

MODELO GERENCIAL PARA LA REESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA FÁBRICA METALMECÁNICA JOSÉ
MARÍA CÓRDOVA

YAMEL OSWALDO AGUIRRE PALACIOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2015

MODELO GERENCIAL PARA LA REESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA FÁBRICA METALMECÁNICA JOSÉ
MARÍA CÓRDOVA

YAMEL OSWALDO AGUIRRE PALACIOS

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: GUSTAVO ADOLFO DELGADO ÁLVAREZ

Ingeniero Mecánico

Master GMBA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

A la Santísima Virgen María y a nuestro Señor Jesucristo por dotarme de vida, salud y de una maravillosa familia.

A mis padres Blanca Lilia y Hamer quienes me educaron en principios y valores.

A mi esposa Lida Esperanza quien ha sido mi inspiración y mayor fortaleza.

A mi hijo Yamel David quien ha sido la motivación de mi vida.

A mis hermanos Dayana, Laura, Oscar y Andrés por su colaboración y apoyo.

A mis colegas Diego Mendoza, Jimmy Muñoz y Edward Muñoz con quienes integramos un excelente grupo de trabajo a lo largo de esta especialización.

A mis familiares y amigos por estar pendientes de mí.

AGRADECIMIENTOS

A la FÁBRICA JOSÉ MARÍA CÓRDOVA por haberme permitido realizar este proyecto y a todas las personas que me ayudaron con su tiempo y disposición para el desarrollo del mismo.

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER y a su programa ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO por hacer de mí un mejor profesional y de esta forma contribuir activamente en el desarrollo de nuestro país.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA por haber hecho de mi un profesional en la Ingeniería Mecánica.

Al Ingeniero Mecánico Gustavo Adolfo Delgado Álvarez quien a demás de ser mi director de proyecto de grado, me brindo su amistad, su confianza, y me motivo para estudiar esta especialización y llevarla a feliz término.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. MANTENIMIENTO EN LA FÁBRICA JOSÉ MARÍA CÓRDOVA	19
1.1 INDUSTRIA MILITAR	19
1.1.1 Reseña histórica	19
1.1.2 Misión	20
1.1.3 Visión	21
1.1.4 Política de gestión integral	21
1.2 FÁBRICA METALMECÁNICA JOSÉ MARÍA CÓRDOVA	21
1.3 PLANTA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	22
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.5 OBJETIVOS	24
1.5.1 Objetivo general	24
1.5.2 Objetivos específicos	24
1.6 JUSTIFICACIÓN	24
2 MARCO CONCEPTUAL	26
2.1 ANÁLISIS DE PARETO	26
2.2 TAREAS PREVENTIVAS	28
2.3 LIMITES DE VIDA SEGURA	32
2.4 LIMITES DE VIDA ECONÓMICA	33
2.5 FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	33
2.6 FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA SUSTITUCIÓN CÍCLICA	33
2.7 EFECTIVIDAD DE LAS TAREAS DE REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	33
2.8 CMD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, DISPONIBILIDAD	34
2.8.1 Relaciones	34
2.8.2 Interacción cmd	38
2.8.3 Métodos de predicción cmd	38
2.8.4 Disponibilidad	41
2.8.5 Modelo universal para pronostico cmd	41
2.8.6 Curva de la bañera o de Davies	43
2.8.7 Método de Benard de aproximación de rango de medianas	46
2.8.8 Fundamentos de la distribución Weibull	47
2.8.9 Método de regresión lineal con mínimos cuadrados	47
2.8.10 Criterio de calidad de la alineación	49
2.8.10.1 Coeficiente de determinación muestral r^2	49

2.8.11 Distribución de Weibull	50
2.8.11.1 Tiempo medio entre fallas MTBF en Weibull	50
2.8.11.2 Tiempo medio de reparación MTTR en Weibull	51
2.9 EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS	51
2.9.1 Flujo de caja	51
2.9.2 Valor presente neto	52
2.10 DEPRECIACIÓN DE UN ACTIVO POR LÍNEA RECTA	52
3 RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	53
3.1 SELECCIÓN DE LA LÍNEA PRODUCTIVA A INTERVENIR	53
3.2 HISTÓRICOS DE INTERVENCIONES	54
3.3 ANÁLISIS DE PARETO POR FRECUENCIA DE FALLA	59
3.4 ANÁLISIS DE PARETO POR COSTOS DE REPARACIÓN	60
3.5 COMBINACIÓN DE CRITERIOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	63
3.6 APLICACIÓN DE ENFOQUE CMD PARA LOS EQUIPOS	66
3.6.1 Tratamiento de la información	67
3.6.1.1 Diagrama de estado correctivo	70
3.6.1.2 Diagrama de estado preventivo	71
3.6.2 Estimación de parámetros con Benard y alineación	73
3.6.2.1 Estimación de parámetros para el equipo 30TN02	80
3.6.2.2 Estimación de parámetros para el equipo 26FH01	85
3.6.2.3 Estimación de parámetros para el equipo 28CM01	90
3.6.2.4 Estimación de parámetros para el equipo 28CM08	95
3.6.2.5 Estimación de parámetros para el equipo 28CM12	100
3.6.2.6 Estimación de parámetros para el equipo 28CM07	105
3.6.2.7 Estimación de parámetros para el equipo 28CM03	110
3.6.2.8 Estimación de parámetros para el equipo 28CM06	115
3.6.2.9 Estimación de parámetros para el equipo 28CM13	120
3.6.2.10 Resumen de parámetros para los equipos	125
3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO	126
3.7.1 Análisis económico para el torno numérico 30TN02	127
3.7.2 Análisis económico para el torno numérico 26FH01	129
3.8 ANÁLISIS PLAN DE MANTENIMIENTO	130
4 PROPUESTA	133
4.1 DISCRIMINACIÓN DE SUBSISTEMAS	133
4.2 ASOCIACIÓN DE REPUESTOS ESTÁNDAR A SUBSISTEMAS	134
5 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA	141
6 CONCLUSIONES	142
7 RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	144

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de los porcentajes de falla en aeronaves comerciales	31
Tabla 2. Maquinaria seleccionada para la línea productiva tres	53
Tabla 3. Intervenciones correctivas y preventivas de máquinas de línea tres	56
Tabla 4. Resumen intervenciones correctivas para el 32TX02	57
Tabla 5. Resumen costos mantenimiento correctivo máquinas línea tres	58
Tabla 6. Frecuencia de Falla en los equipos de la línea tres	59
Tabla 7. Costos de reparación de los equipos de la línea tres	61
Tabla 8. Comparativo entre Pareto de costos y Pareto de Fallas	63
Tabla 9. Calificación ponderada por fallas y costos para los equipos	64
Tabla 10. Equipos objeto de estudio de acuerdo a ponderación	65
Tabla 11. Costos agrupados por modelos de equipos	66
Tabla 12. Archivo resumen de datos requeridos para CMD	67
Tabla 13. Análisis de tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT)	68
Tabla 14. Tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT) del 22CM14	69
Tabla 15. Tiempos del diagrama de estado correctivo del 22CM14	71
Tabla 16. Tiempos del diagrama de estado preventivo del 22CM14	72
Tabla 17. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 22CM14	73
Tabla 18. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 22CM14	76
Tabla 19. MTBF y Beta preventivo usando Benard y Alineación 22CM14	77
Tabla 20. MTTR y Beta preventivo usando Benard y Alineación 22CM14	78
Tabla 21. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 22CM14	79
Tabla 22. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 30TN02	80

Tabla 23. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 30TN02	81
Tabla 24. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 30TN02	82
Tabla 25. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 30TN02	83
Tabla 26. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 30TN02	84
Tabla 27. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 26FH01	85
Tabla 28. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 26FH01	86
Tabla 29. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 26FH01	87
Tabla 30. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 26FH01	88
Tabla 31. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 26FH01	89
Tabla 32. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM01	90
Tabla 33. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM01	91
Tabla 34. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM01	92
Tabla 35. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM01	93
Tabla 36. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM01	94
Tabla 37. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM08	95
Tabla 38. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM08	96
Tabla 39. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM08	97
Tabla 40. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM08	98
Tabla 41. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM08	99
Tabla 42. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM12	100
Tabla 43. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM12	101
Tabla 44. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM12	102
Tabla 45. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM12	103
Tabla 46. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM12	104
Tabla 47. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM07	105
Tabla 48. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM07	106

Tabla 49. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM07	107
Tabla 50. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM07	108
Tabla 51. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM07	109
Tabla 52. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM03	110
Tabla 53. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM03	111
Tabla 54. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM03	112
Tabla 55. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM03	113
Tabla 56. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM03	114
Tabla 57. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM06	115
Tabla 58. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM06	116
Tabla 59. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM06	117
Tabla 60. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM06	118
Tabla 61. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM06	119
Tabla 62. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM13	120
Tabla 63. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM13	121
Tabla 64. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM13	122
Tabla 65. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM13	123
Tabla 66. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM13	124
Tabla 67. Resumen Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos	125
Tabla 68. Costos de mantenimiento y VPN del torno 30TN02	128
Tabla 69. Costos de mantenimiento de la fresadora 26FH01	129
Tabla 70. Actividades de mantenimiento asociadas al 28CM01	131
Tabla 71. Tiempo medio entre fallas correctivas y preventivas promedio	132
Tabla 72. Subsistemas propuestos para centros de mecanizado	133
Tabla 73. Listado de repuestos subsistema husillo centro de mecanizado	134
Tabla 74. Actividad mantenimiento subsistema husillo	136

Tabla 75. Actividad mantenimiento subsistema booster	136
Tabla 76. Actividad mantenimiento subsistema columna, eje z	137
Tabla 77. Actividad mantenimiento subsistema bancada, ejes x, y	138
Tabla 78. Actividad mantenimiento subsistema herramientas automáticas	139
Tabla 79. Actividad mantenimiento subsistema refrigeración herramientas	139
Tabla 80. Actividad mantenimiento subsistema extractor de viruta	140
Tabla 81. Actividad mantenimiento subsistema cabinas y guardas	140

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la Planta de Mantenimiento Industrial	22
Figura 2. Diagrama de Pareto	27
Figura 3. Comparación de falla entre dos piezas idénticas	29
Figura 4. Modos de falla típicos	30
Figura 5. Límite de Vida Segura	32
Figura 6. Diagrama de estado de un equipo	37
Figura 7. Tiempos de falla y funcionamiento de equipos	40
Figura 8. Curva de la bañera o de Davies	45
Figura 9. Curva de Davies acciones y tácticas adecuadas acorde a Beta	46
Figura 10. Ajuste de una línea recta en los ejes X o Y	48
Figura 11. Flujo de caja	52
Figura 12. Información típica extractada del Software BAAN ERP	55
Figura 13. Frecuencia de fallas de equipos línea número tres	60
Figura 14. Costo de reparación para equipos línea número tres	62
Figura 15. Diagrama de estado general original para 22CM14	69
Figura 16. Diagrama de estado correctivo para 22CM14	70
Figura 17. Diagrama de estado correctivo para 22CM14	72
Figura 18. Dispersión con datos Up Times correctivos para 22CM14	74
Figura 19. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 22CM14	75
Figura 20. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 22CM14	76
Figura 21. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 22CM14	77
Figura 22. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 22CM14	78

Figura 23. Ubicación Betas de 22CM14 en la curva de la bañera	79
Figura 24. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 30TN02	80
Figura 25. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 30TN02	81
Figura 26. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 30TN02	82
Figura 27. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 30TN02	83
Figura 28. Ubicación Betas de 30TN02 en la curva de la bañera	84
Figura 29. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 26FH01	85
Figura 30. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 26FH01	86
Figura 31. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 26FH01	87
Figura 32. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 26FH01	88
Figura 33. Ubicación Betas de 26FH01 en la curva de la bañera	89
Figura 34. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM01	90
Figura 35. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM01	91
Figura 36. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM01	92
Figura 37. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM01	93
Figura 38. Ubicación Betas de 28CM01 en la curva de la bañera	94
Figura 39. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM08	95
Figura 40. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM08	96
Figura 41. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM08	97
Figura 42. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM08	98
Figura 43. Ubicación Betas de 28CM08 en la curva de la bañera	99
Figura 44. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM12	100
Figura 45. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM12	101
Figura 46. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM12	102
Figura 47. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM12	103
Figura 48. Ubicación Betas de 28CM12 en la curva de la bañera	104

Figura 49. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM07	109
Figura 50. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM07	106
Figura 51. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM07	107
Figura 52. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM07	108
Figura 53. Ubicación Betas de 28CM07 en la curva de la bañera	109
Figura 54. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM03	110
Figura 55. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM03	111
Figura 56. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM03	112
Figura 57. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM03	113
Figura 58. Ubicación Betas de 28CM03 en la curva de la bañera	114
Figura 59. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM06	115
Figura 60. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM06	116
Figura 61. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM06	117
Figura 62. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM06	118
Figura 63. Ubicación Betas de 28CM06 en la curva de la bañera	119
Figura 64. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM13	120
Figura 65. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM13	121
Figura 66. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM13	122
Figura 67. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM13	123
Figura 68. Ubicación Betas de 28CM13 en la curva de la bañera	124
Figura 69. Ubicación Betas MTBFc de equipos en la curva de la bañera	125
Figura 70. Ubicación Betas MTBFp de equipos en la curva de la bañera	126
Figura 71. Costos cartucho de husillo (completo) del 30TN02	127
Figura 72. Costos mano de obra, repuestos y reparación 26FH01	128
Figura 73. Diagrama subsistemas propuestos modelos V-25, V-30, V-40	129
Figura 74. Diagrama subsistema husillo modelos V-25, V-30, V-40	135

RESUMEN

TÍTULO: MODELO GERENCIAL PARA LA REESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA FÁBRICA METALMECÁNICA JOSÉ MARÍA CÓRDOVA*

AUTOR: YAMEL OSWALDO AGUIRRE PALACIOS**

PALABRAS CLAVES: Análisis de Pareto, Método Benard, Regresión con Mínimos Cuadrados, Weibull, Factor de Forma, Curva de la Bañera, Mantenimiento Preventivo.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía provee una propuesta para reestructurar el plan de mantenimiento de los centros de mecanizado de la Fabrica José María Córdova, el cual es acorde con la fase de vida que los equipos reflejan en la curva de la bañera o de Davies.

Para los equipos seleccionados se realiza un tratamiento de información más profundo en el que utilizando los históricos de intervenciones preventivas y correctivas se construye el diagrama de estado general para cada uno de los equipos, en el que se pueden observar claramente tiempos de funcionamiento (Up Times) y tiempos de falla, que se discriminan entre correctivos y preventivos (Down Times). Usando el diagrama de estado general, se construyen los diagramas de estado correctivo y preventivo, de estos se extraen los tiempos de funcionamiento y de reparación, a estos datos se les aplica el método de Benard de aproximación de rango de medianas para posteriormente ser alineados con regresión de mínimos cuadrados y obtener una distribución Weibull.

Los valores alineados con regresión de mínimos cuadrados se grafican y utilizando dispersión con líneas suavizadas se obtiene un grupo de datos a los que se agrega una línea de tendencia con la que se obtiene la ecuación de la línea recta y el coeficiente de determinación muestral; la pendiente de esta recta, es el factor de forma Beta que fue encontrado para cada uno de los equipos. Se concluyo que los valores validos de Beta estaban asociados a los tiempos medios entre fallas correctivos y preventivos, una vez graficados en la curva de la bañera o de Davies se encontró que los equipos se ubican en la Fase I o de mortalidad infantil para lo cual se propone como plan de acción unas actividades de mantenimiento preventivo en las que discrimine la maquina en subsistemas asociando repuestos estándar.

* Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Gustavo Adolfo Delgado Álvarez, Ingeniero Mecánico. Master GMBA.

SUMMARY

TÍTULO: MANAGEMENT MODEL FOR RESTRUCTURING PREVENTIVE MAINTENANCE SCHEDULE OF METALWORKING FACTORY JOSÉ MARÍA CÓRDOVA*

AUTHOR: YAMEL OSWALDO AGUIRRE PALACIOS**

KEY WORDS: Pareto's analysis, Benard's method, Linear least square regression, Weibull, Shape factor, Curve of the tub or of Davies, Preventive Maintenance.

DESCRIPCIÓN:

This monograph provides an offer to restructure the plan of maintenance of the centers of mechanized of the Factory Jose Maria Córdoba, who is according to the phase of life that the equipments reflect in the curve of the tub or of Davies

For the selected equipments there is realized a deeper data processing in which using the historical of preventive and corrective interventions there is constructed the graph of general condition for each of the equipments, in whom they can be observed clearly times of functioning: Up Times and times of fault, which is discriminated between corrective and preventive: Down Times. Using the graph of general condition, there are constructed the graphs of corrective and preventive condition, from these they are extracted the times of functioning and of repair, to this information there is applied to the Benard's method of approximation of range of medians later to be aligned by linear least square regression and to obtain a distribution Weibull

The values aligned with linear least square regression are plotted and using dispersion with smoothed lines there is obtained a dispersion of information to which one adds a line of trend with which there is obtained the equation of the straight line and the coefficient of sample determination; the slope of this straight line, it is the shape factor Beta that was found for each of the equipments. I conclude that the good values of Beta were associated to the average times between faults corrective and preventive, once plot in the curve of the tub or of Davies one thought that the equipments are located in the Phase I or of infant mortality for which proposes itself as action plan a few activities of preventive maintenance in which it discriminates against the machine in subsystems associating supplies standard.

* Monograph.

**School of Physic-Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization, Director: Gustavo Adolfo Delgado Alvarez, Mechanical Engineer. Master GMBA.

INTRODUCCIÓN

En la Fabrica José María Córdova la Planta de Mantenimiento Industrial tiene la responsabilidad de mantener operando en óptimas condiciones alrededor de 1140 equipos, para ello se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo el cual es lanzado anualmente, sin embargo, el mantenimiento correctivo predomina, por lo que se deben buscar nuevas estrategias para garantizar la disponibilidad de las maquinas al área productiva.

Por primer vez en la Planta de Mantenimiento se analizan los históricos de mantenimiento de un grupo de equipos objeto de estudio con los que se busca establecer cual es fase de mantenimiento de la curva de la bañera en la que se encuentran, para de esta forma proponer las acciones de mantenimiento acordes con el factor de forma beta; esto se logro realizando un tratamiento de la información existente en el sistema de información de mantenimiento BAAN ERP, aplicando rango de medianas de Benard y regresión con mínimos cuadrados, ubicando a los equipos estudiados en la Fase I, o de mortalidad infantil.

Con la metodología propuesta se busca que cada mantenimiento se realice en un subsistema específico del equipo, brindando al técnico los repuestos requeridos para realizar la actividad y de esta forma tener un punto de partida para iniciar un ciclo de mejoramiento continuo en el que con cada intervención se identifiquen repuestos no asociados a las tareas de mantenimiento, se reduzcan los tiempos de intervención de los equipos y se preste el acompañamiento a la División de Producción para lograr cumplir los compromisos adquiridos mensualmente con la División Comercial de Oficinas Centrales.

1 MANTENIMIENTO EN LA FABRICA JOSÉ MARÍA CÓRDOVA

1.1 INDUSTRIA MILITAR

Desde los comienzos del Siglo XX el Gobierno de Colombia deseaba organizar una empresa fabricante de armas, en el año 1908 el Ministerio de Defensa (en ese entonces llamado Ministerio de Guerra) organizó el 'Taller Nacional de Artes Mecánicas para fomentar la industria mecánica colombiana. En el año 1954 el gobierno crea INDUMIL como una entidad autónoma fabricante de armas de bajo calibre, luego en 1955 introdujo la fabricación de munición pesada y en 1964 la empresa comenzó a fabricar explosivos.

Actualmente hace parte del Grupo Social y Empresarial de la Defensa (GSED) que agrupa a 19 empresas adscritas y vinculadas al Ministerio de Defensa que tiene como propósito de contribuir de manera decidida y medible a conquistar la seguridad y la paz en Colombia.

1.1.1 Reseña histórica

La Industria Militar tiene su origen en el año 1908, cuando se organizó el "Taller Nacional de Artes Mecánicas" dependiendo del Ministerio de Guerra. En el año 1954 dadas las exigencias de nuevas estructuras y objetivos de mayor alcance, se crea la INDUSTRIA MILITAR como entidad autónoma; después como Empresa Industrial y Comercial del Estado, iniciando con su primera unidad de negocios denominada Fábrica General "José María Córdova", para la fabricación de armamento y de munición de pequeño calibre para uso militar prioritariamente. La Fábrica "Santa Bárbara", nace en el año 1955, como la segunda Unidad de negocios con maquinaria y equipos destinados a la fabricación de municiones pesadas de artillería para las Fuerzas Militares, iniciando operaciones en el año 1964. Finalmente la Fábrica de Explosivos "Antonio Ricaurte", se creó en el año de 1963 con el carácter de Sociedad Comercial Anónima y en 1968 pasa a convertirse en la tercera unidad de negocios de la Industria Militar.

Con el transcurrir de los años, luego de un desarrollo industrial, las tres factorías han ampliado y diversificado sus líneas de producción y servicios, con capacidad tecnológica para la fabricación de productos de alta calidad, hecho que le permite ser competitiva en cualquier mercado a nivel global. Mediante decreto 2137 de 1989, le fue otorgado el Premio Nacional de la Calidad, en la categoría de Gran Industria, constituyéndose en la primera empresa del Estado que logró alcanzarlo. Así mismo, con el decreto 1806 de 1989, el gobierno otorgó la Orden al Mérito Industrial, en la categoría de Gran Oficial, como reconocimiento a la importante labor que la Empresa ha desarrollado. En el año

2000, la Industria Militar obtuvo la certificación para el Sistema de Aseguramiento de la Calidad, bajo la normatividad NTC ISO 9002/94. Entre tanto, en el año 2002, la Empresa renovó la certificación para el Sistema de Gestión de la Calidad según los requisitos de la norma NTC ISO 9001:2000. Para el año 2004, la Industria Militar se postula al Premio Colombiano a la Calidad de la gestión 2003, logrando obtener el primer puesto en la categoría Empresa Estatal Manufacturera Grande, y se convierte así mismo en la primer Empresa del Sector Defensa en obtenerlo.

En su constante motivación para lograr la excelencia, en el 2005 el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, le entrega los Certificados de Renovación y Ampliación de la Gestión de la Calidad según norma NTC ISO 9001:2000, incluyendo los procesos y desarrollos de los productos. Esta última, nuevamente renovada en el 2010, bajo la versión NTC ISO 9001:2008. Toda esta proyección de reconocimientos y el compromiso constante de sus colaboradores, hace que se certifique a INDUMIL en el 2007, bajo la Norma NTCGP 1000:2004 “Sistema de Gestión de la Calidad para la Rama Ejecutiva del poder público”, en cumplimiento de la ley 872 de 2003. Ese mismo año recibe Mención Honorífica en el Premio Iberoamericano de la Calidad 2007, en la categoría Entidad Pública Grande; mismo reconocimiento que alcanza por segunda vez en el 2009. La búsqueda y la perseverancia por lograr un mejoramiento continuo, hace que en el año 2009, certifiquen a la organización bajo la Norma NTC ISO 14001:2004 “Sistema de Gestión Ambiental”. Ya, en el año 2010 INDUMIL se hace acreedora del “Premio Nacional a la Innovación y la Excelencia en la Gestión”, categoría Entidad Pública Grande, entregado por la Presidencia de la República. En el año 2011, es entregado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC la Certificación NTC OHSAS 18001:2007 “Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional”

1.1.2 Misión

Desarrollar la política del Gobierno Nacional en materia de importación, producción y comercialización de armas, municiones, explosivos, accesorios, servicios y elementos complementarios, para satisfacer las necesidades de la Defensa y Seguridad Nacional y el Sector Privado, contribuyendo con responsabilidad social y ambiental al progreso de país.

1.1.3 Visión

Al 2019 consolidarse como el proveedor principal de armas, municiones y explosivos, accesorios, servicios y elementos complementarios para la Fuerza Pública, entidades de seguridad nacional y los sectores industrial, minero, vial y energético, con autosuficiencia, competitividad e innovación tecnológica; para atender la demanda interna e internacional, proyectándose como soporte del desarrollo y progreso del país.

1.1.4 Política de gestión integral

Innovar y suministrar bienes y servicios con la calidad y oportunidad requeridos, aumentando la confianza y satisfacción de los grupos sociales objetivo, con el uso racional de los recursos, administrando los riesgos, cumpliendo las leyes, normatividad vigente y Manual de Gestión Integral e impactando en los resultados que superen permanentemente las metas y desafíos a través de la gestión integral de sus sistemas de calidad, ambiental, salud ocupacional, seguridad de la información, MECI, competencia de los laboratorios de ensayo y calibración y responsabilidad social.

Mediante el mejoramiento continuo, dinamizar la excelencia empresarial con fundamento en nuestra misión, visión, políticas, principios y valores, previniendo la contaminación, lesiones y enfermedades, brindando a los trabajadores un ambiente sano, confortable y seguro, fomentando el crecimiento del capital intelectual y humano para hacer personas íntegras y comprometidas con el desarrollo sostenible de la organización y la integridad, disponibilidad y confidencialidad de la información, contribuyendo a los propósitos fundamentales del Estado.

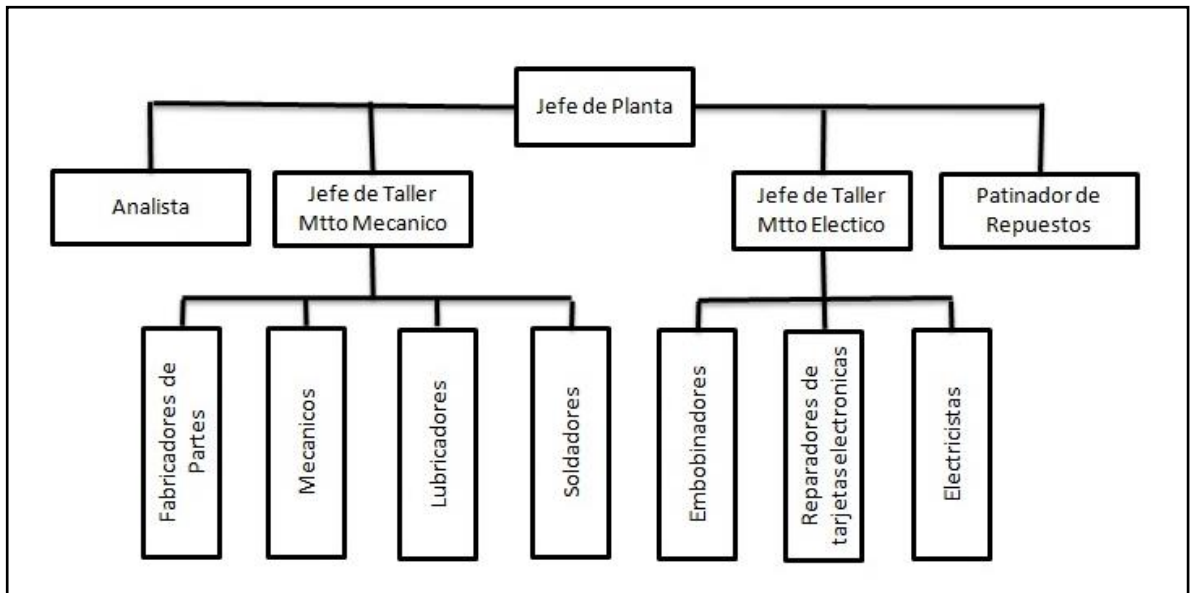
1.2 FÁBRICA METALMECÁNICA JOSÉ MARÍA CÓRDOVA

Ubicada en el municipio de Soacha, esta dedicada en su gran mayoría al mecanizado de piezas por arranque de viruta de forma organizada en líneas de producción, utilizando máquinas convencionales y de control numérico que suman alrededor de 350 equipos, empleando para su operación alrededor de 300 personas que de acuerdo a los programas de producción pueden llegar a distribuirse en tres turnos de ocho horas, todos los días de la semana. En esta fábrica adicionalmente se encuentran otros procesos como son Tratamientos Térmicos, Acabados Superficiales, Inyección de Plásticos y Afilado de Herramientas que permiten tener una cadena productiva continua, ya en una misma planta se realizan todas las transformaciones que requiere la materia prima hasta convertirse en el producto final.

1.3 PLANTA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

La Planta de Mantenimiento Industrial vela por el buen funcionamiento de los equipos de cada uno de los talleres de la planta y de los equipos periféricos como son los compresores, caldera, red de gas natural, red de gas propano, entre otros, para ello cuenta con personal calificado en mecánica, electricidad y electrónica industrial que suman alrededor de 60 personas, el organigrama de la Planta se puede observar en la Figura 1 y cual es su distribución de acuerdo a cada taller. Se cuenta además con espacio físico suficiente donde se ubican máquinas herramientas como fresadoras, tornos, taladros entre otros para la fabricación de partes, también se realizan labores de soldadura, reparación de tarjetas y embobinado de motores.

Figura 1. Organigrama de la Planta de Mantenimiento Industrial.



La administración del mantenimiento se realiza mediante el uso de ordenes de servicio, las cuales pueden clasificarse en tres tipos, correctivas: las cuales son informadas por el supervisor de línea cuando un equipo falla inesperadamente, se elabora un documento al que se encabeza con la serie 20; preventivas: las cuales son generadas por la planta de mantenimiento industrial mensualmente y son encabezadas con la serie 21 y las ordenes locativas que son elaboradas por los jefes de taller del área interesada cuando se deben realizar reparaciones a elementos como puertas metálicas, cubas, ductos de extracción, cerchas, divisiones metálicas entre otras y que son encabezadas con la serie 22.

La administración de estas órdenes de servicio se realiza mediante el software BAAN ERP en el cual se pueden realizar actividades como la creación de técnicos de servicio, creación de equipos con su debida marcación y el lanzamiento de las diferentes ordenes de servicio antes mencionadas generando automáticamente el número de la orden de servicio una vez el jefe de taller mecánico o eléctrico le asigne el técnico para su ejecución; adicionalmente se pueden cargar repuestos y los tiempos de mano de obra a los cuales se les puede hacer seguimiento, esta información es almacenada para cada equipo en un histórico de intervenciones y se puede acceder a el mediante el filtrado por un código único del equipo. Mensualmente se hace seguimiento a las órdenes de servicio revisando las que fueron cumplidas sobre las asignadas para cada uno de los técnicos de servicio y se realiza un balance general de la planta, este informe se entrega a la División de Producción.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en la Fabrica Metalmecánica José María Córdova cuenta con 1140 máquinas de las cuales se pueden citar Fresadoras Horizontales Convencionales, Taladros de Columna y Revolver, Rectificadoras Planas, Centros de Mecanizado de Control Numérico Horizontales y Verticales entre otros para los que la Planta de Mantenimiento Industrial había establecido unas rutinas de mantenimiento preventivo aplicadas a un 40 % de la totalidad de los equipos. Estas rutinas están divididas en subsistemas muy generales las cuales no pueden aplicarse a todos los equipos.

Para estas rutinas de mantenimiento preventivo no se tienen identificados, codificados ni asociados el repuesto estándar requeridos para la reparación de cada uno de los subsistemas.

En el momento de emitir una orden de servicio preventivo no se tienen disponibles los repuestos requeridos para efectuar la labor, dado que no han sido cargados en el plan de compras anual de la compañía y por ende no se puede garantizar su disponibilidad en el almacén general

Como consecuencia de la ausencia de inventarios de repuestos estándar en el almacén y a los tramites para realizar su compra por medio de los mecanismos de caja menor o mínima cuantía autorizados para la Fabrica, los tiempos de reparación exceden los tiempos previstos en el Plan de Mantenimiento de la compañía incidiendo negativamente en la Disponibilidad de los equipos para las labores productivas.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Realizar una prueba piloto en la línea de producción número tres reestructurando las rutinas de mantenimiento preventivo para cuatro equipos.

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar los subsistemas que componen cada uno de los cuatro equipos objeto de estudio los cuales serán elegidos mediante el Análisis de Pareto usando las variables de Frecuencia de Falla y Costos de Reparación.
- ✓ Asociar el repuesto estándar a las rutinas de mantenimiento propuestas a los equipos seleccionados.
- ✓ Revisar el Plan de Mantenimiento sugerido por el fabricante en los catálogos, compararlo con el establecido por la Planta de Mantenimiento Industrial identificando oportunidades de mejora.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la Planta de Mantenimiento Industrial de la Fábrica Metalmecánica José María Córdova lanza mensualmente en promedio 215 ordenes de Mantenimiento Preventivo Eléctrico y Mecánico, las cuales corresponden mas a inspecciones planeadas que a mantenimientos preventivos, debido a que no se tienen identificados los repuestos requeridos, incluso algunos de ellos ni siquiera se encuentran codificados en el sistema BAAN ERP, por lo tanto no son incluidos en los planes de compras de cada vigencia. Para aquellos que son conocidos sus cantidades deben ser estimadas por los consumos históricos y no por las frecuencias de cambio estimadas por el plan de mantenimiento lo que ocasiona que al momento de ser requeridos al almacén general no haya un stock suficiente para realizar su egreso y se deba recurrir a métodos de compra autorizados para la Fábrica como son el de caja menor, el cual en el peor de los escenarios cuenta con 29 pasos administrativos para entregar un repuesto en la Fábrica tal como se puede observar en el Anexo A, lo que hace que los tiempos de mantenimiento sean mayores a los estimados por la Orden de Servicio y que la Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos intervenidos se vean disminuidas.

Con la ejecución de esta prueba piloto se pretende realizar un levantamiento de la información de repuestos requeridos con exactitud para la ejecución de el Plan de

Mantenimiento Preventivo Anual de los equipos objeto de estudio, que dichos repuestos sean cargados en el plan de compras de la vigencia siguiente y que de esta forma una vez el analista emita la orden de servicio, se egresen los repuestos y le sean entregados al técnico de mantenimiento y no como se hace actualmente emitiendo ordenes de servicio con un tiempo estimado, las cuales se ven afectadas por la solicitud de repuestos al almacén y en algunos casos el equipo deja de producir hasta que no se compra el repuestos requerido afectando los programas productivos.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 ANÁLISIS DE PARETO

El principio de Pareto es también conocido como la regla del 80-20 y recibe este nombre en honor a Wilfredo Pareto, quien lo enunció por primera vez.

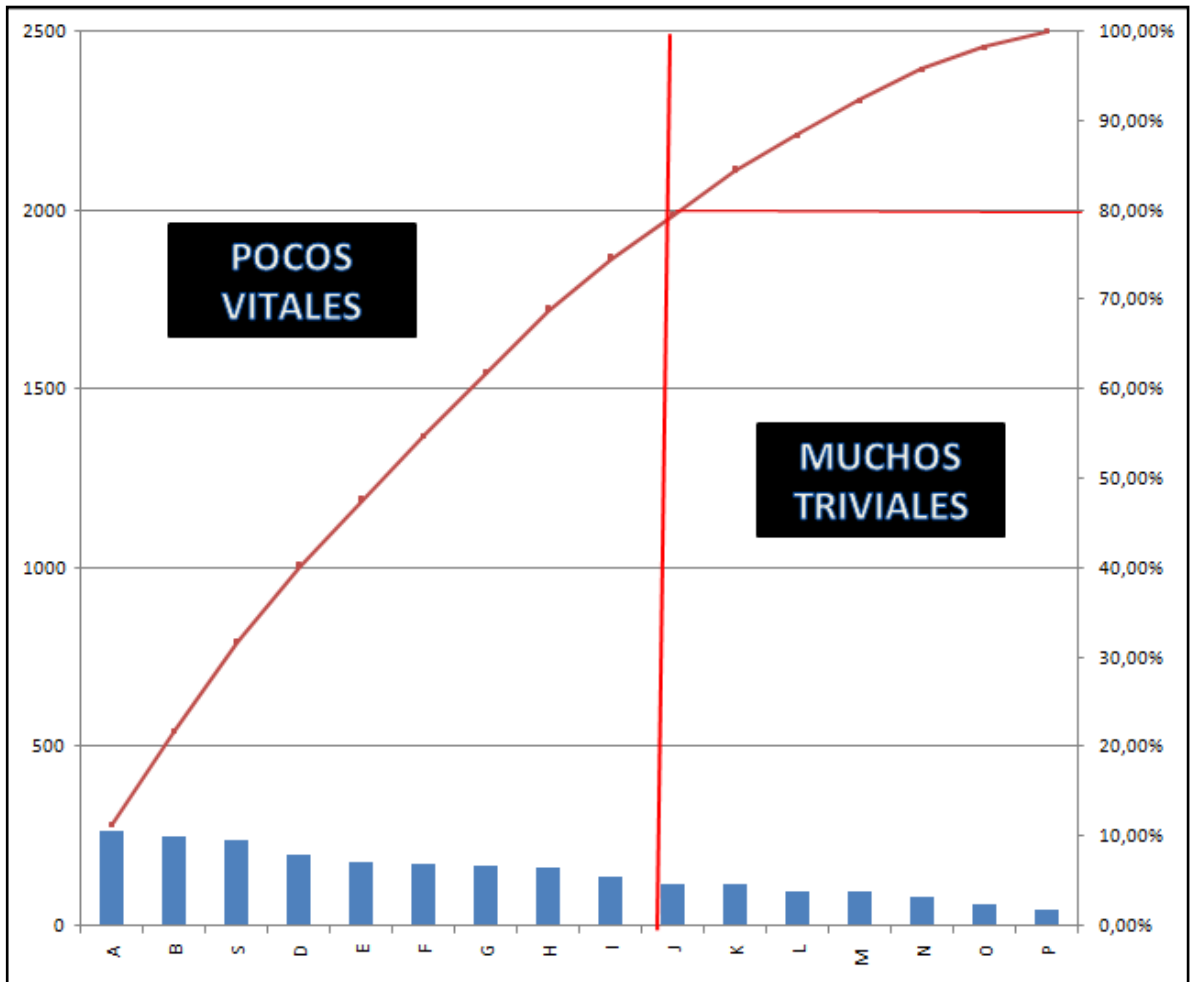
Pareto enunció el principio basándose en el denominado conocimiento empírico. Estudió que la gente en su sociedad se dividía naturalmente entre los «pocos de mucho» y los «muchos de poco»; se establecían así dos grupos de proporciones 80-20 tales que el grupo minoritario, formado por un 20 % de población, ostentaba el 80 % de algo y el grupo mayoritario, formado por un 80 % de población, el 20 % de ese mismo algo. En concreto, Pareto estudió la propiedad de la tierra en Italia y lo que descubrió fue que el 20% de los propietarios poseían el 80% de las tierras, mientras que el restante 20% de los terrenos pertenecía al 80% de la población restante.

Estas cifras son arbitrarias; no son exactas y pueden variar. Su aplicación reside en la descripción de un fenómeno y, como tal, es aproximada y adaptable a cada caso particular.

El principio de Pareto se ha aplicado con éxito a los ámbitos de la política y la economía. Se describió cómo una población en la que aproximadamente el 20 % ostentaba el 80 % del poder político y la abundancia económica, mientras que el otro 80 % de población, lo que Pareto denominó «las masas», se repartía el 20 % restante de la riqueza y tenía poca influencia política. Así sucede, en líneas generales, con el reparto de los bienes y la riqueza mundial.

En gerencia de mantenimiento es una herramienta avanzada genérica utilizada para identificar y jerarquizar datos, con el fin de mostrar que elementos componen el tema que se está analizando. Este permite mediante, mediante una representación gráfica o tabular conocida como diagrama de Pareto, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor. Aplicando análisis de Pareto se puede detectar los problemas que tienen mayor relevancia, mediante la aplicación del principio de Pareto, (pocos vitales, muchos triviales), conocido también como la regla del 80/20 que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves, es decir, que el resultado del proceso dependerá esencialmente de un número pequeño de los factores que intervienen en el mismo. Si se logra determinar cuáles son estos factores vitales se pueden concentrar recursos en el estudio de los mismos con lo que se resuelve la mayoría del problema, de donde se deriva una famosa frase de Pareto: “aplicando atención a los pocos asuntos vitales, se consigue máxima eficacia y rendimiento de los recursos dedicados”. Por lo tanto, el Análisis de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”, se puede observar un ejemplo en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama de Pareto.



En el diagrama se organizan las diversas clasificaciones de datos que representen los elementos o factores constituyentes del problema o tema analizado, por orden descendente de izquierda a derecha por medio de barras sencillas o por una línea continua que use puntos después de haber reunido los datos para clasificar las categorías. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades. El diagrama permite identificar visualmente en una sola revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar mayor atención y de esta manera priorizar recursos para llevar a cabo un plan de acción sin malgastar esfuerzos y tiempo. Con frecuencia, un aspecto puede representar el 80.

Es importante profundizar en lo que significa el Análisis ABC, este consiste en identificar las tres zonas que se pueden presentar en el análisis de búsqueda de significancia. La zona A, representa la zona de mayor impacto, el 20.

En general el análisis de Pareto es una de las herramientas estadísticas de mantenimiento más útiles y sus aplicaciones en el área de mantenimiento solo están limitadas por el ingenio del analista. Realizar el Análisis de Pareto tiene como objetivos:

1. Identificar oportunidades para llevar a cabo mejoras.
2. Identificar un producto o servicio que requiera un análisis más exhaustivo.
3. Identificar los sistemas, equipos o elementos que están causando la mayoría de los problemas a mantenimiento y / o producción.
4. Documentar de manera científica y sistemática los llamados de atención a un área o sector problemático.
5. Analizar las diferentes agrupaciones de datos.
6. Buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
7. Evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después).
8. Expresar los costos que significan cada tipo de falla y los ahorros logrados mediante el plan de acción llevado a cabo a través de determinadas acciones.

Es importante tener en cuenta que el Análisis de Pareto se puede llevar a cabo siempre y cuando los factores o categorías de un problema se puedan cuantificar.

