecanismo encargado de dirigir la palanquilla del horno a la mesa basculante. Camino de rodillos que transfiere la palanquilla desde el horno hasta la mesa			
COMPONENTES				
1 MOTRICES				
1.1 Motor reductor				
Código	LA-CP-26-090-001		Modelo/Referencia	R77DV100L54
Marca	Sew Eurodrive		Tensión	220/440 V
Potencia	2,2 kW		Corriente	8, 5/4, 3 A
Velocidad	46 RPM		Tipo de arranque	Directo
			Tipo de acople	Directo
ANEXOS				




	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A. www.mepssa.com.co		
	FICHA TÉCNICA		
Código:	LA-MEB-06	Fecha:	10-10-2020
Nombre:	MESA BASCULANTE	Imagen ilustrativa	
Fabricante:			
Modelo:			
Fecha de compra:			
Valor de Compra:			
Funciones y/o características:	Sistema de transmisión por poleas y correas, elevación mecánica por medio de excéntrica.		
COMPONENTES			
1 MOTRICES			
1.1 Motor rodillos mesa basculante			
Código	LA-TD-20-090-001	Modelo/Referencia	AEVF
Marca	Teco	Tensión	220/380 V
Potencia	7,5 HP - 5,5 kW	Corriente	20/11,5 A
Velocidad	1750 RPM	Tipo de arranque	Directo con inversor de giro
		Tipo de acople	Directo
1.2 Motor de movimiento ascendente y descendente de mesa basculante			
Código	LA-TD-20-089-001	Modelo/Referencia	1 LA3 130 6YB 70
Marca	Siemens	Tensión	220/440 V
Potencia	4,8 HP	Corriente	16,4/8,2 A
Velocidad	1155 RPM	Tipo de arranque	Directo con inversor de giro
Ø del eje	38 mm	Tipo de acople	Araña 125
1.3 Reductor de movimiento ascendente y descendente de mesa basculante			
Código	LA-TD-20-089-053	Modelo/Referencia	MRD 90H/140
Marca	Tametal	Tipo de acople	De salida directo
Potencia	4,8 HP		
Velocidad	1155 RPM		
2 SISTEMA DE FRENO			
2.1 Freno electromagnético mesa basculante			
Código	LA-TD-20-089-075	Modelo	
Marca		Tensión	180 VDC
Potencia	12 HP	Temperatura	60 °C
Tipo	0,4		
3 REPUESTOS			
3.1 Respuesto Motor de movimiento ascendente y descendente			
Código	LA-TD-20-089-001-2	Modelo	1 LA3 130 6YB70
Marca	Siemens	Tensión	220/440 V
Potencia	4,8 HP	Corriente	16, 4/8, 2 A
Velocidad	1155 RPM	Tipo de arranque	Directo con inversor de giro
Ø del eje	38 mm	Tipo de acople	Araña 125
3.2 Repuesto de freno electromagnético mesa basculante			
Código	LA-TD-20-089-075-2	Modelo	
Marca		Tensión	180 VDC
Potencia	12 HP	Temperatura	60 °C
Tipo	0,4		
ANEXOS			




