

PREDICCIONES CMD CON SERIES TEMPORALES

DIEGO HERNAN SALDARRIAGA ORTIZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
AREA DE MANTENIMIENTO
MEDELLIN
2007

PREDICCIONES CMD CON SERIES TEMPORALES

DIEGO HERNAN SALDARRIAGA ORTIZ

Proyecto de grado
Para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor
Dr. Luis Alberto Mora Gutiérrez

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
AREA DE MANTENIMIENTO
MEDELLIN
2007

A las dos personas más importantes y a las cuales les debo todo, mi madre y padre, también a mis hermanos, familiares y novia por su apoyo incondicional y la fortaleza que me brindaron para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Al asesor Luis Alberto Mora por su colaboración y paciencia en la ejecución de este proyecto.

A la universidad Eafit por permitirme ingresar nuevamente, después de muchas dificultades y tropiezos en la carrera.

CONTENIDO

	pág.
0 INTRODUCCION	8
0.1 PROLOGO.....	8
0.2 ANTECEDENTES.....	10
0.3 JUSTIFICACION.....	13
0.4 OBJETIVO GENERAL	14
0.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
0.5.1 Primer objetivo	14
0.5.2 Segundo objetivo	14
0.5.3 Tercer objetivo	14
0.5.4 Cuarto objetivo.....	15
0.6 NIVELES OBJETIVOS BLOOM & GAGNE.....	15
1. SERIES TEMPORALES	16
1.1 OBJETIVO	16
1.2 INTRODUCCION.....	16
1.3 DESARROLLO METODOLOGIA UNIVERSAL DE PRONOSTICOS	16
1.3.1 Análisis previo.....	17
1.3.1.1 Síntesis	17
1.3.1.2 Verificación de datos.....	18
1.3.1.3 Estructura vertical – Nivel	18
1.3.1.4 Estructura horizontal – Ruido o aleatoriedad	19
1.3.1.5 Estructura tendencial	20
1.3.1.6 Estructura estacional y cíclica.....	20
1.3.2 Hipótesis	21
1.3.3 Clasificación de las series de tiempo	22
1.3.3.1 Modelos clásicos.....	23
1.3.3.2 Modelos modernos	24
1.3.4 Postulación de los modelos	29
1.3.4.1 Recorte de la serie de datos	29
1.3.4.2 Determinar el mejor modelo.....	29
1.3.4.3 Preparación de la tabla de comparaciones	29
1.3.4.4 Selección del mejor modelo.....	29
1.3.4.5 Cálculo de los pronósticos	30
1.3.4.6 Comparación de la realidad y el pronóstico calculado	30
1.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	30
2. APLICAR DISPONIBILIDAD ALCANZADA.....	31
2.1 OBJETIVO	31
2.2 INTRODUCCION.....	31
2.3 DESARROLLO CMD	31
2.3.1 Confiabilidad	32
2.3.1.1 Indicadores de confiabilidad	33
2.3.2 Mantenibilidad.....	35
2.3.2.1 Indicadores de mantenibilidad	35

2.3.3 Disponibilidad.....	37
2.3.3.1 Indicadores de disponibilidad.....	38
2.3.4 Distribuciones	41
2.3.5 Cálculo de la disponibilidad.....	44
2.3.5.1 Recolección de datos.....	44
2.3.5.2 Cálculo puntual de la disponibilidad	46
2.3.5.3 Cálculo de la disponibilidad por distribuciones	50
2.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	60
3. PREDECIR EL COMPORTAMIENTO CMD	61
3.1 OBJETIVO	61
3.2 INTRODUCCION	61
3.3 DESARROLLO DEL COMPORTAMIENTO CMD.....	61
3.3.1 Comportamiento CMD por distribuciones	61
3.3.2 Pronósticos CMD por series temporales.....	68
3.3.2.1 Pronósticos del <i>MTBF</i>	71
3.3.2.2 Pronósticos de <i>MTTR</i>	75
3.3.2.3 Pronósticos de β eta	79
3.3.2.4 Pronósticos de η ta	83
3.3.2.5 Pronósticos de disponibilidad	87
3.2 CONCLUSIONES	92
4. PRECISION DE LOS PRONOSTICOS.....	93
4.1 OBJETIVO	93
4.2 INTRODUCCION	93
4.3 DESARROLLO DE LA PRECISION DE LOS PRONOSTICOS	93
4.3 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	95
5. CONCLUSIONES	96
6. RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	99
REFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS.....	99
REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET	102

ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Evolución histórica del mantenimiento	10
Ilustración 2. Método científico y metodología universal de pronósticos	17
Ilustración 3. Serie con estructura tendencial detectada con Statgraphics.....	20
Ilustración 4. Serie que no posee estructura tendencia	21
Ilustración 5. Modelos de pronósticos.....	22
Ilustración 6. Modelos y criterios de uso.....	26
Ilustración 7. Parámetro de forma de la distribución de Weibull	43
Ilustración 8. Gráfica con diferentes betas	43
Ilustración 9. Modelos de recolección datos.....	44
Ilustración 10. Datos de paros de mantenimiento	45
Ilustración 11. Disponibilidad alcanzada.....	47
Ilustración 12. Mantenimientos correctivos.....	48
Ilustración 13. Mantenimientos preventivos.....	49
Ilustración 14. Resultados con cálculos puntuales.....	50
Ilustración 15. Parámetros y pruebas para la distribución de Weibull <i>UT</i> 's correctivos.....	56
Ilustración 16. Parámetros y pruebas para la distribución de Weibull <i>DT</i> 's correctivos.....	56
Ilustración 17. Regresión lineal para la distribución de Weibull <i>UT</i> 's preventivos	57
Ilustración 18. Parámetros y pruebas para la distribución de Weibull <i>DT</i> 's preventivos.....	58
Ilustración 19. Comparación resultados	58
Ilustración 20. Curva de Davies	59
Ilustración 21. Gráfica de la función acumulada y confiabilidad.....	63
Ilustración 22. Gráfica de la función de tasa de falla	64
Ilustración 23. Gráfica de la función de mantenibilidad	65
Ilustración 24. Gráfica de la función de densidad de fallas o mantenimiento ..	66
Ilustración 25. Simulación de las reparaciones correctivas.....	67
Ilustración 26. Simulación de los mantenimientos programados	67
Ilustración 27. Simulación las reparaciones correctivas y programadas.....	68
Ilustración 28. Análisis previo <i>MTBF</i>	72
Ilustración 29. Gráfica de los pronósticos obtenidos para <i>MTBF</i>	75
Ilustración 30. Análisis previo para la serie <i>MTTR</i>	76
Ilustración 31. Gráfica de los pronósticos obtenidos para <i>MTTR</i>	79
Ilustración 32. Análisis previo para la serie Beta	80
Ilustración 33. Gráfica de los pronósticos obtenidos para Beta.	83
Ilustración 34. Análisis previo para la serie Eta	84
Ilustración 35. Gráfica de los pronósticos obtenidos para Eta	87
Ilustración 36. Análisis previo para la serie disponibilidad.....	88
Ilustración 37. Gráfica de los pronósticos obtenidos para la disponibilidad	91

ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Probabilidad de ocurrencia de un evento y confiabilidad	33
Ecuación 2. Definición de tendencia por distribución para confiabilidad.....	34
Ecuación 3. Definición del tiempo medio entre mantenimientos.....	35
Ecuación 4. Definición de tendencia para la distribución de mantenibilidad....	36
Ecuación 5. Definición del tiempo medio de mantenimiento	37
Ecuación 6. Disponibilidad general.....	38
Ecuación 7. Disponibilidad inherente.....	39
Ecuación 8. Disponibilidad alcanzada	39
Ecuación 9. Tiempo medio entre mantenimiento	40
Ecuación 10. Tiempo medio de mantenimiento activo	40
Ecuación 11. Disponibilidad operacional	41
Ecuación 12. Tres propiedades de las distribuciones	42

TABLAS

pág.

Tabla 1. Estimación de probabilidad de falla <i>UT</i> 's correctivos	51
Tabla 2. Estimación mantenibilidad <i>DT</i> 's correctivos	52
Tabla 3. Estimación probabilidad de parada <i>UT</i> 's preventivos	53
Tabla 4. Estimación mantenibilidad <i>DT</i> 's preventivos	53
Tabla 5. Regresión lineal para la distribución de Weibull <i>UT</i> 's correctivos.....	54
Tabla 6. Regresión lineal para la distribución de Weibull <i>DT</i> 's correctivos.....	55
Tabla 7. Regresión lineal para la distribución de Weibull <i>UT</i> 's preventivos.....	57
Tabla 8. Regresión lineal para la distribución de Weibull <i>DT</i> 's preventivos.....	57
Tabla 9. Datos de la serie temporal	69
Tabla 10. Parámetros de la serie de tiempo.....	70
Tabla 11. Patrón para el <i>MTBF</i>	73
Tabla 12. Resultado del análisis previo	73
Tabla 13. Selección del modelo de pronóstico para <i>MTBF</i>	74
Tabla 14. Pronósticos para la serie <i>MTBF</i>	75
Tabla 15. Patrón para el <i>MTTR</i>	77
Tabla 16. Resultado del análisis previo	77
Tabla 17. Selección del modelo de pronóstico para <i>MTTR</i>	78
Tabla 18. Pronósticos para la serie <i>MTTR</i>	79
Tabla 19. Patrón para el Beta	81
Tabla 20. Resultado del análisis previo	81
Tabla 21. Selección del modelo de pronóstico para Beta	82
Tabla 22. Pronósticos para la serie beta	83
Tabla 23. Patrón para el Eta	85
Tabla 24. Resultado del análisis previo	85
Tabla 25. Selección del modelo de pronóstico para Eta	86
Tabla 26. Pronósticos para la serie Eta	87
Tabla 27. Patrón para la disponibilidad.....	89
Tabla 28. Resultado del análisis previo	89
Tabla 29. Selección del modelo de pronóstico para la disponibilidad	90
Tabla 30. Pronósticos para la serie disponibilidad	91
Tabla 31. Datos reales después de la semana 33	94
Tabla 32. Pronósticos obtenidos.....	94
Tabla 33. Bondad de ajuste entre los pronósticos y la realidad	94