2.2 TAREAS PREVENTIVAS

Implementar tareas de mantenimiento preventivo para la Planta es valido si logra reducir las fallas suficientemente como para que se pueda justificar los costos directos e indirectos de realizar la tarea. Adicionalmente el Ingeniero debe determinar si es técnicamente factible realizarla y esta se puede definir como una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado a un nivel que sea aceptable al dueño o al usuario del activo.

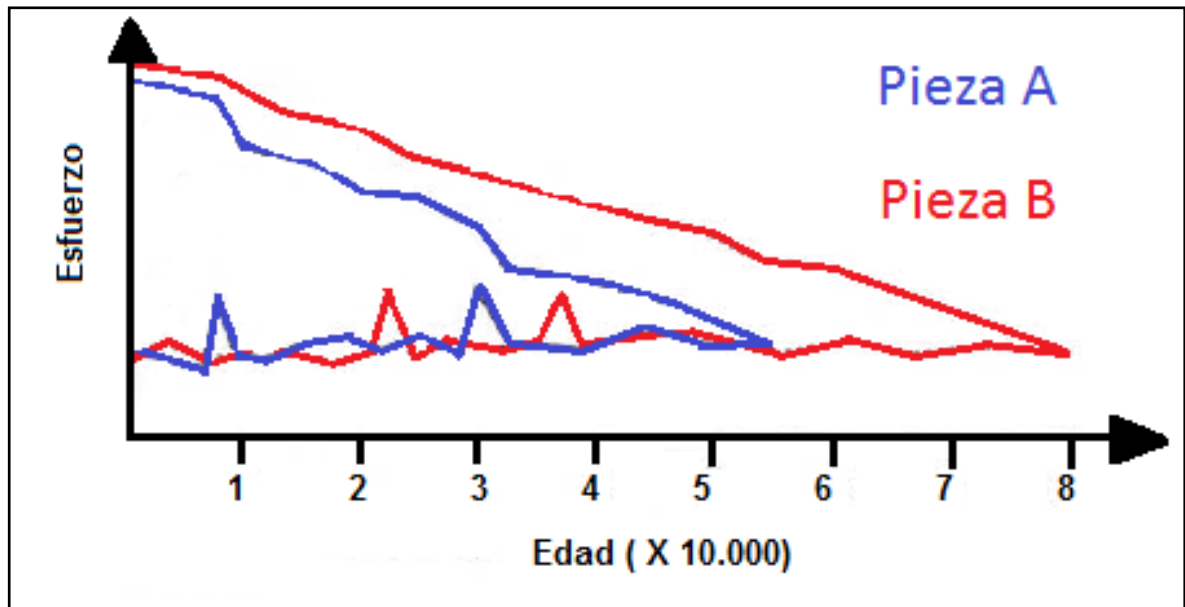
Los equipos desde el momento en que inician su puesta en marcha y posterior funcionamiento están sometidos a una serie de esfuerzos, los cuales son, debido a la operación del equipo en el tiempo, repetitivos, son los responsables de la fatiga en sus componentes y por ultimo de su falla, es decir el componente no es capaz de cumplir con su función y por lo tanto el equipo deja de operar interrumpiendo su labor productiva.

Esto sugiere que hay una relación entre el grado de deterioro del componente y la edad del componente, por lo tanto la falla del componente depende también de la edad del mismo. Esta aseveración corresponde al punto de vista clásico del mantenimiento preventivo, pero en la realidad esto no es así, las cargas y los

esfuerzos en cuanto a frecuencia y magnitud pueden diferir a lo largo del tiempo de uso haciendo poco predecible su falla; aun si se comparan dos piezas idénticas es posible que fallen en tiempos diferentes debido a los esfuerzos soportados a lo largo de su uso, como se puede observar en la Figura 3.

Las fallas relacionadas con la edad frecuentemente están asociadas con la fatiga, la corrosión, la abrasión y la evaporación.

Figura 3. Comparación de falla entre dos piezas idénticas.



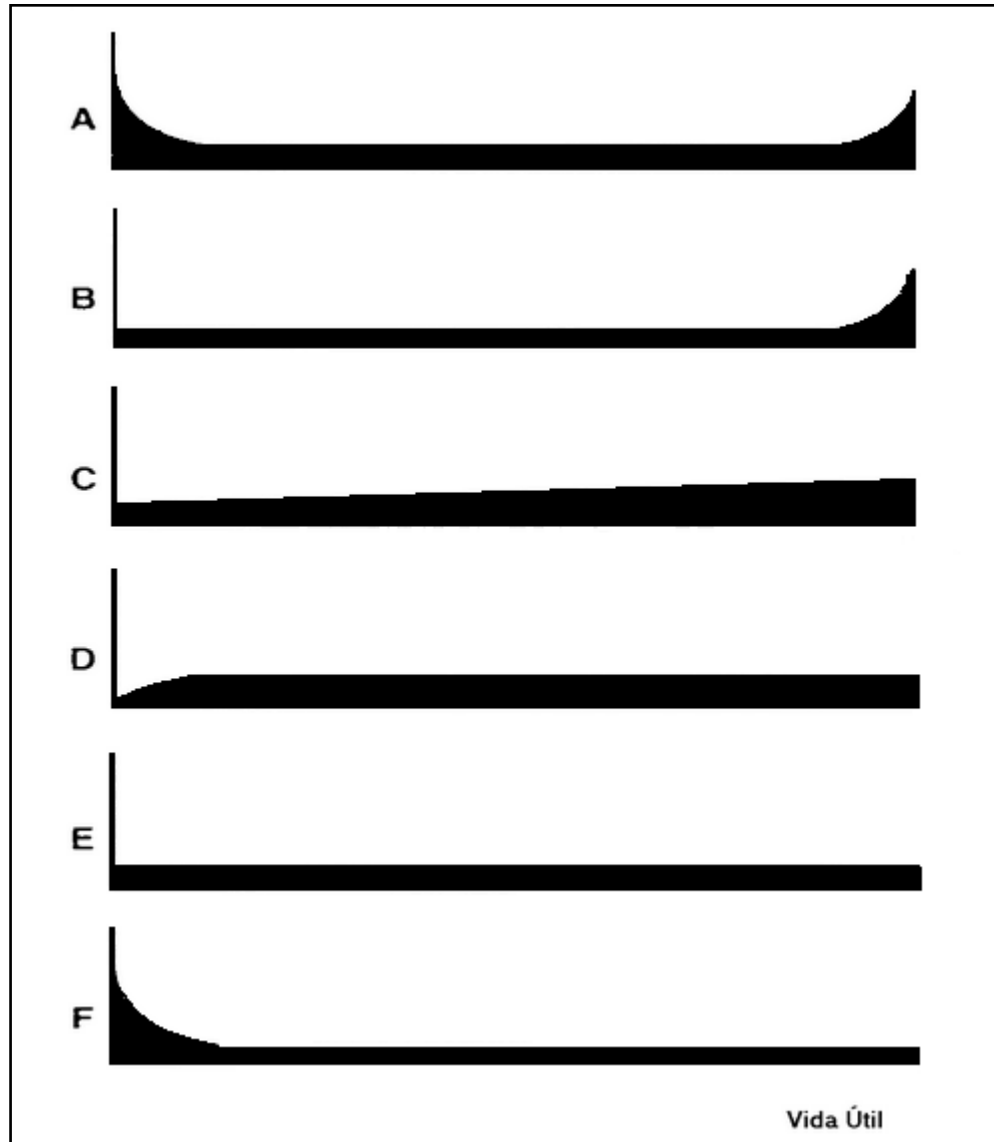
Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina, United States of America. Ed. Aladon LLC. 2004. P. 135.

Los patrones de falla que se pueden encontrar para una máquina se pueden catalogar como los que se observan en la Figura 4, dentro de los que se encuentran la curva de la bañera que corresponde a el patrón A, el cual inicia con una gran cantidad de fallas que se conoce comúnmente como mortalidad infantil, luego es seguida por una zona de estabilidad del equipo, para finalizar en la zona de desgaste final.

El patrón B muestra una zona de estabilidad del equipo o de lento incremento que finaliza en una zona de desgaste. En el patrón C muestra una probabilidad de falla que crece lentamente y debido a esta situación no se puede identificar una edad de desgaste. Adicionalmente el patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo, luego nos muestra un incremento rápido incremento de fallas para llegar a una zona de estabilidad del equipo. En el patrón E muestra una probabilidad de falla constante a lo largo de la vida del equipo lo que se puede catalogar como falla al azar. Por ultimo en el patrón F encontramos una zona de

mortalidad infantil con una disminución de la probabilidad de la falla hasta llegar a una zona estable o que se incrementa muy lentamente.

Figura 4. Modos de falla típicos.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina, United States of America. Ed. Aladon LLC. 2004. Pg. 12.

Estudios realizados en aeronaves comerciales demostraron que se tiene la distribución que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1 Distribución de los porcentajes de falla en aeronaves comerciales

Patrón	A	B	C	D	E	F
% de Incidencia	4%	2%	5%	7%	14%	68%

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina, United States of America. Ed. Aladon LLC. 2004. Pg. 137.

Esta información contradice la creencia de que la confiabilidad va de la mano con el tiempo de operación de un equipo, eso quiere decir que no es cierto que entre mas reparaciones tiene un equipo es menos probable que falle, por lo tanto es correcto afirmar que con cada reparación aumentamos la probabilidad de falla del equipo.

Sin embargo en mantenimiento preventivo tenemos definidas tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas, que implica la refabricación de un componente si se trata de una pieza de desgaste o la sustitución si el elemento es estándar (rodamientos, sellos), o la reparación de un conjunto antes tiempo de uso definido sin importar su condición en dicho instante.

Se puede afirmar que los patrones de falla relacionados con la edad se pueden aplicar a componentes simples o complejos siempre y cuando se identifique en ellos un modo de falla dominante, como son desgaste directo es decir en los que los equipos entran en contacto directo con el producto como son revestimientos refractarios, impulsores de bombas, asientos de válvulas, sellos, superficies internas de tuberías, matrices entre otras.

Otro patrón de falla es la fatiga que es concebida en elementos metálicos que están sometidos a cargas cíclicas; la oxidación y la corrosión afecta a un componente dependiendo de su composición química, del grado de protección que tenga y del medio en el que esta operando.

Volviendo a la Figura 4 y si se asume que el modo de falla de los componentes de los equipos corresponde a los tipos A y B, se puede afirmar que es mas probable que la falla ocurra después de la vida útil, entonces podemos afirmar que es posible sacarlo de servicio antes de que entre en la zona de desgaste tomando alguna acción para prevenir que falle o reducir las consecuencias de su falla. Si realizamos esta actividad a intervalos fijos sin determinar la condición real del componente, esta acción se conoce como sustitución cíclica, en estos casos la condición inicial solo se puede restablecer cambiándolo por uno nuevo.

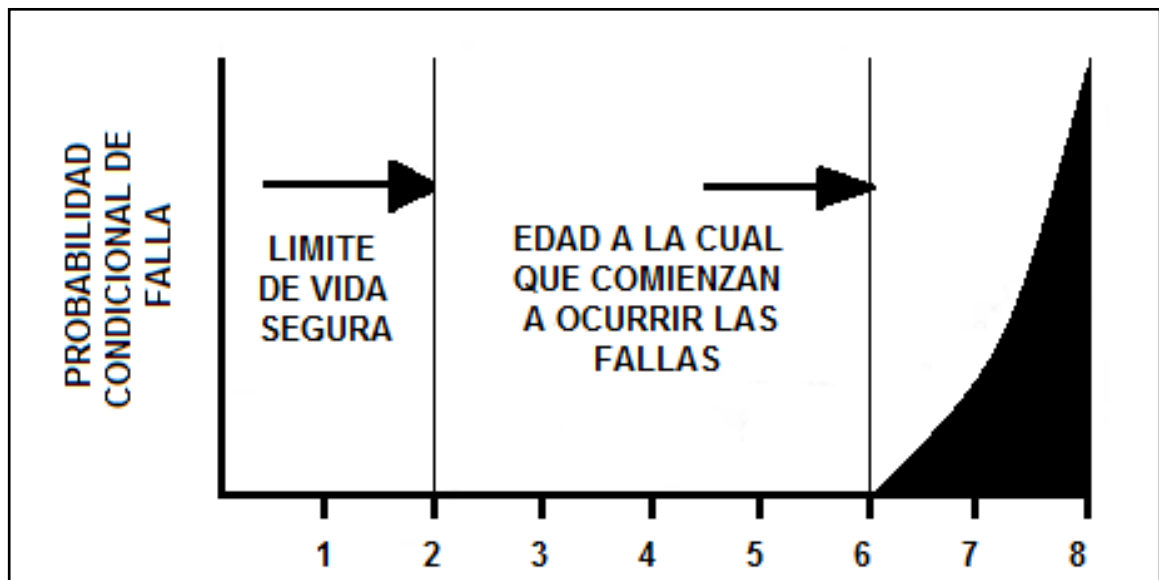
Tanto el reacondicionamiento como la sustitución cíclica se pueden aplicar a una misma tarea el aplicar uno u otro termino depende del nivel del análisis que se haga al componente, si se realiza cambio de un elemento a un tiempo determinado se utiliza el termino de sustitución, pero si a este elemento se realiza un estudio de su condición mediante algún análisis (vibraciones, termografía) y se

determina que aun esta apto para funcionamiento y se hace algún ajuste para aumentar su vida útil estableciendo un tiempo para su inspección estamos hablando de reacondicionamiento. Para determinar la frecuencia con la que una tarea de reacondicionamiento o sustitución cíclica se debe realizar esta indicada por la edad en la que el elemento o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad de falla, pero cuando se debe cambiar un componente. Esto se debe determinar con dos conceptos que se van a desarrollar a continuación, uno es limite vida segura que aplica a tareas que tienden a evitar fallas con consecuencias para la seguridad y limite económica para aquellos que tienden a prevenir fallas que no tienen consecuencias para la seguridad.

2.3 LIMITES DE VIDA SEGURA

Se aplica a fallas que tienen efecto en la seguridad o en el medio ambiente por lo que las actividades planteadas deben disminuir la probabilidad de que ocurra la falla antes del final de la vida útil a niveles tolerables, es decir se utilizan probabilidades de 10^{-6} hasta 10^{-9} , esto nos indica que no se pueden aplicar al patrón A de la Figura 4 ya que la mortalidad infantil implicaría que fallara prematuramente un número importante de componentes. En condiciones de laboratorio se podrían determinar los límites de vida segura antes de colocarle en servicio y un factor de seguridad, esto se puede observar en la Figura 5.

Figura 5. Límite de Vida Segura.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina, United States of America. Ed. Aladon LLC. 2004. Pg. 140.

Es bien sabido que las pruebas en ambientes controlados y las pruebas reales distan en sus resultados, adicionalmente el ensayo de partes que tienen una vida larga hasta la falla son costosos y tardan mucho tiempo razón por la cual no se cuenta con la información suficiente para determinar con certeza las curvas de cada componente.

2.4 LIMITES DE VIDA ECONÓMICA

En la práctica y desde un punto de vista económico es deseable el reacondicionamiento o la sustitución cíclica y esta práctica determinan el ciclo de vida económica, el cual es generalmente igual a la vida útil.

2.5 FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO.

Las actividades de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si:

1. Hay una edad identificable en la que el elemento muestra un rápido incremento en la probabilidad de falla.
2. La mayoría de los elementos sobreviven a esa edad, todos los elementos si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
3. Se restaura la resistencia original del elemento a la falla.

2.6 FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA SUSTITUCIÓN CÍCLICA

Las tareas de sustitución cíclica son técnicamente factibles si:

1. Hay una edad identificable en la que el elemento muestra un rápido incremento en la probabilidad de falla.
2. La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad, todos los elementos si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.

2.7 EFECTIVIDAD DE LAS TAREAS DE REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO.

Aunque la actividad sea técnicamente factible, puede que no merezca la pena el reacondicionamiento cíclico, un límite de edad aplicado a un componente que se comporta como el modo de falla B de la Figura 4 significara que algunos componentes recibirán atención antes de que entren en la zona de falla mientras que otros pueden que fallen prematuramente, pero el efecto final sea una reducción global en el número de fallas imprevistas.

Si las consecuencias son económicas, se requiere que se este seguro que el costo de realizar una tarea de reacondicionamiento cíclico o sustitución cíclica es

menor al costo de permitir que ocurra la falla. Esto se da porque el reacondicionamiento cíclico incrementa el número de las actividades en el taller de mantenimiento en fabricación, mientras que la sustitución cíclica incrementa la compra de componentes que deben ser sustituidos.

Al considerar que las fallas que tienen consecuencias en la producción, en la mayoría de los casos se trata de que esta consecuencia sea menor al programar las actividades de mantenimiento en el instante en que se afecte al mínimo la producción es decir en los llamados huecos de producción y adicionalmente el tiempo de reparación es menor dado que es posible realizar una planeación mas completa de la actividad programada.

En general si no hay consecuencias operacionales, el reacondicionamiento y la sustitución cíclica solo se justifican si cuesta sustancialmente menos que el costo de al reparación, lo cual puede ser cierto si la falla ocasiona danos colaterales a otros componentes o subsistemas del equipo. Es muy importante determinar los patrones de falla del elemento para poder determinar el costo-eficacia de las tareas de reacondicionamiento o sustitución cíclica. En la realidad, solo se puede determinar de manera correcta la frecuencia de dichas tareas si se dispone de información histórica confiable. Dicha información, cuando el activo se coloca en servicio por primera vez, no esta disponible por lo cual es imposible especificar las actividades de mantenimiento preventivo adecuadas.

2.8 CMD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, DISPONIBILIDAD

El enfoque sistémico permite entender que la forma como se debe abordar el estudio y el análisis del tema de mantenimiento, de manera estructural, es decir que tiene un orden y una secuencia; de esta manera se facilita su entendimiento, su aplicación y la ejecución de operaciones, tácticas y estrategias a nivel empresarial.

La estructura se da en el caso particular al tener una serie de elementos (mantenedores, productores y máquinas) organizados e independientes, que se relacionan entre si de una manera formal con reglas y niveles identificables.

2.8.1 Relaciones

Los elementos mantenimiento, producción y máquinas se relacionan entre si a partir de premisas y normas de aceptación universal, así: 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, la relación entre mantenedores y productores se da por la relación indirecta a través de los equipos y esta gobernada por los cánones de la disponibilidad, esta última relación muestra que cuando las conversaciones entre producción y mantenimiento son sobre las máquinas, puede ser mucho mas fluida, que cuando se da en forma directa entre los dos departamentos sobre otros temas que no se refieren a CMD, de aquí que

en ocasiones existen conflictos directos entre las dos áreas, esto muestra que siempre y cuando las conversaciones se den en términos de equipos y de sus comportamientos, la relación es mas sencilla y eficaz.

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticas, que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora 2007b) y su evaluación integral y específica; es a través del CMD que se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento.

Es curioso observar como la mayoría de las tácticas conocidas como TPM, RCM, proactiva, reactiva, clase mundial, PMO, RCM scorecard, centrada en objetivos, basada en riesgos, terotecnológica, etc., fundamentan su establecimiento a partir de los indicadores CMD; los cuales proveen los principios básicos estadísticos y proyectivos de las dos manifestaciones magnas de mantenimiento: fallas y reparaciones. La mejor forma de controlar el mantenimiento y sus implicaciones es a través del componente confiabilidad y parámetros asociados (Barringer@, 2005).

La confiabilidad se mide a partir del número y duración de las fallas (tiempos útiles, reparaciones, tareas proactivas, etc.), la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones (o mantenimientos planeados) (tareas proactivas según J. Moubray – RCM II); mientras que la disponibilidad se mide (o se obtiene por cálculo y deducción matemática) a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

La evolución del mantenimiento permite determinar tres etapas: una inicial hacia la segunda guerra mundial donde mantenimiento actúa por avería en los equipos, donde no se requieren grandes habilidades, una segunda fase donde impera el mantenimiento preventivo y la reducción de costos, al prolongar la vida útil y el tercer periodo donde predomina la confiabilidad (Bleazard y otros, 1998) y la disponibilidad del parque industrial con mayores niveles de seguridad para alcanzar altos valores de eficiencia.

Los estudios de fiabilidad permiten llegar a niveles de optima confiabilidad, que producen mínimos costos del ciclo de vida para el usuario y minimizan los costos para el fabricante, sin comprometer confiabilidad y calidad (Reliasoft@, 2008).

Una mayor comprensión de fallas de dispositivos ayuda en la identificación de las mejoras que pueden introducirse en los diseños de los productos, para aumentar su vida o por lo menos para limitar las consecuencias adversas de las fallas.

La terminación o degeneración de la propiedad de un elemento para realizar su función, se define como falla, esto incluye:

- Falla completa, al perder disponibilidad y funcionalidad.
- Falla parcial, sin generar la pérdida total de disponibilidad.
- Falla que se encuentra durante la realización de reparaciones, mantenimientos planeados, inspecciones o pruebas, que implique la realización de otra reparación.
- Fallas en aparatos de seguridad o elementos de control o monitoreo.
- La degradación paulatina de la funcionalidad del elemento después de cierto límite establecido como referencia con antelación al hecho.

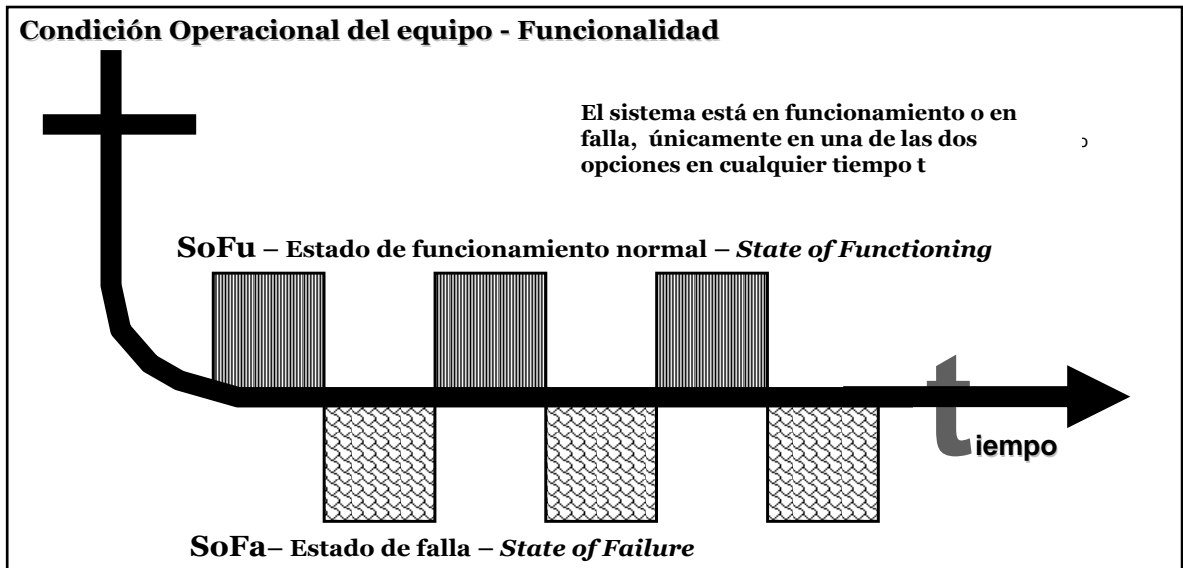
No se estiman como fallas: la realización de tareas planeadas de mantenimiento, la interrupción de la funcionalidad de un elemento de máquina causada por un factor externo y exógeno a la operación del mismo.

Las fallas se clasifican internacionalmente como críticas, degradantes, incipientes y desconocidas dependiendo del efecto que generan sobre el cuerpo o la función del equipo (OREDA, 2002) (OREDA, 1997).

La confiabilidad se puede entender como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos, las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos del ciclo de vida y la seguridad de un producto (Nachlas, 1995). Además se utiliza en el análisis de datos operativos para el mantenimiento, permitiendo conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de aislar componentes con problemas, diseñar políticas de mantenimiento, calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos y establecer frecuencias de ejecución de mantenimiento preventivo (Díaz, 1992).

En todo caso la confiabilidad es una propiedad de las máquinas, que solo la lee o interpretan seres humanos, así como la mantenibilidad es responsabilidad de los seres humanos, indiferente de que se use como una característica de las máquinas. En síntesis confiabilidad se asocia a máquinas y mantenibilidad a personas de mantenimiento. La falla de un sistema, se define como un evento que provoca la pérdida total o parcial de la capacidad de un equipo para realizar las funciones para las cuales se diseña. Un aparato, una máquina o un dispositivo se puede encontrar en uno de los dos posibles estados (mutuamente excluyentes): funciona o está en falla. Durante la vida útil el elemento se alterna entre SoFa (**State of Failure**) (Estado de Falla) y SoFu (**State of Function**) (Estado de funcionamiento normal). Los estados del equipo se denominan perfil de funcionalidad (Knezevic, 1996).

Figura 6. Diagrama de estado de un equipo



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, D.F.: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V. 2009. P. 61.

El desarrollo de las técnicas de confiabilidad comienza en la segunda guerra mundial, como una respuesta a los rápidos desarrollos tecnológicos y a las intensas exigencias sobre los equipos. Se atribuye a Werner Von Braun la realización de los primeros estudios sistemáticos de confiabilidad cuando, en un intento por mejorar la eficacia de los cohetes V-1 y V-2, analizó sistemáticamente la causa de las fallas e incorporó sus resultados en diseños mejorados. Al final de la segunda guerra, los estudios de confiabilidad se desarrollan bastante debido a la guerra fría, la carrera espacial y el desarrollo de la industria nuclear.

Los estudios de confiabilidad se realizan sistemática y rutinariamente en el diseño de equipos y sistemas, con la idea de mejorar la calidad de los productos. Por ejemplo, antes de la construcción del metro de Caldas, las compañías francesas responsables emprenden intensos estudios de confiabilidad que les permiten garantizar que el producto terminado esté razonablemente libre de fallas mayores.

La mantenibilidad es una medida vital para la predicción, evaluación, control y ejecución de las tareas correctivas o proactivas de mantenimiento; permite mejorar los tiempos y las frecuencias de ejecución de acciones de reparación o mantenimiento en las máquinas (Mora, 2003).

La disponibilidad es una herramienta útil en situaciones en las que se tienen que tomar decisiones con respecto a la adquisición de un elemento entre varias posibles alternativas (Knezevic, 1996).

Entre las ventajas del estudio científico y matemático del CMD, resalta que pretenden buscar una metodología adecuada para medirlas y evaluarlas eficazmente, con el fin de brindar una herramienta fácil de usar para controlar la gestión y operación integral del mantenimiento, a la vez que permite predecir el comportamiento futuro de corto plazo de los equipos, en cuanto a fallas, reparaciones, tiempos útiles, etc.

En resumen, la confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de generar servicios o productos.

2.8.2 Interacción cmd

La forma en que se realiza la estimación de cada uno de los indicadores relacionales del sistema de mantenimiento y producción, como son la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad es amplia y diversa; la literatura universal sobre el tema provee diversas formas y métodos, en la cual se encuentran también elementos y principios comunes, las diferentes estimaciones aportan metodologías disímiles o afines en otros casos (González, 2004).

En síntesis, lo importante de la metodología CMD, consiste en poder predecir el comportamiento futuro de los equipos, en cuanto a saber sobre: las fallas o las 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 alusivas a la planeación de las máquinas, en aras de poder establecer planes concretos de operación y efectividad.

2.8.3 Métodos de predicción cmd

En el mundo de las predicciones CMD, existen varias alternativas, que difieren en su metodología y en su fundamentación técnica, aunque persiguen lo mismo, unas son mas adecuadas que otras en función del entorno y de las características del grado posible o no de reparación de los elementos, como también del grado de madurez técnico y científico de las personas o de la empresa que los utiliza, sobresalen entre otros muchos modelos, los siguientes:

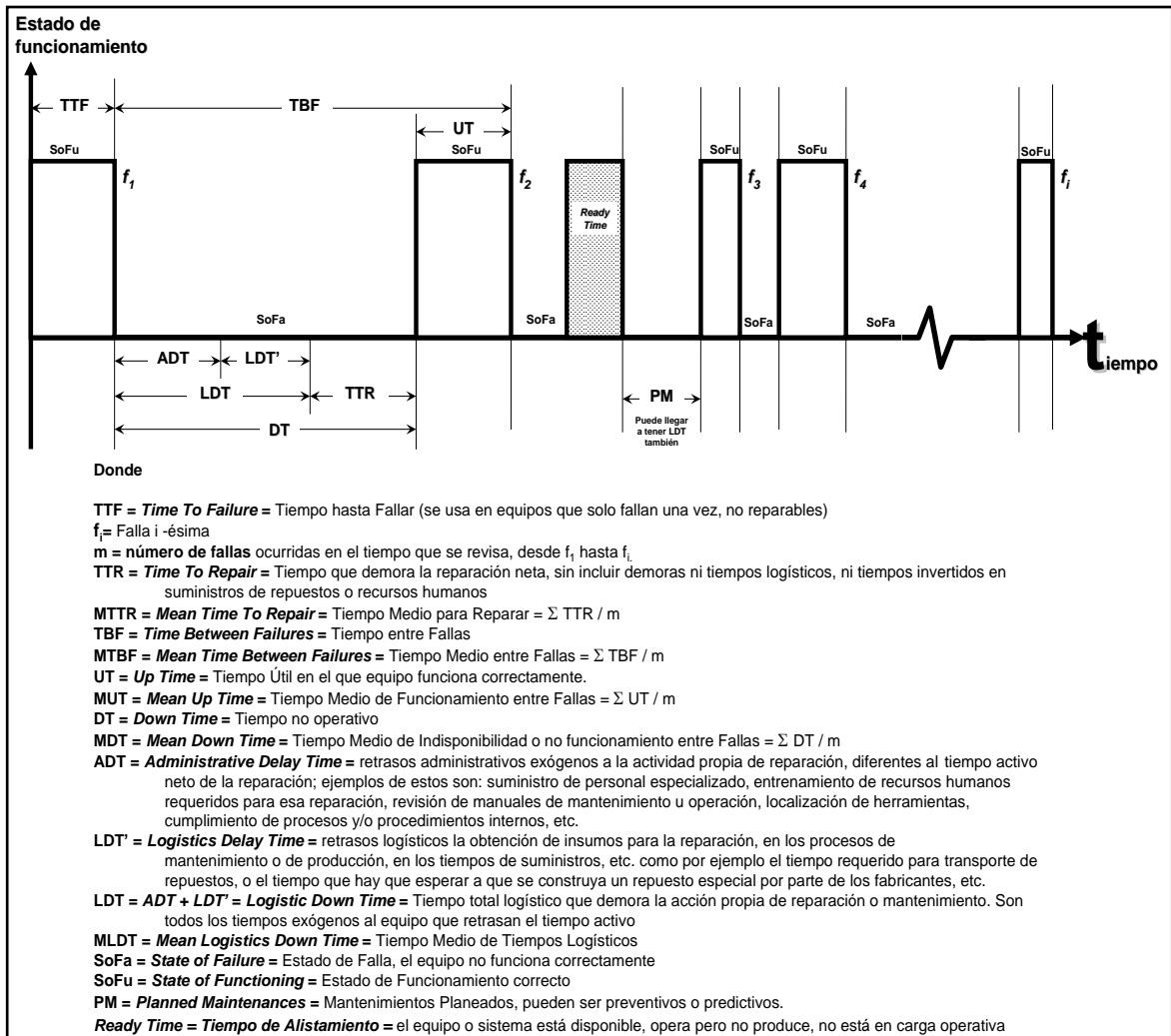
- **PUNTUAL** - Métodos de calculo puntuales (o promedios): se basa en el establecimiento de promedios de cada uno de los parámetros de falla, reparaciones, tiempos útiles y demás variables a calcular, su utilización es muy simple y adecuada para personas o empresas que en su vida no han practicado con este tipo de previsiones de parámetros CMD. Sus resultados no son muy aceptables, pero es muy útil para aprender a dominar los algoritmos de cálculo de cada una de las diferentes opciones de disponibilidad.
- **DISTRIBUCIONES** – Métodos de distribuciones: utiliza los mismos conceptos de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad del modelo puntual anterior, pero en vez de utilizar promedio de los valores de tiempos

útiles, de fallas, de mantenimientos planeados, de demoras, utiliza diferentes distribuciones que modelan mucho mejor que un simple comportamiento de las variables CMD en el tiempo y de sus parámetros. En general es un buen procedimiento aplicable tanto a elementos o máquinas reparables.

El modelo propuesto parte de la premisa de que los valores pueden ser pronosticados al inicio en cuanto a los tiempos de falla, tiempos útiles, períodos de mantenimientos planeados, tasas de fallas o de reparaciones, etc. o al final del proceso mediante el pronóstico de los parámetros CMD asociados calculados como son los que se presentan a continuación:

- Beta: parámetro de forma (β), refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución. Es una medida de dispersión del comportamiento de las fallas y es inverso a la duración promedio de estas.
- Eta: Parámetro de escala o característica de vida útil (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Up Time: Tiempo Útil.
- Down Time: Es el tiempo en el que el equipo dura detenido y coincide con el tiempo de reparación este término se usa cuando la disponibilidad utilizada para el cálculo CMD (Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad) es la genérica = $UT / (DT + UT)$, siendo UT Up Time o Tiempo Útil.
- MTBF: donde MTBF es el tiempo medio entre fallas – MTBF – Mean Time Between Failures.
- MTTR : Mean Time To Repair - Tiempo Medio entre Reparaciones, este concepto se usa cuando la Disponibilidad utilizada es la Inherente donde $D_i = MTBF / (MTBF + MTTR)$.

Figura 7. Tiempos de falla y funcionamiento de equipos.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, D.F.: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V. 2009. P. 70.

También es importante resaltar que el cálculo se realiza inicialmente con la distribución Weibull que permite la utilización de las tres zonas de tasa de fallas o sea para cualquier Beta; para luego acorde al valor de este parámetro obtenido se realiza la validación de los cálculos, para posteriormente compararlos con otras distribuciones congruentes con el valor Beta que se calcule. De resto, se usan prácticamente las metodologías estadísticas y procedimientos universalmente aceptados en el cálculo y estimación integral CMD, en el modelo propuesto por el autor; pero en todo caso se pretende una sola ruta de cálculo que permita de una manera fácil la comparación dinámica de resultados, que es el objetivo del manejo estratégico y sistémico del mantenimiento y de la producción.

2.8.4 Disponibilidad

La probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad (Ramakumar,1996; Blanchard,1995; Nachlas,1995; Smith,1983; Leemis,1995; Kececioglu,1995; Diaz,1992; Knezevic,1996; Ebeling, 2005; Kelly y otro,1998; Kapur y otro, 1977; Rey, 1996; Halpern, 1978; Navarro y otros, 1997; Modarres,1993).

Es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el otro es que sean confiables, y por lo tanto, demasiado costosos (Knezevic, 1996).

La disponibilidad es una consideración importante en sistemas relativamente complejos, como plantas de energía, satélites, plantas químicas y estaciones de radar. En dichos sistemas, una alta confiabilidad no es suficiente, por sí misma, para asegurar que el sistema esté disponible para cuando se necesite (O'Connor, 2002).

También es una medida relevante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionalidad. (Nachlas, 1995; O'Connor, 2002 y Mora, 2007b).

2.8.5 Modelo universal para pronostico cmd.

El método internacional se conforma de varias etapas, en la primera de ellas se dedica a definir los pasos claves para obtención, tabulación, manipulación y tratamiento de los datos de tiempos útiles, fallas, reparaciones, tiempos perdidos de producción y mantenimiento, tiempos de suministro entre otros; con el fin de que sean compatibles en su forma, estilo, coherencia cronológica y composición básicos para los cálculos en los métodos puntual y de distribuciones. Se debe separar lo correctivo de lo planeado.

En la segunda fase, se debe decidir la disponibilidad más adecuada acorde a los datos que se posean y las expectativas de la empresa, acorde a los elementos que se desean controlar, todas difieren y prestan diferentes servicios, en síntesis sus ventajas son:

- Disponibilidad Genérica: Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no disponibilidad, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, otros.
- Disponibilidad inherente o Intrínseca: es muy útil cuando se desea controlar las actividades de mantenimientos no planeados (correctivos y/o modificativos). Solo contempla su posible uso cuando los promedios de tiempos útiles son supremamente grandes frente a los Down Times y los tiempos de retraso o demoras administrativas o físicas son mínimas o tienden a cero. Solo tiene en cuenta daños o fallas o pérdidas de funcionalidad, por razones propias del equipo y no exógenas al mismo.
- Disponibilidad Alcanzada: es magnífica cuando se desean controlar las tareas planeadas de mantenimiento (tareas proactivas: preventivas o predictivas) y las correctivas por separado, no le interesan los tiempos de espera (demora), ni los registra obligatoriamente. Es muy rigurosa en el manejo y especificación de la información y de los datos, requiere un manejo detallado y preciso.
- Disponibilidad Operacional: es adecuada cuando se desea vigilar de cerca los tiempos de demoras administrativas o de recursos físicos o humanos, trabaja con las actividades planeadas (preventivas o predictivas) y no planeadas (correctivas o modificativas) de mantenimiento en forma conjunta. Es precisa, exigente y metódica para su predicción. Su implementación requiere mucho esfuerzo y exige bastantes recursos económicos.
- Disponibilidad Operacional Generalizada: básicamente se usa cuando se predice CMD en equipos con mucho tiempo de operación en que funcionan mas no producen, por ejemplo una turbina de generación a carga mínima, un compresor de aire al mínimo o una bomba de agua en recirculación por no tener carga. Es la más compleja y completa de las disponibilidades, pero así mismo la más exigente y costosa de implementar, aparte de que la empresa debe tener ya mucha experiencia en el tema.

Para la tercera fase, se debe tomar la decisión de si utiliza el método directo de máxima verosimilitud que no hace alineación, o si se resuelve usar el método de alineación con sus dos facetas: estimación de parámetros $F(t)$ función de no confiabilidad y de $M(t)$ de mantenibilidad, con las opciones que se muestran i-kaésimo, Rango de Medianas con Tablas, de Benard con aproximación de rango de mediana o Kaplan & Meyer y luego la alineación para la función de Weibull (en dos versiones: gráfica o numérica de mínimos cuadrados o de regresión) que permite hallar todos los parámetros requeridos para estimar UT, DT, MTBF, MTTR etc., en función de la disponibilidad que se usa.

En ambas opciones de la tercera etapa (sea para el método de máxima verosimilitud o el de Weibull) se deben comprobar los valores de ajuste que se obtienen, mediante 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 fase se trata de los cálculos en sí y de las pruebas de bondad e ajuste de Weibull, que se realizan con tres pruebas: Kolmogórov – Smirnov, Anderson – Darling y Chi cuadrado.

El gran aporte de esta metodología universal es que directamente desde el inicio usa la metodología de Weibull que sirve para las tres etapas de la curva de Davies (o de la bañera): infancia, rodaje y envejecimiento (al igual que la de Hjorth) y, en el evento en que no sirve se va directamente a la función específica (Gama, Normal, Log Normal, Rayleigh, etc.) que más se adecua con el valor Beta que se obtiene en esa etapa de Weibull, lo que garantiza mayor precisión y rapidez en la estimación futura de CMD.

2.8.6 Curva de la bañera o de Davies

Las diferentes acciones que se decidan sobre las tareas a realizar por parte de mantenimiento (y producción), dependen entre otros parámetros de la curva de la bañera o Davies (Ebeling, 2005) donde se muestra la evolución en el tiempo frente a la Tasa de Fallas $\lambda(t)$ y el valor del parámetro de forma Beta del equipo que se evalúa, acorde a su valor para ese momento del equipo, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o sistema.

El comportamiento de la Tasa de Fallas en la fase I es decreciente, en la medida que pasa el tiempo la probabilidad de que ocurra una falla disminuye, las operaciones sugeridas en esta fase son las de tipo correctivo y modificativo, en especial esta última, dado que las fallas que aparecen habitualmente son diferentes, la eliminación de fallas sucesivas recurrentes normalmente se logra mediante la aplicación de la metodología análisis de fallas FMECA. Las acciones modificativas permiten corregir cualquier defecto de diseño o montaje, calidad de materiales, métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier otra falla característica de esta fase. La acción sistémica de eliminación de causas de fallas se denomina debugging.

La fase II se tipifica por fallas enmarcadas en origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos, las acciones que más se adaptan a esta etapa son de las de tipo correctivo, cuando las fallas son esporádicas; en el evento de ser fallas crónicas se actúa con FMECA y acciones modificativas. La probabilidad de falla en esta fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra, por ejemplo si se tienen dos elementos similares y uno de ellos se le acaba de hacer un mantenimiento o reparación, mientras al otro desde hace algunos años no se le realizan tareas de mantenimiento, en el instante actual ambos tienen la misma probabilidad de tener una falla.