		 <small>METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.</small>		<small>www.mepsa.com.co</small>	
		FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-TRD-07	Fecha:	10-10-2020		
Nombre:	TREN DE DESBASTE	Imagen ilustrativa			
Fabricante:					
Modelo:					
Fecha de compra:					
Valor de Compra:					
Funciones y/o características:					
Compuesto por un castillo de cilindros con 10 pasos, donde se reduce el área del corte para continuar el proceso de laminación. Se refrigera por medio de agua a temperatura ambiente.					
COMPONENTES					
1					
1.1 Motor 1T					
Código	111001	Modelo	M280M, No. 7032645		
Marca	ASEA	Tensión	440 V		
Potencia	480 HP	Corriente	24/12 A		
Velocidad	710 RPM	Tipo de arranque	Eliminación de resistencias		
		Tipo de acople	Polea y correa con brida bnb n		
1.2 Motor 2T					
Código	111002	Modelo	M280 M		
Marca	ASEA	Tensión	660/440 V		
Potencia	480 HP	Corriente	280/600 A		
Tipo	Anillos rozantes	Tipo de arranque	Eliminación de resistencias		
		Tipo de acople	Polea y correa con brida		
1.3 Reductor					
Código	211001	Relación	1/4.3		
Tipo	2 ejes con engranajes helicoidales				
Tipo	Espina de pescado				
Tipo de transmisión	por correas desde motor				
1.4 Caja de piñones					
Código	212001	Lubricación	1/4.3		
Estructura	Caja de tres cuerpos				
Engranajes	6 helicoidales espina de pescado				
Tipo de transmisión	acople flender				
1.5 Motor bomba 1 de sistema de refrigeración					
Código	LA-TD-41-002-1-001	Modelo/Referencia	1 LA3 130 6YB 70		
Marca	SIEMENS	Tensión	440 V		
Potencia		Corriente	12 A		
Velocidad	3520 RPM	Tipo de arranque	Directo		
		Tipo de acople	Directo		
1.6 Bomba 1 de sistema de refrigeración					
Código	LA-TD-41-002-1-002	Tipo de bomba	Centrífuga		
Marca	Barnes	Tipo de acople	Directo		
1.7 Motor bomba 2 de sistema de refrigeración					
Código	LA-TD-41-002-2-001	Modelo/Referencia	NBR 7094		
Marca	Weg	Tensión	220/380/440 V		
Potencia	10 CV - 7.5 kW	Corriente	24,8/14,4/12,4 A		
Velocidad	3520 RPM	Tipo de arranque	Directo		
		Tipo de acople	Cadena y piñones		
1.8 Bomba 2 de sistema de refrigeración					
Código	LA-TD-41-002-2-002	Tipo de bomba	Centrífuga		
Marca	Barnes	Tipo de acople	Directo		
		Tipo de Rodamiento	6307-6206		
1.9 Motor bomba de lubricación reductor					
Código	LA-TD-42-002-1-001	Tensión	220/380/440 V		
Marca	SIEMENS	Tipo de arranque	Directo		
		Tipo de acople	Araña 100		
1.10 Bomba de lubricación caja reductor					
Código	LA-TD-42-002-1-002	Modelo/Referencia	GG4195		
Marca	Viking Pump	Velocidad	1200-1800 RPM		
Tipo	Desplazamiento positivo				
Ø del eje	12,7 mm				
Descarga	19,5 in				
		Tipo de acople	Araña 100		
		Tipo de sellado	Empaque de teflón		
		Succión	3/4 in		
1.11 Motor bomba de lubricación caja de engranajes					
Código	LA-TD-42-002-2-001	Modelo/Referencia	I/100 LA		
Marca	Delconos	Tensión	220/440 V		
Potencia	4 HP	Corriente	14,4/17,2 A		
		Tipo de arranque	Directo		
		Tipo de acople	Araña 100		
1.12 Bomba de lubricación cja de engranaje					
Código	LA-TD-42-002-2-002	Tipo de acople	Araña 100		
Marca		Tipo de sellado	Empaque de teflón		
Tipo	Desplazamiento positivo-Engranajes				
Rodamiento	Bujes de Bronce				
ANEXOS					

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-MEF-08	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	MESA FIJA	Imagen ilustrativa 		
Fabricante:	MEPSA			
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características: De diversos pasos con la función de desbastar la palanquilla que sale del horno. Sistema de transmisión por correas.				
COMPONENTES				
1 MOTRICES				
1.1 Motor mesa fija de rodillos				
Código	LA-TD-22-090-001-1	Modelo	B 132 MAG/EC	
Marca	Voges	Tensión	220/380/440 V	
Potencia	7,5 HP	Corriente	21/12/10,5 A	
Velocidad	1750 RPM	Tipo de arranque	Directo con inversor de giro	
		Tipo de acople	Directo	
1.2 Motor movimiento de rodillos				
Código	LA-TD-22-090-001-2	Modelo/Referencia	AM1325Z4	
Marca	AEG	Tensión	440 V	
Potencia	11,72 HP	Corriente	11,5 A	
Velocidad	1725 RPM	Tipo de arranque	Directo con inversor de giro	
		Tipo de acople	Directo	
ANEXOS				