0 INTRODUCCION

0.1 PROLOGO

Las empresas cada día, deben recurrir a la implementación de políticas y estrategias adecuadas de mantenimiento, que buscan alargar la vida útil de los equipos, con el fin de disminuir los fallos repentinos y las paradas imprevistas, las cuales buscan aumentar la productividad, con base en tácticas de mantenimiento centradas en la confiabilidad.

La complejidad de la vida moderna exige sistemas confiables, donde las máquinas puedan ejercer dentro de una compañía sus funciones sin presentar fallas, ya que una interrupción de su funcionamiento dificulta las labores de producción y genera costos dentro de las empresas (Rojas,1975,4).

El mantenimiento se puede entender como la entidad que apoya la producción y sirve de soporte logístico a todas las áreas para que puedan llevar a cabo su función. Debido al avance técnico, tecnológico y científico, la gestión de mantenimiento que se constituye hoy es mucho más especializada, analítica, práctica y rigurosa que las realizadas años atrás (mantenimiento-industrial@¹,2007).

La eficiencia y calidad de mantenimiento en nuestra época, están íntimamente ligadas a la optimización de métodos y procesos, donde se puede obtener así una reducción de esfuerzos y costos, además de

¹ @ Se emplea para referencias de Internet.

garantizar una adecuada disponibilidad de los equipos y sistemas. A su vez, la moderna gerencia de mantenimiento debe estar atenta a la utilización de los métodos estadísticos y al cálculo de los índices que posibiliten la comprensión de los resultados, propiciando así soluciones de menor costo.

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis y posterior evaluación (Mora,2007,6).

La metodología de series temporales hace referencia a un método cuantitativo y temporal. (40). Lo que se busca en este proyecto es emular el comportamiento futuro de una remachadora a partir del análisis de datos del pasado y del presente, donde se tienen en cuenta todos los datos de reparaciones, como los tiempos programados que son correctivos y tiempos invertidos en mantenimientos programados, como lo son los preventivos.

El proyecto desarrolla los pasos que se requieren para pronosticar los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad y por eso se divide en cuatro partes. La primera parte esta compuesta el capítulo uno donde se realiza la fundamentación teórica de pronósticos.

La segunda parte consta del desarrollo del cálculo de CMD y disponibilidad alcanzada de un registro histórico de datos, los cuales se realizan en el capítulo dos.

La tercer parte consta del capítulo tres donde se realizan los cálculos de CMD por distribuciones y series temporales, para dar paso a la cuarta y última parte, donde se validan los resultados obtenidos, que son tratados en el capítulo cuatro del proyecto.

0.2 ANTECEDENTES

El comienzo del mantenimiento como parte importante y organizado dentro de las empresas, se inicia con la aparición de las máquinas para la producción de bienes o servicios.

Los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento que aparecen para sostener los equipos, se da en los Estados Unidos desde principios del siglo XX, donde todas las soluciones a fallas y paradas que se presentan en las máquinas se reparan mediante mantenimiento correctivo (Newbrough y otros,1982). En los conceptos dados por el autor Junior Ruddell se remonta el origen de los sistemas de mantenimiento al siglo XVIII con las teorías de producción de David Ricardo (Ruddell,1967) (Ricardo,1817).