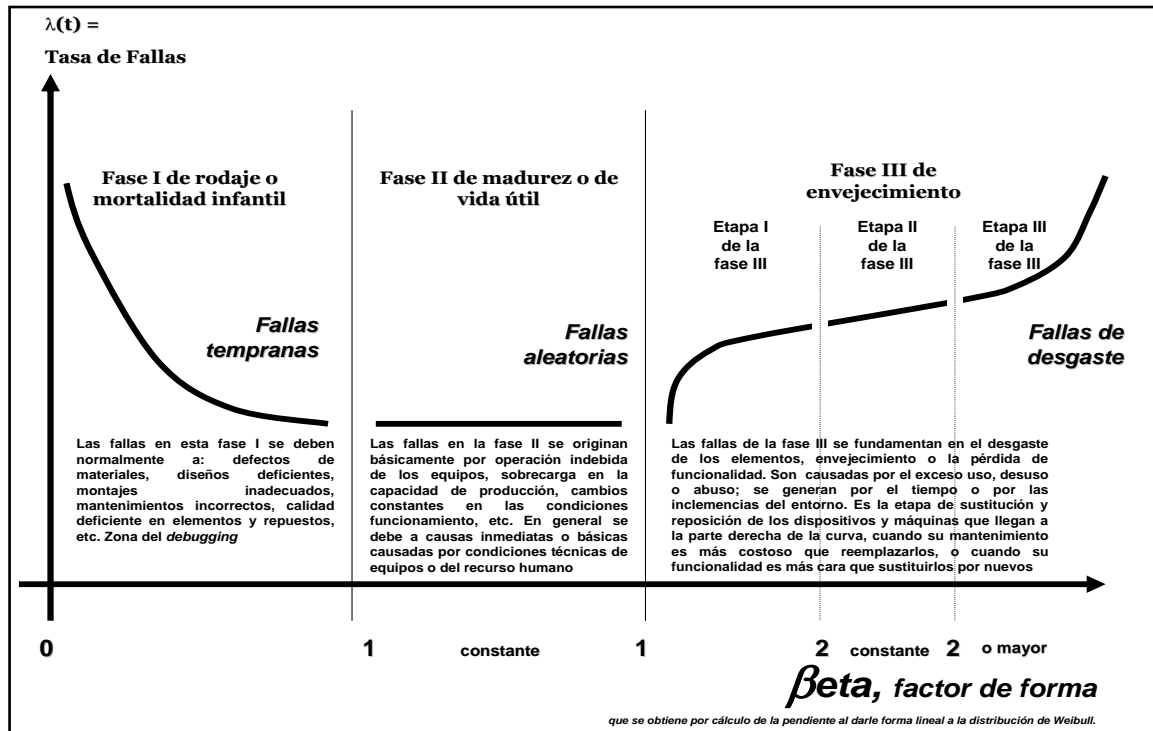
Durante la fase III se observa un incremento paulatino de la tasa de fallas en la medida que aumenta el tiempo hacia la derecha, en esta sección se presentan

varias etapas: en el ciclo I de la fase III, la tasa de fallas empieza a aumentar en forma suave, es decir su incremento es bajo y crece hacia la derecha en forma leve, las fallas que aparecen son conocidas y se empieza a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, son debidas a los efectos del tiempo por causas de uso, abuso o desuso; en esta fase ya se pueden empezar a utilizar acciones planeadas de tipo preventivo ya que las fallas se conocen y se tiene algún control sobre ellas, es la etapa donde la ingeniería de confiabilidad principia a tener dominio sobre el sistema, es la zona de ingeniería por excelencia.

En la etapa II de la fase III se incrementa la tasa de fallas en forma constante con pendiente positiva en forma rectilínea, en esta sección se inicia la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas, el comportamiento de las fallas empieza a ser predecible, es la franja donde se logra implementar de una forma sólida las acciones preventivas.

Por último aparece la zona III de la fase III de envejecimiento puro, donde la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente, en esta etapa normalmente se estabiliza el uso de acciones predictivas y cuando estas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina se usa la reposición o sustitución como única alternativa, en esta etapa III de la fase III aún se continúa con el uso de técnicas preventivas y eventualmente correctivas y modificativas, la mayoría de las fallas son causadas por acción del tiempo y como tal se usan las acciones predictivas para tipificar el comportamiento futuro de los elementos con el fin de conocer su verdadera vida útil en tiempo presente.

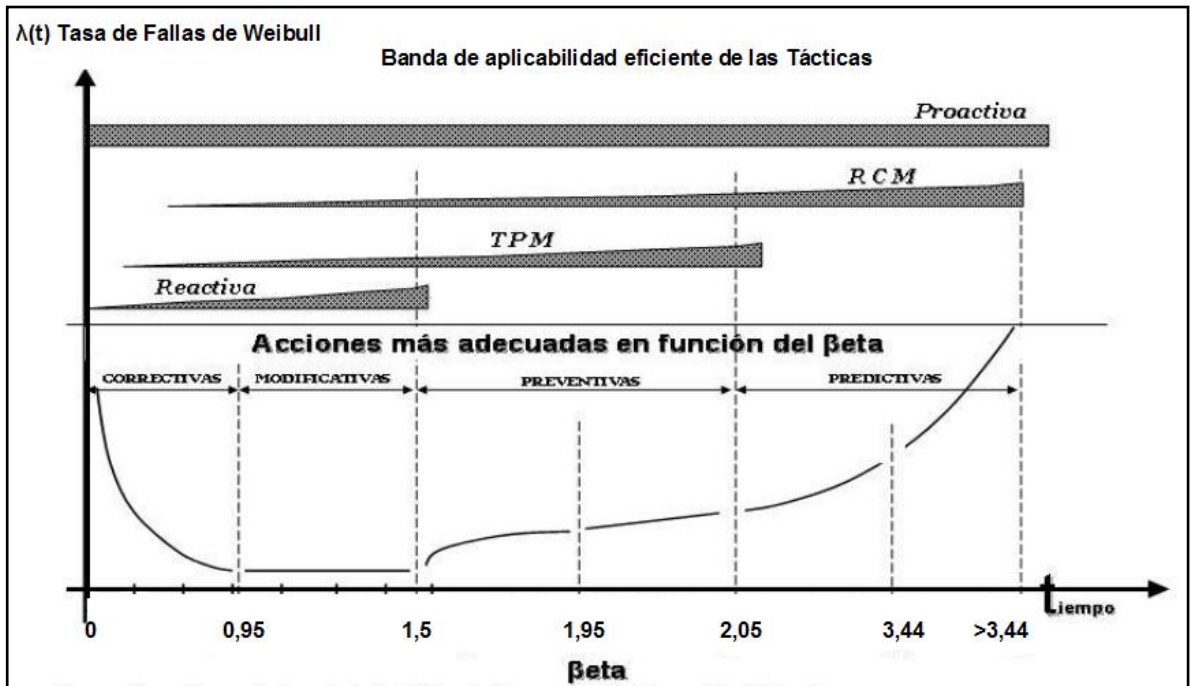
Figura 8. Curva de la bañera o de Davies



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, D.F.: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V. 2009. P. 108.

El indicador de confiabilidad Beta es una medida de dispersión del comportamiento de las fallas y es inverso a la duración promedio de estas; en la fase I de la curva de Davies aparecen fallas minúsculas e intensas en tiempo, las fallas son impredecibles y de comportamiento atípico, en la fase II ya se empieza a tener cierto control sobre las fallas imprevistas y estas empiezan a estabilizarse en tiempo de duración, normalmente desaparecen en esta fase II las fallas intempestivas y desconocidas, en la etapa I de la fase III ya las fallas se vuelven muy similares en tiempo y se conocen con antelación, en la zona II de la fase III la duración de las fallas tiende a estabilizarse y en la sección III de la fase III es donde ocurren fallas totalmente predecibles y sus tiempos de duración se normalizan totalmente.

Figura 9. Curva de Davies acciones y tácticas adecuadas acorde a Beta.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, D.F.: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V. 2009. P. 109.

2.8.7 Método de Benard de aproximación de rango de medianas

Para estimar la no confiabilidad y la mantenibilidad es necesario obtener los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla $F(t)$ y para cada ítem de reparación $M(t)$; entre los métodos existentes que enuncia el modelo propuesto para el cálculo de la no confiabilidad y de la mantenibilidad por medio del método de Benard se utiliza la siguiente ecuación:

$$R - M = \frac{j - 0.3}{N + 0.4} =$$

Donde: R-M: es el estimador de no confiabilidad o mantenibilidad de rango de mediana;
 j: posición del dato ordenado de menor a mayor.
 N: número total de datos.

2.8.8 Fundamentos de la distribución Weibull.

Una de las ventajas significativas que posee la distribución Weibull es que es muy manejable y 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 tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permite obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones (Rojas, 1975); estos parámetros son:

- Gamma - Parámetro de posición (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Forcadas, 1983).
- Eta - Parámetro de escala o característica de vida útil (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuanto más alto, las máquinas pueden ser más robustas o de 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 a la distribución de Weibull tomar diversas formas: cuando β es inferior a 1 se le denomina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente), cuando toma valores cercanos a uno se le describe a la fase con el nombre de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria) y en el evento del β tomar valores mayores a 1 se le conoce a la fase como de envejecimiento o de desgaste (tasa de falla creciente) (Díaz, 1992).

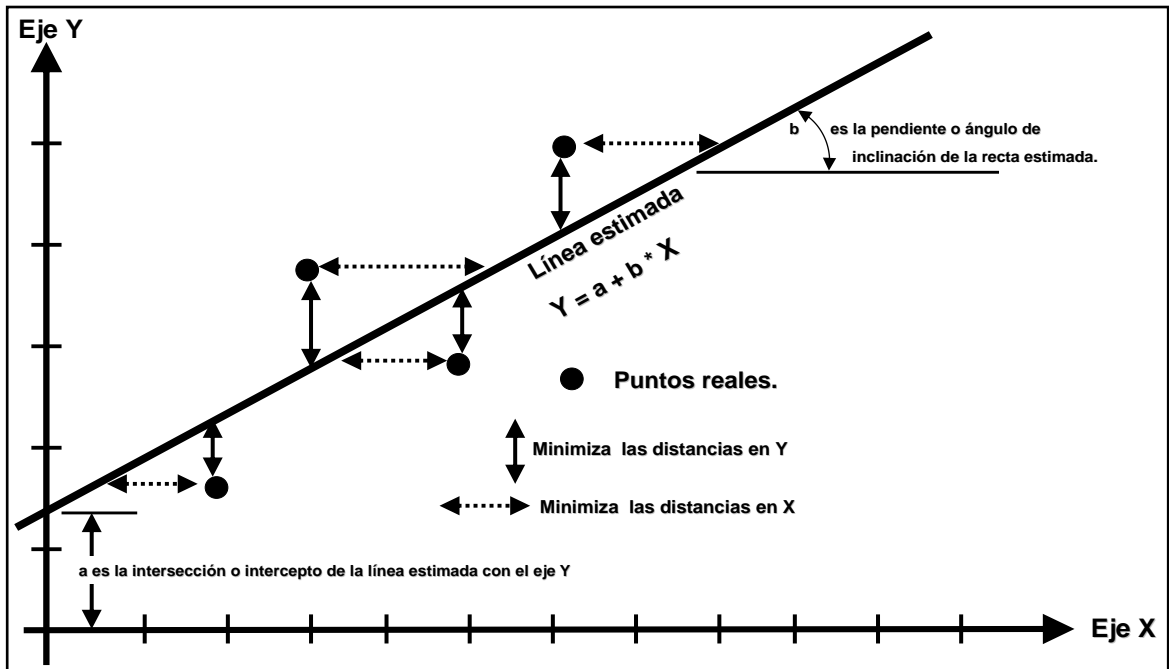
A mayor Beta, mayor desgaste. Ésta característica puede ser usada para construir formulas de valorización de equipos; aplicando el valor del equipo (estimado según cualquier modelo), el factor $1/\beta$ (Díaz, 1992).

2.8.9 Método de regresión lineal con mínimos cuadrados

El uso de la idea del método gráfico permite realizar para un conjunto de datos, un ajuste por medio del análisis matemático de regresión lineal con mínimos cuadrados a una línea recta, donde se trata de estimar los parámetros de la pendiente y el intercepto que minimicen el componente aleatorio de error.

El método requiere que una línea recta se ajuste a un conjunto de datos de tal manera que la suma de los cuadrados de las distancias de los puntos a la línea de ajuste sea minimizada. Esta minimización puede desarrollarse tanto en el eje vertical como en el eje horizontal (ReliaSoft®, 2008).

Figura 10. Ajuste de una línea recta en los ejes X o Y.



Fuente: MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, D.F.: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V. 2009. P. 158.

El análisis de mínimos cuadrados se hace a partir de la siguiente ecuación:

$$\sum_{j=1}^N (\hat{a} + \hat{b} \cdot x_i - y_i)^2 = \min(a,b) \sum_{j=1}^N (a + b \cdot x_i - y_i)^2$$

Donde: a es el intercepto con el eje Y y b es la pendiente de la recta estimada, el símbolo ^ denota valor estimado o calculado,

Y es la variable dependiente y

X es la independiente.

Con j como los diferentes valores de los puntos hasta N número total de puntos a alinear.

Ahora se muestra la definición matemática de la pendiente y del intercepto de la recta alineada estimada.

$$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2}$$

Donde: b es el valor de la pendiente estimada, con X como los diferentes valores independientes reales, y los valores dependientes reales como Y, j es cada uno de los puntos,

N el número total de puntos,

\bar{Y} es la media o promedio de los Y reales originales, y \bar{X} es la media o promedio de los X reales del caso.

$a = \bar{Y} - b * \bar{X}$, con a como el intercepto de la recta estimada, y con \bar{Y} y \bar{X} como las medias de los valores Y y X reales originales.

2.8.10 Criterio de calidad de la alineación

Los criterios que permiten medir la calidad de la alineación lograda son varios, entre los más relevantes, se encuentran: el ajuste, el error estándar del estimado, el coeficiente de determinación muestral r^2 y coeficiente de correlación r .

2.8.10.1 Coeficiente de determinación muestral r^2

Evalúa la fuerza, extensión o grado de asociación que existe entre los puntos correspondientes de las dos variables Y y X. Debe acercarse a uno (1) y se permite como aceptable entre un rango de 0.9025 y 1.0000. Se define mediante la ecuación:

$$\text{Coeficiente de Determinación Muestral} = r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y}_j)^2}$$

El método de mínimos cuadrados es bastante bueno para las distribuciones que pueden ser alineadas; afortunadamente, la mayoría de las distribuciones usadas en el análisis de fallas son de este tipo.

2.8.11 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull responde a los parámetros Beta y Eta; que representan respectivamente el factor de forma y escala de la distribución; la obtención de estos parámetros se logra por medio de la alineación de la distribución de Weibull mediante las transformaciones necesarias, luego de la obtención de la pendiente y el intercepto de la recta se calculan los parámetros Beta y Eta de la distribución (RELIASOFT@,2005). A continuación se muestran las ecuaciones de transformación en Weibull para los valores Y y X, en primer lugar para el caso de no confiabilidad F (t_j):

$$Y_j = Ln \left[Ln \left(\frac{1}{1 - F(t_j)} \right) \right]$$

$$X_j = Ln(t_j)$$

Y para el caso de mantenibilidad M (t_j):

$$Y_j = Ln \left[Ln \left(\frac{1}{1 - M(t_j)} \right) \right]$$

$$X_j = Ln(t_j)$$

Los valores t_i (tiempos de falla o de reparación), F (t_i) y M (t_i) son los que se obtienen por la estimación i-kaésima o por cualquiera de los dos métodos de rango de mediana (Tabla o Benard), recuérdese que no se recomienda Kaplan-Meyer; para cada uno de los puntos de UT o DT, en la correspondiente disponibilidad a utilizar. Los valores de la pendiente b y de la intersección a de la recta alineada permiten estimar los parámetros de escala Eta η y forma βeta, mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Parámetro de Escala Eta } \eta = e^{\left[-\frac{\alpha}{\betaeta} \right]} = e^{\left[-\frac{\text{Intersección}}{\text{Pendiente}} \right]}$$

Parámetro de Forma βeta = β = b = Pendiente estimada de la recta Alineada

2.8.11.1 Tiempo medio entre fallas MTBF en Weibull

La vida útil o Tiempo Medio entre Fallas MTBF se puede estimar a partir de:

$$\text{Esperanza (TBF)} = \text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int (1 - F(t)) * dt$$

Donde MTBF es el tiempo medio entre fallas, R (t) es la función de confiabilidad y F (t) es la función de no confiabilidad, adicionalmente:

$$MTBF = \eta * Función\ Gamma \left(1 + \frac{1}{1 + \beta} \right)$$

Donde Eta η es el parámetro de escala y Beta β de forma, con función Gamma para la estimación.

2.8.11.2 Tiempo medio de reparación MTTR en Weibull

El tiempo medio de reparación MTTR se puede estimar a partir de:

$$Esperanza(TTR) = MTTR = \int_0^{\infty} M(t) dt$$

Donde MTTR es el Tiempo Medio de Reparación con M (t) como función de la mantenibilidad, además:

$$MTTR = \eta * Función\ Gamma \left(1 + \frac{1}{1 + \beta} \right)$$

Donde Eta η es el parámetro de escala y Beta β de forma, con función Gamma para la estimación.

2.9 EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS

La decisión de realizar o no el proyecto se toma teniendo como base la comparación entre el beneficio que se espera obtener y el costo de los recursos comprometidos.

Los pasos a seguir son:

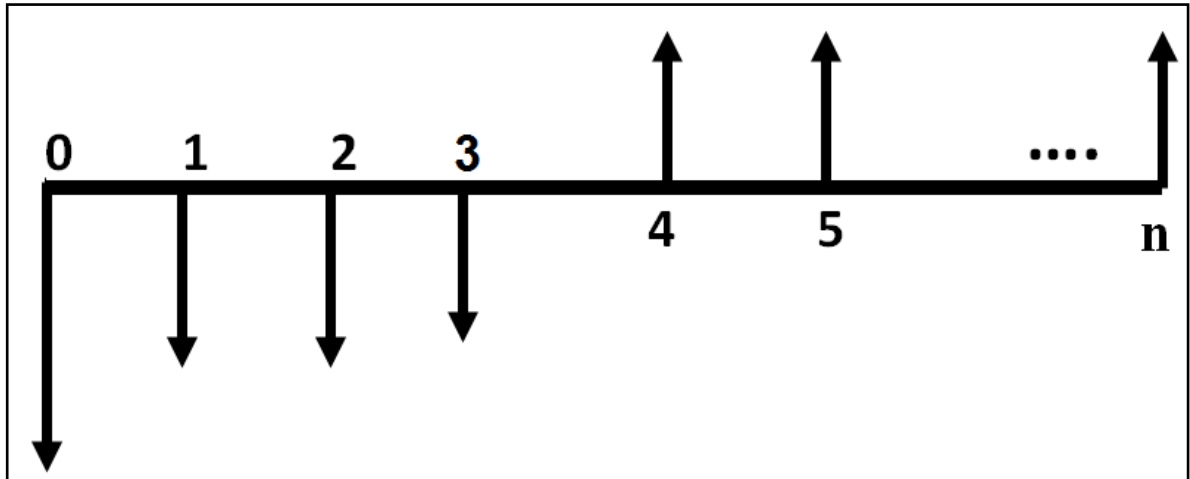
- Elaboración del flujo de caja del proyecto.
- Calcular uno o más indicadores que permitan medir su conveniencia.

2.9.1 Flujo de caja

Es el esquema que presenta en forma sistemática los costos y beneficios del proyecto, registrados periodo a periodo. Para construirlo se tiene en cuenta la ubicación temporal, la contabilidad de caja, el presupuesto de inversiones, el

presupuesto de beneficios o ingresos, los costos de operación y el valor de recuperación económica.

Figura 11. Flujo de Caja



2.9.2 Valor presente neto

Es el resultado algebraico de traer a valor presente, utilizando una tasa de descuento adecuada, todos los flujos (positivos o negativos) relacionados con el proyecto. Se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

$$\text{VPN} = \text{VALOR NETO ACTUALIZADO} - \text{INVERSIÓN INICIAL}$$

Si $\text{VPN} > 0$, entonces el proyecto es conveniente porque genera un beneficio adicional (cuando se usa como tasa de descuento la tasa de oportunidad). Hay generación de valor.

2.10 DEPRECIACIÓN DE UN ACTIVO POR LÍNEA RECTA

La depreciación en línea recta distribuye uniformemente el valor depreciable (o a depreciar) durante la vida útil de un activo. Es sin duda el método que más se usa al presentar informes a los accionistas. De hecho, lo aplican casi 95% de las grandes empresas estadounidenses, por lo menos en parte de su activo fijo, y 70% lo emplean de modo exclusivo y se expresa con la ecuación:

$$\text{Gasto de depreciación} = \frac{\text{Costo de Adquisición} - \text{valor de salvamento}}{\text{vida útil}}$$

3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 SELECCIÓN DE LA LÍNEA PRODUCTIVA A INTERVENIR

Esta selección se realizó dando relevancia al producto estrella de la Fabrica, este producto fue lanzado en el año 2014 y los equipos fueron seleccionados por el Ing. de Diseño y Desarrollo a cargo del proyecto. Una vez identificados los equipos pese a que aun se encuentran en otras líneas productivas deben ser diagnosticados por parte de la Planta de Mantenimiento Industrial. La línea número tres esta conformada por 30 equipos entre los que encontramos centros de mecanizado verticales, tornos de control numérico con alimentador, taladros revolver convencionales y fresadoras horizontales. El listado de los equipos por línea se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Maquinaria seleccionada para la línea productiva tres.

PROCESO	MAQUINARIA	CODIGO MAQUINA
FABRICACION PIEZAS FUSIL	FRESADORA CONVENCIONAL	26FU02
	TALADRO REVOLVER	32TX05
	TALADRO CONVENCIONAL	26TC03
	FRESADORA HORIZONTAL	32FH02
	FRESADORA HORIZONTAL	36FH06
	FRESADORA HORIZONTAL	64FH01
	FRESADORA HORIZONTAL	26FH01
	FRESADORA HORIZONTAL	20FH03
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM13
	CENTRO DE MECANIZADO	20CM06
	TORNO CNC	30TN14
	CENTRO DE MECANIZADO	22CM12
	CENTRO DE MECANIZADO	22CM14
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM16
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM07
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM01
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM12
CENTRO DE MECANIZADO	28CM03	
CENTRO DE MECANIZADO	28CM02	
FABRICACION PIEZAS MICROFUNDIDA	TALADRO REVOLVER	32TX02 - 32TX04
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM11
	CENTRO DE MECANIZADO	28CM08
FABRICACION PIEZAS DE COLETAJE	TORNO AUTOMATICO	44TA10
	TORNO AUTOMATICO	44TA07
	TORNO AUTOMATICO	44TA01
	TORNO JINFA	30TN10
	TORNO BEKLER	30TN02
	TORNO CNC CON ALIMENTADOR	30TN12
	TORNO FRESADOR CNC DOSSAN	30TF01

3.2 HISTÓRICOS DE INTERVENCIONES

Los históricos de intervenciones pueden ser consultados por BAAN ERP. BAAN ERP que es el sistema de información que utiliza la Planta de Mantenimiento y es el actualmente posee la compañía. Este se encuentra en uso desde el año 2005 y es alimentado por el analista de la planta con la información proveniente de las órdenes de servicio físicas tanto preventivas como correctivas.

En la información suministrada por el software BAAN ERP se encuentran la totalidad de datos consignados en el sistema en cuanto a intervenciones realizadas a cada uno de los equipos, adicionalmente se puede obtener un archivo de extensión txt el cual es susceptible de ser trabajado en Excel, el cual contiene la siguiente información:

- Fecha en la que se realiza la consulta.
- Instalación (relaciona el código de mantenimiento del equipo) y Subsistema que fue intervenido.
- Fecha de la intervención.
- La orden de servicio generada.
- Fecha de comunicación: fecha en la que es recibida la orden de servicio.
- Fecha de inicio: fecha en la que inicia la intervención con hora.
- Técnico asignado: Apellido y nombre del técnico.
- Fecha final: Fecha en la que finaliza el trabajo.
- Código del Elemento: código interno de la empresa para un repuesto.
- Descripción: Descripción del elemento.
- Costo de Materia Prima: Costo de los repuestos involucrados en la reparación.
- Costo de Mano de Obra: Costo de la mano de obra asociada al técnico que realiza la reparación.
- Texto de Reparación; Texto que el Técnico asocia a la reparación en la orden de servicio.

En la Figura 12 encontramos una imagen típica de la información suministrada por el software.

Figura 12. Información típica extractada del Software BAAN ERP

32TX02: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

ORDEN No : 200017204
 FECHA COMUNICACION : 06-04-11 10:00:00
 FECHA INICIO : 27-04-11 10:00:00

TECNICO ASIG: EDGAR BERMUDEZ LONDOÑO
 FECHA FINAL : 28-04-11 15:00:00

CODIGO	DESCRIPCION	UND.	TAREA	CANTIDAD	COSTO
P203-0006	RODAMIENTO	und	0	2,00	8,572.00
P320-0177	RODAMIENTO 6304 2Z	und	0	1,00	11,532.00
---	HORAS MANO DE OBRA SERVICIOS	h	JM200	14,50	275,500.00

COSTO TOTAL MATERIALES : 20,104.00
 COSTO TOTAL MANO DE OBRA: 275,500.00
 COSTO TOTAL OTROS COSTOS: .00

TEXTOS DE REPARACION

REVISION Y AJUSTE DE TORRETA, AJUSTE DE VELOCIDADES.

Fuente: Software BAAN ERP.

Con los equipos que conforman la línea de producción tres se extraen los históricos de intervenciones, se consulta la información necesaria en costos de materiales y de mano de obra, se clasifica la información que concierne a las intervenciones correctivas y preventivas. Dado que el sistema de información BAAN ERP fue implementado en el año 2005 algunos equipos no poseen rutinas de mantenimiento preventivo desde entonces, lo cual debe ser tenido en cuenta una vez se realice el análisis de la información.

Se estableció en la compañía que las ordenes de servicio que inician con el número 20 corresponden ordenes de servicio correctivas, como por ejemplo, el la Figura 12 encontramos que el número de orden de servicio es **200017204**, por lo tanto se puede afirmar que una orden correctiva. Las órdenes de servicio preventivas inician con el número **21**.

En la Tabla 3 encontramos el número de intervenciones por máquina discriminado entre mantenimiento correctivo y preventivo el cual se obtuvo de extraer la información del histórico de intervenciones para todas las máquinas que conforman la línea de producción tres.

Tabla 3. Intervenciones correctivas y preventivas de máquinas de línea tres.

CODIGO MAQUINA	INTERVENCIONES CORRECTIVAS	INTERVENCIONES PREVENTIVAS
26FU02	22	51
32TX05	26	1
26TC03	20	0
32FH02	30	34
36FH06	52	29
64FH01	14	35
26FH01	99	17
20FH03	33	37
28CM13	53	108
28CM06	43	95
30TN14	25	5
22CM12	54	91
22CM14	62	104
28CM16	31	107
28CM07	71	98
28CM01	81	103
28CM12	71	100
28CM03	65	98
28CM02	68	114
32TX02	43	3
32TX04	12	4
28CM11	46	99
28CM08	61	105
44TA10	33	70
44TA07	19	2
44TA01	26	2
30TN10	36	9
30TN02	82	186
30TN12	20	9
30TF01	17	3

Una vez tratada la información, por máquina se obtuvieron los archivos resumen en los que se puede observar la siguiente información: Número de Fallas, Orden de Servicio correctiva (serie **20**), Objeto, Descripción, Tiempo de intervención, Costo Mano de Obra (M.O.), Costo Materia Prima (M.P.) y Costo Total de la Orden, tal y como se puede observar en la Tabla 4 que se muestra a continuación para el equipo 30TX02.

Tabla 4. Resumen Intervenciones correctivas para el 32TX02.

FALLA	ORDEN	OBJETO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO (Horas)	COSTO M.O.	COSTO M.P.	TOTAL ORDEN
1	200000138	32TX02CM	TALADRO REVOLVER S/CONTROL-MAN	10	\$ 45.000	\$ 0	\$ 45.000
2	200003085	32TX02MQ	TALADRO REVOLVER S/MAQUINA	5	\$ 22.500	\$ 0	\$ 22.500
3	200003517	32TX02MQ	TALADRO REVOLVER S/MAQUINA	17	\$ 163.200	\$ 0	\$ 163.200
4	200004434	32TX02CM	TALADRO REVOLVER S/CONTROL-MAN	8,5	\$ 81.600	\$ 0	\$ 81.600
5	200004638	32TX02CM	TALADRO REVOLVER S/CONTROL-MAN	6	\$ 57.600	\$ 0	\$ 57.600
6	200004643	32TX02MQ	TALADRO REVOLVER S/MAQUINA	25,5	\$ 244.800	\$ 0	\$ 244.800
7	200004947	32TX02MQ	TALADRO REVOLVER S/MAQUINA	22	\$ 211.200	\$ 110.713	\$ 321.913
8	200004949	32TX02CM	TALADRO REVOLVER S/CONTROL-MAN	8,5	\$ 81.600	\$ 0	\$ 81.600
9	200005551	32TX02CM	TALADRO REVOLVER S/CONTROL-MAN	15,5	\$ 148.800	\$ 0	\$ 148.800
.
.
.
40	200019011	32TX02MQ	TALADRO REVOLVER S/MAQUINA	3,5	\$ 66.500	\$ 0	\$ 66.500
41	200019335	32TX02PT	TALADRO REV. S/POTENCIA Y TRA	8	\$ 152.000	\$ 7.600	\$ 159.600
42	200019817	32TX02PT	TALADRO REV. S/POTENCIA Y TRA	12,5	\$ 237.500	\$ 0	\$ 237.500
43	200020525	32TX02MQ	TALADRO REVOLVER S/MAQUINA	4	\$ 76.000	\$ 0	\$ 76.000
TOTALES				503	\$ 7.496.400	\$ 815.936	\$ 8.312.336

Se utilizaron únicamente costos de mantenimiento correctivo, dado que corresponden a las intervenciones no programadas; para los equipos que presenten mayor número de estas intervenciones deben ser analizados y se debe definir si requieren de mayor atención en cuanto a programación de mantenimientos preventivos. Con la información suministrada por cada uno de estos cuadros para cada uno de los 30 equipos que conforman la línea número tres podemos realizar un estudio más profundo utilizando Análisis de Pareto, utilizando las variables de Frecuencia de Falla y Costos de Reparación; a continuación en la Tabla 5 se puede ver el resumen para los 30 equipos que conforman la línea de producción número tres.

Tabla 5. Resumen costos mantenimiento correctivo máquinas línea tres.

ITEM	EQUIPO	COSTOS TOTALES MANTENIMIENTO CORRECTIVO
1	26FH01	\$ 33.553.667
2	30TN02	\$ 111.455.684
3	28CM01	\$ 41.794.667
4	28CM07	\$ 28.957.050
5	28CM12	\$ 13.949.086
6	28CM02	\$ 10.469.449
7	28CM03	\$ 26.406.298
8	22CM14	\$ 10.965.560
9	28CM08	\$ 18.636.568
10	22CM12	\$ 10.919.215
11	28CM13	\$ 11.401.521
12	36FH06	\$ 7.220.045
13	28CM11	\$ 9.968.408
14	28CM06	\$ 16.460.433
15	32TX02	\$ 8.312.336
16	30TN10	\$ 14.017.817
17	20FH03	\$ 4.787.650
18	44TA10	\$ 4.875.002
19	28CM16	\$ 7.796.321
20	32FH02	\$ 3.564.120
21	32TX05	\$ 2.283.921
22	44TA01	\$ 5.046.876
23	30TN14	\$ 3.961.250
24	26FU02	\$ 3.658.500
25	26TC03	\$ 2.392.712
26	30TN12	\$ 4.109.125
27	44TA07	\$ 2.923.379
28	30TF01	\$ 7.849.922
29	64FH01	\$ 1.281.600
30	32TX04	\$ 1.798.922
TOTAL		\$ 430.817.104

3.3 ANÁLISIS DE PARETO POR FRECUENCIA DE FALLA

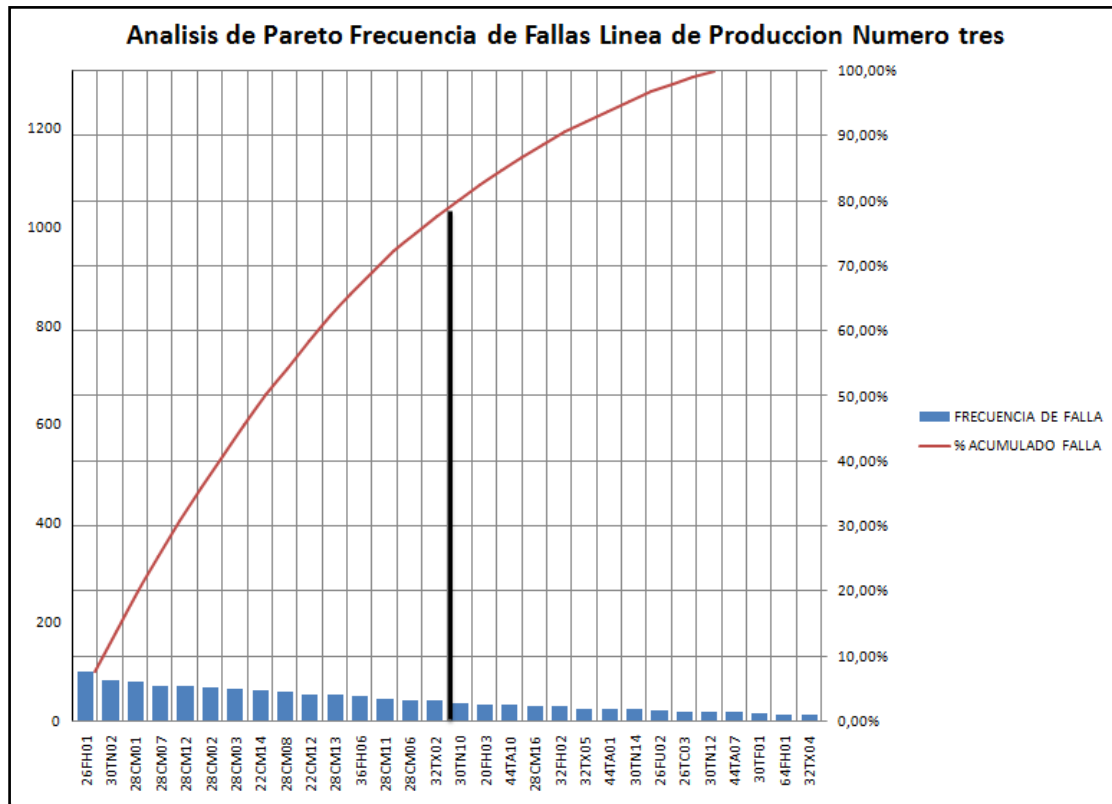
Para las 30 máquinas constitutivas de la línea de producción tres con la información de los históricos de mantenimiento correctivo, se elaboró la Tabla 6 en la que se consolidan los datos de frecuencia de falla, que es la primer variable del Análisis de Pareto que se utilizará para seleccionar los equipos que deben ser objeto de estudio.

Tabla 6. Frecuencia de Falla en los equipos de la línea tres.

ITEM	EQUIPO	FRECUENCIA FALLA	% CONTRIBUCION FALLA	% CONTRIBUCION ACUMULADA FALLA
1	26FH01	99	7,53%	7,53%
2	30TN02	82	6,24%	13,76%
3	28CM01	81	6,16%	19,92%
4	28CM07	71	5,40%	25,32%
5	28CM12	71	5,40%	30,72%
6	28CM02	68	5,17%	35,89%
7	28CM03	65	4,94%	40,84%
8	22CM14	62	4,71%	45,55%
9	28CM08	61	4,64%	50,19%
10	22CM12	54	4,11%	54,30%
11	28CM13	53	4,03%	58,33%
12	36FH06	52	3,95%	62,28%
13	28CM11	46	3,50%	65,78%
14	28CM06	43	3,27%	69,05%
15	32TX02	43	3,27%	72,32%
16	30TN10	36	2,74%	75,06%
17	20FH03	33	2,51%	77,57%
18	44TA10	33	2,51%	80,08%
19	28CM16	31	2,36%	82,43%
20	32FH02	30	2,28%	84,71%
21	32TX05	26	1,98%	86,69%
22	44TA01	26	1,98%	88,67%
23	30TN14	25	1,90%	90,57%
24	26FU02	22	1,67%	92,24%
25	26TC03	20	1,52%	93,76%
26	30TN12	20	1,52%	95,29%
27	44TA07	19	1,44%	96,73%
28	30TF01	17	1,29%	98,02%
29	64FH01	14	1,06%	99,09%
30	32TX04	12	0,91%	100,00%
TOTAL		1315		

Con esta información es posible graficar su comportamiento ya que se encuentra ordenada por los equipos que tienen mayor frecuencia de falla hasta los que tienen la menor frecuencia, esto se puede observar en la Figura 13.

Figura 13. Frecuencia de fallas de equipos línea número tres.



Se encontró con que son 15 equipos los que se encuentran en la zona de los pocos vitales, que en realidad corresponden al 50 % de los equipos elegidos para la línea, lo cual se hace evidente en la Figura 13 donde se muestra claramente que el 80% de la frecuencia de falla acumulada se concentra en los 15 primeros equipos.

3.4 ANÁLISIS DE PARETO POR COSTOS DE REPARACIÓN

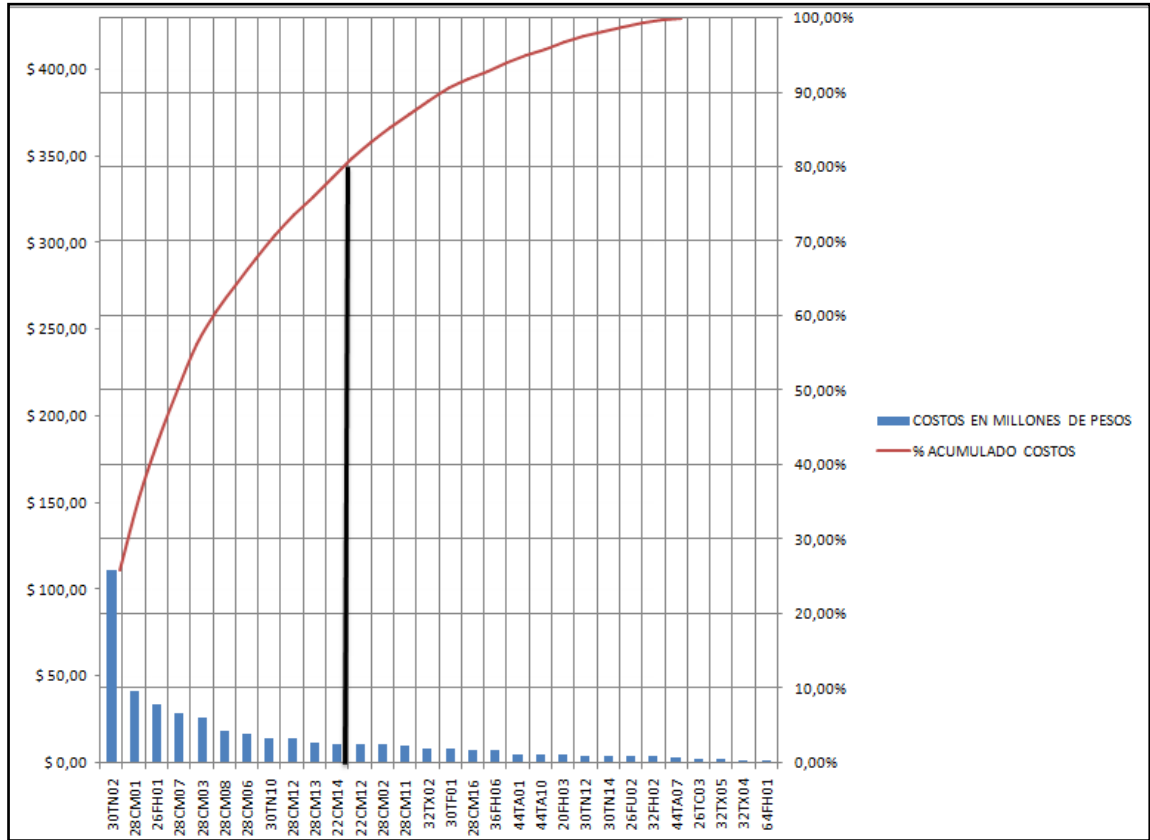
El siguiente paso es realizar el análisis de costo de reparación para lo cual se elaboró la Tabla 7 en la que se encuentran los costos de mantenimiento correctivo para cada uno de los equipos que conforman la línea número tres en ella se puede observar claramente que cerca del 26% de los costos de reparación corresponden al torno numérico 30TN02.

Tabla 7. Costos de reparación de los equipos de la línea tres.

ITEM	EQUIPO	COSTOS EN MILLONES DE PESOS	% CONTRIBUCION COSTOS	% CONTRIBUCION ACUMULADA COSTOS
1	30TN02	\$ 111,46	25,87%	25,87%
2	28CM01	\$ 41,79	9,70%	35,57%
3	26FH01	\$ 33,55	7,79%	43,36%
4	28CM07	\$ 28,96	6,72%	50,08%
5	28CM03	\$ 26,41	6,13%	56,21%
6	28CM08	\$ 18,64	4,33%	60,54%
7	28CM06	\$ 16,46	3,82%	64,36%
8	30TN10	\$ 14,02	3,25%	67,61%
9	28CM12	\$ 13,95	3,24%	70,85%
10	28CM13	\$ 11,40	2,65%	73,50%
11	22CM14	\$ 10,97	2,55%	76,04%
12	22CM12	\$ 10,92	2,53%	78,58%
13	28CM02	\$ 10,47	2,43%	81,01%
14	28CM11	\$ 9,97	2,31%	83,32%
15	32TX02	\$ 8,31	1,93%	85,25%
16	30TF01	\$ 7,85	1,82%	87,07%
17	28CM16	\$ 7,80	1,81%	88,88%
18	36FH06	\$ 7,22	1,68%	90,56%
19	44TA01	\$ 5,05	1,17%	91,73%
20	44TA10	\$ 4,88	1,13%	92,86%
21	20FH03	\$ 4,79	1,11%	93,97%
22	30TN12	\$ 4,11	0,95%	94,92%
23	30TN14	\$ 3,96	0,92%	95,84%
24	26FU02	\$ 3,66	0,85%	96,69%
25	32FH02	\$ 3,56	0,83%	97,52%
26	44TA07	\$ 2,92	0,68%	98,20%
27	26TC03	\$ 2,39	0,56%	98,75%
28	32TX05	\$ 2,28	0,53%	99,28%
29	32TX04	\$ 1,80	0,42%	99,70%
30	64FH01	\$ 1,28	0,30%	100,00%
TOTALES		\$ 430,82	100,00%	

Con esta información es posible graficar su comportamiento ya que se encuentra ordenada de mayor a menor costo de mantenimiento, así es presentado en la Figura 14.