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepesa.com.co	
	FICHA TÉCNICA				
Código:	LA-CIC--09		Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	CIZALLA CORTE CABEZA-COLA		Imagen ilustrativa		
Fabricante:					
Modelo:					
Fecha de compra:					
Valor de Compra:					
Funciones y/o características:					
Permite realizar un corte limpio de los extremos del hilo desbastado, para formar el perfil que se introduce al horno.					
COMPONENTES					
1					
1.1					
Código			Modelo		
Marca					
ANEXOS					

		 <small>METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.</small>		<small>www.mepsa.com.co</small>	
		FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-TRC-10	Fecha:	10-10-2020		
Nombre:	TREN CONTINUO		Imagen ilustrativa		
Fabricante:					
Modelo:					
Fecha de compra:					
Valor de compra:					
Funciones y/o características:					
Área compuesta por tres secciones, cada sección compuesta por un castillo de cilindros, donde se reduce el área del corte para continuar el proceso de laminación. Se refrigera por medio de agua a temperatura ambiente y cada sección no se a diferente velocidad.					
COMPONENTES					
1					
1.1 Motor primera caja					
Código	111003	Modelo			
Marca	Westinghouse	Tensión	440432 V		
Potencia	250 HP	Corriente	280/240 A		
Velocidad	700 RPM	Tipo de arranque	Variador de velocidad		
		Tipo de acople	Brida		
1.2 Motor segunda caja					
Código	111004	Modelo / Referencia	1MAF28566-G1-QN		
Marca	Reliance	Tensión	460 V		
Potencia	200 HP	Corriente	260 A		
Velocidad	885 RPM	Tipo de arranque	Variador de velocidad		
		Tipo de acople	Brida		
1.3 Motor tercera caja					
Código	111005	Modelo / Referencia	1MAF28566-G1-QN		
Marca	Reliance	Tensión	460 V		
Potencia	200 HP	Corriente	260 A		
Velocidad	885 RPM	Tipo de arranque	Variador de velocidad		
		Tipo de acople	Brida		
1.4 Reductor primera caja					
Código	211002	Tipo de acople IN	Brida		
Marca	Mepsa	Tipo de acople OUT	Brida		
1.5 Reductor segunda caja					
Código	211003	Modelo / Referencia	SENM/280		
Marca	Flender	Tipo de acople OUT	Brida		
Potencia	328 HP	Relación	2.975.1		
Velocidad IN	1785 RPM	Cantidad de aceite	12 L		
Velocidad OUT	600 RPM				
1.6 Reductor tercer caja					
Código	211004	Modelo / Referencia	SENM/280		
Marca	Flender	Tipo de acople OUT	Brida		
Potencia	328 HP	Relación	2.975.1		
Velocidad IN	1785 RPM	Cantidad de aceite	12 L		
Velocidad OUT	600 RPM	Retenedores	110-130-12		
1.7 Caja 1 T-C					
Código	246201				
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.					
1.8 Caja 2 T-C					
Código	246202				
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.					
1.9 Caja 3 T-C					
Código	246203				
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.					
1.10 Transmisión por cardan estación de laminación 1 tren continuo					
Código	LA-TC-05-1-071-081				
Conjunto copuesto por dos cardan que salen de la caja reductora reparitidora y transmiten el movimiento a la caja 1 de laminación del tren continuo.					
1.11 Transmisión por cardan estación de laminación 2 tren continuo					
Código	LA-TC-05-2-071-081				
Conjunto copuesto por dos cardan que salen de la caja reductora reparitidora y transmiten el movimiento a la caja 1 de laminación del tren continuo.					
1.12 Transmisión por cardan estación de laminación 3 tren continuo					
Código	LA-TC-05-3-071-081				
Conjunto copuesto por dos cardan que salen de la caja reductora reparitidora y transmiten el movimiento a la caja 1 de laminación del tren continuo.					
1.13 Motor bomba 1 de refrigeración tren continuo					
Código	LA-TC-41-002-1-001	Modelo / Referencia	GR-12214		
Marca	Chas S. Lewis & Co.	Tensión	208/440 V		
Potencia	3 HP	Corriente	9 /4.5 A		
Velocidad	1760 RPM	Tipo de arranque	Directo		
Ø del eje	32 mm	Tipo de acople	Directo		
1.14 Bomba 1 sistema de refrigeración tren continuo					
Código	LA-TC-41-002-1-002	Modelo / Referencia	GG-1214		
Marca	Chas S. Lewis & Co.	Tipo de acople	Directo		
Potencia	10 HP	Caudal	373 Gall/min		
Tipo	Centrífuga	Sección	24 in		
Velocidad	1760 RPM	Ø del eje	31.5 mm		
1.15 Motor bomba 2 de refrigeración tren continuo					
Código	LA-TC-41-002-2-001	Modelo / Referencia	1 LA3 130 2YB 79		
Marca	SIEMENS	Tensión	208/440 V		
Potencia	9 HP	Corriente	24/12 A		
Velocidad	3520 RPM	Tipo de arranque	Directo		
Ø del eje	32 mm	Tipo de acople	Directo		
1.16 Bomba 2 sistema de refrigeración tren continuo					
Código	LA-TC-41-002-2-002	Modelo / Referencia			
Marca	IHM	Tipo de acople	Directo		
Potencia	9 HP	Tipo de sellado	S. Mecánico monoorsorte		
Velocidad	3520 RPM	Descarga	3 in		
Ø del eje	38 mm	Sección	4 in		
ANEXOS					