Figura 14. Costo de reparación para equipos línea número tres.



Adicionalmente se observa que en la zona de los pocos vitales hay 11 equipos lo que corresponde al 36 % del total de los equipos de la línea, por lo tanto la selección de los equipos sujetos de estudio se complica dado que esperábamos tan solo tener alrededor de 6 equipos que idealmente hicieran parte de los pocos vitales.

3.5 COMBINACIÓN DE CRITERIOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

Se realizó una comparación entre los equipos con alta frecuencia de falla y los equipos con altos costos de reparación, encontrando que 10 de los 11 equipos con altos costos de reparación se encuentran también en los equipos con alta frecuencia de falla tal como se puede evidenciar en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparativo entre Pareto de costos y Pareto de Fallas

FALLAS		V S	COSTOS	
1	26FH01		1	30TN02
2	30TN02		2	28CM01
3	28CM01		3	26FH01
4	28CM07		4	28CM07
5	28CM12		5	28CM03
6	28CM02		6	28CM08
7	28CM03		7	28CM06
8	22CM14		8	30TN10
9	28CM08		9	28CM12
10	22CM12		10	28CM13
11	28CM13		11	22CM14
12	36FH06			
13	28CM11			
14	28CM06			
15	32TX02			

Pero pese a haberlos identificado aún son 10 equipos para realizar el estudio razón por la cual debemos recurrir a utilizar otro método para reducir esta cantidad, por lo que de acuerdo al porcentaje de participación los equipos tuvieron un primer segundo o enésimo puesto dentro de las frecuencias de fallas o costos, por lo tanto, se le asigno a cada uno de ellos un puntaje, el primero (el más costoso en reparación, o el que más fallas registro) tuvo la mayor calificación, por ejemplo en fallas la Fresadora Horizontal 26FH01 ocupó el primer lugar entre 15 equipos razón por la cual se le adjudican 15 puntos, mientras que en Costos obtuvo el tercer lugar entre once razón por la cual se le asignaron 9 puntos, esta calificación ponderada se puede observar en la Tabla 9. Luego de esto es

necesario valorar por equipo y de esta manera se toma la decisión de a que equipos realizar su estudio.

Tabla 9. Calificación ponderada por fallas y costos para los equipos.

CALIFICACION PONDERADA				
PUNTOS POR FALLA	MAQUINA		PUNTOS POR COSTO	MAQUINA
15	26FH01		11	30TN02
14	30TN02		10	28CM01
13	28CM01		9	26FH01
12	28CM07		8	28CM07
11	28CM12		7	28CM03
10	28CM02		6	28CM08
9	28CM03		5	28CM06
8	22CM14		4	30TN10
7	28CM08		3	28CM12
6	22CM12		2	28CM13
5	28CM13		1	22CM14
4	36FH06			
3	28CM11			
2	28CM06			
1	32TX02			

Con los valores anteriormente obtenidos se toma cada uno de los diez equipos y se suman los valores obtenidos en la calificación hecha por frecuencia de falla y por costo de acuerdo a lo obtenido en el diagrama de Pareto, esto nos dará la ponderación definitiva, adicionalmente se relacionan los modelos de los equipos para identificar si se pueden hacer grupos de máquinas de acuerdo a esta característica, los resultados se pueden revisar en la Tabla 10 que se entrega a continuación.

Tabla 10. Equipos objeto de estudio de acuerdo a ponderación.

PONDERACION FALLAS + COSTO				MODELOS Y FECHAS DE PRIMER INTERVENCION		
MAQUINA	PUNTOS POR FALLA	PUNTOS POR COSTO	TOTAL PUNTOS	MODELO	MARCA	FECHA PRIMER INTERVENCION
30TN02	14	11	25	ENC 163	BECHLER	02/02/2005
26FH01	15	9	24	2241	FRITZ WERNER	18/01/2005
28CM01	13	10	23	V-40	LEADWELL	03/03/2005
28CM07	12	8	20	V-25	LEADWELL	09/03/2005
28CM03	9	7	16	V-25	LEADWELL	16/06/2005
28CM12	11	3	14	V-40	LEADWELL	10/02/2005
28CM08	7	6	13	V-40	LEADWELL	31/03/2005
22CM14	8	1	9	V-30	LEADWELL	08/03/2005
28CM06	2	5	7	V-25	LEADWELL	03/02/2005
28CM13	5	2	7	V-30	LEADWELL	05/09/2005

Lo que se puede observar en la tabla anterior, que fue organizada de mayor a menor por la columna "Total Puntos" que corresponde a la suma de los puntos obtenidos por falla mas los puntos por costo, es que los centros de mecanizado marca Leadwell en sus modelos V-25 (tres equipos), V30 (dos equipos) y V40 (tres equipos) son los mas comunes en el listado, así como que el torno numérico Bechler y la fresadora Fritz Werner son modelos únicos dentro del análisis. Estos diez equipos son los seleccionados para realizar el análisis.

Los equipos evaluados como los más críticos de la línea por costos y por frecuencia de falla fueron evaluados para el mismo periodo de tiempo desde el 01 de Enero de 2005, fecha en la que se implemento el Software BAAN ERP en la Fábrica para la generación de ordenes de servicio preventivas y correctivas, el almacenamiento de información extraída de los textos de los técnicos de mantenimiento, el cargue de mano de obra y repuestos entre otras actividades, hasta el 1 de Julio de 2014 fecha en la que se bajaron del sistema para su análisis en este documento. En la Tabla 10 se pueden observar la fecha por máquina en la que se realizó la primera intervención, por cada uno de los diez equipos que son analizados.

Se revisó para cada uno de los equipos seleccionados el porcentaje de costos unitarios y luego se agruparon por modelos, indicando la fecha de compra del activo y los años de servicio, obteniéndose la Tabla 11 que se muestra a continuación.

Tabla 11. Costos agrupados por modelos de equipos.

MAQUINA	MODELO	MARCA	PORCENTAJE COSTOS UNITARIOS	COSTOS DEL MODELO	FECHA DE COMPRA DEL ACTIVO	AÑOS DE SERVICIO
30TN02	ENC 163	BECHLER	25,87%	25,87%	04/12/1997	17
26FH01	2241	FRITZ WERNER	7,79%	7,79%	27/01/1977	38
28CM01	V-40	LEADWELL	9,70%	17,26%	24/09/1999	15
28CM08	V-40	LEADWELL	4,33%		24/09/1999	15
28CM12	V-40	LEADWELL	3,24%		07/02/2005	10
28CM07	V-25	LEADWELL	6,72%	16,67%	31/08/1998	17
28CM03	V-25	LEADWELL	6,13%		31/08/1998	17
28CM06	V-25	LEADWELL	3,82%		31/08/1998	17
28CM13	V-30	LEADWELL	2,65%	5,19%	30/03/2004	11
22CM14	V-30	LEADWELL	2,55%		29/07/2002	13

Observando la Tabla 11 se encuentra que el equipo 30TN02 tiene el 25,87% de los costos totales de la línea, pero es un único equipo, al igual que la fresadora Fritz Werner que tiene el 7,79%; analizando por modelos se observó que si se realiza el estudio para los centros de mecanizado V-40 se estarían abarcando tres equipos que representan el 17,26% de los costos de mantenimiento de la línea, al igual que si se analizan los centros de mecanizado modelos V-25 representando otros tres equipos que abarcan el 16,67% de los costos de mantenimiento línea y sin dejar atrás el modelo V-30 que con una participación del 5,19% abarcaría dos equipos. En total el grupo de centros de mecanizado que abarca ocho equipos en los pocos vitales y el 39,12% de los costos de mantenimiento de la línea son los seleccionados para realizar el plan de mantenimiento de los equipos.

3.6 APLICACIÓN DE ENFOQUE CMD PARA LOS EQUIPOS

El análisis CMD se puede utilizar en este proyecto dado que se cuenta con una gran cantidad de información para cada uno de los equipos, las Intervenciones se clasifican entre correctivas y preventivas, los tiempos asociadas a ellas, se pueden estimar de los históricos de intervenciones. No se puede extraer información de demoras administrativas y logísticas dado que los tiempos de reparación se toman desde que el técnico inicia con la intervención del equipo hasta que es entregado a producción y es cerrada la orden de servicio por quien fue generada.

Se realiza este análisis para obtener el factor de forma Beta de cada uno de los equipos y de esta forma determinar en que fase de la curva de la bañera se encuentra el equipo como puede ser el de mortalidad infantil, de madurez o de vida útil, de acciones planeadas, de transición entre preventivo a predictivo o en la fase de envejecimiento puro.

3.6.1 Tratamiento de la información

De los históricos de intervenciones sin análisis que son unos documentos extraídos de BAAN ERP en el formato txt donde se puede visualizar la información, pero no se puede realizar ninguna transformación de ella, su visualización se puede hacer por medio de la Figura 12.

Los históricos de intervenciones entregan valores desordenados cronológicamente y con exceso de información que para este análisis no es requerida, por lo que se debe únicamente conservar tres datos importantes, el número de la orden de servicio, la fecha de inicio y la fecha final los cuales fueron guardados en un archivo para cada equipo como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Archivo resumen de datos requeridos para CMD.

ORDEN No	210014617		
FECHA INICIO	15/10/2009 13:00	FECHA FINAL	15/10/2009 16:30
ORDEN No	210013818		
FECHA INICIO	13/07/2009 13:00	FECHA FINAL	13/07/2009 16:30
ORDEN No	210013006		
FECHA INICIO	24/06/2009 13:00	FECHA FINAL	24/06/2009 14:50
ORDEN No	210013006		
FECHA INICIO	24/06/2009 13:00	FECHA FINAL	24/06/2009 14:50
ORDEN No	210013005		
FECHA INICIO	19/06/2009 07:00	FECHA FINAL	19/06/2009 10:00
ORDEN No	210010960		
FECHA INICIO	21/12/2008 20:00	FECHA FINAL	21/12/2008 21:00

Lo que requiere es que a cada orden de servicio se le vincule en una tabla de Excel la fecha de inicio y fin de la intervención en la misma fila, esto se hace en otra hoja y en una columna colocando solo los números de la orden de servicio y usando las funciones ÍNDICE y COINCIDIR, las cuales utilizando como criterio de búsqueda la orden de servicio traen de vuelta a la tabla las fechas en una misma fila. Ahora se pueden ordenar cronológicamente las ordenes de servicio y de esta manera conceptuar el diagrama de estado de equipo (Véase Figura 6) y se pueden determinar los tiempos de falla y funcionamiento del equipo en estudio (Véase Figura 7). Los valores de tiempos de falla se pueden obtener restando la fecha final de mantenimiento menos la inicial, y los tiempos de funcionamiento restando la fecha final de la primer falla menos la fecha inicial de la segunda, el resultado se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis de tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT).

ORDENES	FECHA INICIO MTTO	FECHA FINAL MTTO	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)
		01/01/2005 00:00		
200000258	22/02/2005 00:00	01/03/2005 00:00	1248,00	168,00
200000420	18/03/2005 00:00	18/03/2005 16:30	408,00	16,50
200000723	05/06/2005 07:00	05/06/2005 16:30	1886,50	9,50
200000984	09/06/2005 14:00	10/06/2005 16:30	93,50	26,50
200002154	21/01/2006 07:00	30/01/2006 16:30	5390,50	225,50
200004083	14/12/2006 08:00	14/12/2006 16:50	7623,50	8,83
200004946	20/06/2007 07:30	21/06/2007 15:00	4502,67	31,50
200005457	21/06/2007 08:15	21/06/2007 11:30	-6,75	3,25
200005474	09/07/2007 07:00	09/07/2007 09:00	427,50	2,00
200005899	23/08/2007 13:30	23/08/2007 22:00	1084,50	8,50
200005926	30/08/2007 07:00	01/09/2007 16:30	153,00	57,50

Una vez organizadas se encontraron valores negativos, como se puede observar en la Tabla 13, orden de servicio 200005457 (resaltada), que fue ejecutada entre el 21/06/2007 entre las 08:15 AM y las 11:30 AM, se concluye que este dato se debe eliminar dado que este periodo de tiempo esta comprendido en la orden de servicio 200004946 que se ejecuto entre 20/06/2007 iniciando a las 7:30 AM y el 21/06/2007 a las 15:00 horas.

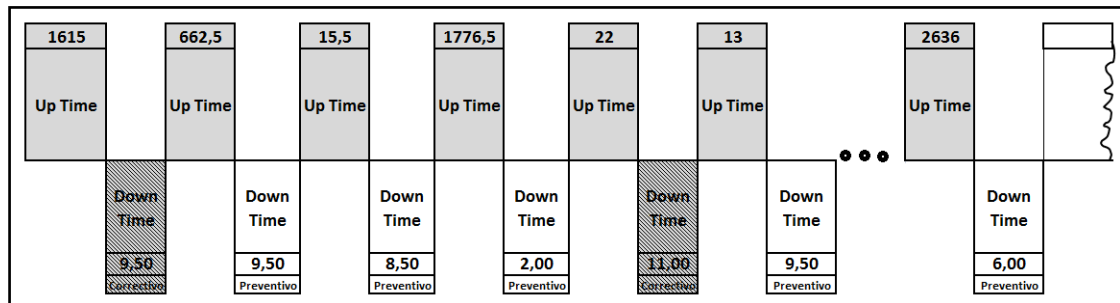
Es lógico dado que dos órdenes de servicio se pueden realizar al mismo tiempo porque se pueden realizar simultáneamente trabajos mecánicos y eléctricos, los cuales son desarrollados por técnicos diferentes, utilizando recursos diferentes, pero la parada del equipo es una sola y se debe tomar el mayor tiempo en el que el equipo no opero.

El análisis de ordenes de servicio correctivas y preventivas no se puede realizar por separado dado que desde el 1 de Enero de 2005 hasta el 06 de Junio de 2014, fecha en la que se registra la última intervención de este equipo tenemos en total 3351 días transcurridos, si separamos las tablas incurriríamos en el error de generar dos líneas del tiempo para los análisis y por ende el doble de tiempo. En la Tabla 14 se puede observar para el equipo 22CM14 la línea del tiempo donde coexisten ordenes correctivas (inician con el número 20) y las ordenes preventivas (inician con el número 21) y en la Figura 15 se puede ver reflejado una parte de el diagrama de estado general para el centro de mecanizado 22CM14.

Tabla 14. Tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT) del 22CM14

NUMERO DE ORDEN	FECHA INICIO MTTD	FECHA FINAL MTTD	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)
		01/01/2005 00:00		
200000336	09/03/2005 07:00	09/03/2005 16:30	1615,00	9,50
210000206	06/04/2005 07:00	06/04/2005 16:30	662,50	9,50
210000207	07/04/2005 08:00	07/04/2005 16:30	15,50	8,50
210000695	20/06/2005 07:00	20/06/2005 09:00	1766,50	2,00
200001055	21/06/2005 07:00	21/06/2005 18:00	22,00	11,00
210000694	22/06/2005 07:00	22/06/2005 16:30	13,00	9,50
200001494	25/08/2005 14:00	26/08/2005 16:30	1533,50	26,50
.
.
.
210024217	29/07/2013 14:00	30/07/2013 13:50	69,17	23,83
210025045	12/11/2013 11:50	12/11/2013 13:50	2518,00	2,00
200021885	20/12/2013 07:00	20/12/2013 15:30	905,17	8,50
200022026	28/01/2014 07:00	28/01/2014 11:30	927,50	4,50
200022156	06/02/2014 07:00	06/02/2014 11:00	211,50	4,00
210025856	27/05/2014 07:00	27/05/2014 13:00	2636,00	6,00

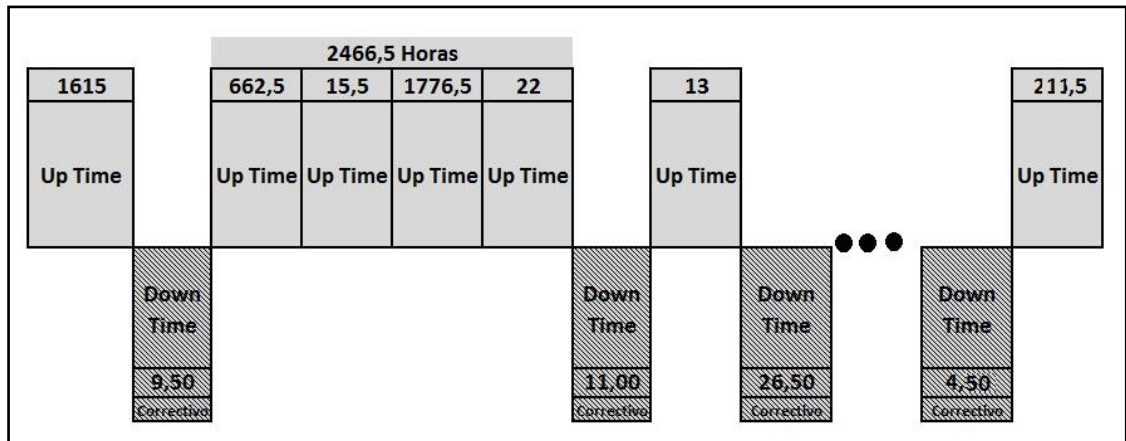
Figura 15. Diagrama de estado general original para 22CM14.



3.6.1.1 Diagrama de estado correctivo

El paso siguiente es separar las líneas de tiempo de la tabla anterior, esto se hace por ejemplo para órdenes correctivas solo teniendo en cuenta el valor del tiempo de mantenimiento correctivo, es decir, para el equipo 22CM14 que se encuentra en la Tabla 14 y en la Figura 15, iniciamos con un tiempo de funcionamiento (UT, Up Time) de 1615 horas, luego de las cuales aparece la primer falla (DT, Down Time) y con ella el primer mantenimiento correctivo que tuvo una duración de 9,5 horas, entonces encontramos tres ordenes preventivas las cuales corresponden a 9,5 , 8,5 y 2,0 horas de intervención las cuales no vamos a tener en cuenta, pero si la suma de los tiempos asociados de funcionamiento que son 662,5 , 15,5 y 1766,5 horas las cuales sumadas corresponden a 2444,5 horas; ahora aparece otra orden correctiva de 11 horas, pero antes de dicha intervención el equipo había funcionado 22 horas, por lo que se las debemos sumar al acumulado anterior de 2444,5 horas para un total de 2466,5 horas, esto se puede ver en el diagrama de estado para el 22CM14 que se presenta en la Figura 16.

Figura 16. Diagrama de estado correctivo para 22CM14.



Para este equipo en particular se tienen 59 datos de tiempos de funcionamiento (UT, Up Times) y 59 datos de tiempos de reparaciones (DT, Down Time), los cuales se pueden visualizar en la Tabla 15.

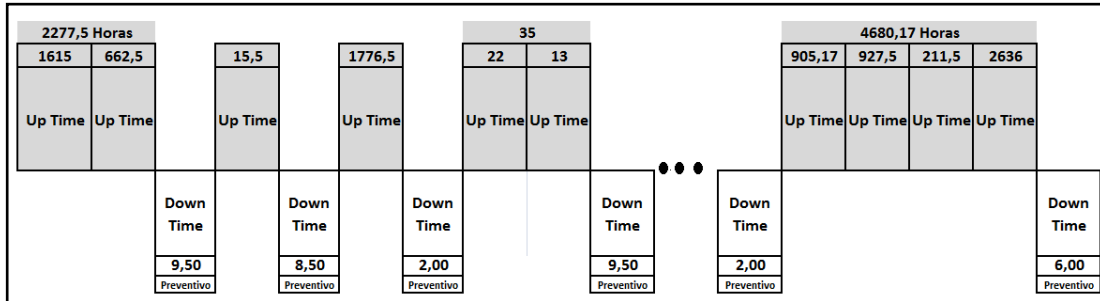
Tabla 15. Tiempos del diagrama de estado correctivo del 22CM14.

DATO #	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)	DATO #	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)
1	1615,00	9,50	31	522,00	2,83
2	2466,50	11,00	32	843,17	2,00
3	13,00	26,50	33	353,00	4,00
4	2306,50	3,00	34	552,00	28,00
5	2045,50	176,50	35	644,00	417,50
6	1431,50	32,50	36	2435,67	34,00
7	939,50	3,50	37	707,00	5,00
8	835,50	9,83	38	532,00	5,00
9	137,62	29,92	39	430,00	3,00
10	734,63	9,83	40	1164,00	2,00
11	302,17	57,50	41	359,00	4,00
12	1787,17	5,00	42	502,00	2,00
13	1484,00	8,83	43	1178,00	2,00
14	159,17	32,83	44	334,00	4,00
15	4806,08	30,50	45	14,00	8,00
16	1098,50	0,50	46	2480,00	3,00
17	6053,00	9,83	47	526,50	37,50
18	45,17	2,83	48	1581,50	2,00
19	470,17	33,83	49	679,50	25,50
20	590,17	3,00	50	145,50	13,00
21	734,17	20,00	51	6661,17	7,00
22	223,00	4,00	52	689,00	3,00
23	213,00	8,83	53	1683,50	14,00
24	1024,48	441,83	54	1191,00	2,00
25	134,17	9,83	55	8870,50	101,83
26	237,17	3,00	56	363,33	8,00
27	455,00	2,00	57	7658,00	8,50
28	351,73	31,05	58	927,50	4,50
29	110,22	25,00	59	211,50	4,00
30	174,00	2,00			

3.6.1.2 Diagrama de estado preventivo

De manera similar que el diagrama correctivo se construye el preventivo, pero en este caso solo se tendrán en cuenta los valores del tiempo de mantenimiento preventivo, por lo tanto, para el equipo 22CM14 que se ha tomado como referencia se puede observar en la Tabla 14 que iniciamos con un tiempo de 1615 horas y luego se encuentra una intervención correctiva de 9,5 horas la cual no vamos a tener en cuenta por lo que al valor de funcionamiento del equipo también se le debe sumar los 662,5 horas para un total de 2277,5 horas, luego tenemos 15.5 horas de funcionamiento con una intervención preventiva de 8,5 horas, después 1776,5 horas de funcionamiento con mantenimiento preventivo de 9,5 horas, el comportamiento se puede observar en el diagrama de estado para el 22CM14 que se presenta en la Figura 17.

Figura 17. Diagrama de estado correctivo para 22CM14



Para el equipo 22CM14 se tienen 72 datos de tiempos de funcionamiento (UT, Up Times) y 72 datos de tiempos de reparaciones (DT, Down Time), los cuales se pueden visualizar en la Tabla 16.

Tabla 16. Tiempos del diagrama de estado preventivo del 22CM14.

DATO #	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)	DATO #	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)
1	2277,50	9,50	37	3223,50	4,83
2	15,50	8,50	38	70,17	1,00
3	1766,50	2,00	39	4087,00	20,00
4	35,00	9,50	40	1947,74	0,50
5	1770,00	9,50	41	447,76	8,00
6	62,50	3,50	42	2183,50	17,00
7	2099,50	9,50	43	1709,00	33,83
8	206,50	3,50	44	481,00	8,50
9	2019,50	9,50	45	1622,17	15,50
10	141,50	2,50	46	126,00	8,50
11	2569,92	4,50	47	1986,00	8,50
12	665,50	9,50	48	39,50	9,83
13	494,17	9,83	49	2054,17	29,50
14	446,50	3,50	50	134,17	129,83
15	1701,83	9,83	51	70,17	1,50
16	278,17	5,00	52	138,50	1,83
17	836,00	4,00	53	1620,50	4,00
18	1147,00	9,50	54	164,00	9,50
19	350,50	3,50	55	2137,50	29,00
20	957,75	3,25	56	304,00	9,50
21	2676,50	9,50	57	2350,00	31,50
22	14,50	9,50	58	183,50	2,00
23	4121,50	7,00	59	1101,00	51,00
24	91,50	9,00	60	566,50	8,50
25	255,00	1,50	61	286,00	8,00
26	713,00	1,00	62	74,00	31,00
27	2,00	1,00	63	3062,00	2,00
28	2082,50	3,83	64	375,00	2,00
29	1139,33	9,83	65	634,67	1,00
30	98,17	2,00	66	38,17	9,83
31	136,00	4,83	67	1959,00	9,00
32	139,17	1,18	68	2415,83	23,83
33	1,95	3,83	69	29,83	2,00
34	3546,48	7,00	70	69,17	1,17
35	86,00	7,00	71	2518,00	2,00
36	18,00	2,00	72	4680,17	6,00

3.6.2 Estimación de parámetros con Benard y alineación

Para encontrar los valores de Beta, MTBF y MTTR se debe elaborar una hoja en Excel donde en la columna cero ubicamos el número de las ordenes correctivas, luego en la columna uno el número del dato y en la columna dos ubicamos los inicialmente los datos de funcionamiento correspondiente a los datos correctivos, estos son los datos de entrada. En la columna tres se indica con un número uno si los datos no son censurados, para ninguna de los diez equipos se censuro algún dato, por lo que esta casilla siempre estará llena con números unos.

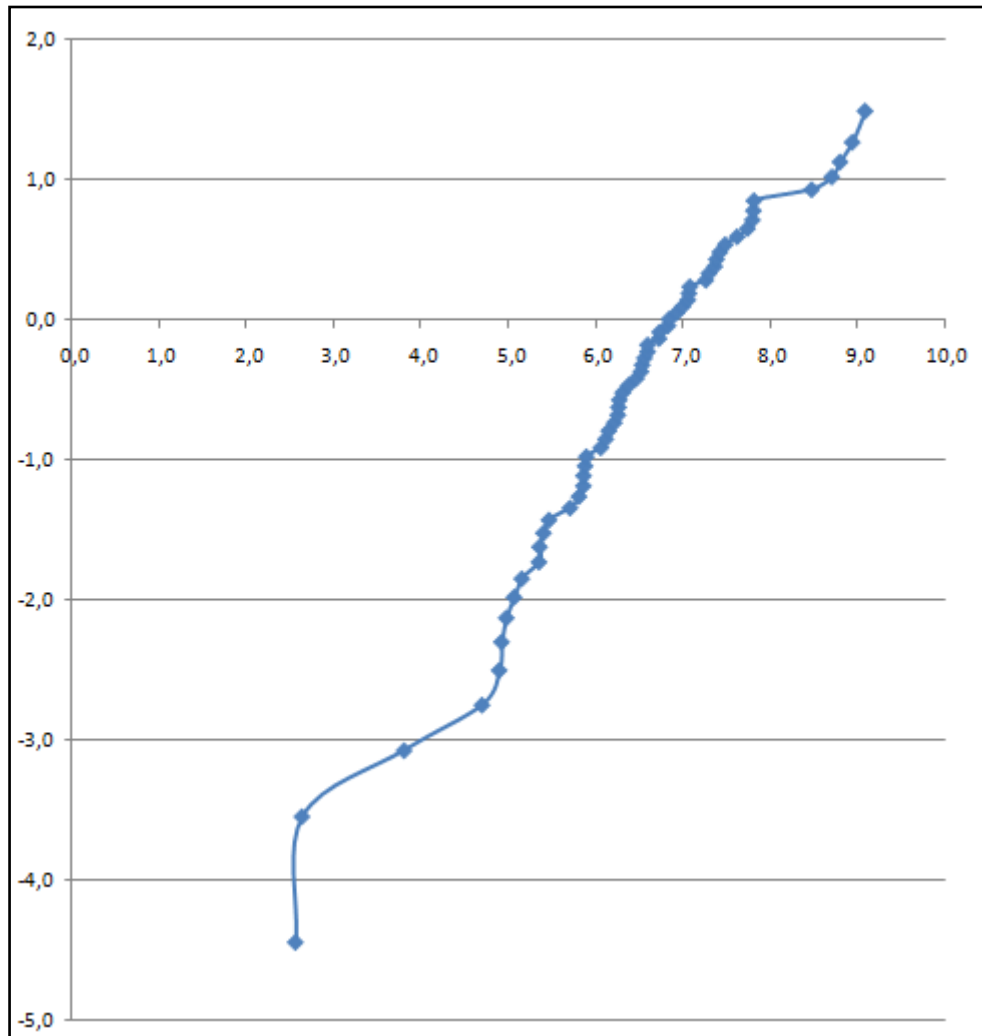
En la columna cuatro los datos de horas de operación se organizan de forma ascendente y en la columna cinco se utiliza el rango de medianas de Benard donde j representa el número de dato (1, 2,3.....59) y N es igual al número total de datos, en este caso 59, se formulan las celdas para obtener automáticamente los valores que se muestran en la Tabla 17, estos valores corresponden a la función de no confiabilidad (F (t_j)).

Tabla 17. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 22CM14.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Mínimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200017748	51	6661,17	1	2306,50	0,8535	6,8276	0,6528	7,7435
200017869	52	689,00	1	2435,67	0,8704	7,7143	0,7145	7,7980
200018215	53	1683,50	1	2466,50	0,8872	8,8657	0,7803	7,8106
200018340	54	1191,00	1	2480,00	0,9040	10,4211	0,8518	7,8160
200019921	55	8870,50	1	4806,08	0,9209	12,6383	0,9309	8,4776
200020087	56	363,33	1	6053,00	0,9377	16,0541	1,0210	8,7083
200021885	57	7658,00	1	6661,17	0,9545	22,0000	1,1285	8,8040
200022026	58	927,50	1	7658,00	0,9714	34,9412	1,2680	8,9435
200022156	59	211,50	1	8870,50	0,9882	84,8571	1,4909	9,0905
Ecuacion				y = 0,913x - 6,448				
Coefficiente de Determinacion				R ² = 0,966				
β = Beta = pendiente de la recta				0,913				
Intercepto				-6,448				
η = Eta = e⁻ (intercepto/pendiente)				1167,2800				
MTBF correctivo = η * e^{-(GAMMA.LN(1+(1/β)))}				1218,7612				

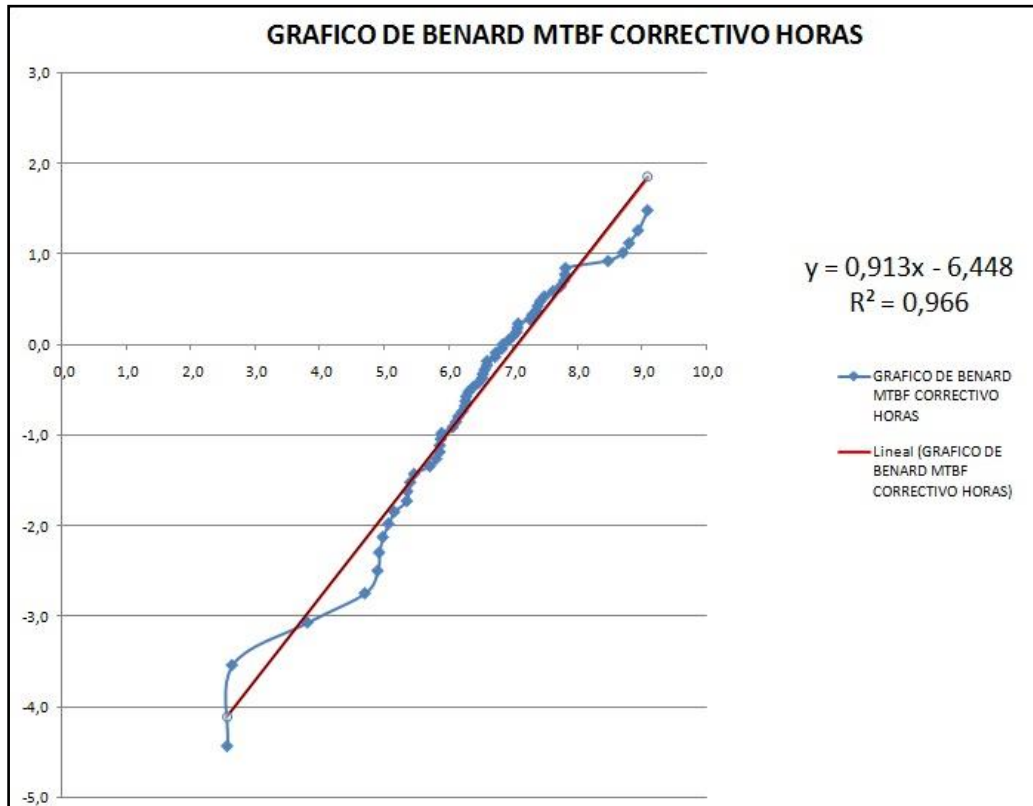
En la columna siete se utiliza la ecuación de transformación de Weibull para el valor de Y en la regresión, y por último en la columna ocho se utiliza la ecuación de transformación de Weibull para el valor de X en la regresión. Estos valores se grafican en Excel utilizando dispersión con líneas suavizadas y marcadores obteniendo una grafica como la mostrada en la Figura 18.

Figura 18. Dispersión con datos Up Times correctivos para 22CM14.



Haciendo clic derecho sobre los datos graficados, en el menú desplegable de Excel encontramos la opción agregar línea de tendencia con la cual podemos obtener la ecuación dicha línea y el coeficiente de determinación muestral r^2 , que debe estar entre un rango de 0,9025 y 1,0000 para considerarse aceptable, en este caso se obtuvo un r^2 de 0,966.

Figura 19. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 22CM14.



Con estos datos volvemos a la Tabla 17 en la que se digitan, la ecuación, el coeficiente de determinación muestral r^2 , y se extraen la pendiente de la recta y el intercepto con el eje Y para poder calcular los valores de Eta (η) y finalmente determinar el valor de MTBF correctivo para el centro de mecanizado 22CM14 utilizando las ecuaciones allí descritas.

Utilizando el mismo procedimiento se calcula el MTTR correctivo y su correspondiente Beta, en la tabla 18 y su grafica correspondiente en la Figura 20, el MTBF preventivo con su Beta en la Tabla 19, Figura 21 y el MTTR preventivo su respectivo Beta en la Tabla 20 y Figura 22.

Tabla 18. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 22CM14

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200017748	51	7,00	1	32,83	0,8535	6,8276	0,6528	3,4914
200017869	52	3,00	1	33,83	0,8704	7,7143	0,7145	3,5214
200018215	53	14,00	1	34,00	0,8872	8,8657	0,7803	3,5264
200018340	54	2,00	1	37,50	0,9040	10,4211	0,8518	3,6243
200019921	55	101,83	1	57,50	0,9209	12,6383	0,9309	4,0518
200020087	56	8,00	1	101,83	0,9377	16,0541	1,0210	4,6233
200021885	57	8,50	1	176,50	0,9545	22,0000	1,1285	5,1733
200022026	58	4,50	1	417,50	0,9714	34,9412	1,2680	6,0343
200022156	59	4,00	1	441,83	0,9882	84,8571	1,4909	6,0909
Ecuacion				$y = 0,805x - 2,332$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,810$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,805				
Intercepto				-2,332				
$\eta = \text{Eta} = e^{\wedge} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				18,1178				
MTTRcorrectivo= $\eta * e^{\wedge}(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))$				20,4368				

Figura 20. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 22CM14.

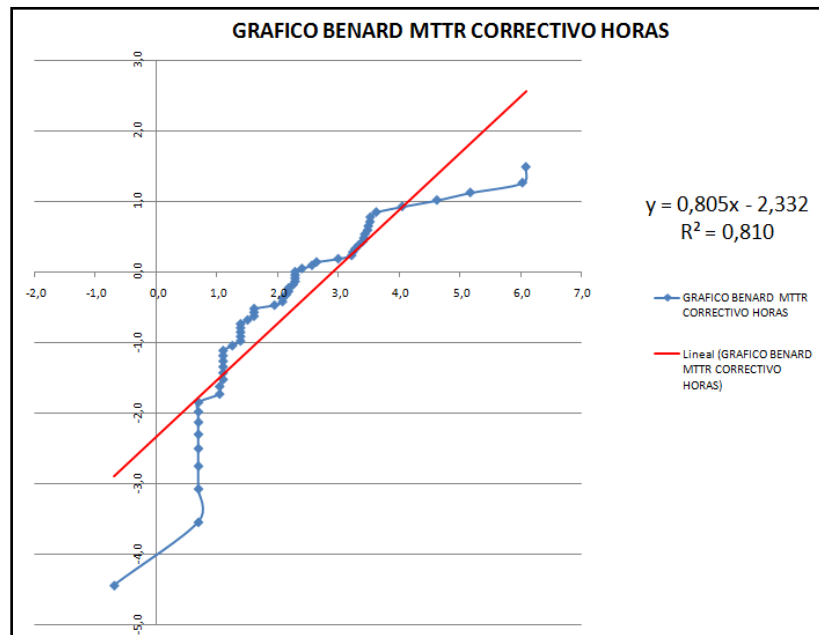


Tabla 19 MTBF y Beta preventivo usando Benard y Alineación 22CM14

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021719	64	375,00	1	2518,00	0,8798	8,3218	0,7509	7,8312
210023041	65	634,67	1	2569,92	0,8936	9,4026	0,8069	7,8516
210023042	66	38,17	1	2676,50	0,9075	10,8060	0,8671	7,8923
210023818	67	1959,00	1	3062,00	0,9213	12,7018	0,9328	8,0268
210024217	68	2415,83	1	3223,50	0,9351	15,4043	1,0060	8,0782
210024225	69	29,83	1	3546,48	0,9489	19,5676	1,0899	8,1737
210024427	70	69,17	1	4087,00	0,9627	26,8148	1,1906	8,3156
210025045	71	2518,00	1	4121,50	0,9765	42,5882	1,3222	8,3240
210025856	72	4680,17	1	4680,17	0,9903	103,4286	1,5345	8,4511
Ecuacion				y = 0,671x - 4,606				
Coeficiente de Determinación				R ² = 0,974				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,671				
Intercepto				-4,606				
η = Eta = e ^Λ - (intercepto/pendiente)				957,5534				
MTBF Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				1264,3026				

Figura 21. Línea de tendencia y r² con Up Times preventivos 22CM14

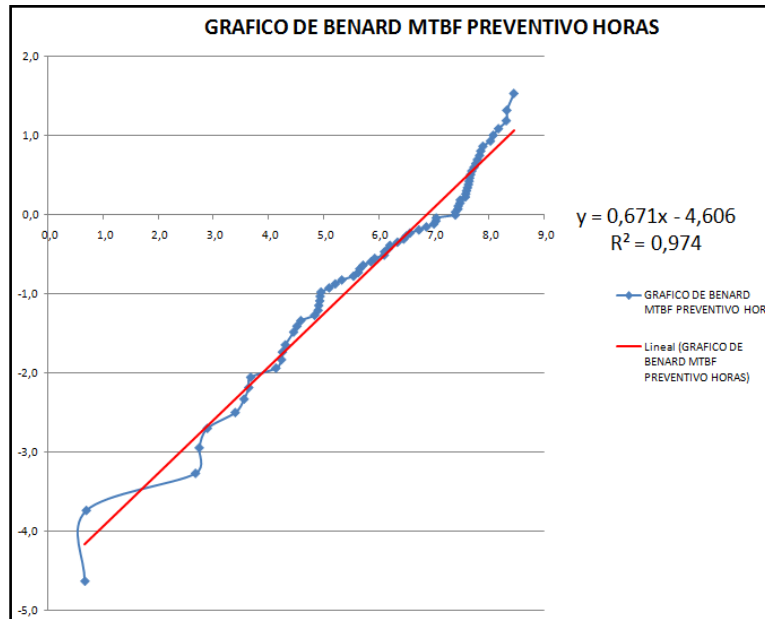
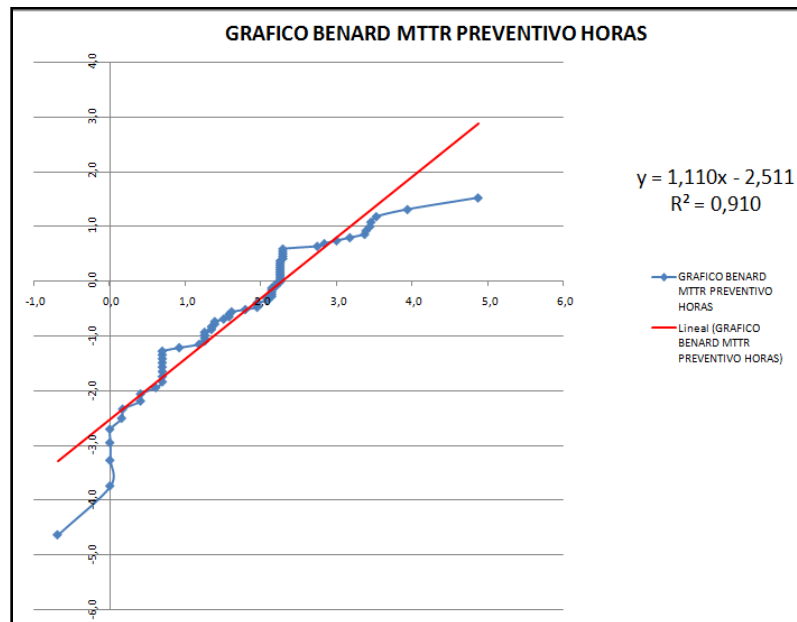


Tabla 20 MTTR y Beta preventivo usando Benard y Alineación 22CM14

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021719	64	2,00	1	20,00	0,8798	8,3218	0,7509	2,9957
210023041	65	1,00	1	23,83	0,8936	9,4026	0,8069	3,1711
210023042	66	9,83	1	29,00	0,9075	10,8060	0,8671	3,3673
210023818	67	9,00	1	29,50	0,9213	12,7018	0,9328	3,3844
210024217	68	23,83	1	31,00	0,9351	15,4043	1,0060	3,4340
210024225	69	2,00	1	31,50	0,9489	19,5676	1,0899	3,4500
210024427	70	1,17	1	33,83	0,9627	26,8148	1,1906	3,5214
210025045	71	2,00	1	51,00	0,9765	42,5882	1,3222	3,9318
210025856	72	6,00	1	129,83	0,9903	103,4286	1,5345	4,8663
Ecuacion				y = 1,110x - 2,511				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,910				
θ = Beta = pendiente de la recta				1,11				
Intercepto				-2,511				
η = Eta = e ⁻ (intercepto/pendiente)				9,6038				
MTTR Preventivo=η * e ^{(GAMMA.LN(1+(1/θ)))}				9,2396				

Figura 22. Línea de tendencia y r² con Down Times preventivos 22CM14

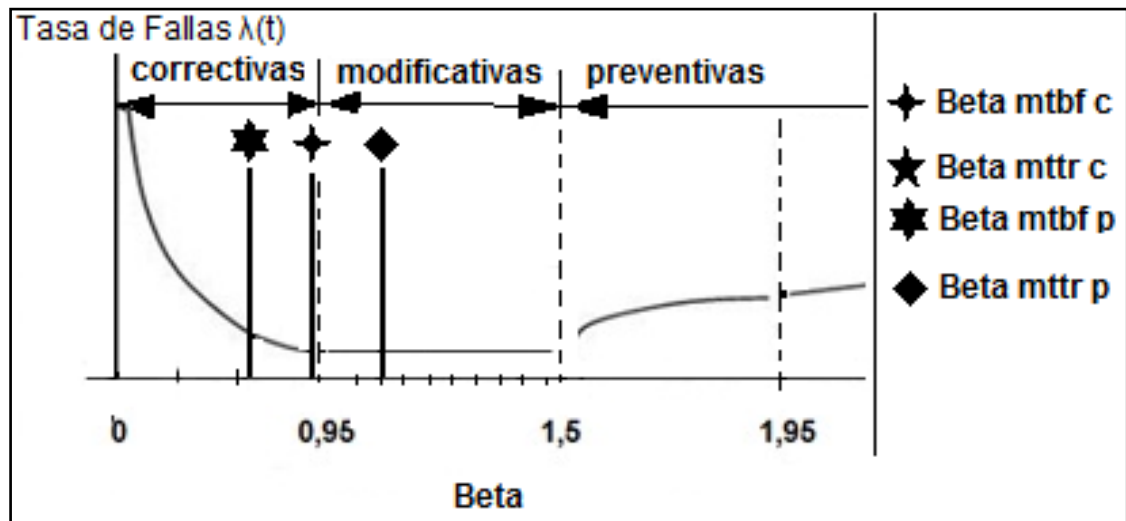


Con los resultados de Beta, se ubica al centro de mecanizado 22CM14 en la curva de la bañera o de Davies, entonces se puede determinar en que fase se encuentra, en la Tabla 21 se observan los valores de Beta, MTBF y MTTR correctivo y preventivo obtenidos; el valor de MTTR correctivo y su Beta asociado no se tienen en cuenta dado que están fuera de rango 0,9025 y 1,0000 de r^2 . En la Figura 23 se puede observar que el equipo se encuentra entre dos fases, la de mortalidad infantil y esta ingresando a la fase de madurez o vida útil.