	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-TRA--12	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	TREN ACABADOR O TREN DOS	Imagen ilustrativa		
Fabricante:				
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.			
COMPONENTES				
1				
1.1 Motor 1 T-2				
Código	111006	Modelo		
Marca	SIEMENS	Voltaje estator // rotor	440V Y/220V Δ // 509V /220V Δ	
Potencia	320 kW	Corriente estator // rotor	445A Y 810A Δ // 159A Y 146A Δ	
Velocidad	950 RPM	Tipo de arranque	Eliminación de resistencias	
		Tipo de acople	Brida	
1.2 Motor 2 T-2				
Código	111007	Modelo		
Marca	ASEA	Tensión	440 V	
Potencia	486 HP	Tipo de arranque	Eliminación de resistencias	
Velocidad	1175 RPM	Tipo de acople	Brida	
1.3 Caja de piñones T-2				
Código	212005	Modelo		
Caja de tres cuerpos con 3 engranajes helicoidales de transmisión de entrada central y salida de tres ejes 232 RPM con el motor 1175 RPM (ASEA) 187,5				
1.4 Volante T-2				
Código	213002	Modelo		
Transmisión de movimiento rotatorio desde el motor, realizada por correas. Dos poleas están montadas sobre rodamientos y chumaceras. 232 RPM con el motor de 1175 RPM (ASEA) 187,57 RPM con el motor 950 RPM (SIEMENS) 4 Chumaceras (2 SNE 520 y 2 SNE 528) 11 correas 5V3350				
1.5 Caja 1 T-2				
Código	246301	Modelo		
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.				
1.6 Caja 2 T-2				
Código	246302	Modelo		
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.				
1.7 Caja 3 T-2				
Código	246303	Modelo		
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.				
1.7 Caja 4 T-2				
Código	246303	Modelo		
Juego de dos cilindros montados sobre chumaceras y rodamientos, cuya transmisión se realiza por medio de ejes trebolados desde la caja de piñones.				
ANEXOS				

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-BUC-11	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	BUCLEADOR	Imagen ilustrativa		
Fabricante:	MEPSA			
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Permite desviar la barra de palanquilla haciendo un tiempo de ensamble entre el tren continuo y el tren 2.			
COMPONENTES				
1				
1.1 Servomotor				
Código			Modelo	
Marca				
ANEXOS				

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:	LA-CIX-13	Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	CIZALLA DE CORTE LARGO	Imagen ilustrativa		
Fabricante:	DANIELI			
Modelo:	V30FR1			
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Permite cortar el perfil a 18 metros, para formar el producto a distribuir. Es operada por tiempos determinados, lo acompañan diferentes sistemas que colaboran en la realización del trabajo señalado.			
COMPONENTES				
1				
1.1 Motor cizalla volante Danieli				
Código			Modelo	MH223
Marca	ASEA		Tensión	440 V
Potencia	29 HP		Corriente	34 A
Velocidad	860 RPM		Tipo de arranque	Variador de velocidad
			Tipo de acople	Directo
ANEXOS				

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co	
	FICHA TÉCNICA				
Código:	LA-MEE-14		Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	MESA DE ENFRIAMIENTO		Imagen ilustrativa 		
Fabricante:	TALLERES EL HERRERO				
Modelo:					
Fecha de compra:					
Valor de Compra:					
Funciones y/o características:					
Mesa compuesta por una sección de láminas y otra de rejillas, con movimiento accionado por cadenas que permite el movimiento transversal del perfil. Medidas de la mesa 3 m de ancho por 18 m de largo. Pendiente de 10°.					
COMPONENTES					
1					
1.1 Motor cadena de arrastre 1					
Código	11108		Modelo	OR 824-6	
Marca	SIEMENS		Corriente	16 [A]	
Potencia	12 [HP]		Tipo de arranque	Directo	
Velocidad	3525 [RPM]		Tipo de acople	Polea y correa	
Tensión	440 [V]				
1.2 Motor de cadena de arrastre 2					
Código	11109		Modelo	B160MA6/EC	
Marca	VOGES		Corriente	35,5/20,7/17 [A]	
Potencia	2,5 [HP]		Tipo de acople	Polea y correa	
Velocidad	1175 [RPM]				
Tensión	220/380/440 [V]				
ANEXOS					

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepsa.com.co	
	FICHA TÉCNICA				
Código:	CE-CIY-15		Fecha:	10-10-2020	
Nombre:	CIZALLA DE PRODUCTO TERMINADO		Imagen ilustrativa 		
Fabricante:	PEDDINGHAUS				
Modelo:					
Fecha de compra:					
Valor de Compra:					
Funciones y/o características:					
Permite fraccionar el perfil terminado, para formar el producto a distribuir. Es operada por personal capacitado para su correcto uso, lo acompañan diferentes sistemas que permiten realizar el trabajo señalado.					
COMPONENTES					
1 Motor de cizalla de producto terminado					
1.1					
Código	CE-CT-43-1-001		Modelo	B132 M4/EC	
Marca	EBERLE		Velocidad	1765 [RPM]	
Potencia	15 [HP]		Tipo de arranque	Y - Δ	
Tensión	220/380/440 [V]		Tipo de acople	Polea y correa	
Corriente	37,2/21,5/8,6 [A]				
ANEXOS					

	 METALES Y PROCESOS DEL ORIENTE S.A.			www.mepssa.com.co
	FICHA TÉCNICA			
Código:		Fecha:		
Nombre:	PUENTE GRÚA DE CARGUE BODEGA		Imagen ilustrativa	
Fabricante:				
Modelo:				
Fecha de compra:				
Valor de Compra:				
Funciones y/o características:	Equipo que permite el izaje y traslado de cargas y/o elementos de gran peso. Compuesto por una viga, carro testero (movimiento transversal) y polipastos (movimiento longitudinal)			
COMPONENTES				
1 ELEMENTOS MOTRICES				
1.1 Motoreductor movimiento longitudinal				
Código	PT-ET-01-012-091		Velocidad	1740 [RPM]
Marca	DEMAG			
Potencia	2,2 [kW]			
Tensión	250 [V]			
Corriente	9,3 [A]			
1.2 Motoreductor movimiento transversal				
Código	PT-ET-01-013-091		Velocidad	1690 [RPM]
Marca	DEMAG			
Potencia	0,41 [HP]			
Tensión	250 [V]			
Corriente	3,3 [A]			
ANEXOS				

Anexo B. Base de datos de fallas de los equipos que conforman la línea de producción (Año 2019).