Tabla 21. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 22CM14.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1218,76	0,913	0,966	20,43	0,805	0,810	1264,30	0,671	0,974	9,23	1,110	0,910

Figura 23. Ubicación Betas de 22CM14 en la curva de la bañera



A continuación se mostraran los MTBF, MTTR y Betas correctivos y preventivos obtenidos como resultados para cada uno de los equipos objeto de estudio.

3.6.2.1 Estimación de parámetros para el equipo 30TN02

Tabla 22. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 30TN02.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
30TN02 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021255	64	163,33	1	2292,00	0,9048	10,5075	0,8553	7,7372
200021362	65	65,00	1	2344,00	0,9190	12,3509	0,9218	7,7596
200021548	66	456,57	1	3236,00	0,9332	14,9787	0,9957	8,0821
200021615	67	261,17	1	4115,00	0,9474	19,0270	1,0804	8,3224
200021709	68	213,00	1	4451,08	0,9616	26,0741	1,1820	8,4009
200022161	69	669,00	1	4836,33	0,9759	41,4118	1,3147	8,4839
200022381	70	547,00	1	7551,42	0,9901	100,5714	1,5284	8,9295
Ecuacion				$y = 0,998x - 6,839$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,961$				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,998				
Intercepto				-6,839				
η = Eta = $e^{-((intercepto/pendiente))}$				946,4379				
MTBF Correctivo= $\eta * e^{(GAMMA.LN(1+(1/\theta)))}$				947,2414				

Figura 24. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 30TN02.

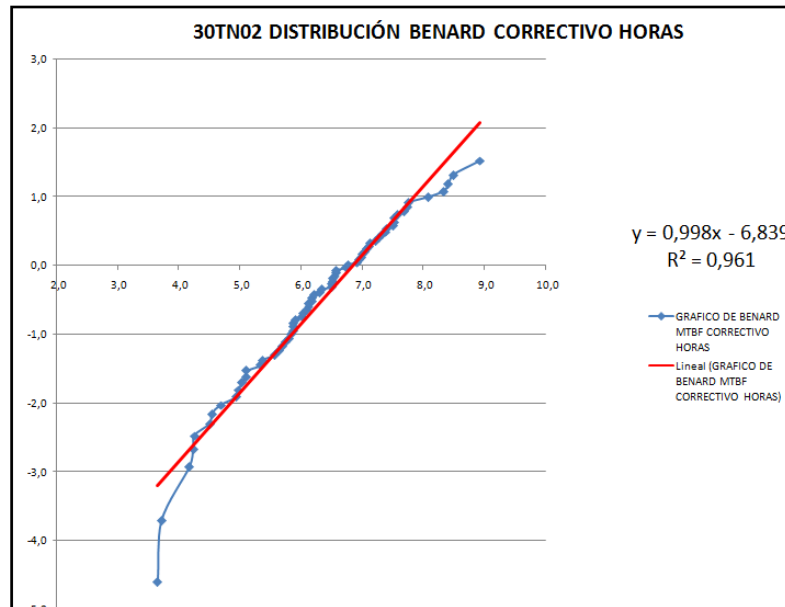


Tabla 23 MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 30TN02.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Minimos Cuadrados			
	1	2	3	4	5	6	7	8
30TN02 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de Reparaciones en horas, organizados en forma ascendente.	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de Reparacion es en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021362	65	8,27	1	129,00	0,9190	12,3509	0,9218	4,8598
200021548	66	18,00	1	147,50	0,9332	14,9787	0,9957	4,9938
200021615	67	6,00	1	168,00	0,9474	19,0270	1,0804	5,1240
200021709	68	5,00	1	225,50	0,9616	26,0741	1,1820	5,4183
200022161	69	2,00	1	387,00	0,9759	41,4118	1,3147	5,9584
200022381	70	2,00	1	393,00	0,9901	100,5714	1,5284	5,9738
Ecuacion				y = 0,755x - 2,391				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,854				
β = Beta = pendiente de la recta				0,755				
Intercepto				-2,391				
η = Eta = e ^ -(intercepto/pendiente)				23,7335				
MTTR Correctivo=η * e^(GAMMA.LN(1+(1/β)))				28,1048				

Figura 25. Línea de tendencia y r² con Down Times correctivos 30TN02.

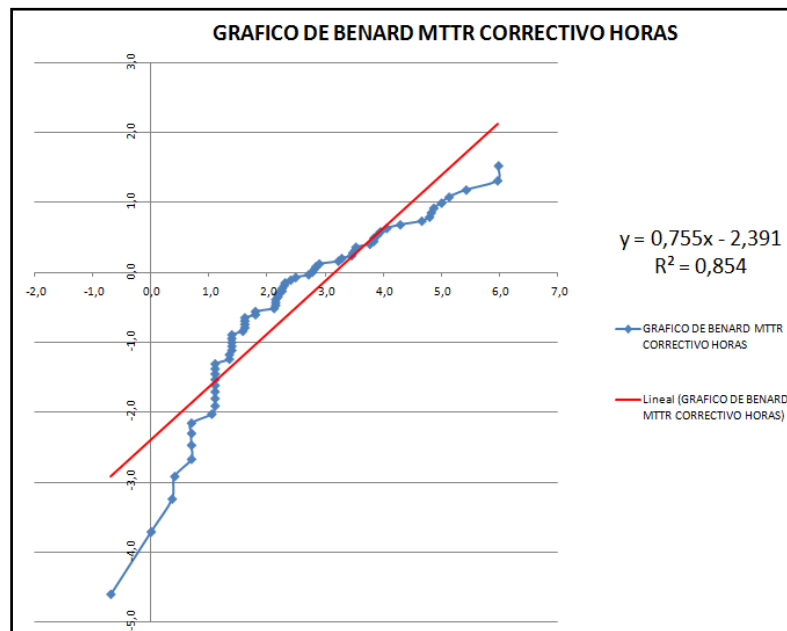


Tabla 24 MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 30TN02.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
30TN02 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021967	108	5137,00	1	2201,68	0,9333	14,9870	0,9959	7,6970
210022051	109	1878,83	1	2273,50	0,9419	17,2239	1,0460	7,7291
210024034	110	167,00	1	2309,45	0,9506	20,2456	1,1013	7,7448
210024255	111	1285,67	1	2421,73	0,9593	24,5532	1,1634	7,7922
210024256	112	2421,73	1	2738,50	0,9679	31,1892	1,2355	7,9152
210024553	113	16,00	1	4598,50	0,9766	42,7407	1,3231	8,4335
210025365	114	88,00	1	5137,00	0,9853	67,8824	1,4393	8,5442
210025381	115	1216,00	1	7828,17	0,9939	164,8571	1,6302	8,9655
Ecuacion				$y = 0,670x - 4,068$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,983$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,67				
Intercepto				-4,068				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				433,3916				
MTBF Preventivo= $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\theta))}}$				573,1176				

Figura 26. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 30TN02

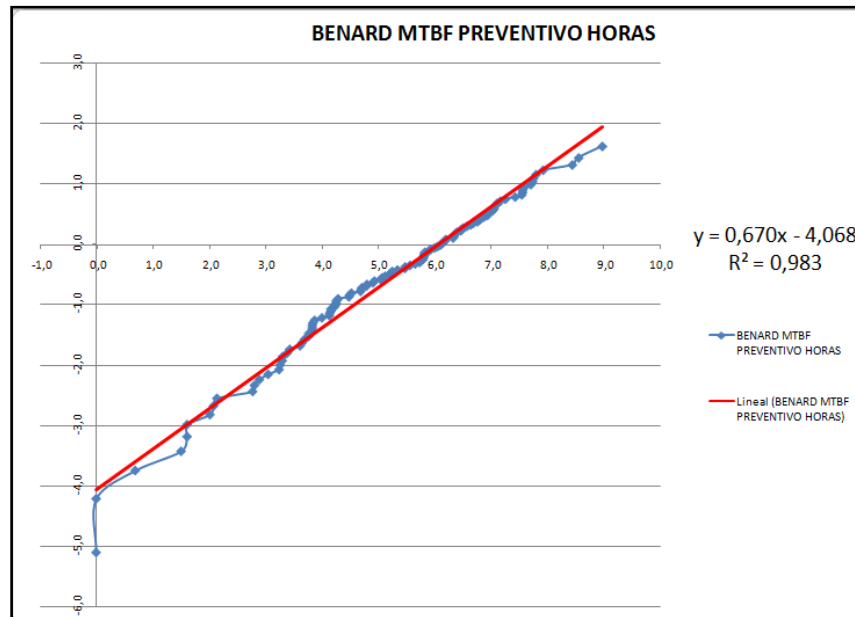
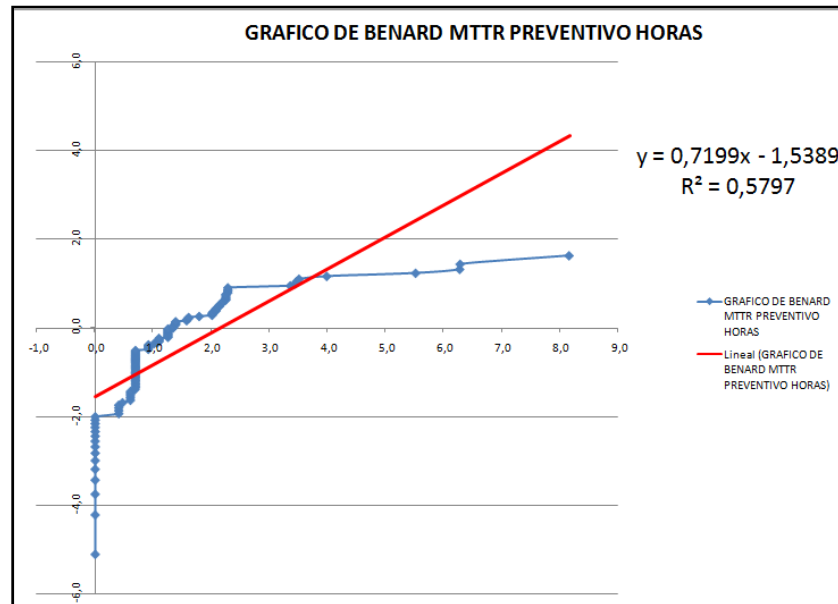


Tabla 25 MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 30TN02.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
30TN02 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de Reparacion es en Horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de Reparacion es en Horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210024034	110	9,00	1	32,00	0,9424	17,3731	1,0490	3,4657
210024255	111	1,00	1	33,50	0,9510	20,4211	1,1041	3,5115
210024256	112	2,00	1	54,00	0,9596	24,7660	1,1661	3,9890
210024553	113	8,00	1	249,50	0,9682	31,4595	1,2380	5,5195
210025365	114	8,00	1	534,00	0,9768	43,1111	1,3254	6,2804
210025381	115	8,00	1	537,50	0,9854	68,4706	1,4414	6,2869
210025384	116	32,00	1	3513,83	0,9940	166,2857	1,6319	8,1645
Ecuacion				$y = 0,7199x - 1,5389$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,5797$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,7199				
Intercepto				-1,5389				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\theta} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				8,4796				
MTTR Preventivo= $\eta * e^{\theta(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))}$				10,4585				

Figura 27. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 30TN02 .

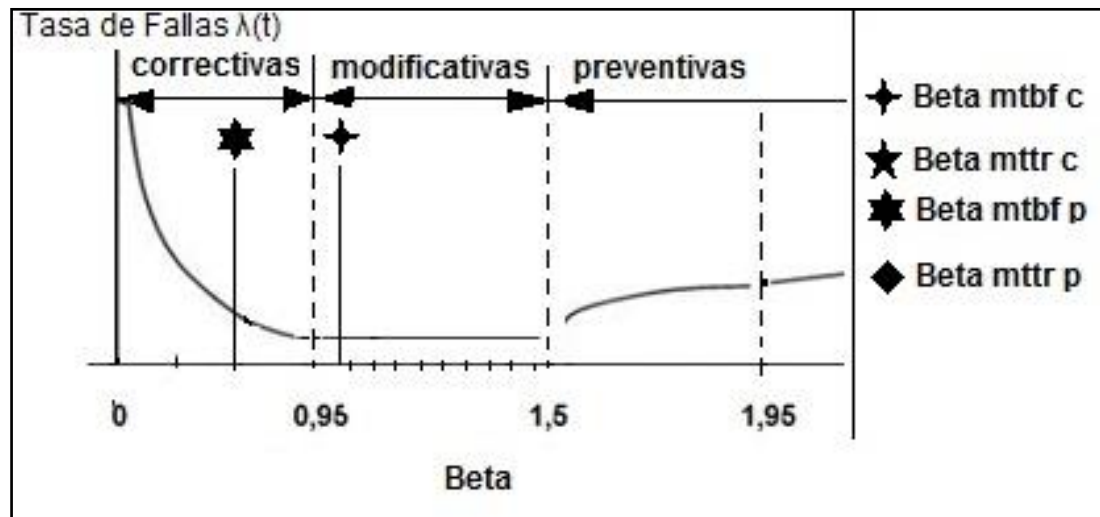


Con los resultados de Beta, se puede ubicar al torno numérico 30TN02 en la curva de la bañera o de Davies, con esto se puede determinar en que fase se encuentra, en la Tabla 26 se observan los valores de Beta, MTBF y MTTR correctivo y preventivo obtenidos; el valor de MTTR correctivo, preventivo y sus respectivos Beta no se tuvieron en cuenta dado que están fuera de rango 0,9025 y 1,0000 de r^2 por tal motivo no fueron graficados en la Figura 28.

Tabla 26 Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 30TN02.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
947,24	0,998	0,961	28,1	0,755	0,854	573,11	0,670	0,983	10,45	0,719	0,579

Figura 28. Ubicación Betas de 30TN02 en la curva de la bañera.



En la Figura 28 se observa que el equipo en sus intervenciones preventivas aun se encuentra en la fase de mortalidad infantil, mientras que en las intervenciones correctivas lo definen como en fase de madurez o vida útil.

3.6.2.2 Estimación de parámetros para el equipo 26FH01.

Tabla 27. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 26FH01.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard (RRY ?-					Alineación con regresión Mínimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
26FH01 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200020238	76	868,17	1	2500,00	0,8969	9,7011	0,8208	7,8240
200020280	77	190,17	1	3119,00	0,9088	10,9610	0,8731	8,0453
200020761	78	3319,17	1	3207,00	0,9206	12,5970	0,9296	8,0731
200021015	79	927,50	1	3319,17	0,9325	14,8070	0,9914	8,1075
200021043	80	46,00	1	3832,70	0,9443	17,9574	1,0606	8,2513
200021303	81	716,00	1	4360,17	0,9562	22,8108	1,1401	8,3803
200022271	82	3119,00	1	4699,00	0,9680	31,2593	1,2361	8,4551
200022430	83	404,00	1	5198,50	0,9799	49,6471	1,3622	8,5561
200022965	84	1047,50	1	6898,57	0,9917	120,5714	1,5670	8,8391
Ecuacion				$y = 0,863x - 5,795$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,983$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,863				
Intercepto				-5,795				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				824,6408				
MTBF Correctivo= $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\theta)))}}$				888,8546				

Figura 29. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 26FH01.

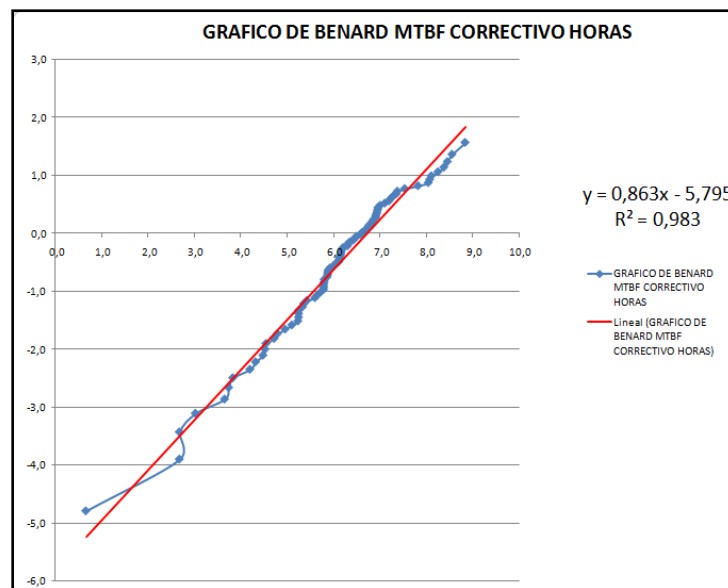


Tabla 28 MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 26FH01.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
26FH01 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200020238	76	25,83	1	153,50	0,8969	9,7011	0,8208	5,0337
200020280	77	9,83	1	153,50	0,9088	10,9610	0,8731	5,0337
200020761	78	8,00	1	214,00	0,9206	12,5970	0,9296	5,3660
200021015	79	8,50	1	294,50	0,9325	14,8070	0,9914	5,6853
200021043	80	46,00	1	296,50	0,9443	17,9574	1,0606	5,6920
200021303	81	8,00	1	321,50	0,9562	22,8108	1,1401	5,7730
200022271	82	21,00	1	321,50	0,9680	31,2593	1,2361	5,7730
200022430	83	512,50	1	512,50	0,9799	49,6471	1,3622	6,2393
200022965	84	8,50	1	633,50	0,9917	120,5714	1,5670	6,4513
Ecuacion				y = 0,672x - 2,171				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,715				
β = Beta = pendiente de la recta				0,672				
Intercepto				-2,171				
η = Eta = e ^Λ - (intercepto/pendiente)				25,2962				
MTTR Correctivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/β)))				33,3481				

Figura 30. Línea de tendencia y r² con Down Times correctivos 26FH01.

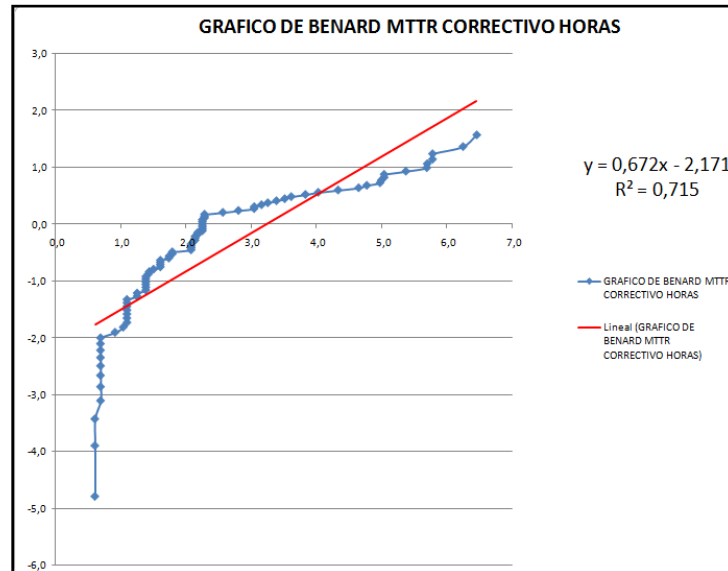


Tabla 29 MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 26FH01.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
26FH01 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210020229	8	1518,17	1	1070,17	0,4695	1,8851	-0,4558	6,9756
210021257	9	1479,50	1	1479,50	0,5305	2,1299	-0,2796	7,2995
210021455	10	161,00	1	1518,17	0,5915	2,4478	-0,1107	7,3253
210021456	11	2109,50	1	1820,00	0,6524	2,8772	0,0553	7,5066
210022356	12	355,50	1	2109,50	0,7134	3,4894	0,2229	7,6542
210022357	13	2606,17	1	2606,17	0,7744	4,4324	0,3981	7,8656
210023321	14	186,50	1	2608,00	0,8354	6,0741	0,5900	7,8663
210023435	15	3128,83	1	3128,83	0,8963	9,6471	0,8183	8,0484
210024429	16	6804,00	1	6804,00	0,9573	23,4286	1,1487	8,8253
Ecuacion				$y = 0,805x - 5,890$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,848$				
β = Beta = pendiente de la recta				0,805				
Intercepto				-5,89				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				1505,3342				
MTBF Preventivo = $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\beta)))}}$				1698,0121				

Figura 31. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 26FH01.

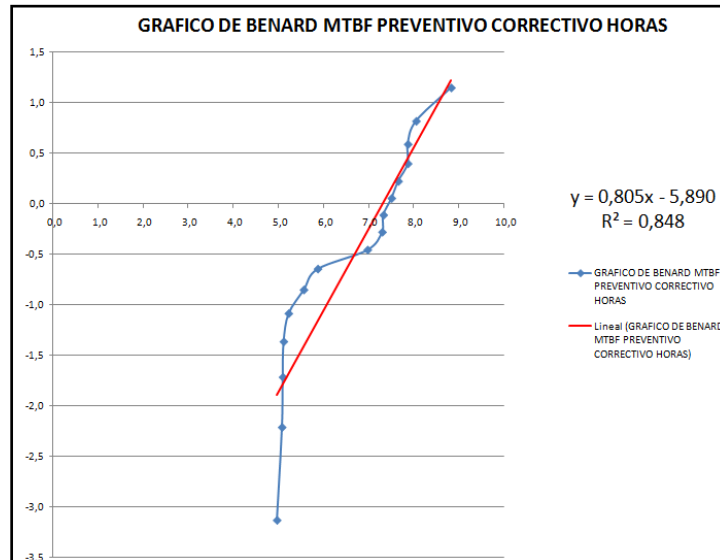
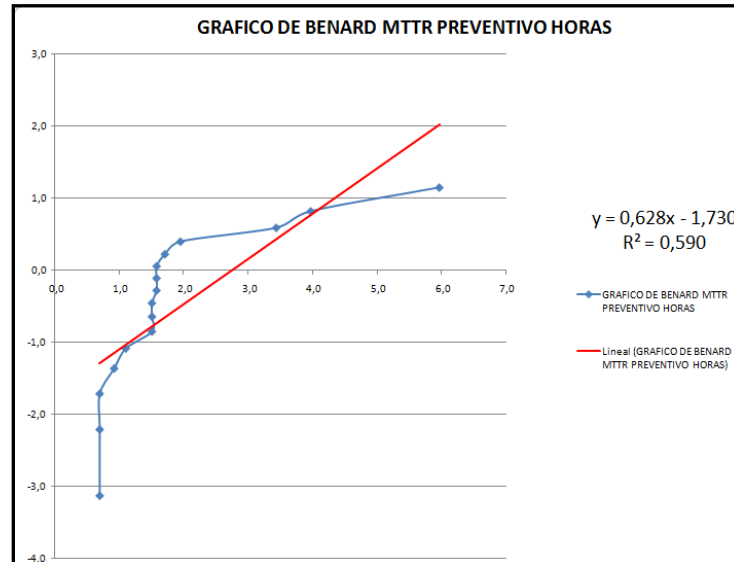


Tabla 30 MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 26FH01

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Minimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
26FH01 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210020229	8	4,83	1	4,50	0,4695	1,8851	-0,4558	1,5041
210021257	9	4,50	1	4,83	0,5305	2,1299	-0,2796	1,5755
210021455	10	7,00	1	4,83	0,5915	2,4478	-0,1107	1,5755
210021456	11	2,50	1	4,83	0,6524	2,8772	0,0553	1,5755
210022356	12	4,50	1	5,50	0,7134	3,4894	0,2229	1,7047
210022357	13	390,50	1	7,00	0,7744	4,4324	0,3981	1,9459
210023321	14	4,50	1	31,00	0,8354	6,0741	0,5900	3,4340
210023435	15	5,50	1	53,00	0,8963	9,6471	0,8183	3,9703
210024429	16	31,00	1	390,50	0,9573	23,4286	1,1487	5,9674
Ecuacion				y = 0,628x - 1,730				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,590				
β = Beta = pendiente de la recta				0,628				
Intercepto				-1,73				
η = Eta = e ⁻ (intercepto/pendiente)				15,7175				
MTTR Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/β)))				22,3419				

Figura 32. Línea de tendencia y r² con Down Times preventivos 26FH01.

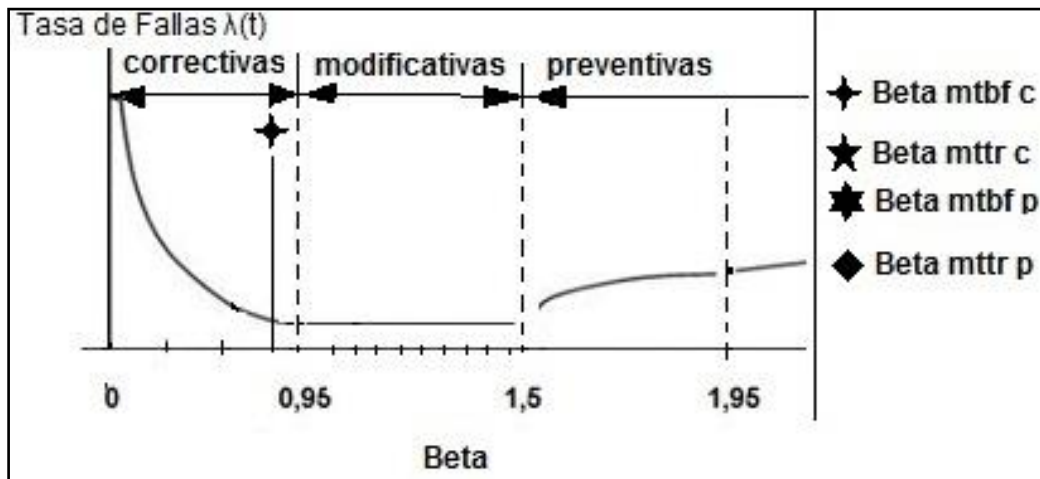


Con los resultados de Beta, se puede ubicar a la fresadora 26FH01 en la curva de la bañera o de Davies, con esto se puede determinar en que fase se encuentra el equipo, en la Tabla 31 se observa que solo un valor de Beta (asociado al MTBF correctivo) que se tuvo en cuenta, dado que esta dentro del rango 0,9025 y 1,0000 de r^2 ; se puede observar graficado en la Figura 33.

Tabla 31 Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 26FH01.

EQUIPO	MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
26FH01	888,85	0,863	0,983	33,34	0,672	0,715	1698,01	0,805	0,848	22,34	0,628	0,590

Figura 33. Ubicación Betas de 26FH01 en la curva de la bañera.



En la Figura 33 se observa que el equipo en sus intervenciones preventivas aun se encuentra en la fase de mortalidad infantil, pese a que tiene 38 años de servicio y que el programa de mantenimiento preventivo inicio para el año de 2011.

3.6.2.3 Estimación de parámetros para el equipo 28CM01.

Tabla 32. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM01.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard (RRY)					Alineación con regresión Mínimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM01 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021849	68	68,17	1	1963,50	0,8979	9,7922	0,8249	7,5825
200021889	69	87,50	1	1992,50	0,9111	11,2537	0,8841	7,5971
200021911	70	679,50	1	2046,67	0,9244	13,2281	0,9487	7,6240
200022078	71	327,50	1	2312,00	0,9377	16,0426	1,0207	7,7459
200022244	72	256,00	1	2410,50	0,9509	20,3784	1,1034	7,7876
200022308	73	143,00	1	3222,17	0,9642	27,9259	1,2028	8,0778
200022830	74	1608,50	1	5502,50	0,9775	44,3529	1,3329	8,6130
200022956	75	332,00	1	6647,87	0,9907	107,7143	1,5432	8,8021
Ecuacion				$y = 1,074x - 7,502$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,972$				
$\beta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				1,074				
Intercepto				-7,502				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				1080,4171				
MTBF Correctivo $= \eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\beta)))}}$				1051,0295				

Figura 34. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM01.

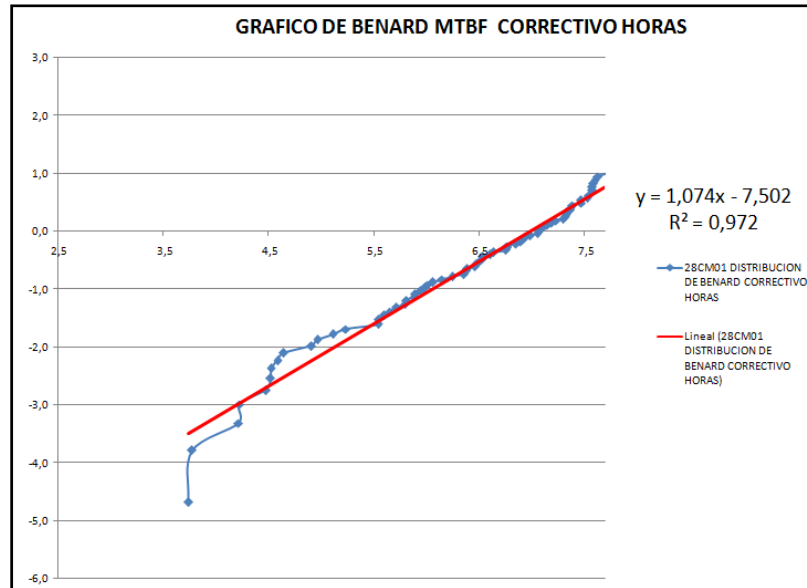


Tabla 33 MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM01

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Minimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM01 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021849	68	9	1	53	0,8979	9,7922	0,8249	3,9703
200021889	69	9	1	56	0,9111	11,2537	0,8841	4,0254
200021911	70	56	1	95	0,9244	13,2281	0,9487	4,5539
200022078	71	8	1	215	0,9377	16,0426	1,0207	5,3706
200022244	72	8	1	249	0,9509	20,3784	1,1034	5,5175
200022308	73	8	1	295	0,9642	27,9259	1,2028	5,6881
200022830	74	4	1	345	0,9775	44,3529	1,3329	5,8435
200022956	75	2	1	366	0,9907	107,7143	1,5432	5,9031
Ecuacion				y = 0,7954x - 2,2888				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,7537				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,7954				
Intercepto				-2,2888				
η = Eta = e ^Λ - (Intercepto/pendiente)				17,7706				
MTTR Correctivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				20,2180				

Figura 35. Línea de tendencia y r² con Down Times correctivos 28CM01.

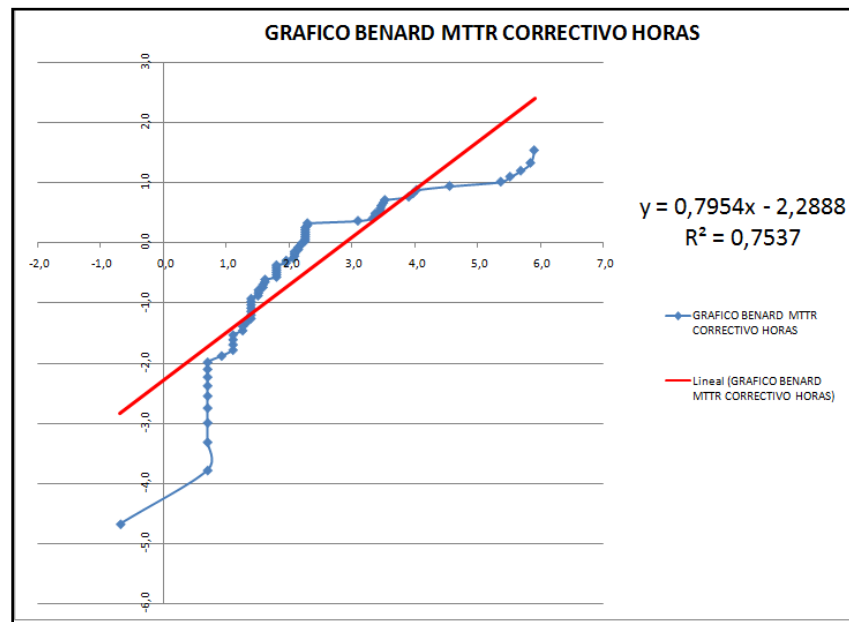


Tabla 34 MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM01 .

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Minimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM01 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210023834	68	95,00	1	2600,50	0,8979	9,7922	0,8249	7,8635
210024238	69	475,33	1	2691,50	0,9111	11,2537	0,8841	7,8979
210024240	70	1661,32	1	2855,67	0,9244	13,2281	0,9487	7,9571
210024239	71	875,01	1	2942,50	0,9377	16,0426	1,0207	7,9870
210025062	72	735,50	1	3588,00	0,9509	20,3784	1,1034	8,1854
210024237	73	227,00	1	3956,47	0,9642	27,9259	1,2028	8,2831
210025326	74	2060,50	1	4061,17	0,9775	44,3529	1,3329	8,3092
210025323	75	395,50	1	6243,50	0,9907	107,7143	1,5432	8,7393
Ecuacion				y = 0,599x - 4,050				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,972				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,599				
Intercepto				-4,05				
η = Eta = e ⁻ (intercepto/pendiente)				863,7374				
MTBF Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				1302,3903				

Figura 36. Línea de tendencia y r² con Up Times preventivos 28CM01

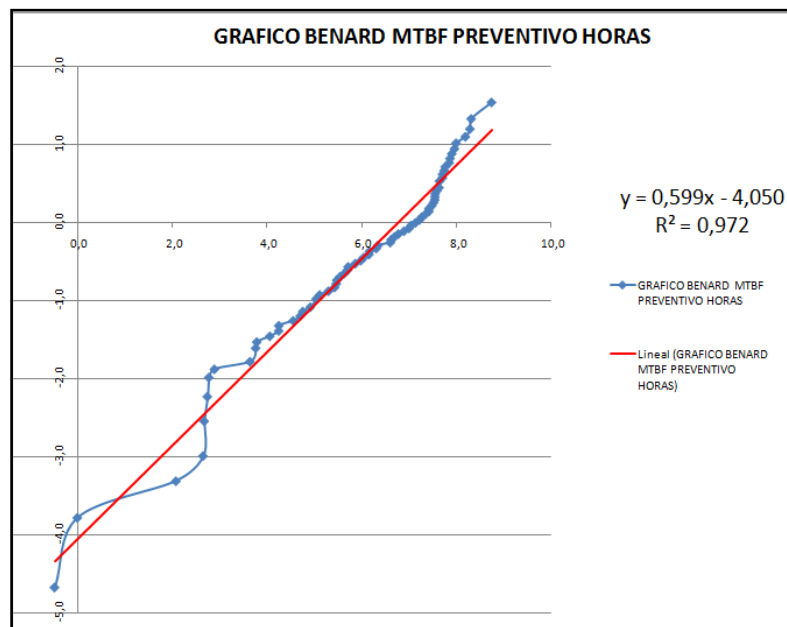
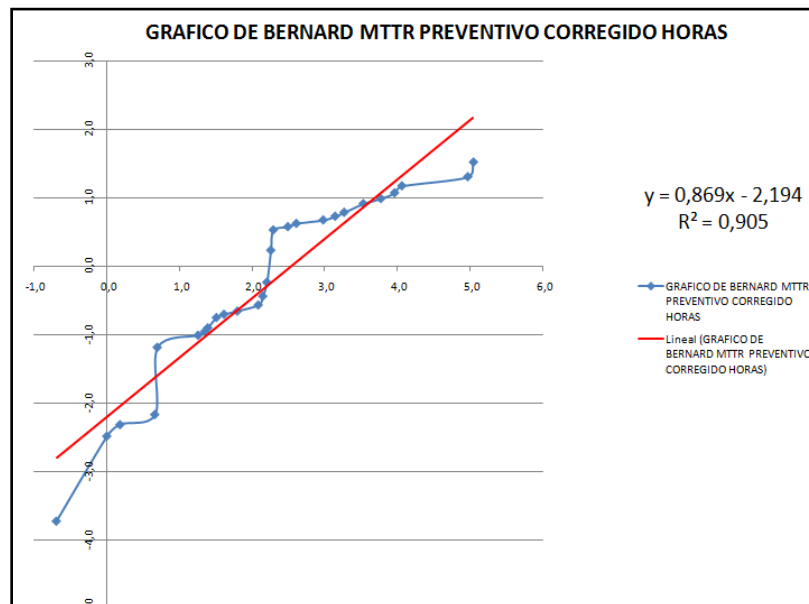


Tabla 35. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM01.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Minimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM01 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210023835	61	9,00	1	19,50	0,8622	7,2577	0,6841	2,9704
210023834	62	9,00	1	23,00	0,8764	8,0920	0,7376	3,1355
210024238	63	2,00	1	26,00	0,8906	9,1429	0,7943	3,2581
210024239	65	0,50	1	33,83	0,9190	12,3509	0,9218	3,5214
210025062	66	23,00	1	43,00	0,9332	14,9787	0,9957	3,7612
210024237	67	1,00	1	52,00	0,9474	19,0270	1,0804	3,9512
210025326	68	8,00	1	57,50	0,9616	26,0741	1,1820	4,0518
210025323	69	0,50	1	142,00	0,9759	41,4118	1,3147	4,9558
210025870	70	8,50	1	153,50	0,9901	100,5714	1,5284	5,0337
Ecuacion				y = 0,869x - 2,194				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,905				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,869				
Intercepto				-2,194				
η = Eta = e ⁻ (intercepto/pendiente)				12,4877				
MTTR Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				13,4044				

Figura 37. Línea de tendencia y r² con Down Times preventivos 28CM01.

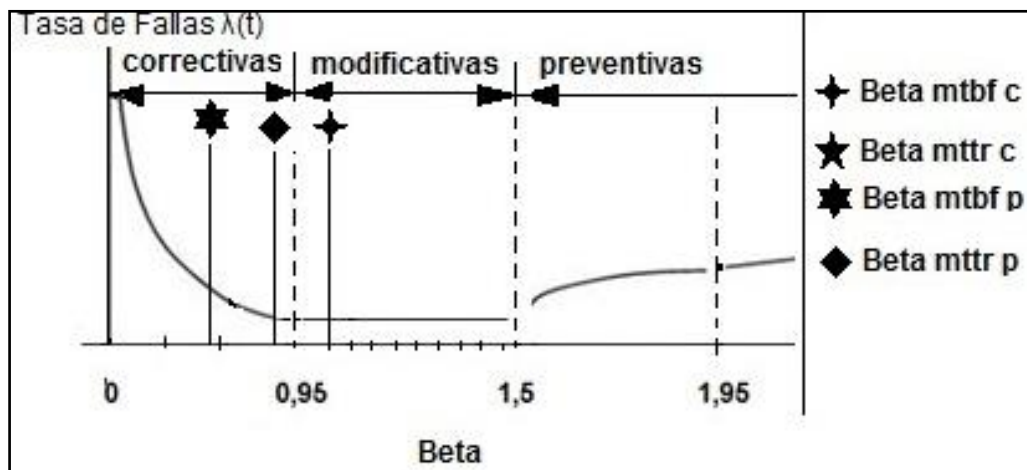


Con los resultados de Beta, se ubica al centro de mecanizado 28CM01 en la curva de la bañera o de Davies, con lo que se determina en que fase se encuentra el equipo, en la Tabla 36 se puede ver que el único valor que no se puede tener en cuenta es el de Beta asociado al MTTR correctivo, dado que no se encuentra en el rango de 0,9025 a 1,0000 para r^2 ; los otros tres valores se pueden encontrar graficados en la Figura 38.

Tabla 36. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM01.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1051,02	1,074	0,972	20,21	0,795	0,753	1302,39	0,599	0,972	13,40	0,869	0,905

Figura 38. Ubicación Betas de 28CM01 en la curva de la bañera.



En la Figura 38 se observa que el tiempo medio de reparación y el tiempo medio entre fallas preventivos se encuentran aun en la fase de mortalidad infantil y que el tiempo medio entre fallas correctivo se encuentra en al etapa de madurez o de vida útil.

3.6.2.4 Estimación de parámetros para el equipo 28CM08.

Tabla 37. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM08.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard					Alineación con regresión Mínimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM08 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada $RM = (j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresión	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresión
200020470	50	2047,50	1	2843,58	0,8510	6,7126	0,6440	7,9528
200020957	51	2843,58	1	2906,50	0,8682	7,5844	0,7061	7,9747
200021918	52	3176,58	1	3137,00	0,8853	8,7164	0,7725	8,0510
200022076	53	404,50	1	3176,58	0,9024	10,2456	0,8445	8,0636
200022150	54	20,00	1	3219,50	0,9195	12,4255	0,9242	8,0770
200022179	55	39,50	1	3887,83	0,9366	15,7838	1,0149	8,2656
200022871	56	2008,00	1	4150,17	0,9538	21,6296	1,1230	8,3309
200023063	57	279,50	1	5889,87	0,9709	34,3529	1,2632	8,6810
200023048	58	94,00	1	7322,00	0,9880	83,4286	1,4870	8,8986
Ecuación				$y = 0,891x - 6,399$				
Coeficiente de Determinación				$R^2 = 0,989$				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,891				
Intercepto				-6,399				
$\eta = \text{Eta} = e^{-(\text{intercepto}/\text{pendiente})}$				1315,2975				
MTBF Correctivo = $\eta * e^{(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))}$				1391,6513				

Figura 39. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM08.

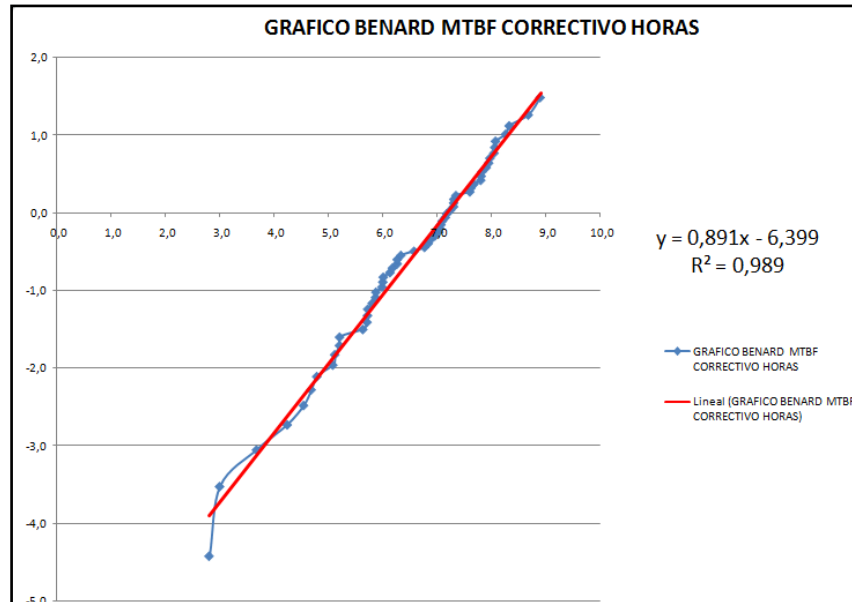


Tabla 38. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM08.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM08 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200020957	51	1	1	72	0,8682	7,5844	0,7061	4,2767
200021918	52	28	1	77	0,8853	8,7164	0,7725	4,3475
200022076	53	4	1	105	0,9024	10,2456	0,8445	4,6524
200022150	54	177	1	119	0,9195	12,4255	0,9242	4,7791
200022179	55	8	1	128	0,9366	15,7838	1,0149	4,8481
200022871	56	9	1	177	0,9538	21,6296	1,1230	5,1733
200023063	57	2	1	220	0,9709	34,3529	1,2632	5,3936
200023048	58	10	1	562	0,9880	83,4286	1,4870	6,3306
Ecuacion				$y = 0,7652x - 2,3298$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,8341$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,7652				
Intercepto				-2,3298				
$\eta = \text{Eta} = e^{\wedge} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				21,0036				
MTTR Correctivo = $\eta * e^{\wedge}(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))$				24,6064				

Figura 40. Línea de tendencia y r² con Down Times correctivos 28CM08.

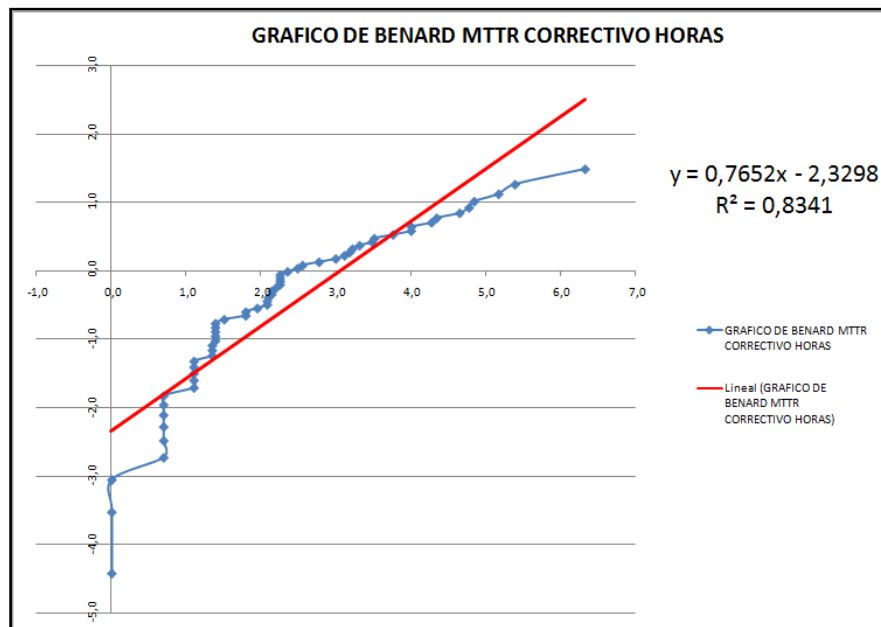


Tabla 39. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM08.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM08 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021742	68	66,00	1	3091,17	0,8979	9,7922	0,8249	8,0363
210022571	69	1861,17	1	3797,50	0,9111	11,2537	0,8841	8,2421
210023068	70	1681,38	1	3912,00	0,9244	13,2281	0,9487	8,2718
210023838	71	2382,00	1	3932,45	0,9377	16,0426	1,0207	8,2770
210024253	72	212,83	1	3966,00	0,9509	20,3784	1,1034	8,2855
210024254	73	141,17	1	4059,67	0,9642	27,9259	1,2028	8,3089
210024243	74	3091,17	1	4423,33	0,9775	44,3529	1,3329	8,3946
210025071	75	3797,50	1	4526,50	0,9907	107,7143	1,5432	8,4177
Ecuacion				$y = 0,587x - 3,909$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,974$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,587				
Intercepto				-3,909				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				779,9927				
MTBF Preventivo= $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))}$				1208,2864				

Figura 41. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM08.

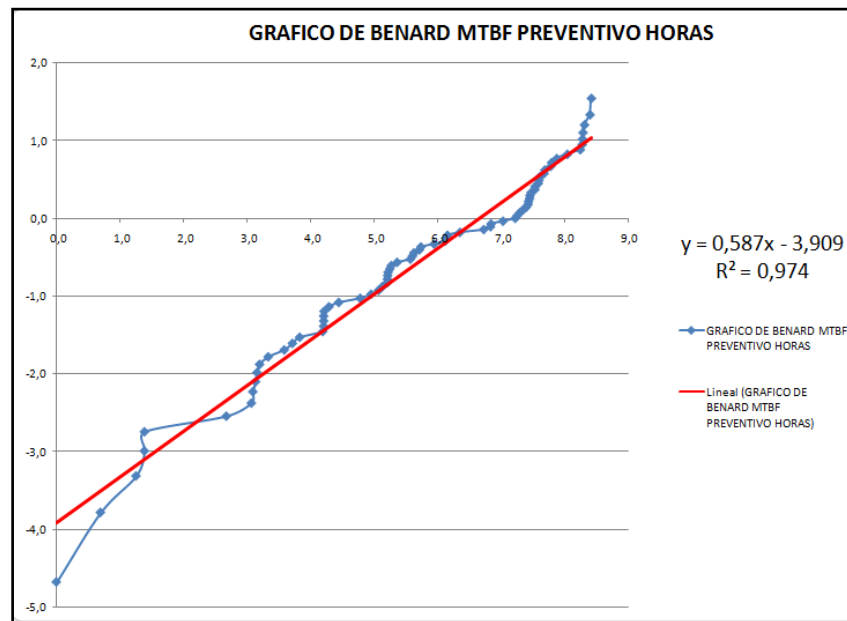
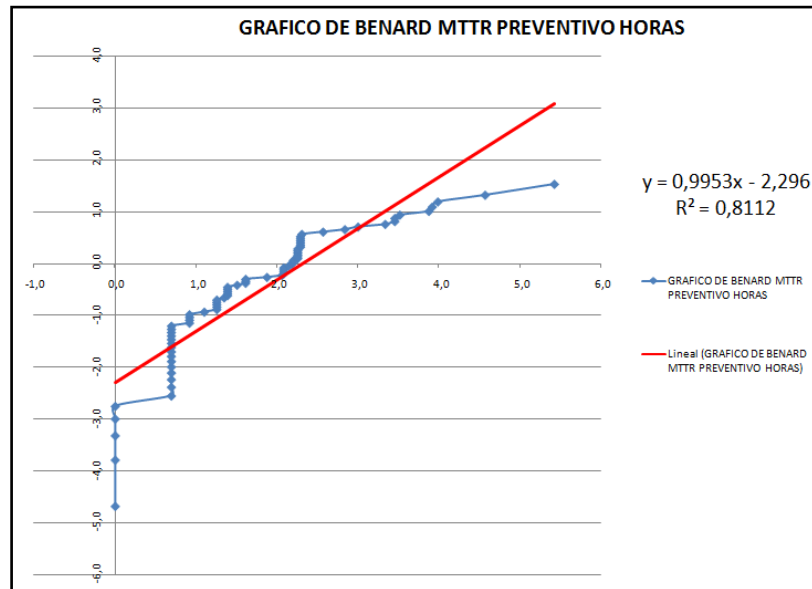


Tabla 40. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM08.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM08 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Daros de Reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de Reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021742	68	50,00	1	31,50	0,8979	9,7922	0,8249	3,4500
210022571	69	9,83	1	31,50	0,9111	11,2537	0,8841	3,4500
210023068	70	9,83	1	33,50	0,9244	13,2281	0,9487	3,5115
210023838	71	9,00	1	48,00	0,9377	16,0426	1,0207	3,8712
210024253	72	4,00	1	50,00	0,9509	20,3784	1,1034	3,9120
210024254	73	2,00	1	53,50	0,9642	27,9259	1,2028	3,9797
210024243	74	3,83	1	96,00	0,9775	44,3529	1,3329	4,5643
210025071	75	8,00	1	225,83	0,9907	107,7143	1,5432	5,4198
Ecuacion				$y = 0,9953x - 2,296$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,8112$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,9953				
Intercepto				-2,296				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{intercepto/pendiente}}$				10,0427				
MTTR PREVENTIVO = $\eta * e^{\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta))}$				10,0628				

Figura 42. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM08.

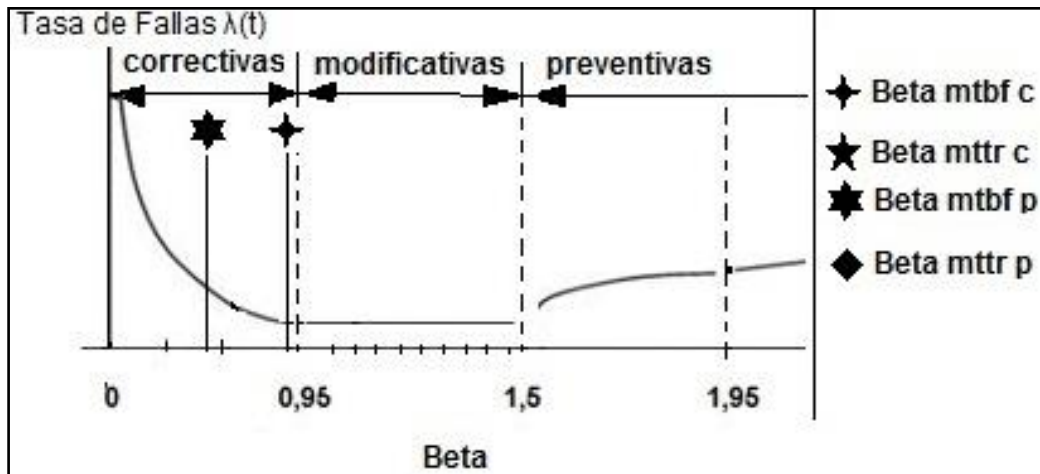


Con los resultados de Beta, se ubica al centro de mecanizado 28CM08 en la curva de la bañera o de Davies, con lo que se determina en que fase se encuentra el equipo, en la Tabla 41 se puede ver que en el rango de 0,9025 a 1,0000 para r^2 no se encuentran los valores de MTTR correctivo, MTTR preventivo y sus respectivos Betas; los otros dos valores se pueden encontrar graficados en la Figura 43.

Tabla 41. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM08.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1391.65	0.891	0.989	24.60	0.765	0.834	1208.28	0.587	0.974	10.06	0.995	0.811

Figura 43. Ubicación Betas de 28CM08 en la curva de la bañera.



En la Figura 43 se observa que el centro de mecanizado 28CM08 se encuentra en la zona de mortalidad infantil, los betas obtenidos a través de tiempo medio entre fallas correctivas y preventivas (MTBF c, MTBF p) se ubican únicamente en esta fase de la curva de la bañera.

3.6.2.5 Estimación de parámetros para el equipo 28CM12.

Tabla 42. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM12.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard					Alineación con regresion Minimos Cuadrados			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM12 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200020988	39	8137,88	1	3451,17	0,8341	6,0260	0,5856	8,1465
200021302	40	819,12	1	3621,50	0,8556	6,9254	0,6602	8,1946
200021638	41	789,00	1	4612,50	0,8772	8,1404	0,7404	8,4365
200021694	42	132,00	1	5121,00	0,8987	9,8723	0,8284	8,5411
200022102	43	1350,50	1	5773,00	0,9203	12,5405	0,9278	8,6609
200022231	44	351,50	1	7174,28	0,9418	17,1852	1,0452	8,8783
200022427	45	522,00	1	8137,88	0,9634	27,2941	1,1959	9,0043
200022687	46	485,00	1	9676,67	0,9849	66,2857	1,4336	9,1775
Ecuación				y = 0,828x - 6,075				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,975				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,828				
Intercepto				-6,075				
η = Eta = e ^Λ · (intercepto/pendiente)				1536,0301				
MTBF Correctivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				1699,5660				

Figura 44. Línea de tendencia y r² con Up Times correctivos 28CM12

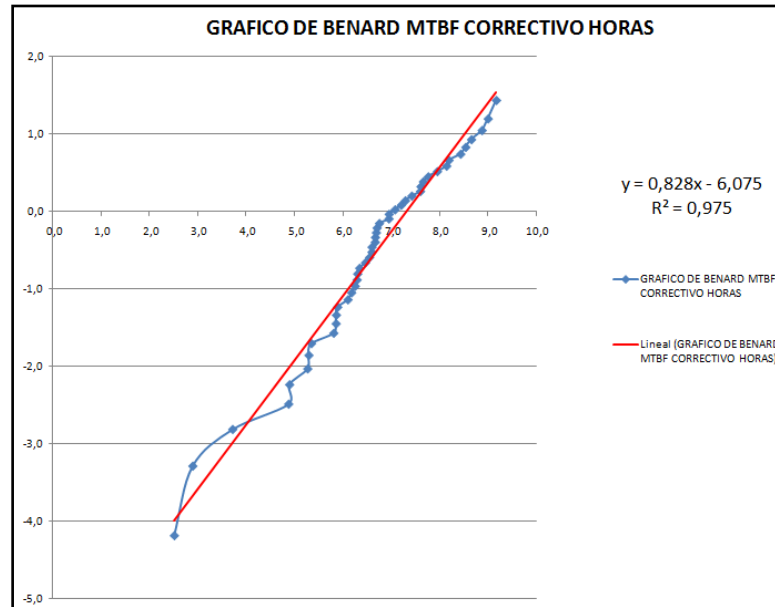


Tabla 43. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM12.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM12 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de repaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200020988	39	25,50	1	9,83	0,8341	6,0260	0,5856	2,2858
200021302	40	23,17	1	23,17	0,8556	6,9254	0,6602	3,1427
200021638	41	2,00	1	25,50	0,8772	8,1404	0,7404	3,2387
200021694	42	38,00	1	29,00	0,8987	9,8723	0,8284	3,3673
200022102	43	8,50	1	30,50	0,9203	12,5405	0,9278	3,4177
200022231	44	4,00	1	32,83	0,9418	17,1852	1,0452	3,4914
200022427	45	8,50	1	33,83	0,9634	27,2941	1,1959	3,5214
200022687	46	5,50	1	38,00	0,9849	66,2857	1,4336	3,6376
Ecuacion				$y = 1,226x - 2,651$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,739$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				1,226				
Intercepto				-2,651				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				8,6912				
MTTR Correctivo = $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\theta))}}$				8,1318				

Figura 45. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM12.

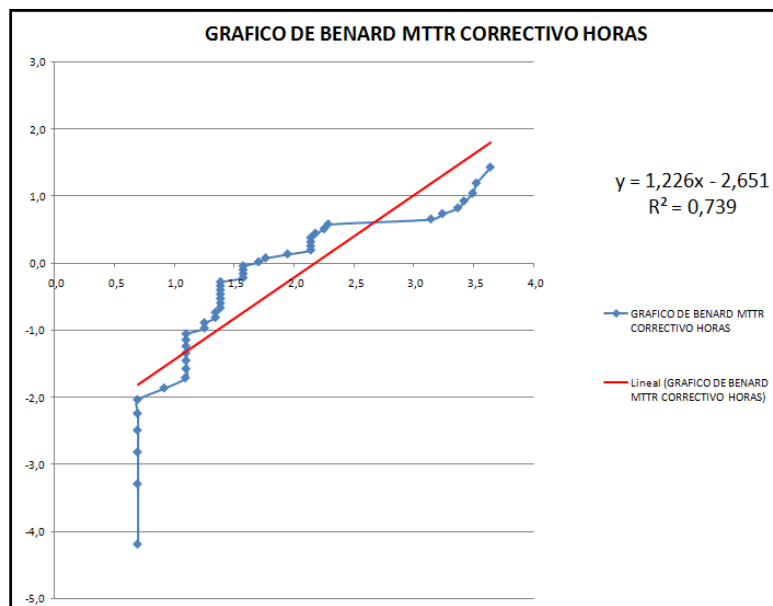


Tabla 44. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM12.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimios Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM12 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210023572	61	369,50	1	3410,17	0,8874	8,8831	0,7812	8,1345
210023573	62	279,00	1	3465,50	0,9020	10,2090	0,8430	8,1506
210025050	63	6169,33	1	3490,33	0,9167	12,0000	0,9102	8,1578
210025324	64	571,00	1	3951,57	0,9313	14,5532	0,9850	8,2819
210025327	65	499,00	1	4095,17	0,9459	18,4865	1,0706	8,3176
210025654	66	824,00	1	5014,00	0,9605	25,3333	1,1731	8,5200
210025655	67	205,50	1	6169,33	0,9751	40,2353	1,3069	8,7273
210025656	68	469,50	1	6756,00	0,9898	97,7143	1,5221	8,8182
Ecuacion				$y = 0,58x - 3,888$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,971$				
β = Beta = pendiente de la recta				0,580				
Intercepto				-3,888				
η = Eta = $e^{-\beta}$ - (intercepto/pendiente)				815,2121				
MTBF Preventivo = $\eta * e^{\beta(GAMMA.LN(1+(1/\beta)))}$				1283,8663				

Figura 46. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM12.

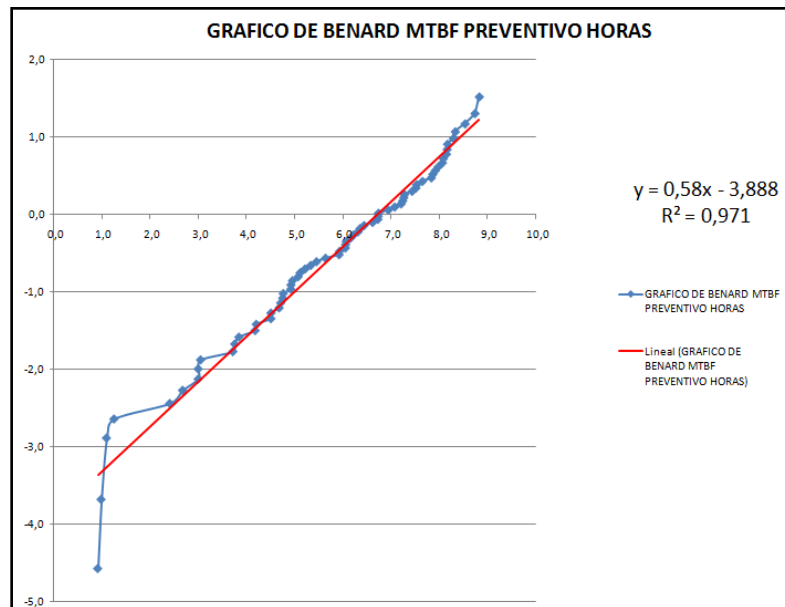
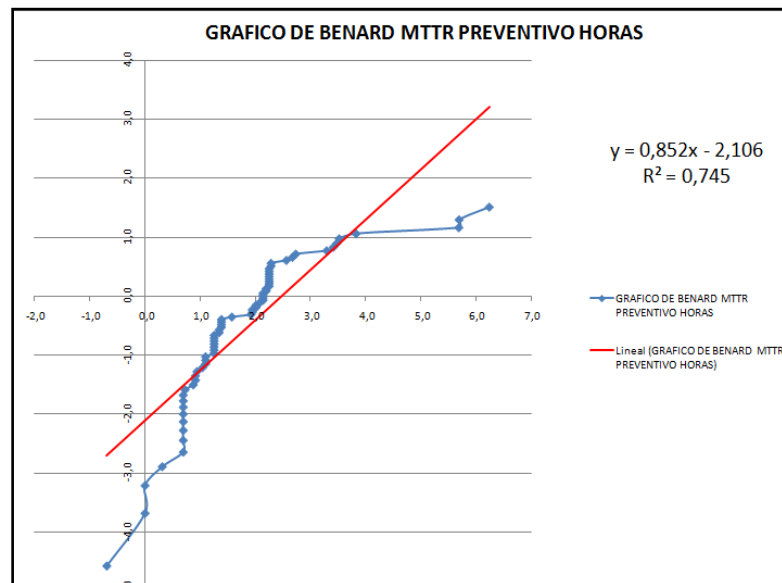


Tabla 45. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM12.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimios Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM12 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Daros de Reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de Reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210023572	61	14,50	1	27,00	0,8874	8,8831	0,7812	3,2958
210023573	62	9,00	1	30,50	0,9020	10,2090	0,8430	3,4177
210025050	63	1,00	1	32,50	0,9167	12,0000	0,9102	3,4812
210025324	64	0,50	1	33,83	0,9313	14,5532	0,9850	3,5214
210025327	65	296,00	1	46,00	0,9459	18,4865	1,0706	3,8286
210025654	66	32,50	1	296,00	0,9605	25,3333	1,1731	5,6904
210025655	67	2,00	1	297,83	0,9751	40,2353	1,3069	5,6965
210025656	68	2,00	1	513,83	0,9898	97,7143	1,5221	6,2419
Ecuacion				$y = 0,852x - 2,106$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,745$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,852				
Intercepto				-2,106				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\theta} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				11,8441				
MTTR Preventivo = $\eta * e^{\theta \text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta))}$				12,8670				

Figura 47. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM12.

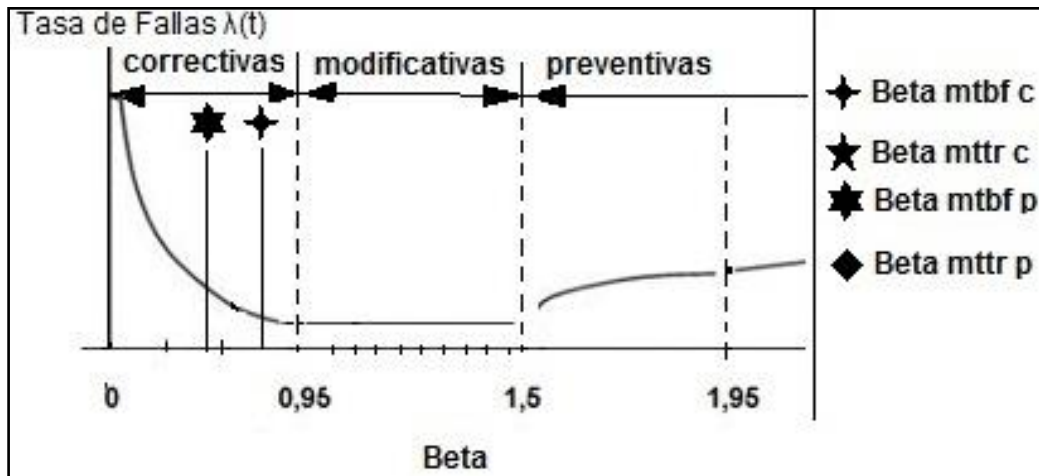


Con los resultados de Beta, se ubica al centro de mecanizado 28CM12 en la curva de la bañera o de Davies, entonces se determina en que fase se encuentra el equipo, en la Tabla 46 se puede ver que en el rango de 0,9025 a 1,0000 para r^2 no se encuentran los valores de MTTR correctivo, MTTR preventivo y sus respectivos Betas; los Betas asociados a MTBF correctivo y preventivo se pueden encontrar graficados en la Figura 48.

Tabla 46. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM12.

EQUIPO	MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
28CM12	1699,56	0,828	0,975	8,131	1,226	0,739	1283,86	0,580	0,971	12,86	0,852	0,745

Figura 48. Ubicación Betas de 28CM12 en la curva de la bañera.



En la Figura 48 se encuentra que el equipo aun se encuentra en la fase de mortalidad infantil, una vez se ubican los valores de Beta asociados a los datos obtenidos en los tiempos medios entre fallas correctivos y preventivos pese a tener 10 años de servicio y un plan de mantenimiento preventivo desde entonces.

3.6.2.6 Estimación de parámetros para el equipo 28CM07.

Tabla 47. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM07.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard						Alineación con regresión Mínimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM07 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021801	56	3906,00	1	3235,50	0,8785	8,2338	0,7459	8,0819
200021939	57	1016,50	1	3292,00	0,8943	9,4627	0,8098	8,0993
200022115	58	399,50	1	3511,50	0,9101	11,1228	0,8792	8,1638
200022410	59	639,50	1	3906,00	0,9259	13,4894	0,9562	8,2703
200022443	60	454,00	1	4117,88	0,9416	17,1351	1,0442	8,3231
200022634	61	63,50	1	4241,53	0,9574	23,4815	1,1494	8,3527
200023084	62	1359,50	1	4328,17	0,9732	37,2941	1,2862	8,3729
200023091	63	14,50	1	5080,37	0,9890	90,5714	1,5054	8,5331
Ecuacion				y = 0,938x - 6,690				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,987				
β = Beta = pendiente de la recta				0,938				
Intercepto				-6,69				
η = Eta = e ⁻ (intercepto/pendiente)				1251,6227				
MTBF Correctivo=η * e ^{(GAMMA.LN(1+(1/β)))}				1288,8829				

Figura 49. Línea de tendencia y r² con Up Times correctivos 28CM07.

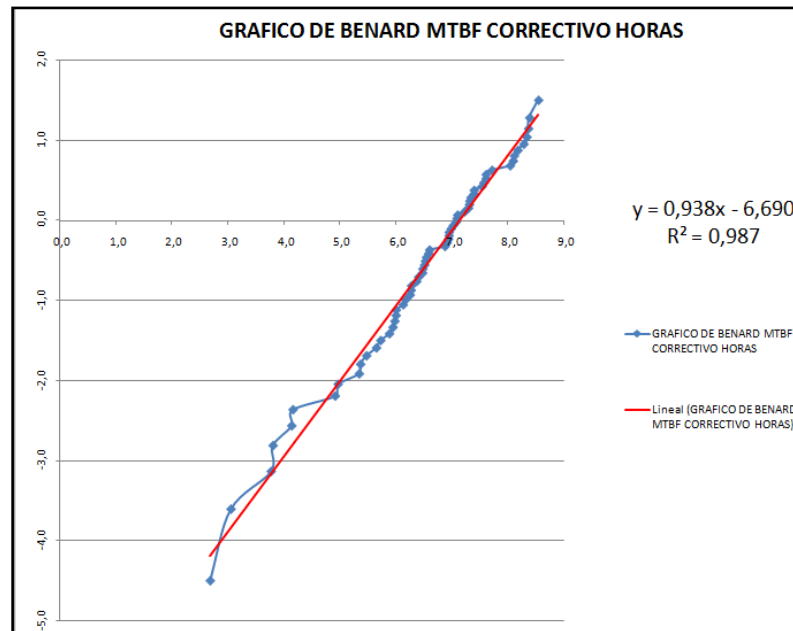


Tabla 48. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM07.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM07 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021801	56	4,00	1	80,00	0,8785	8,2338	0,7459	4,3820
200021939	57	8,50	1	81,50	0,8943	9,4627	0,8098	4,4006
200022115	58	8,50	1	104,50	0,9101	11,1228	0,8792	4,6492
200022410	59	2,00	1	200,50	0,9259	13,4894	0,9562	5,3008
200022443	60	8,50	1	208,50	0,9416	17,1351	1,0442	5,3399
200022634	61	104,50	1	441,00	0,9574	23,4815	1,1494	6,0890
200023084	62	8,50	1	506,95	0,9732	37,2941	1,2862	6,2284
200023091	63	9,50	1	681,83	0,9890	90,5714	1,5054	6,5248
Ecuacion				y = 0,674x - 1,985				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,603				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,674				
Intercepto				-1,985				
η = Eta = e ^Λ - (intercepto/pendiente)				19,0126				
MTTR Correctivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				24,9875				

Figura 50. Línea de tendencia y r² con Down Times correctivos 28CM07.

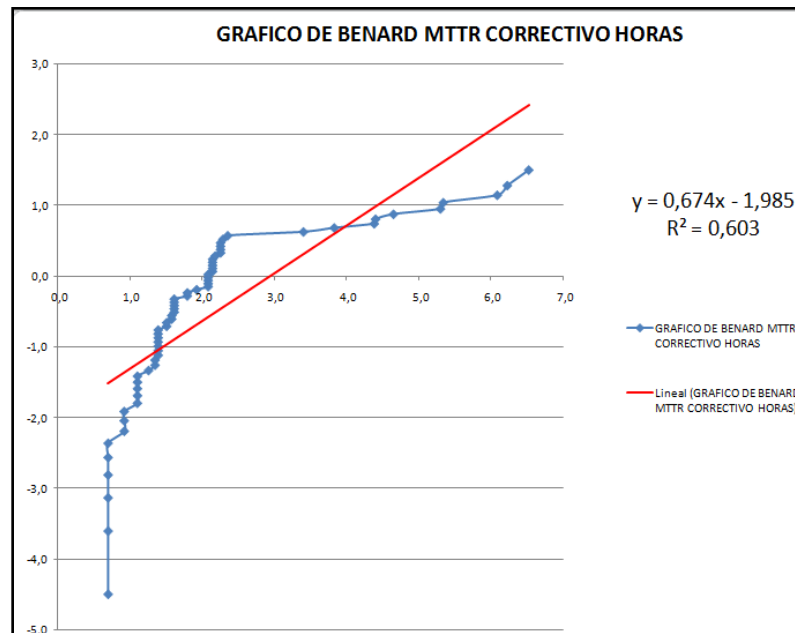


Tabla 49. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM07.

Estimación de parametros con aproximación de Rango de Medianas Benard					Alineación con regresion Mínimos Cuadrados			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM07 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021377	58	3376,00	1	3930,00	0,8823	8,4935	0,7605	8,2764
210022568	59	789,00	1	3978,00	0,8976	9,7612	0,8235	8,2885
210022569	60	587,50	1	4131,67	0,9128	11,4737	0,8920	8,3264
210023065	61	446,17	1	4241,83	0,9281	13,9149	0,9681	8,3528
210023066	62	6436,50	1	4394,67	0,9434	17,6757	1,0551	8,3881
210025069	63	188,17	1	6153,55	0,9587	24,2222	1,1592	8,7248
210025070	64	448,00	1	6436,50	0,9740	38,4706	1,2947	8,7697
210025252	65	3930,00	1	8547,00	0,9893	93,4286	1,5123	9,0533
Ecuacion				$y = 0,645x - 4,328$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,949$				
β = Beta = pendiente de la recta				0,645				
Intercepto				-4,328				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				820,6343				
MTBF Preventivo= $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\beta))}}$				1130,9444				

Figura 51. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM07.

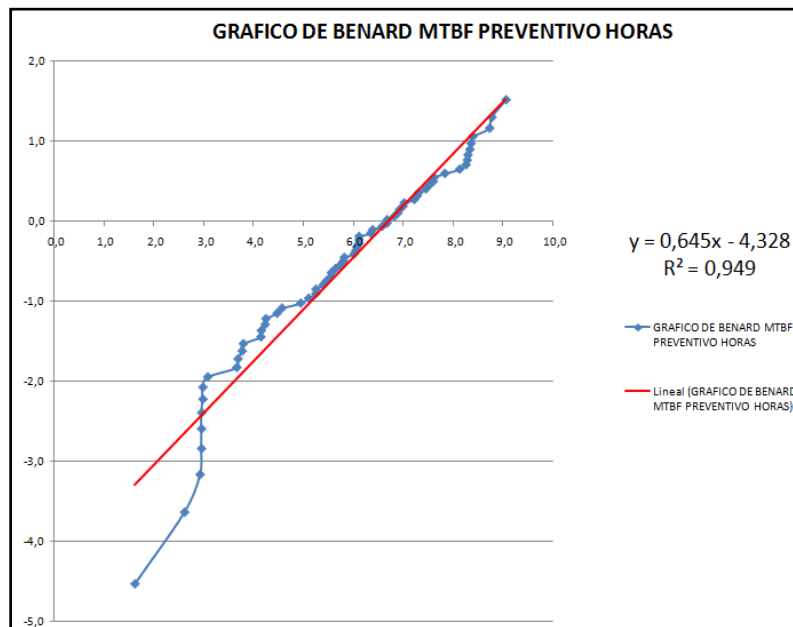
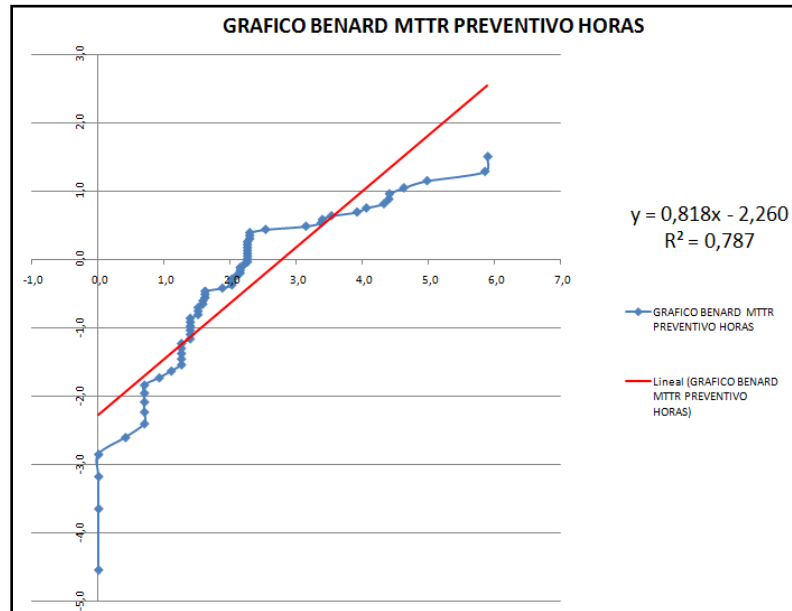


Tabla 50. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM07.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM07 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021377	58	2,00	1	57,50	0,8823	8,4935	0,7605	4,0518
210022568	59	12,50	1	75,00	0,8976	9,7612	0,8235	4,3175
210022569	60	75,00	1	80,83	0,9128	11,4737	0,8920	4,3924
210023065	61	9,83	1	81,50	0,9281	13,9149	0,9681	4,4006
210023066	62	8,50	1	101,30	0,9434	17,6757	1,0551	4,6181
210025069	63	8,50	1	144,00	0,9587	24,2222	1,1592	4,9698
210025070	64	23,00	1	345,83	0,9740	38,4706	1,2947	5,8460
210025252	65	1,00	1	361,00	0,9893	93,4286	1,5123	5,8889
Ecuacion				y = 0,818x - 2,260				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,787				
β = Beta = pendiente de la recta				0,818				
Intercepto				-2,26				
η = Eta = e ^Λ -(intercepto/pendiente)				15,8447				
MTTR Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/β)))				17,6754				

Figura 52. Línea de tendencia y r² con Down Times preventivos 28CM07.

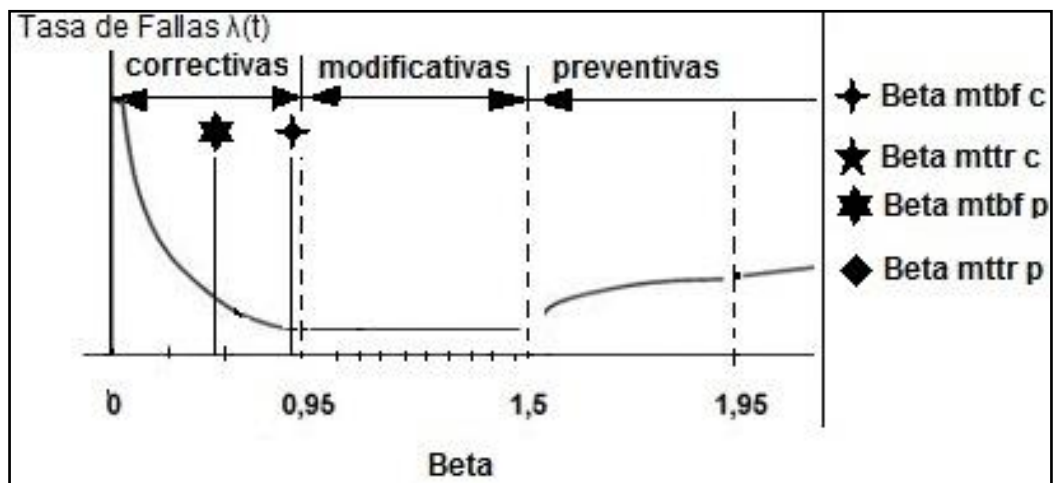


Con los resultados obtenidos para cada uno de los grupos de valores se obtiene que hay dos Betas que están dentro del rango aceptable de r^2 que va desde 0,9025 a 1,0000, y estos son los obtenidos a través de los MTBF correctivo y preventivo, los cuales se presenta en la Tabla 51, se encuentran resaltados los valores que están fuera de rango.

Tabla 51. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM07.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1288,88	0,938	0,987	24,98	0,674	0,603	1130,94	0,645	0,949	17,67	0,818	0,787

Figura 53. Ubicación Betas de 28CM07 en la curva de la bañera .



En la Figura 53 se observa que el centro de mecanizado 28CM07 se encuentra dentro de curva de la bañera en la fase de mortalidad infantil, dado que los valores obtenidos de Beta que son validos están por debajo del valor 0,95, teniendo como criterio de aceptación el coeficiente de determinación muestral r^2 .

3.6.2.7 Estimación de parámetros para el equipo 28CM03

Tabla 52. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM03.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard						Alineación con regresión Mínimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM03 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021002	50	3582,50	1	3286,00	0,8659	7,4545	0,6975	8,0974
200021466	51	450,00	1	3516,00	0,8833	8,5672	0,7645	8,1651
200021852	52	9232,58	1	3582,50	0,9007	10,0702	0,8371	8,1838
200021986	53	1291,92	1	3821,00	0,9181	12,2128	0,9173	8,2483
200022436	54	1055,00	1	3910,55	0,9355	15,5135	1,0086	8,2714
200022724	55	1017,50	1	3994,50	0,9530	21,2593	1,1174	8,2927
200022865	56	1050,00	1	6023,17	0,9704	33,7647	1,2583	8,7034
200023119	57	183,50	1	9232,58	0,9878	82,0000	1,4831	9,1305
Ecuacion				y = 0,970x - 6,975				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,970				
θ = Beta = pendiente de la recta				0,97				
Intercepto				-6,975				
η = Eta = e ^ -(intercepto/pendiente)				1327,0605				
MTBF Correctivo=η * e^(GAMMA.LN(1+(1/θ)))				1344,9390				

Figura 54. Línea de tendencia y r² con Up Times correctivos 28CM03.