CÓDIGO DEL EQUIPO	HORA INICIO PARADA	HORA FINAL PARADA	TTR	FECHA
LA-TRC-10	0:45:00	3:00:00	135	11/01/2019
LA-TRC-10	12:30:00	13:00:00	30	14/01/2019
LA-TRC-10	17:20:00	17:55:00	35	14/01/2019
LA-TRC-10	8:50:00	9:30:00	40	15/01/2019
LA-TRC-10	15:30:00	15:40:00	10	15/01/2019
LA-TRC-10	17:20:00	18:30:00	70	15/01/2019
LA-TRA-12	20:40:00	22:00:00	80	15/01/2019
LA-TRC-10	10:00:00	13:00:00	180	16/01/2019
LA-TRC-10	14:30:00	16:10:00	100	16/01/2019
LA-MEF-08	16:55:00	17:30:00	35	17/01/2019
LA-TRD-07	21:00:00	21:20:00	20	21/01/2019
LA-MEB-06	23:30:00	23:35:00	5	22/01/2019
LA-CIX-13	11:05:00	11:15:00	10	23/01/2019
LA-CIC-09	2:15:00	2:25:00	10	23/01/2019
LA-BUC-11	16:10:00	16:20:00	10	24/01/2019
LA-TRC-10	13:30:00	14:10:00	40	25/01/2019
LA-BUC-11	13:32:00	13:42:00	10	28/01/2019
LA-MEE-14	0:55:00	1:00:00	5	30/01/2019
LA-TRA-12	14:45:00	15:15:00	30	31/01/2019
LA-TRA-12	15:00:00	15:10:00	10	05/02/2019
LA-TRA-12	1:20:00	3:00:00	100	08/02/2019
LA-LAH-04	10:45:00	11:00:00	15	11/02/2019
LA-MEE-14	14:45:00	15:10:00	25	11/02/2019
LA-MEE-14	23:00:00	23:10:00	10	11/02/2019
LA-TRA-12	21:20:00	22:45:00	85	13/02/2019
LA-TRA-12	20:30:00	21:30:00	60	14/02/2019
LA-TRD-07	11:00:00	17:00:00	360	04/03/2019
LA-MEE-14	12:45:00	13:15:00	30	05/03/2019
LA-TRC-10	14:00:00	16:00:00	120	07/03/2019
LA-MEE-14	9:05:00	9:10:00	5	08/03/2019
LA-RIP-05	1:25:00	2:15:00	50	11/03/2019
CE-CIY-15	23:30:00	0:30:00	60	12/03/2019
LA-TRA-12	11:00:00	12:20:00	80	13/03/2019
LA-CIX-13	12:30:00	12:45:00	15	19/03/2019
LA-CIX-13	14:00:00	14:10:00	10	19/03/2019