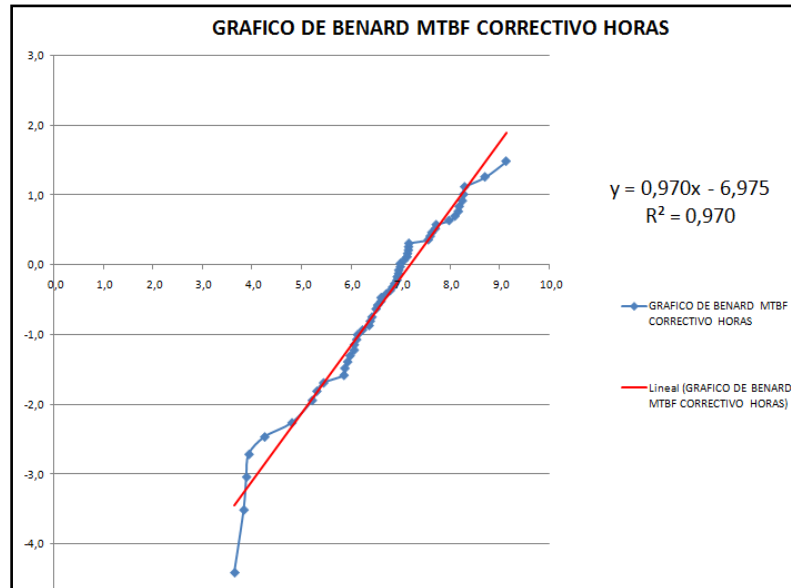


Tabla 53. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM03.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM03 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021002	50	20,50	1	81,50	0,8659	7,4545	0,6975	4,4006
200021466	51	4,00	1	153,50	0,8833	8,5672	0,7645	5,0337
200021852	52	3,50	1	168,00	0,9007	10,0702	0,8371	5,1240
200021986	53	5,00	1	170,08	0,9181	12,2128	0,9173	5,1363
200022436	54	464,50	1	268,00	0,9355	15,5135	1,0086	5,5910
200022724	55	3,00	1	321,50	0,9530	21,2593	1,1174	5,7730
200022865	56	8,00	1	464,50	0,9704	33,7647	1,2583	6,1410
200023119	57	5,50	1	921,50	0,9878	82,0000	1,4831	6,8260
Ecuacion					$y = 0,625x - 1,880$			
Coeficiente de Determinacion					$R^2 = 0,638$			
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$					0,625			
Intercepto					-1,88			
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$					20,2469			
MTTR Correctivo= $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\theta))}}$					28,9454			

Figura 55. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM03 .

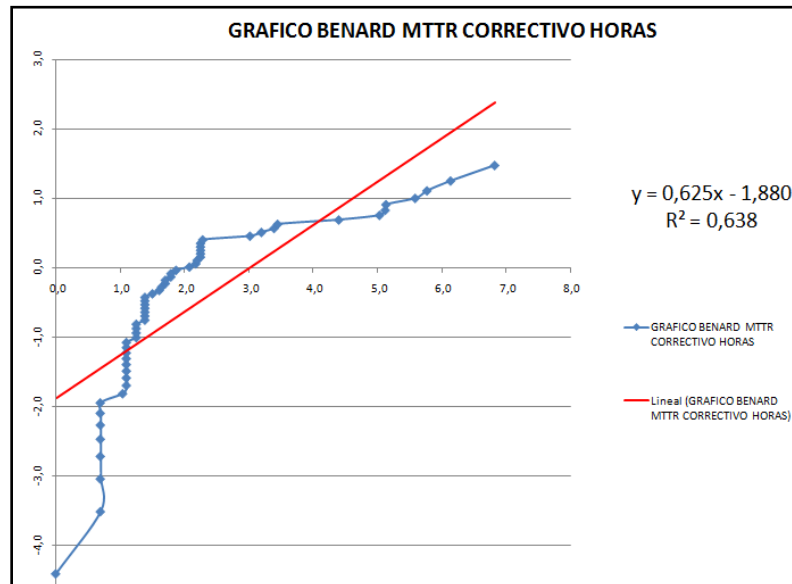


Tabla 54. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM03 .

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM03 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210020421	66	1622,50	1	3389,33	0,8951	9,5325	0,8130	8,1284
210021368	67	50,00	1	3817,03	0,9087	10,9552	0,8729	8,2472
210021369	68	1353,00	1	3899,00	0,9223	12,8772	0,9382	8,2685
210022518	69	4365,00	1	4296,42	0,9360	15,6170	1,0110	8,3655
210023590	70	5205,50	1	4365,00	0,9496	19,8378	1,0945	8,3814
210024801	71	1713,50	1	4974,50	0,9632	27,1852	1,1947	8,5121
210024802	72	1789,00	1	5205,50	0,9768	43,1765	1,3258	8,5575
210025336	73	1417,50	1	5697,00	0,9905	104,8571	1,5374	8,6477
Ecuacion				y = 0,488x - 3,180				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,981				
β = Beta = pendiente de la recta				0,488				
Intercepto				-3,18				
η = Eta = e ^Λ · (intercepto/pendiente)				676,1355				
MTBF Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/β)))				1415,7264				

Figura 56. Línea de tendencia y r² con Up Times preventivos 28CM03.

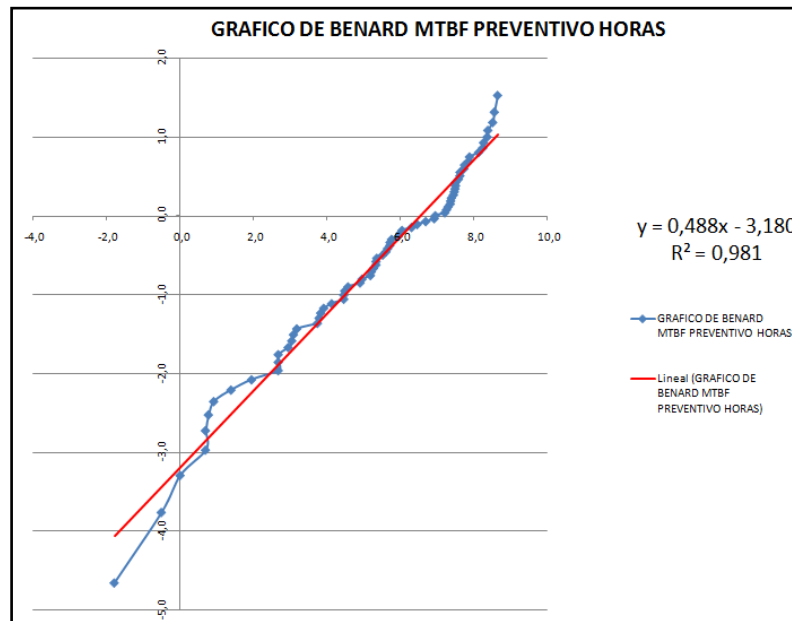
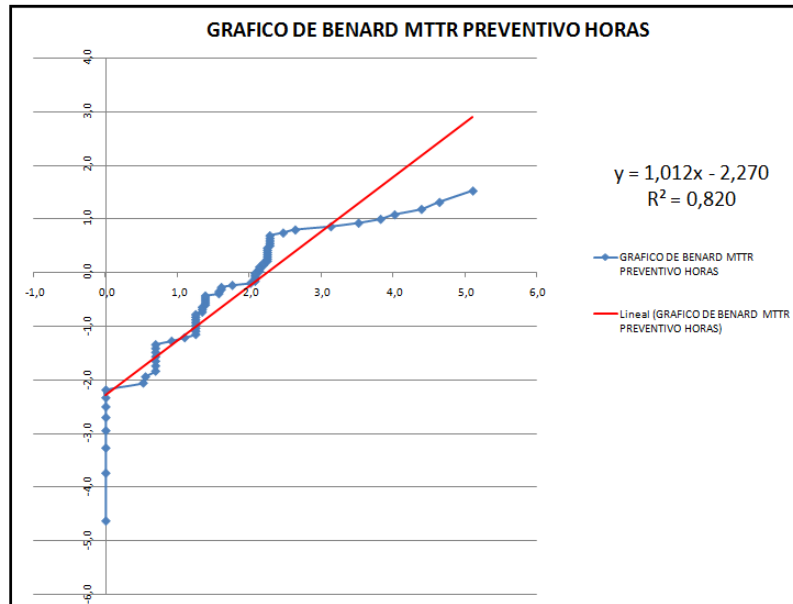


Tabla 55. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM03.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM03 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210020421	65	2,00	1	14,00	0,8936	9,4026	0,8069	2,6391
210021368	66	8,00	1	23,00	0,9075	10,8060	0,8671	3,1355
210021369	67	2,00	1	33,83	0,9213	12,7018	0,9328	3,5214
210022518	68	23,00	1	46,00	0,9351	15,4043	1,0060	3,8286
210023590	69	9,00	1	56,00	0,9489	19,5676	1,0899	4,0254
210024802	70	4,00	1	81,32	0,9627	26,8148	1,1906	4,3984
210025336	71	56,00	1	104,50	0,9765	42,5882	1,3222	4,6492
210025667	72	1,00	1	166,50	0,9903	103,4286	1,5345	5,1150
Ecuacion				y = 1,012x - 2,270				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,820				
β = Beta = pendiente de la recta				1,012				
Intercepto				-2,27				
η = Eta = e ⁻ (intercepto/pendiente)				9,4223				
MTTR Preventiva=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/β)))				9,3756				

Figura 57. Línea de tendencia y r² con Down Times preventivos 28CM03.

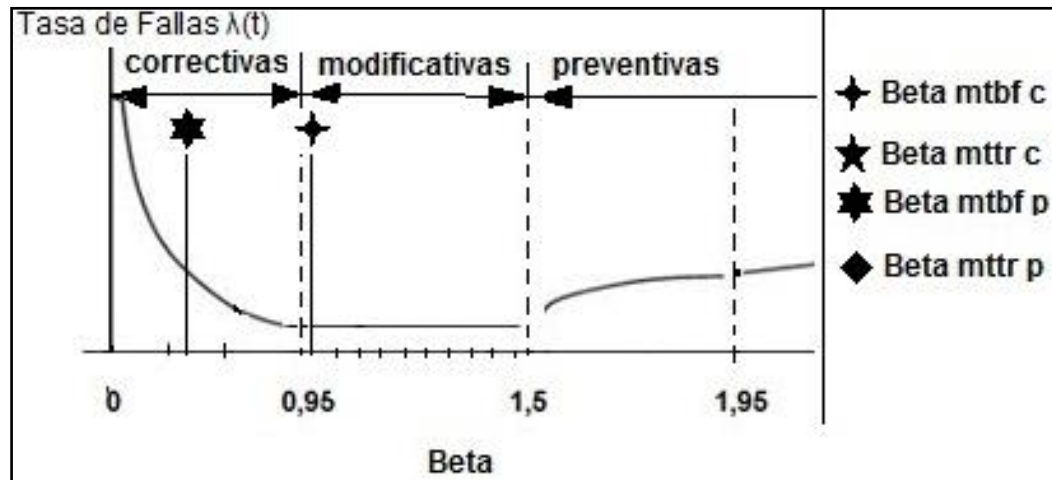


En la tabla 56 se encuentran dos valores de Beta que pueden ser graficados en la curva de la bañera dado que están dentro del rango permisible de r^2 (0,9025 a 1,0000), en contraposición encontramos que los valores asociados a MTTR correctivo y preventivo no alcanzan a estar en el rango para ser incluidos.

Tabla 56. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM03.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1344,93	0,970	0,970	28,94	0,625	0,638	1415,72	0,488	0,981	9,37	1,012	0,820

Figura 58. Ubicación Betas de 28CM03 en la curva de la bañera .



Se puede observar en la Figura 58 que el centro de mecanizado 28CM03 se encuentra en la zona de mortalidad infantil dado que su tiempo medio entre fallas preventivo así lo determina, adicionalmente su tiempo medio entre fallas correctivo ligeramente esta en la etapa de madurez o de vida útil.

3.6.2.8 Estimación de parámetros para el equipo 28CM06

Tabla 57. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM06.

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard						Alineación con regresion Mínimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM06 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200019269	33	1984,50	1	2618,50	0,8094	5,2468	0,5054	7,8704
200019489	34	1250,00	1	2810,15	0,8342	6,0299	0,5860	7,9410
200020747	35	7309,17	1	3436,50	0,8589	7,0877	0,6721	8,1422
200021519	36	2420,00	1	3505,50	0,8837	8,5957	0,7661	8,1621
200021747	37	184,00	1	3995,67	0,9084	10,9189	0,8715	8,2930
200022646	38	2618,50	1	6048,33	0,9332	14,9630	0,9953	8,7075
200022788	39	430,33	1	7309,17	0,9579	23,7647	1,1532	8,8969
200023012	40	782,17	1	17041,83	0,9827	57,7143	1,4001	9,7434
Ecuacion				$y = 0,893x - 6,673$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,975$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,893				
Intercepto				-6,673				
$\eta = \text{Eta} = e^{\wedge} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				1759,1120				
MTBF Correctivo= $\eta * e^{\wedge}(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))$				1858,9008				

Figura 59. Línea de tendencia y r^2 con Up Times correctivos 28CM06.

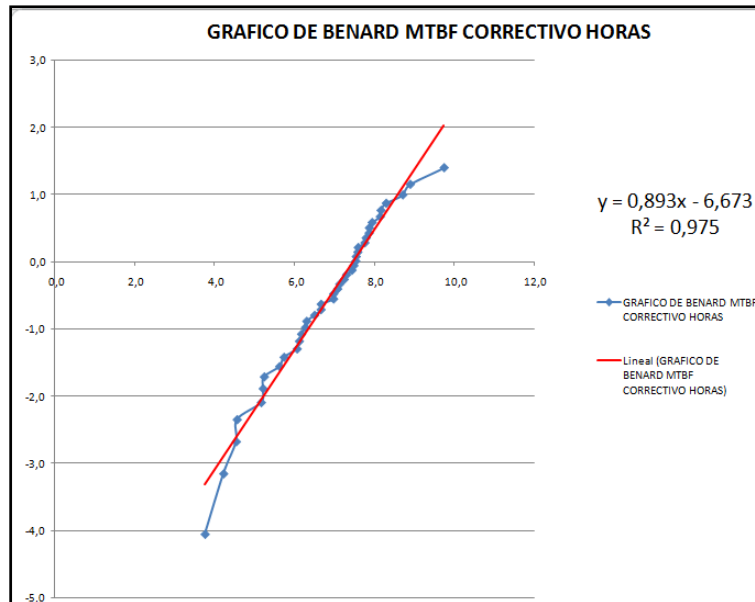


Tabla 58. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM06.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM06 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200019269	33	25,00	1	20,00	0,8094	5,2468	0,5054	2,9957
200019489	34	2,00	1	24,00	0,8342	6,0299	0,5860	3,1781
200020747	35	6,00	1	25,00	0,8589	7,0877	0,6721	3,2189
200021519	36	414,00	1	25,00	0,8837	8,5957	0,7661	3,2189
200021747	37	29,00	1	28,50	0,9084	10,9189	0,8715	3,3499
200022646	38	8,50	1	29,00	0,9332	14,9630	0,9953	3,3673
200022788	39	3,00	1	171,50	0,9579	23,7647	1,1532	5,1446
200023012	40	4,00	1	414,00	0,9827	57,7143	1,4001	6,0259
Ecuacion				y = 0,918x - 2,479				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,723				
β = Beta = pendiente de la recta				0,918				
Intercepto				-2,479				
η = Eta = e ^Λ - (intercepto/pendiente)				14,8862				
MTTR Correctivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/β)))				15,4982				

Figura 60. Línea de tendencia y r² con Down Times correctivos 28CM06 .

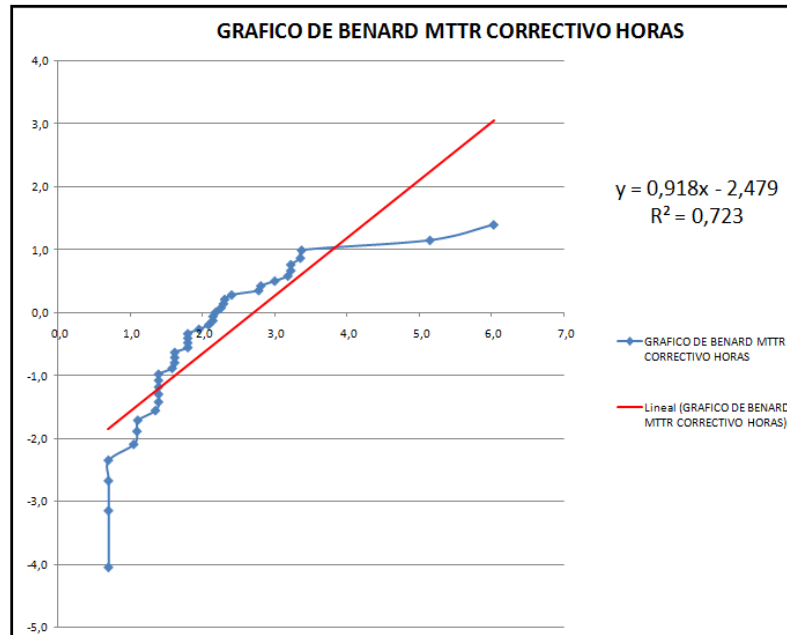


Tabla 59. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM06.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM06 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210022567	61	2004,00	1	3327,17	0,8874	8,8831	0,7812	8,1099
210023025	62	1550,17	1	3765,20	0,9020	10,2090	0,8430	8,2336
210023026	63	423,00	1	3838,00	0,9167	12,0000	0,9102	8,2527
210023063	64	87,00	1	3860,00	0,9313	14,5532	0,9850	8,2584
210023064	65	1647,00	1	3861,67	0,9459	18,4865	1,0706	8,2589
210024104	66	3838,00	1	4103,00	0,9605	25,3333	1,1731	8,3195
210025350	67	687,50	1	4128,67	0,9751	40,2353	1,3069	8,3257
210025353	68	2716,50	1	9617,83	0,9898	97,7143	1,5221	9,1714
Ecuacion				$y = 0,680x - 4,582$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,948$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,68				
Intercepto				-4,582				
$\eta = \text{Eta} = e^{\Lambda - (\text{intercepto}/\text{pendiente})}$				844,0699				
MTBF Preventivo= $\eta * e^{\Lambda(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))}$				1099,3234				

Figura 61. Línea de tendencia y r^2 con Up Times preventivos 28CM06.

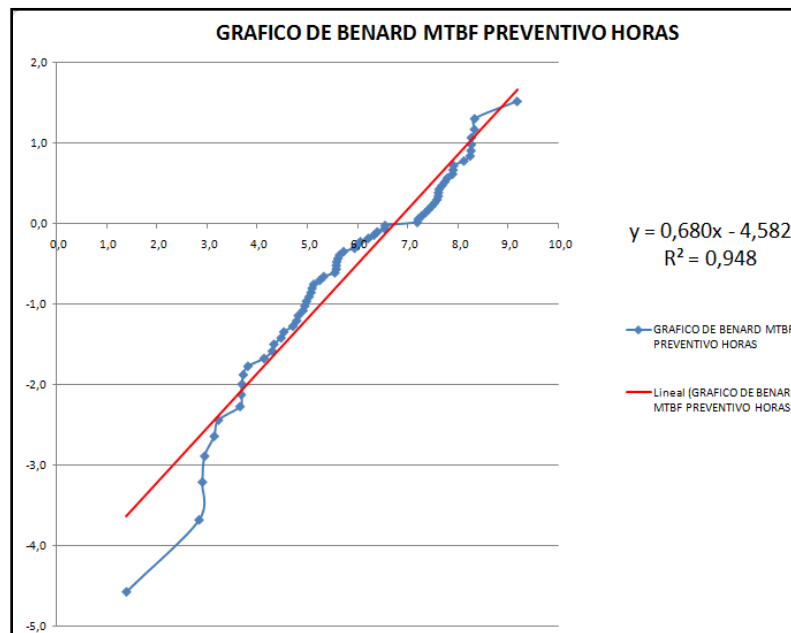
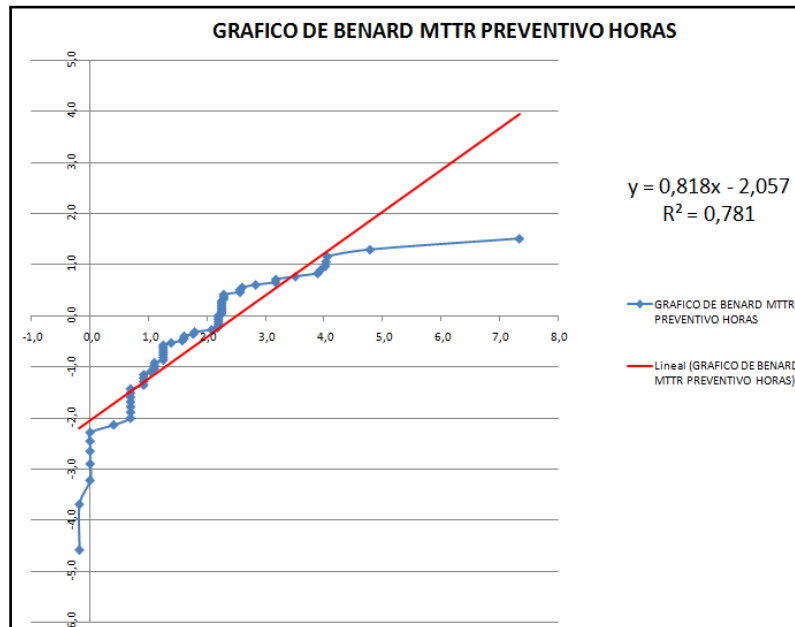


Tabla 60. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM06 .

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM06 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210022567	61	24,00	1	33,50	0,8874	8,8831	0,7812	3,5115
210023025	62	9,00	1	49,00	0,9020	10,2090	0,8430	3,8918
210023026	63	9,00	1	51,50	0,9167	12,0000	0,9102	3,9416
210023063	64	9,83	1	56,00	0,9313	14,5532	0,9850	4,0254
210023064	65	9,00	1	56,50	0,9459	18,4865	1,0706	4,0342
210024104	66	9,00	1	57,83	0,9605	25,3333	1,1731	4,0576
210025350	67	56,50	1	120,00	0,9751	40,2353	1,3069	4,7875
210025353	68	56,00	1	1541,00	0,9898	97,7143	1,5221	7,3402
Ecuacion				$y = 0,818x - 2,057$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,781$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,818				
Intercepto				-2,057				
$\eta = \text{Eta} = e^{\wedge} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				12,3625				
MTTR Preventivo= $\eta * e^{\wedge}(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))$				13,7908				

Figura 62. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM06.

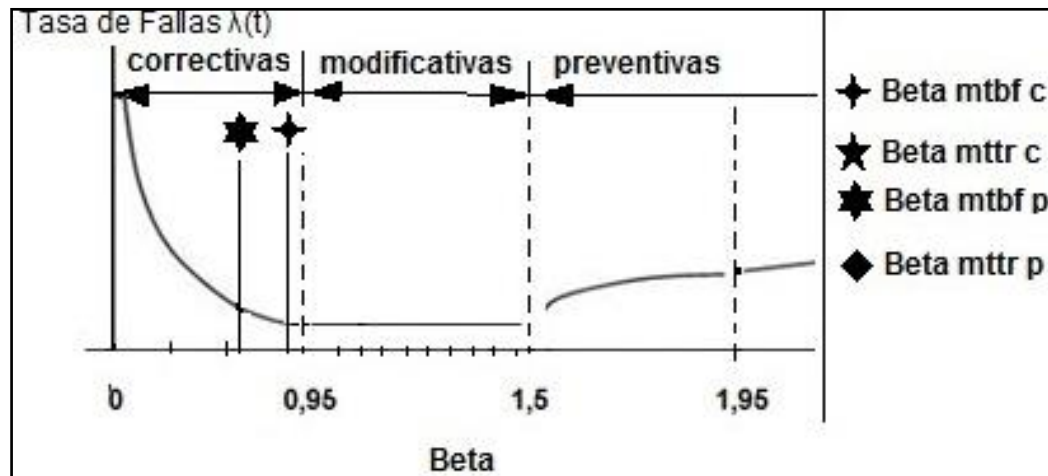


En la Tabla 61 se observa que los valores validos para ser graficados en la curva de la bañera con los asociados a los tiempos medios entre fallas correctivas y preventivas los cuales están dentro del rango aceptable para el coeficiente de determinación muestral r^2 que debe estar entre 0,9025 y 1,0000.

Tabla 61. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM06.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1858.9	0.893	0.975	15.49	0.918	0.723	1099.32	0.680	0.948	13.79	0.818	0.718

Figura 63. Ubicación Betas de 28CM06 en la curva de la bañera.



En la Figura 63 se observa que el centro de mecanizado 28CM06 esta ubicado en la zona de mortalidad infantil, dado que los dos Betas asociados a los tiempos medios entre fallas correctivos y preventivos así lo están indicando.

3.6.2.9 Estimación de parámetros para el equipo 28CM13

Tabla 62. MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM13

Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard					Alineación con regresión Mínimos Cuadrados			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM13 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresión	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresión
200021848	40	42,00	1	2422,17	0,8376	6,1558	0,5974	7,7924
200022033	41	1064,50	1	3066,00	0,8586	7,0746	0,6712	8,0281
200022077	42	87,50	1	4348,00	0,8797	8,3158	0,7505	8,3775
200022107	43	87,50	1	4862,33	0,9008	10,0851	0,8377	8,4893
200022454	44	727,00	1	5267,25	0,9219	12,8108	0,9362	8,5693
200022663	45	549,50	1	5926,58	0,9430	17,5556	1,0527	8,6872
200022821	46	666,00	1	8463,50	0,9641	27,8824	1,2024	9,0435
200022940	47	215,50	1	13707,33	0,9852	67,7143	1,4387	9,5257
Ecuación				y = 0,733x - 5,227				
Coeficiente de Determinación				R ² = 0,967				
β = Beta = pendiente de la recta				0,733				
Intercepto				-5,227				
η = Eta = e ^Λ · (intercepto/pendiente)				1250,0872				
MTBF Correctivo = η * e ^{Λ(GAMMA.LN(1+(1/β)))}				1517,5038				

Figura 64. Línea de tendencia y r² con Up Times correctivos 28CM13.

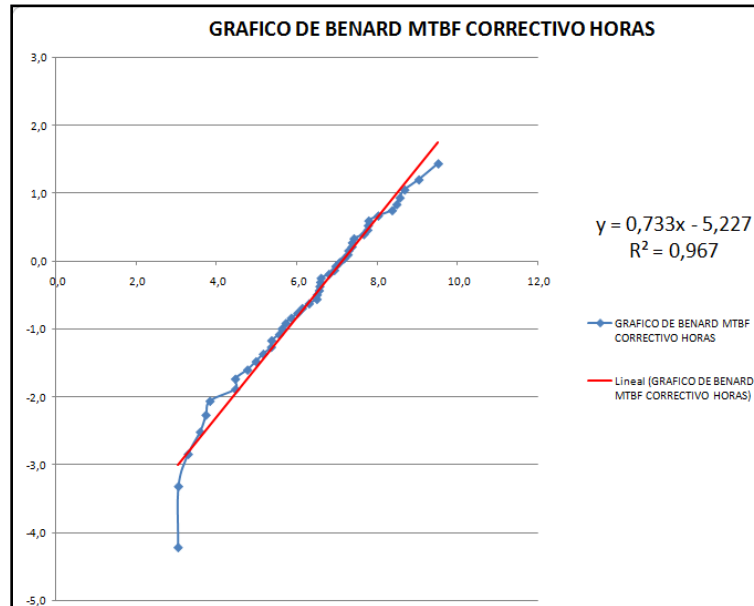


Tabla 63. MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación 28CM13.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM13 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparacion en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200021848	40	4,00	1	21,00	0,8376	6,1558	0,5974	3,0445
200022033	41	8,50	1	23,00	0,8586	7,0746	0,6712	3,1355
200022077	42	8,50	1	26,50	0,8797	8,3158	0,7505	3,2771
200022107	43	8,50	1	40,00	0,9008	10,0851	0,8377	3,6889
200022454	44	2,50	1	49,33	0,9219	12,8108	0,9362	3,8986
200022663	45	6,00	1	75,00	0,9430	17,5556	1,0527	4,3175
200022821	46	0,50	1	75,75	0,9641	27,8824	1,2024	4,3274
200022940	47	2,50	1	1137,50	0,9852	67,7143	1,4387	7,0366
Ecuacion				$y = 0,834x - 2,217$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,806$				
$\beta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,834				
Intercepto				-2,217				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{(intercepto/pendiente)}}$				14,2716				
MTTR Correctivo= $\eta * e^{\text{(GAMMA.LN(1+(1/\beta)))}}$				15,7163				

Figura 65. Línea de tendencia y r^2 con Down Times correctivos 28CM13 .

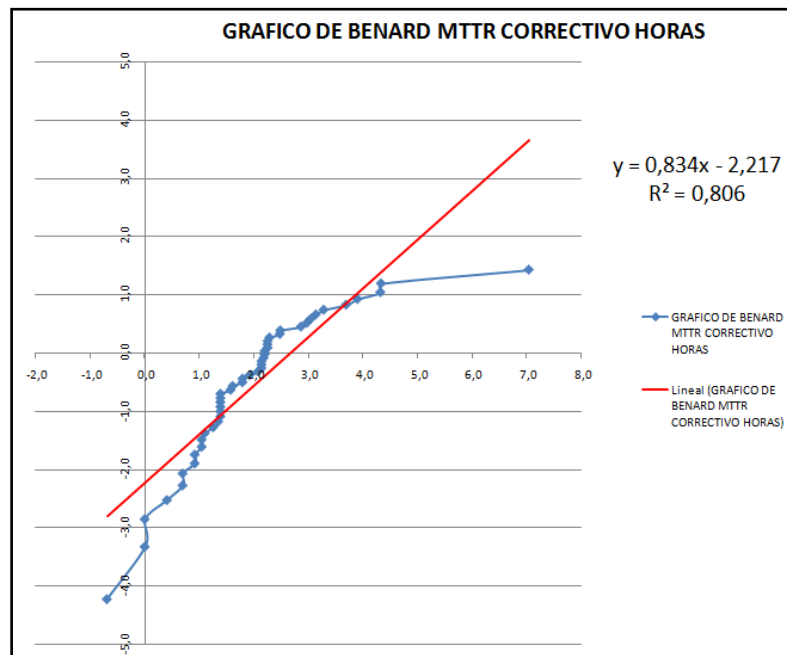


Tabla 64. MTBF y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM13.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM13 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominad a RM = (j- 0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1- RM))) es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210023605	69	1041,00	1	3219,33	0,8992	9,9221	0,8306	8,0769
210023606	70	3429,75	1	3326,17	0,9123	11,4030	0,8895	8,1096
210024489	71	124,50	1	3374,50	0,9254	13,4035	0,9538	8,1240
210024544	72	371,00	1	3429,75	0,9385	16,2553	1,0255	8,1402
210024545	73	2103,67	1	4506,00	0,9516	20,6486	1,1078	8,4132
210025340	74	331,00	1	4642,67	0,9647	28,2963	1,2068	8,4430
210025342	75	811,00	1	4859,67	0,9777	44,9412	1,3364	8,4887
210025677	76	1542,50	1	7543,62	0,9908	109,1429	1,5460	8,9285
Ecuacion				y = 0,605x - 3,977				
Coeficiente de Determinacion				R ² = 0,985				
β = Beta = pendiente de la recta				0,605				
Intercepto				-3,977				
η = Eta = e ^Λ -(intercepto/pendiente)				715,9095				
MTBF Preventivo=η * e ^Λ (GAMMA.LN(1+(1/θ)))				1065,6493				

Figura 66. Línea de tendencia y r² con Up Times preventivos 28CM13.

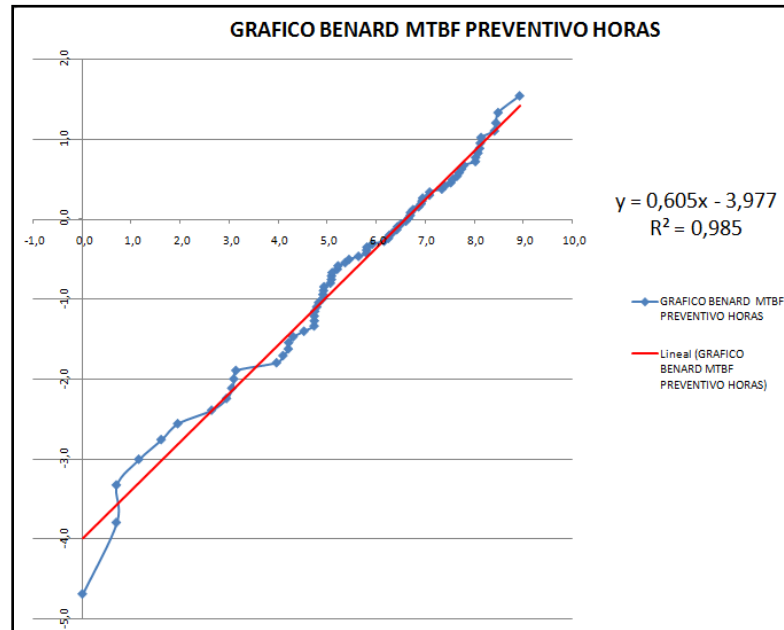
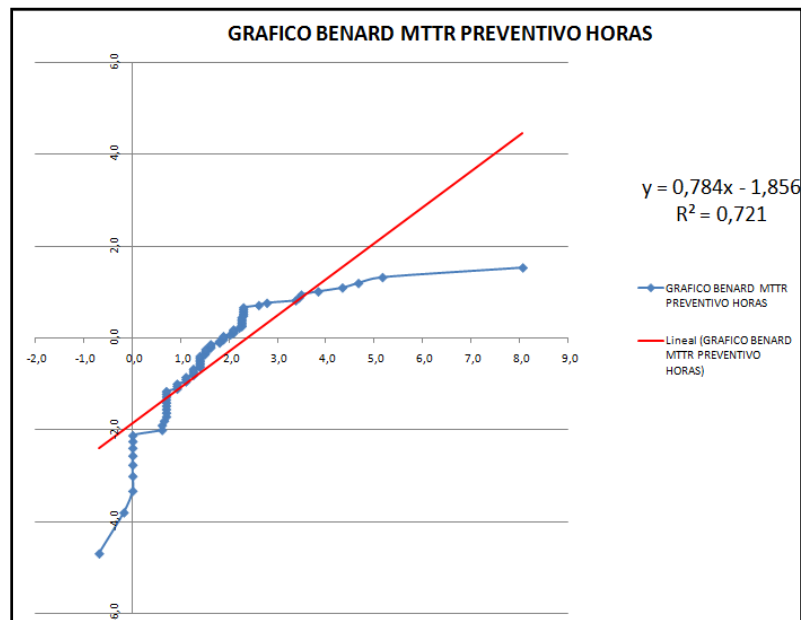


Tabla 65. MTTR y Beta preventivo usando Bernad y Alineación 28CM13.

Estimacion de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard						Alineacion con regresion Minimos Cuadrados		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
28CM13 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210023605	69	9,00	1	29,00	0,8992	9,9221	0,8306	3,3673
210023606	70	4,00	1	31,00	0,9123	11,4030	0,8895	3,4340
210024489	71	5,00	1	32,50	0,9254	13,4035	0,9538	3,4812
210024544	72	1,00	1	46,00	0,9385	16,2553	1,0255	3,8286
210024545	73	16,00	1	76,00	0,9516	20,6486	1,1078	4,3307
210025340	74	0,50	1	105,50	0,9647	28,2963	1,2068	4,6587
210025342	75	8,00	1	174,00	0,9777	44,9412	1,3364	5,1591
210025677	76	32,50	1	3149,00	0,9908	109,1429	1,5460	8,0548
Ecuacion				$y = 0,784x - 1,856$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,721$				
$\beta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				0,784				
Intercepto				-1,856				
$\eta = \text{Eta} = e^{-\text{intercepto/pendiente}}$				10,6690				
MTTR Preventivo= $\eta * e^{\text{GAMMA.LN}(1+(1/\beta))}$				12,2681				

Figura 67. Línea de tendencia y r^2 con Down Times preventivos 28CM13.

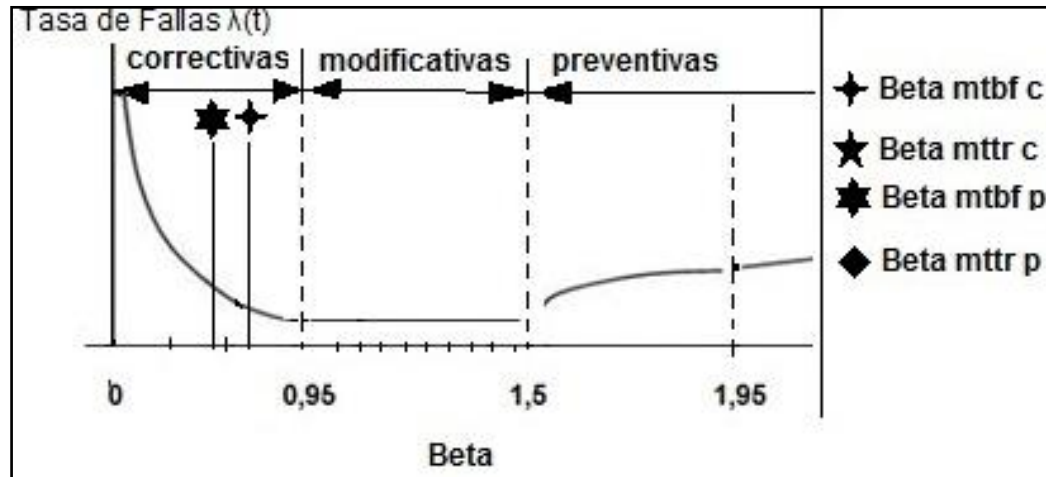


Para este centro de mecanizado se puede observar en la Tabla 66 que los Betas que se encuentran dentro del rango de 0,9025 a 1,0000 del coeficiente de determinación muestral r^2 son los asociados a tiempo medio entre fallas correctivo y preventivo, los asociados a los tiempos medios de reparación correctivos y preventivos no alcanzaron a estar en el rango.

Tabla 66. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 28CM13.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
1517,5	0,733	0,967	15,71	0,834	0,806	1065,64	0,605	0,985	12,26	0,784	0,721

Figura 68. Ubicación Betas de 28CM13 en la curva de la bañera.



En la Figura 68 se observa que el centro de mecanizado 28CM13 se encuentra en la fase de mortalidad infantil, los Betas asociados al tiempo medio entre fallas correctivas y preventivas no superaron el valor de 0,95. Las tablas completas con todos los datos se pueden consultar en el Anexo 4 que se denomina Tablas Resultados CMD.

3.6.2.10 Resumen de parámetros para los equipos

En general se observa que los valores de Beta validos a la luz del coeficiente de determinación muestral r^2 son en su gran mayoría los asociados a los tiempos medios entre fallas preventivas y correctivas, también es evidente que los Betas asociados a los tiempos medio de reparación no se pueden tener en cuenta dado que están fuera del rango de aceptación.

Tabla 67. Resumen Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos.

MODELO	EQUIPO	MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r^2	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r^2
ENC 163	30TN12	947,24	0,998	0,961	28,1	0,755	0,854	573,11	0,670	0,983	10,45	0,719	0,579
2241	26FH01	888,85	0,863	0,983	33,34	0,672	0,715	1698,01	0,805	0,848	22,34	0,628	0,590
V40	28CM01	1051,02	1,074	0,972	20,21	0,795	0,753	1302,39	0,599	0,972	13,40	0,869	0,905
	28CM08	1391,65	0,891	0,989	24,60	0,765	0,834	1208,28	0,587	0,974	10,06	0,995	0,811
	28CM12	1699,56	0,828	0,975	8,131	1,226	0,739	1283,86	0,580	0,971	12,86	0,852	0,745
V25	28CM07	1288,88	0,938	0,987	24,98	0,674	0,603	1130,94	0,645	0,949	17,67	0,818	0,787
	28CM03	1344,93	0,970	0,970	28,94	0,625	0,638	1415,72	0,488	0,981	9,37	1,012	0,820
	28CM06	1858,9	0,893	0,975	15,49	0,918	0,723	1099,32	0,680	0,948	13,79	0,818	0,718
V30	28CM13	1517,5	0,733	0,967	15,71	0,834	0,806	1065,64	0,605	0,985	12,26	0,784	0,721
	22CM14	1218,76	0,913	0,966	20,43	0,805	0,810	1264,30	0,671	0,974	9,23	1,110	0,910

Figura 69. Ubicación Betas MTBFc de equipos en la curva de la bañera.

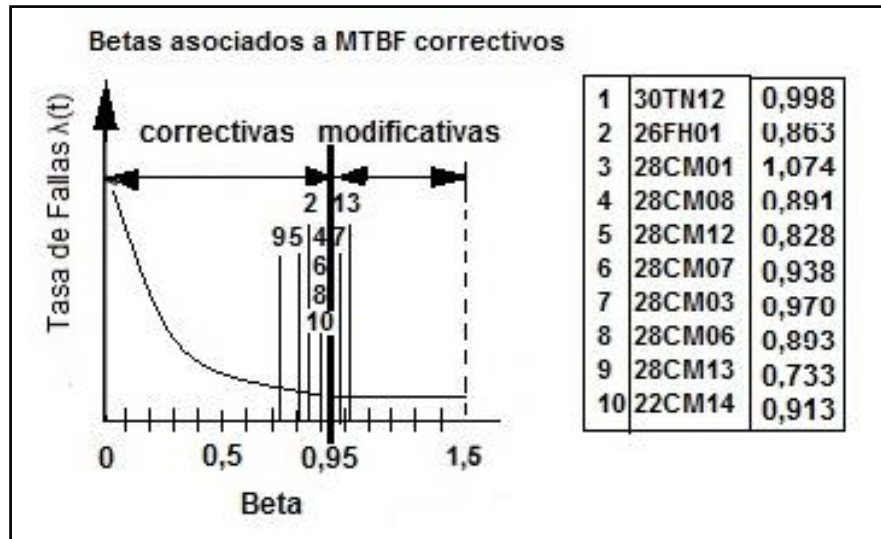
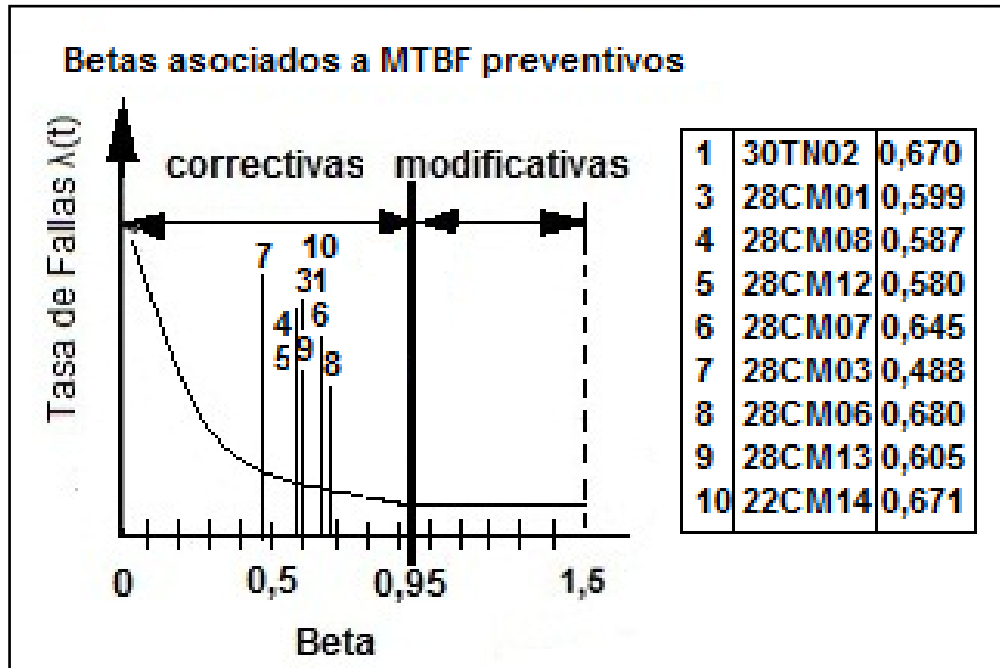


Figura 70. Ubicación Betas MTBFp de equipos en la curva de la bañera.



En la Figura 69 se observa que los betas asociados al tiempo medio entre fallas correctivo ubican a los equipos objeto de estudio en fase de mortalidad infantil con una leve tendencia hacia la siguiente fase que es de madurez o de vida útil; en la Figura 70 es claro que los betas asociados al tiempo medio entre fallas preventivo están ubicando a los equipos solo en la fase de mortalidad infantil, por lo que se deben adelantar acciones que mejoren el desempeño de cada uno de los equipos razón por la cual recordando la información que nos proporciona la Figura 9, se observa que la banda de aplicabilidad de la táctica proactiva cubre a todas las fases de la curva de la bañera y además se debe aprovechar el hecho que es la mas conocida en la organización.

3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para los diez equipos objeto de estudio se observa en la Tabla 11 que el turno numérico 30TN12 abarca el 25 % de los costos de reparación de la línea número tres por lo que es de interés para la Planta de Mantenimiento Industrial saber cual es la situación económica de este equipo que fue adquirido en 4 de Diciembre de 1997 y que acumula 17 años de servicio; adicionalmente si se consulta la Tabla 8 se observa que la fresadora 26FH01 es la que presenta mayor frecuencia de fallas y en la Tabla 11 consultando la fecha de compra, se encuentra que data del 27 de Enero de 1977 por lo que el activo tiene 38 años de servicio.

3.7.1 Análisis económico para el torno numérico 30TN02.

De acuerdo a lo dispuesto por la división de contabilidad de la Industria Militar, las máquinas se deprecian a quince años utilizando el método de la línea recta, por lo que el torno numérico se deprecia totalmente en el año de 2012 con un valor anual de \$ 21'875.701 millones de pesos y su valor de salvamento es cero.

Adicionalmente se revisaron los costos de mantenimiento desde el 2005 hasta el 2014, como se puede apreciar en la Tabla 68, y se encontró que el año 2013 se realizó una inversión de \$ 86'036.904 que equivale a la cuarta parte del valor inicial del equipo; revisando el histórico de mantenimiento para el año en mención, del torno numérico se encontraron cuatro intervenciones, en las cuales los mayores costos están asociados a repuestos: en la orden 200020207 se instalaron un juego de cables control potencia por valor de \$ 7'882.800; en la orden 200019909 se instaló un cartucho de husillo completo por valor de \$ 40'369.948; en la orden 200021365 se instaló un módulo de ejes por valor de \$16'978.000 y finalmente en la orden 200020513 se instaló un servomotor por un valor de \$ 10'398.000.

Figura 71. Costos cartucho de husillo (completo) del 30TN02.

ORDEN No : 200019909		TECNICO ASIG: MORALES PEDRO AGUSTIN			
FECHA COMUNICACION : 09-01-13 15:00:00		FECHA FINAL : 12-01-13 13:00:00			
FECHA INICIO : 10-01-13 15:00:00					
CODIGO	DESCRIPCION	UND.	TAREA	CANTIDAD	COSTO
P320-7946	CARTUCHO DE HUSILLO (COMPLETO)	und	0	1,00	40,369,948.00
---	HORAS MANO DE OBRA SERVICIOS	h	JM200	74,00	1,406,000.00
COSTO TOTAL MATERIALES :				40,369,948.00	
COSTO TOTAL MANO DE OBRA:				1,406,000.00	
COSTO TOTAL OTROS COSTOS:				.00	
TEXTOS DE REPARACION					

Fuente: Software BAAN ERP.

De los anteriores repuestos, el que más ha preocupado a la Planta de Mantenimiento Industrial es el cartucho de husillo completo dado que en el mercado únicamente se ha conseguido de segunda como consecuencia de que la referencia del equipo se encuentra descontinuada, y teniendo en cuenta que este equipo se ha depreciado en su totalidad, se ha determinado que se debe proponer un proyecto de inversión para la compra de un equipo nuevo que cumpla con los requerimientos de calidad para realizar la misma función y una vez este sea puesto en servicio se debe dar de baja al 30TN02.

Llevando los costos de mantenimiento del equipo a VPN¹ para el año 1997 ascendieron a los \$ 92.514.149 millones de pesos que comparados con el precio de compra del equipo equivalen a la cuarta parte de la inversión inicial en el equipo, sin embargo no se puede hacer un análisis mas completo dado que entre los años de 1997 y 2004 no se tienen información de los costos asociados al mantenimiento, dado que solo hasta el 2005 se cuenta con el sistema de información sistematizado BAAN ERP.

Tabla 68. Costos de mantenimiento y VPN del torno 30TN02.

AÑO	PERIODO	VALOR	INFLACION	VPN
1997	0	-\$ 328.135.528	17,78%	(\$ 328.135.528,00)
1998	1	sin información	16,7%	sin información
1999	2	sin información	9,23%	sin información
2000	3	sin información	8,75%	sin información
2001	4	sin información	7,76%	sin información
2002	5	sin información	6,99%	sin información
2003	6	sin información	6,49%	sin información
2004	7	sin información	5,5%	sin información
2005	8	\$ 2.012.500	4,85%	\$ 1.377.807,08
2006	9	\$ 1.223.450	4,48%	\$ 824.684,34
2007	10	\$ 4.080.597	5,69%	\$ 2.346.306,12
2008	11	\$ 3.868.966	7,67%	\$ 1.716.141,41
2009	12	\$ 8.546.651	2,00%	\$ 6.738.975,72
2010	13	\$ 4.024.500	3,17%	\$ 2.682.361,67
2011	14	\$ 11.233.646	3,73%	\$ 6.727.588,87
2012	15	\$ 9.811.457	2,44%	\$ 6.834.235,78
2013	16	\$ 86.036.904	1,94%	\$ 63.266.047,93
2014	17	\$ 1.426.371	3,66%	\$ 774.180,14
SUMA VPN COSTOS MTTO LLEVADOS A 1997				\$ 93.288.329,06

¹ Inflación Histórica en Colombia. [Consultado el 14 de Enero de 2015]. Disponible en : http://es.wikipedia.org/wiki/Inflaci%C3%B3n_hist%C3%B3rica_de_Colombia_1946_-_2013

3.6.2 Análisis económico para la fresadora 26FH01.

De acuerdo a lo dispuesto por la división de contabilidad de la Industria Militar, las máquinas se deprecian a quince años utilizando el método de la línea recta; se debe tener en cuenta que su valor de compra fue de \$ 92.662 en el año de 1977, por lo que la fresadora horizontal se deprecio totalmente en el año de 1992, con un valor anual de \$ 6.177 pesos y su valor de salvamento es cero, es decir que hace 23 años, se deprecio completamente, lo cual es un argumento suficiente para justificar su reposición.

Tabla 69. Costos de mantenimiento de la fresadora 26FH01.

Año	Costo Mtto
\$ 2.005	\$ 767.250
\$ 2.006	\$ 808.310
\$ 2.007	\$ 4.102.800
\$ 2.008	\$ 3.566.901
\$ 2.009	\$ 3.611.258
\$ 2.010	\$ 7.525.912
\$ 2.011	\$ 1.555.120
\$ 2.012	\$ 5.078.500
\$ 2.013	\$ 9.114.687
\$ 2.014	\$ 2.408.630
Total	\$ 38.539.367

Fuente: División Administrativa Industria Militar.

Adicionalmente, en el año de 2013 se observa un pico en los costos de mantenimiento por valor de \$ 9.114.687 millones de pesos, una vez consultada la orden de servicio, se puede revisar en la Figura 72 que este equipo tuvo una reparación que ocasiono una parada de maquina de 305 horas, lo que equivale alrededor de 36 días, en turnos de 8,5 horas, sin contar con el daño que lo origino. Aunque no se encuentra en el histórico del equipo dado que se detecta que el texto de reparación esta incompleto, y por la cantidad de soldadura Gricast para fundición que se cargo a la orden de servicio, a este equipo se le partió la mesa del trabajo, razón por la cual se debió proceder a soldarla para recuperarla.

Figura 72. Costos mano de obra, repuestos y reparación 26FH01.

ORDEN No	: 200020354	TECNICO ASIG:	GOMEZ PRIETO WILLIAM
FECHA COMUNICACION	: 03-04-13 13:47:19	FECHA FINAL	:
FECHA INICIO	:		

CODIGO	DESCRIPCION	UND.	TAREA	CANTIDAD	COSTO
P320-1489	RODAMIENTO AGUJAS NA 49/32	und	0	2,00	67,940.00
P320-2821	RETENEDOR	und	0	1,00	950.00
P320-1489	RODAMIENTO AGUJAS NA 49/32	und	0	1,00	33,970.00
P103-0631	SOLDADURA GRICATS 1 P/FUNDICIÓN	kg	0	5,00	827,145.00
---	HORAS MANO DE OBRA SERVICIOS	h	JM200	305,00	5,795,000.00

COSTO TOTAL MATERIALES :	930,005.00
COSTO TOTAL MANO DE OBRA:	5,795,000.00
COSTO TOTAL OTROS COSTOS:	.00

TEXTO DE REPARACION	
REPARACION SISTEMA DE AVANCE, DESMONTAJE DE MESA, DESARME DE HUSILLO, FABRICACION DE EMBRAGUE. CAMBIO DE RODAMIENTOS NA49/32 CANTIDAD=3, NK 50/25=1, RETENEDOR 3202821, CODIGO P320-1489	

Fuente: Software BAAN ERP.

Los costos de mantenimiento entre los años 2005 a 2014 sumaron en total \$ 38.539.637 millones de pesos, este valor pudo ser invertido en la adquisición de un equipo nuevo con menor desgaste, por lo que una vez analizados los valores y mantenimientos anteriores, la Planta de Mantenimiento Industrial ha decidido que se debe plantear un proyecto de inversión para la adquisición de una nueva fresadora para proceder a dar la baja del equipo de 38 años de servicio.

3.8 ANÁLISIS PLAN DE MANTENIMIENTO

La planta de mantenimiento industrial cuenta con un plan de mantenimiento en Excel el cual esta descrito para cada uno de los equipos, este contiene el código del equipo, una breve descripción del equipo, el número de la orden de servicio una vez se ha lanzado en el sistema, la actividad a realizar, las horas hombre programadas, el código del técnico asignado, el mes de intervención, y la frecuencia de intervención, estos son los datos de entrada, adicionalmente se describen unas actividades de mantenimiento tanto eléctricas como mecánicas las cuales son idénticas para cada uno de los modelos de centros de mecanizado, las cuales se muestran a continuación en la Tabla 70.

Tabla 70. Actividades de mantenimiento asociadas al 28CM01.

CÓDIGO MÁQUINA	MÁQUINA O EQUIPO	ORDEN DE SERVICIO	ACTIVIDAD A REALIZAR	HORAS HOMBRE PROG.	CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	FECHA DE LA INTERVENCIÓN	OBSERVACIONES
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	MANTENIMIENTO MECÁNICO GENERAL C.N.C	102	Por asignar	ENERO	ANUAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	MANTENIMIENTO GENERAL ELÉCTRICO C.N.C	42,5	Por asignar	ENERO	ANUAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	REVISIÓN MECÁNICA GENERAL DE MECANISMOS Y AJUSTES	8	Por asignar	ABRIL	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	REVISIÓN ELÉCTRICA GENERAL DE MECANISMOS Y AJUSTES	8	Por asignar	ABRIL	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	LIMPIEZA MECÁNICA GENERAL	17	Por asignar	JULIO	ANUAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	LIMPIEZA ELÉCTRICA GENERAL	17	Por asignar	JULIO	ANUAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	REVISIÓN MECÁNICA GENERAL DE MECANISMOS Y AJUSTES	8	Por asignar	OCTUBRE	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	REVISIÓN ELÉCTRICA GENERAL DE MECANISMOS Y AJUSTES	8	Por asignar	OCTUBRE	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	INSPECCIÓN IMPACTO AMBIENTAL,REVISIÓN DE FUGAS,	2	Por asignar	ENERO	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	INSPECCIÓN SEGURIDAD INDUSTRIAL,REVISIÓN DE GUARDAS Y PROTECCIONES ELECTRICAS.	2	Por asignar	ENERO	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	INSPECCIÓN IMPACTO AMBIENTAL,REVISIÓN DE FUGAS,	2	Por asignar	JULIO	SEMESTRAL
28CM01	CENT.MECANI/DO VERTICAL C.N.C	Por asignar	INSPECCIÓN SEGURIDAD INDUSTRIAL,REVISIÓN DE GUARDAS Y PROTECCIONES ELECTRICAS.	2	Por asignar	JULIO	SEMESTRAL

Fuente: Planta de Mantenimiento Industrial.

Como se puede observar las tareas eléctricas como mecánicas son demasiado generales, si se enfoca en las actividades de mantenimiento mecánico observamos que hay un mantenimiento mecánico general en el año, una revisión mecánica general de mecanismos y ajustes que se realiza semestralmente, una limpieza mecánica general que se realiza anualmente y finalmente una inspección de impacto ambiental, revisión de fugas, aceite, refrigerante y aire que se realiza semestralmente.

Adicionalmente como se puede revisar en la Tabla 67 para el 28CM01 el tiempo medio entre fallas correctivo es de 1051,02 horas, que en turnos de 24 horas diarias corresponde a 43,79 días ocurre una falla correctiva; analizando también el tiempo medio entre fallas preventivo que es de 1302,39 horas encontramos que llevándolo a turnos de 24 horas ocurre una intervención preventiva cada 54, 27 días. Cabe anotar que no todos los equipos trabajan las 24 horas del día, de acuerdo a las necesidades de producción los equipos pueden ser programados 8,5, 16 o 24 horas.

Se hace extensivo este análisis a los ocho centros de mecanizado objeto de estudio y se encuentra que en promedio se registra un mantenimiento correctivo

cada 52,51 días y se realiza un mantenimiento preventivo 50,89 días como se puede observar en la Tabla 71.

Tabla 71. Tiempo medio entre fallas correctivas y preventivas promedio

ITEM	EQUIPO	MTBF CORRECTIVO HORAS	MTBF PREVENTIVO HORAS
1	28CM01	1051,02	1302,39
2	28CM08	1391,65	1208,28
3	28CM12	1699,56	1283,86
4	28CM07	1288,88	1130,94
5	28CM03	1344,93	1415,72
6	28CM06	1858,9	1099,32
7	28CM13	1517,5	1065,64
8	22CM14	1218,76	1264,30
	SUMATORIA	10082,32	9770,45
	PROMEDIO	1260,29	1221,31
	TOTAL EQUIPO /24HORAS	52,51	50,89

Se observa que hay un desfase de cuarenta días entre las actividades de mantenimiento preventivo que se programan cada 90 días y el tiempo medio entre fallas (intervenciones preventivas) el cual se encuentra en 50,89 días, lo que indica que las intervenciones correctivas se hacen antes del tiempo estipulado por el plan de mantenimiento. También encontramos que el equipo falla después de una intervención correctiva cada 52, 51 días, el objetivo para la Planta de Mantenimiento es que sean cada vez menos los mantenimientos correctivos y que estos sean solucionados en el menor tiempo y que los mantenimientos preventivos sean mas efectivos y que como resultado el tiempo medio entre fallas preventivo sea cada vez mayor.

4. PROPUESTA

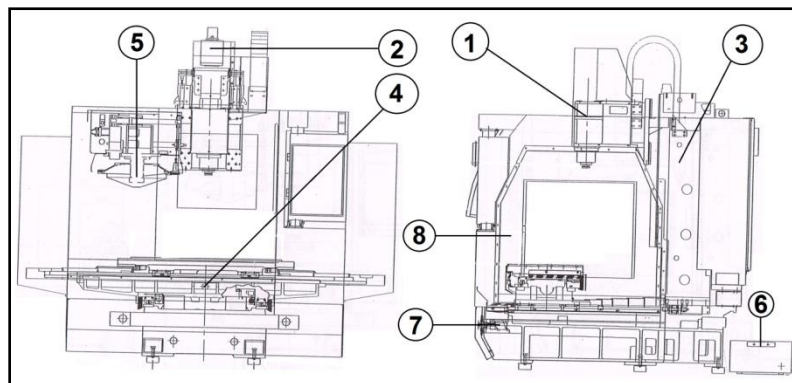
4.1 DISCRIMINACIÓN DE SUBSISTEMAS

Se propone que los centros de mecanizado modelos V-25, V-30, V-40 sean divididos en seis subsistemas a los cuales se les debe asociar una tarea específica de mantenimiento con un listado de repuestos de cambio los cuales deben estar disponibles al momento de emitir la orden y de intervenir el equipo, también se deben determinar unas frecuencias de mantenimiento establecidas por horas de funcionamiento del equipo; en la Tabla 72 se citan los subsistemas propuestos.

Tabla 72. Subsistemas propuestos para centros de mecanizado.

1	Subsistema Husillo	
2	Subsistema Booster	
3	Subsistema Columnas	Transmision Eje Z
		Lubricación de Eje Z
4	Subsistema Bancada	Transmision Eje X
		Transmision Eje Y
		Lubricación de ejes X, Y.
5	Subsistema de Herramientas Automaticas	
6	Subsistema de Refrigeracion Herramienta de Corte	
7	Subsistema Extractor de Viruta	
8	Subsistema Cabinas de Control Eléctrico	
	Subsistema Guardas	

Figura 73. Diagrama subsistemas propuestos modelos V-25, V-30, V-40



Fuente: LEADWELL, Part List V-25, V-30, V-40. P. 1.

4.2 ASOCIACIÓN DE REPUESTOS ESTÁNDAR A SUBSISTEMAS.

A cada uno de los subsistemas propuestos en la Tabla 72 se deben asociar repuestos estándar que son identificados en el Part List del equipo, estos repuestos son los usados en los tres modelos de centros de mecanizado estudiados, V-25, V-30 y V-40 con los que se cubren ocho de los diez equipos que fueron seleccionados por la calificación ponderada por fallas y costos de reparación de los equipos de la línea número tres, como se puede observar en las Tablas 9 y 10. Se revisó la información para el subsistema husillo como ejemplo, para luego realizar el mismo análisis en los demás subsistemas.

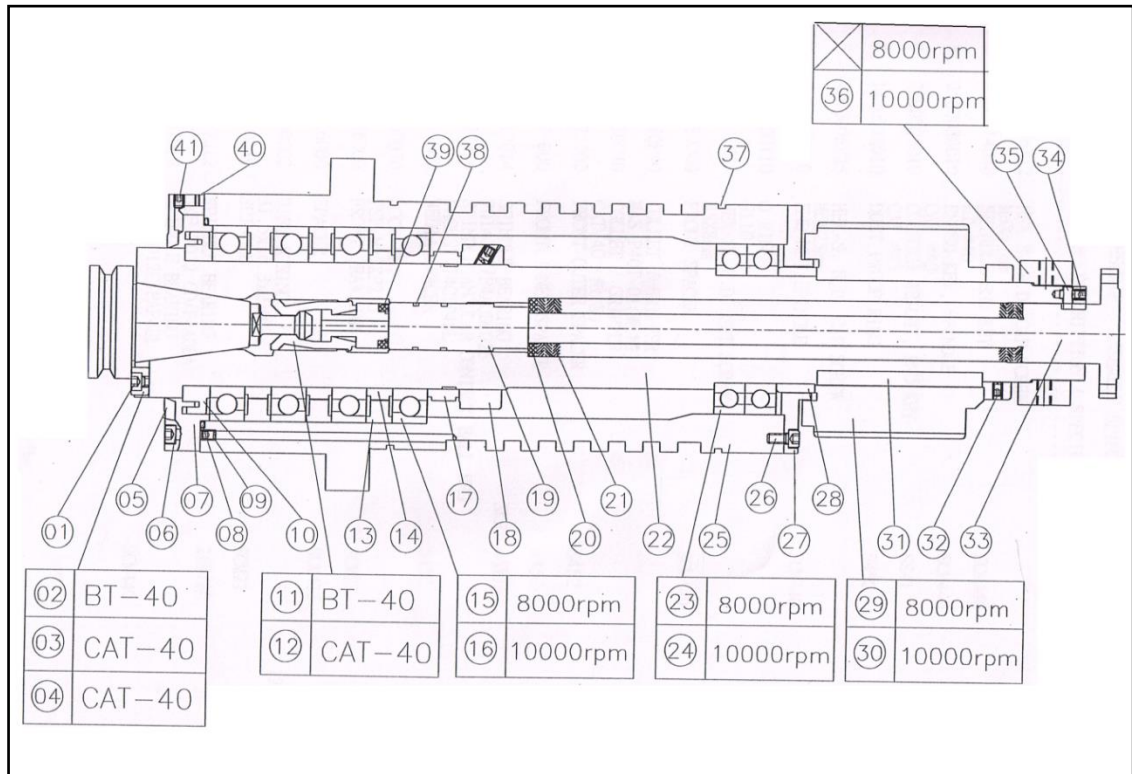
El husillo en el centro de mecanizado es el subsistema en el que se le transmite la velocidad de corte la herramienta ajustándola a mediante conos porta herramienta. En este subsistema se pueden encontrar un listado de partes asociadas, las cuales deben estar disponibles en el almacén para realizar el cambio si así se requieren, a continuación se muestra la Tabla 73 con los repuestos asociados a este subsistema.

Tabla 73. Listado de repuestos subsistema husillo centro de mecanizado

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Tornillo de cabeza Hexagonal M6X12MM	2
2	Llave para husillo BT # 40	2
3	Llave para husillo CAT # 40	1
4	Llave para husillo CAT # 40	1
5	Anillo Guardapolvo	1
6	Tornillo de cabeza Hexagonal M6X25MM	8
7	Tuerca fin del husillo	1
8	Oring G110 (Diámetro Interno 109,4 mm X 3,1 mm)	1
9	Tornillo de cabeza Hexagonal M5X8MM	2
10	Espaciador	1
11	Pinza MAS P40T-01	1
12	Pinza CAT-40	1
13	Espaciador de exteriores	1
14	Espaciador de interiores	1
15	Rodamiento 7014 CET / P4AQBCG26	4
16	Rodamiento de Contacto Angular FAGHS 7014 CTP4UL	4
17	Espaciador	1
18	Tuerca de bloqueo YSF-M70 X P 2,0	1
19	Barra de Traccion Delantera	1
20	Espaciador	1
21	Resorte de Disco 31,5 x 16,3 x 2,0 T	128
22	Husillo	1
23	Rodamiento 7012 CD/P4ADBA	2
24	Rodamiento FAGB 7012 CTPAP4UL	2
25	Quill	1
26	Tornillo de cabeza Hexagonal M6X12MM	4
27	Cubierta	1
28	Espaciador	1
29	Pully 8000 Rpm 48 T	1
30	Pully 10000 Rpm 48 T	1
31	Double Round Ends Key	1
32	Tuerca de bloqueo YSF-M55 X P 2,0	1
33	Barra de Traccion	1
34	Tornillo de cabeza Hexagonal M5X8MM	2
35	Pin de \varnothing 10 MM X 10 MM Longitud	2
36	Sensor de rueda	1
37	Oring G140 (Diámetro Interno 139,4 mm X 3,1 mm)	2
38	Oring P22 (Diámetro Interno 21,8 mm X 2,4 mm)	2
39	shim	1
40	Tornillo de cabeza Hexagonal M3X8MM	2
41	Tornillo de cabeza Hexagonal M6X8MM	2

Fuente: LEADWELL, Part List V-25, V-30, V-40. P. 21 – 22.

Figura 74. Diagrama subsistema husillo modelos V-25, V-30, V-40.



Fuente: LEADWELL, Part List V-25, V-30, V-40. P. 20.

Se han resaltado en la Tabla 73 aquellos repuestos que tienen una descripción completa desde el Part List los cuales son orings, pines, resortes de disco, rodamientos, tornillos y tuercas de bloqueo con sus cantidades los cuales se incluirán en la actividad de mantenimiento, de los anteriores, del único que podemos extraer una frecuencia de cambio estimada es para los rodamientos; considerando que el centro de mecanizado trabajara ocho horas diarias utilizando plenamente su carga² se puede estimar en 20.000 horas el funcionamiento de los rodamientos una vez instalados nuevos, por lo que este valor se toma como referencia para la frecuencia inicial propuesta de mantenimiento, este valor se debe ajustar con el tiempo a medida que se verifiquen las horas de funcionamiento por subsistemas.

En la Tabla 74 se muestra la primera actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema husillo con los repuestos estándar asociados:

² SKF, Vida útil y capacidad de carga de los rodamientos. Tabla 1. [Consultado el 4 de Marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.skf.com/mx/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selecting-bearing-size/bearing-life/index.html>

Tabla 74. Actividad mantenimiento subsistema husillo.

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/mm/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	8,5
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema HUSILLO	
LISTADO DE REPUESTOS REQUERIDOS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Oring G110 (Diámetro Interno 109,4 mm X 3,1 mm)	1
Oring G140 (Diámetro Interno 139,4 mm X 3,1 mm)	2
Oring P22 (Diámetro Interno 21,8 mm X 2,4 mm)	2
Pin de ϕ 10 MM X 10 MM Longitud	2
Resorte de Disco 31,5 x 16,3 x 2,0 T	128
Rodamiento 7012 CD/P4ADBA	4
Rodamiento 7014 CET / P4AQBCG26	4
Tornillo de cabeza Hexagonal M3X8MM	2
Tornillo de cabeza Hexagonal M5X8MM	4
Tornillo de cabeza Hexagonal M6X12MM	6
Tornillo de cabeza Hexagonal M6X25MM	8
Tornillo de cabeza Hexagonal M6X8MM	2
Tuerca de bloqueo YSF-M55 X P 2,0	1
Tuerca de bloqueo YSF-M70 X P 2,0	1

En la Tabla 75 se indica la segunda actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema booster.

Tabla 75. Actividad mantenimiento subsistema booster.

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/03/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	8,5
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema BOOSTER	
LISTADO DE REPUESTOS REQUERIDOS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Acople Rapido en L NPT 1/4 Salida ϕ 8 mm	2
Acople Rapido en T NPT 1/4 Salidas ϕ 8 mm	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M10X45MM	4
Acople Rapido en L NPT 1/8 Salida ϕ 8 mm	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M12X40MM	4
Codo en acero 3/8" NPT a 3/8"	1

En la Tabla 76 se expone la tercera actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema columnas y transmisión eje z con los repuestos estándar asociados

Tabla 76. Actividad mantenimiento subsistema columna, eje z.

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/09/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	17
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema COLUMNA	
LISTADO DE REPUESTOS REQUERIDOS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Cadena Numero 50 paso 1" por 77 pies	2
Tornillo M20XPASO2,5MMX55LONGITUD	8
Tornillo cabeza Hexagonal M6X20mm	4
Rodamiento NKJ 20/16A	4
Tornillo cabeza Hexagonal M12X40mm	24
Pin ϕ 7,94mm X 15.88mm	24
Tornillo de cabeza Plana M8x20mm	24
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema TRANSMISION EJE Z	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Anillo de retencion para eje S 30	1
Rodamiento 6206 ZZ	2
Soporte de eje de Bolas Recirculantes MCV-610/1000/200	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M8X35mm	6
Rodamiento de Bolas recirculantes MM35BS72DM	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M4X16mm	4
Tornillo de cabeza Bristol M6XPASO1,00XLONG20mm	4
Oring G75	1
Tuerca de Bloqueo YSK-M35XPASO1,5	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M10X25mm	8
Tornillo de cabeza Hexagonal M8X30mm	6
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión y limpieza general de los ductos del subsistema LUBRICACION	

En la Tabla 77 se plasma la cuarta actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema bancada y transmisión ejes x, y, con los repuestos estándar asociados.

Tabla 77. Actividad mantenimiento subsistema bancada, ejes x, y.

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/12/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	17
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema BANCADA	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Tuerca M24XPaso1,5XLongitud10mm	6
Tornillo de cabeza plana M6x16mm	46
Pin de \varnothing 7,94 X Longitud 15,88 mm	78
Guías de Movimiento lineal HSR35LR2SSCOE2040LP2	2
Tornillo de cabeza hexagonal M8X35mm	84
Pin de \varnothing 10 X Longitud 80 mm	4
Tornillo de cabeza plana M8x16mm	32
Guías de Movimiento lineal HSR35LR2SSCOE1240LP2	2
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema Transmision EJE X	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Anillo de retencion para eje S 30	1
Rodamiento 6206 ZZ	2
Soporte de eje de Bolas Recirculantes MCV-610/1000/2000	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M10X35mm	4
Tornillo de cabeza Hexagonal M8X35mm	6
Rodamiento de Bolas recirculantes MM35BS72DM	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M4X16mm	4
Tornillo de cabeza Bristol M8XPASO1,25XLONG30mm	4
Tornillo de cabeza Hexagonal M8X30mm	10
Oring G75	1
Tuerca de Bloqueo YSK-M35XPASO1,5	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M10X25mm	4
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema Transmision EJE Y	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Anillo de retencion para eje S 30	1
Rodamiento 6206 ZZ	2
Soporte de eje de Bolas Recirculantes MCV-610/1000/2000	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M10X25mm	8
Tornillo de cabeza Hexagonal M8X35mm	6
Rodamiento de Bolas recirculantes MM35BS72DM	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M4X16mm	4
Tornillo de cabeza Bristol M8XPASO1,25XLONG30mm	4
Tornillo de cabeza Hexagonal M8X30mm	10
Oring G75	1
Tuerca de Bloqueo YSK-M35XPASO1,5	1
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión y limpieza general de los ductos del subsistema LUBRICACION	

En la Tabla 78 se presenta la quinta actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema herramientas automáticas, con los repuestos estándar asociados.

Tabla 78. Actividad mantenimiento subsistema herramientas automáticas.

CÓDIGO MAQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/01/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	17
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema HERRAMIENTAS AUTOMATICAS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Tornillo de cabeza Hexagonal M6X12mm	2
Oring P 40	4
Rodamiento Lineal SM-40(NB) / LM40 THK	4
Resorte de Disco ($\phi_{ext}8X\phi_{int}4,2Xespesor0,3$)	48
Esferas de acero de ϕ 8 mm de diametro	8
Rodamiento de Rodillos NAST 8ZZ	1
Rodamiento 6206 ZZ	2
Tuerca de bloqueo de Rodamiento M30Xpaso1,5	2

En la Tabla 79 se enseña la sexta actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema refrigeración herramientas, con los repuestos estándar asociados.

Tabla 79. Actividad mantenimiento subsistema refrigeración herramientas

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/01/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	8,5
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema REFRIGERACION HERRAMIENTAS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Codo galvanizado 1 1/4" NPT	2
Valvula de check 1 1/4" NPT	1
Valvula de bola 1 1/4" NPT	1
Junta de insercion 1 1/4" NPT a 1 1/4" NPT	2
Junta de insercion 1 NPT a 3/4" NPT	1
Tapon 1 1/4 "NPT	1
Codo galvanizado 1 1/2" NPT	2
Oring P20	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M5X10mm	3
Tornillo de cabeza Hexagonal M6X12mm	2
Tornillo de cabeza Hexagonal M5X16mm	1
Tuerca Hexagonal M5	1
Tornillo de cabeza Hexagonal M5X20mm	4
Tornillo de cabeza Hexagonal M5X12mm	2

En la Tabla 80 se exhibe la séptima actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema extractor de viruta, con los repuestos estándar asociados.

Tabla 80. Actividad mantenimiento subsistema extractor de viruta.

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/03/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	8,5
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema EXTRACTOR DE VIRUTA	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Retenedor de Aceite 30X42X8mm	2
Rodamiento 6005 ZZ	4
Saager para agujero R-47	2
Tornillo cabeza hexagonal M6X6mm	2
Tornillo cabeza hexagonal M6X16mm	2
Oring G55 (Diámetro Interno 54,4 x 3,1mm)	4
Oring G65 (Diámetro Interno 64,4 x 3,1mm)	2

En la Tabla 81 se revela la octava actividad de mantenimiento propuesta para el subsistema cabinas y guardas, con los repuestos estándar asociados.

Tabla 81. Actividad mantenimiento subsistema cabinas y guardas.

CÓDIGO MÁQUINA	28CMXX
ORDEN DE SERVICIO No	
CÓDIGO TÉCNICO ASIGNADO	
FECHA DE LA INTERVENCIÓN	dd/03/aa
HORAS HOMBRE PROGRAMADAS	4,5
FRECUENCIA HORAS DE TRABAJO PROXIMA INT.	20.000
ACTIVIDAD A REALIZAR	
Revisión mecánica y limpieza general del subsistema CABINAS DE CONTROL ELÉCTRICO Y GUARDAS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Anillo de retencion tipo C 10 (Diámetro interior 9,3 x S 1 mm)	6
Rodamiento 6001 ZZ	6
Anillo de retencion tipo R-28 (Diámetro exterior 27,75 x S 1,5 mm)	2

5. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA.

Para iniciar con la implementación de las actividades de mantenimiento preventivo y de la inclusión de repuestos asociados se requiere de un grupo de personas de la Planta de Mantenimiento que debe estar constituida por un técnico mecánico, un técnico eléctrico, un analista de mantenimiento y un jefe de taller, para que cada vez que sea intervenido un subsistema el jefe de taller en conjunto con los técnicos de mantenimiento validen el listado de repuestos propuestos para la actividad, a medida que el sistema es intervenido y se encuentran repuestos no relacionados estos son incluidos en el listado por parte del jefe de taller quien esta adicionalmente pendiente del tiempo utilizado en el mantenimiento, esta información es entregada al analista de mantenimiento quien será el encargado de digitalizar dicha información asociándola a la actividad e incluirá el listado de repuestos para que estos sean adquiridos en el plan de compras anual.

Como se ha fijado una frecuencia de mantenimiento inicial basada en la vida estimada de un rodamiento que trabaja en una maquina durante ocho horas no siempre utilizada a su capacidad máxima, se deben estar revisando los horómetros de los equipos para determinar cuando se debe intervenir nuevamente el subsistema, si los componentes se encuentran en buenas condiciones de servicio, se debe aumentar en un 10 % la frecuencia de inspección hasta determinar el valor real en horas de vida de los componentes.

Una vez sean establecidas las frecuencias optimas y los repuestos requeridos para un grupo de equipos, en este caso centros de mecanizado, se debe continuar buscando los equipos críticos basados en el análisis de Pareto y de esta forma determinando los pocos vitales e iniciar nuevamente el análisis mostrado en este documento, a excepción del análisis de histórico de intervenciones utilizando el método de medianas de Benard y la regresión de mínimos cuadrados dado que con el grupo de equipos analizados se pudo evidenciar que las maquinas en la Fabrica José María Córdova se encuentran en fase de mortalidad infantil, por lo que se debe pasar a realizar la consulta de los catálogos de mantenimiento y Part List de los equipos a fin de encontrar información de repuestos requeridos antes de iniciar mantenimientos y mediante un ciclo de mejoramiento continuo, hacer mas completo ese listado, acercarnos cada vez mas a la frecuencia de mantenimiento de los subsistemas y reducir los tiempos de mantenimiento.

6. CONCLUSIONES

1. Se cumplió con el objetivo de reestructurar las rutinas de mantenimiento preventivo logrando abarcar ocho equipos, durante la prueba piloto realizada en la línea numero tres.
2. Se logro que las actividades de mantenimiento se enfocaron a ocho subsistemas y se asociaron listados de repuestos estándar.
3. Las actividades de mantenimiento que actualmente tiene la Planta de Mantenimiento Industrial son demasiado generales y no se tiene control a que subsistemas del equipo se les realiza mantenimiento lo que se ve reflejado en los tiempos medios entre falla que son de alrededor de la décima parte de la vida útil de un rodamiento.
4. Los equipos en la Fábrica Metalmecánica José María Córdova a los cuales se les ha aplicado mantenimiento preventivo, que han sido objeto de estudio en este trabajo bajo el enfoque CMD y que han sido analizados desde el año 2005 hasta el año 2014 se encuentran en la fase de mortalidad infantil en la curva de la bañera o de Davies, una vez fueron analizados los datos de las intervenciones en los históricos de mantenimiento y se obtuvieron los betas asociados a tiempos medios entre fallas correctivos y preventivos.
5. Los tiempos medios entre intervenciones correctivas se calcularon en días de trabajo y corresponden a 52,51 días para los centros de mecanizado.
6. Los tiempos medios entre intervenciones preventivas se calcularon en días de trabajo y corresponden a 50,89 días para los centros de mecanizado los cuales distan en cuarenta días de los que realmente se programan por la planta de mantenimiento industrial.
7. Los tiempos medios para reparación correctivos y preventivos no alcanzaron valores aceptables de acuerdo al coeficiente de determinación muestral r^2 , lo que indica que los valores cuentan con una gran dispersión, es decir los tiempos para la ejecución de dichas reparaciones y mantenimientos pese a que se encuentran establecidos en la práctica no se cumplen.

7. RECOMENDACIONES

1. Proponer un proyecto de inversión para la compra de un torno numérico que sustituya al 30TN02 y una vez este se encuentre en funcionamiento solicitar la baja del equipo sustituido.
2. Proponer un proyecto de inversión para la compra de una fresadora horizontal que sustituya a la 26FH01 y una vez se encuentre en funcionamiento se debe realizar el trámite de baja del equipo de 38 años de servicio.
3. Se deben tomar tiempos para cada una de las actividades de mantenimiento propuestas con el fin de ser estandarizados y de reducir dichos tiempos de intervención utilizando la experiencia de los técnicos de la Planta de Mantenimiento Industrial y haciendo uso de técnicas de disminución de tiempos de montaje SMED.
4. Las frecuencias de intervención de los centros de mecanizado se debe hacer mediante el uso del horómetro del equipo fijando las horas de intervención con los tiempos medios entre fallas preventivos para cada equipo y no mediante intervenciones programadas por fechas fijas en el año.
5. En relación con los repuestos que no fueron plenamente identificados en el Part List, deben ser consultados con el proveedor del equipo para obtener su descripción completa y determinar su frecuencia de cambio, adicionalmente debe ser labor del analista de mantenimiento en conjunto con el mecánico o eléctrico asignado al equipo el estar realimentando el cuadro con aquellos repuestos que no se han asociado a cada uno de los subsistemas.

BIBLIOGRAFÍA

BORRAS, Pinilla Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Junio 2013. P. 24 -26.

CHACÓN ARIAS, Olga Patricia. Notas de clase. Evaluación Financiera de Proyectos. CD-ROM. 2014.

HORNGREN, Charles. Introducción a la contabilidad financiera. México D.F.: Pearson Educación. 2000. P. 281.

Industria Militar Colombiana [Consultado el 10 de noviembre de 2014]. Disponible en: < <https://www.indumil.gov.co/>>.

Inflación Histórica en Colombia. [Consultado el 14 de enero de 2015]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Inflaci%C3%B3n_hist%C3%B3rica_de_Colombia_1946_-_2013>

LEADWELL, Part List V-25, V-30, V-40. 78 p.

MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, D.F.: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V. 2009. P. 58 – 63, 67 – 74, 106 - 109, 120 – 126, 142 – 143, 157 – 161, 163 – 165.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina, United States of America. Ed. Aladon LLC. 2004. P. 1 - 14, 133 - 147.

Principio de Pareto [Consultado el 11 de Junio de 2014]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Pareto>

SKF, Vida útil y capacidad de carga de los rodamientos. Tabla 1. [Consultado el 4 de Marzo de 2015] Disponible en:< <http://www.skf.com/mx/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selecting-bearing-size/bearing-life/index.html>>.