LA-RIP-05	14:35:00	14:50:00	15	19/03/2019
LA-CIX-13	15:30:00	16:10:00	40	19/03/2019
LA-TRC-10	8:10:00	8:50:00	40	20/03/2019
LA-BUC-11	11:05:00	11:20:00	15	20/03/2019
LA-TRA-12	16:55:00	18:20:00	85	20/03/2019
LA-TRC-10	1:10:00	3:00:00	110	20/03/2019
LA-TRC-10	7:00:00	9:00:00	120	21/03/2019
LA-MEE-14	16:00:00	16:10:00	10	27/03/2019
LA-CIX-13	16:50:00	16:58:00	8	27/03/2019
LA-CIX-13	23:00:00	23:07:00	7	27/03/2019
LA-MEE-14	16:40:00	16:55:00	15	29/03/2019
LA-TRC-10	10:30:00	10:45:00	15	10/04/2019
LA-TRC-10	10:30:00	13:30:00	180	24/04/2019
LA-CIX-13	23:25:00	23:40:00	15	24/04/2019
LA-CIX-13	0:05:00	3:00:00	175	24/04/2019
LA-CIX-13	8:45:00	9:00:00	15	25/04/2019
LA-TRD-07	1:30:00	1:40:00	10	26/04/2019
LA-TRC-10	17:10:00	19:30:00	140	29/04/2019
LA-CIX-13	9:05:00	9:10:00	5	01/05/2019
LA-CIX-13	9:35:00	9:45:00	10	01/05/2019
LA-CIX-13	3:00:00	3:10:00	10	01/05/2019
LA-MEB-06	0:10:00	0:20:00	10	02/05/2019
LA-HOR-03	23:50:00	0:10:00	20	07/05/2019
LA-TRD-07	7:00:00	9:00:00	120	08/05/2019
LA-BUC-11	20:15:00	20:25:00	10	08/05/2019
LA-TRD-07	16:00:00	17:30:00	90	09/05/2019
LA-TRC-10	15:55:00	1:00:00	545	15/05/2019
LA-TRC-10	15:55:00	16:45:00	50	16/05/2019
LA-TRC-10	16:10:00	18:30:00	140	17/05/2019
LA-TRD-07	8:20:00	11:40:00	200	20/05/2019
LA-MEE-14	9:15:00	9:35:00	20	22/05/2019
LA-MEE-14	10:40:00	10:55:00	15	22/05/2019
LA-MEE-14	18:55:00	19:05:00	10	24/05/2019
MP-PTG-01	11:00:00	12:20:00	80	12/06/2019
LA-MEE-14	21:25:00	21:35:00	10	12/06/2019
LA-BUC-11	18:10:00	18:25:00	15	13/06/2019
LA-MEB-06	1:40:00	1:50:00	10	13/06/2019
LA-CIX-13	21:10:00	21:20:00	10	18/06/2019
LA-CIX-13	21:40:00	21:50:00	10	18/06/2019
LA-TRA-12	0:10:00	1:00:00	50	18/06/2019

LA-TRA-12	10:15:00	11:10:00	55	19/06/2019
LA-TRA-12	8:40:00	9:25:00	45	20/06/2019
LA-TRA-12	10:50:00	12:10:00	80	20/06/2019
LA-MEF-08	19:05:00	19:15:00	10	21/06/2019
LA-TRA-12	20:10:00	21:10:00	60	21/06/2019
LA-TRA-12	15:20:00	16:40:00	80	22/06/2019
LA-MEE-14	12:10:00	12:20:00	10	25/06/2019
LA-MEE-14	13:40:00	14:10:00	30	25/06/2019
LA-TRD-07	8:05:00	8:15:00	10	26/06/2019
LA-MEF-08	11:25:00	11:40:00	15	29/06/2019
LA-TRA-12	21:20:00	22:40:00	80	02/07/2019
LA-CIX-13	9:25:00	9:50:00	25	03/07/2019
LA-TRA-12	13:45:00	15:50:00	125	04/07/2019
LA-MEB-06	21:20:00	21:30:00	10	05/07/2019
LA-TRC-10	17:00:00	18:00:00	60	19/07/2019
LA-CIX-13	8:20:00	8:30:00	10	25/07/2019
LA-CIX-13	18:55:00	19:05:00	10	25/07/2019
LA-TRA-12	0:30:00	0:45:00	15	30/07/2019
LA-TRC-10	8:20:00	9:15:00	55	31/07/2019
MP-EMP-02	10:00:00	10:15:00	15	03/08/2019
LA-TRA-12	13:45:00	14:15:00	30	03/08/2019
LA-MEB-06	2:00:00	2:15:00	15	13/08/2019
LA-MEE-14	9:10:00	9:25:00	15	14/08/2019
LA-TRA-12	9:00:00	10:00:00	60	21/08/2019
LA-TRA-12	9:00:00	10:00:00	60	22/08/2019
LA-BUC-11	8:30:00	9:00:00	30	24/08/2019
LA-BUC-11	9:40:00	9:55:00	15	24/08/2019
LA-TRC-10	17:55:00	18:10:00	15	27/08/2019
LA-MEE-14	19:55:00	20:10:00	15	28/08/2019
LA-TRD-07	8:40:00	14:30:00	350	06/09/2019
LA-TRC-10	18:00:00	18:20:00	20	12/09/2019
LA-TRC-10	18:30:00	18:50:00	20	12/09/2019
LA-MEE-14	9:00:00	9:10:00	10	17/09/2019
LA-RIP-05	19:40:00	20:15:00	35	18/09/2019
LA-RIP-05	23:55:00	0:10:00	15	19/09/2019
LA-RIP-05	18:50:00	19:50:00	60	20/09/2019
LA-TRA-12	18:50:00	19:15:00	25	28/09/2019
LA-MEB-06	14:30:00	15:40:00	70	30/09/2019
LA-CIX-13	12:05:00	12:15:00	10	01/10/2019
LA-TRC-10	12:25:00	13:10:00	45	01/10/2019

LA-MEF-08	23:05:00	23:45:00	40	01/10/2019
LA-TRC-10	8:30:00	11:00:00	150	15/10/2019
LA-TRA-12	20:15:00	20:30:00	15	17/10/2019
LA-TRD-07	0:50:00	3:00:00	130	25/10/2019
MP-EMP-02	19:10:00	19:20:00	10	28/10/2019
LA-TRD-07	1:15:00	1:30:00	15	28/10/2019
LA-TRA-12	19:30:00	20:30:00	60	29/10/2019
LA-CIC-09	2:40:00	3:00:00	20	29/10/2019
LA-MEE-14	10:00:00	10:30:00	30	30/10/2019
LA-CIC-09	15:00:00	17:00:00	120	30/10/2019
LA-CIC-09	17:30:00	18:40:00	70	30/10/2019
LA-LAH-04	17:00:00	17:15:00	15	31/10/2019
LA-TRD-07	22:00:00	22:10:00	10	31/10/2019
LA-TRA-12	11:30:00	13:30:00	120	06/11/2019
LA-TRA-12	13:30:00	13:40:00	10	07/11/2019
LA-TRA-12	20:50:00	22:10:00	80	12/11/2019
LA-CIC-09	23:25:00	23:35:00	10	13/11/2019
CE-CIY-15	22:00:00	22:20:00	20	14/11/2019
LA-MEB-06	12:15:00	16:00:00	225	19/11/2019
LA-CIX-13	8:20:00	8:30:00	10	20/11/2019
LA-TRC-10	20:15:00	21:15:00	60	20/11/2019
LA-TRC-10	22:20:00	23:45:00	85	20/11/2019
LA-TRA-12	9:25:00	9:35:00	10	21/11/2019
LA-LAH-04	17:20:00	17:30:00	10	21/11/2019
LA-TRA-12	21:45:00	22:00:00	15	21/11/2019
LA-TRA-12	9:10:00	9:20:00	10	22/11/2019
LA-MEE-14	0:00:00	0:35:00	35	02/12/2019
LA-TRC-10	2:00:00	2:30:00	30	03/12/2019
LA-TRA-12	9:45:00	10:35:00	50	04/12/2019
LA-CIX-13	16:35:00	16:40:00	5	11/12/2019
LA-TRA-12	17:40:00	20:20:00	160	12/12/2019
LA-TRC-10	9:50:00	11:00:00	70	13/12/2019
LA-MEE-14	22:50:00	23:00:00	10	13/12/2019
LA-TRA-12	10:35:00	11:00:00	25	14/12/2019
LA-MEE-14	22:05:00	22:25:00	20	18/12/2019
LA-MEE-14	22:30:00	22:50:00	20	19/12/2019
LA-MEE-14	22:55:00	23:15:00	20	19/12/2019