Ilustración 1. Evolución histórica del mantenimiento

Etapa	sucede aproximadamente	Producción - Manufactura		Mantenimiento e Ingeniería de Fábricas	
		Orientación hacia....	Necesidad específica	Orientación hacia	Objetivo que pretende
I	antes de 1950	el producto	generar el producto	hacer acciones correctivas	reparar fallos imprevistos
II	entre 1950 y 1959	la producción	estructurar un sistema productivo	aplicar acciones planeadas	prevenir, predecir y reparar fallos
III	entre 1960 y 1980	la productividad	optimizar la producción	establecer tácticas de mantenimiento	gestar y operar bajo un sistema organizado
IV	entre 1981 y 1995	la competitividad	mejorar índices mundiales	implementar una estrategia	medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
V	entre 1996 y 2003	la innovación tecnológica	hacer la producción ajustada a la demanda	desarrollar habilidades y competencias	aplicar ciencia y tecnología de punta
VI	desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias Gestión de activos			

Referencia: Mora,2007,21

Las empresas hoy en día incorporan dentro de sus estrategias de trabajo, principios y herramientas de confiabilidad e ingeniería de mantenimiento para

alcanzar sus metas. El estudio de nuevas técnicas que permiten el análisis de la confiabilidad de los equipos presenta gran interés desde años atrás, donde se ha observado un incremento progresivo en la aplicación de estos elementos para mejorar la rentabilidad y efectividad de los procesos productivos (NORIA@,2006).

La ingeniería de confiabilidad como disciplina se inicia en Estados Unidos por los años cincuenta del siglo XX, el incremento de la complejidad de los sistemas electrónicos militares comienza a generar altas tasas de fallas que reducen considerablemente la disponibilidad de los equipos e incrementan su costo (O'Connor,2002,12).

La medida de la confiabilidad puede ser la probabilidad de que un equipo realice su función hasta un tiempo especificado bajo las condiciones de uso definidas, debido a este concepto, se observa como la confiabilidad se puede evaluar solo conociendo el comportamiento del aparato en servicio.

La estadística proporciona herramientas importantes para la evaluación, la mejora, el diseño, el pronóstico y el mantenimiento de la confiabilidad. Los datos importantes para obtener el estudio de confiabilidad son los tiempos entre fallas, y los tiempos que tarda ejecutar los mantenimientos programados y no programados.

Las técnicas estadísticas de predicciones pueden considerarse tan antiguas como la misma humanidad, donde muchos métodos futurísticos se basan en mitos o leyendas (Mora,2007,19).

Las técnicas de pronóstico que se utilizan actualmente se desarrollan en el siglo XIX; un ejemplo de ello son los análisis de regresión. Con el desarrollo de técnicas de pronóstico más complejas, junto con la llegada de las

computadoras, los pronósticos recibieron más atención durante los años recientes. Este desarrollo es en especial cierto desde la difusión de la computadora personal.

El análisis de series temporales, tiene ejemplos claros en relación con estudios meteorológicos y demográficos. En 1845 se encuentran los trabajos de Verhulst sobre la variación de la densidad poblacional en forma de curva logística, y en 1947 los trabajos de Buys Ballot sobre cambios periódicos de temperatura. En 1921 Sir William Beveridge elaboró el gráfico de evolución periódica del trigo en Europa (FUENTE@,2007).

El papel de los pronósticos en los últimos años, con base en el juicio ha cambiado. Previa a la llegada de las técnicas modernas de pronóstico y del poder de las computadoras, el juicio del administrador era la única herramienta de pronóstico disponible.

Las computadoras, junto con las técnicas cuantitativas, se han vuelto más que recomendables en las organizaciones modernas. Estas dificultades generan una enorme cantidad de datos y una tremenda necesidad de extraer información sutil de estos datos. Las herramientas modernas de pronóstico, junto con la capacidad de la computadora se han hecho indispensables para las organizaciones que operan en el mundo moderno.

El método de series temporales se basa en la extrapolación de datos del presente y pasado hacia el futuro. Se caracteriza por su aplicación en corto plazo y por trabajar en entornos estables. Es con base en esta propuesta que se realiza el proyecto en la empresa *Andes Internacional tooling* para un equipo en su línea de producción.

0.3 JUSTIFICACION

La evolución industrial se enfrenta hoy en día a complejas operaciones, donde resulta necesario crear métodos claros que se enfoquen a soluciones efectivas de los problemas, y que generen mayor impacto sobre los tiempos perdidos en producción, costos de mantenimiento, seguridad y en general sobre la confiabilidad operacional de los equipos (NORIA@,2006).

La importancia de la ingeniería de mantenimiento esta creciendo rápidamente, debido a su considerable contribución a la reducción de costos de mantenimiento de un producto durante su uso. Al mismo tiempo, el análisis de mantenibilidad proporciona una potente herramienta a los ingenieros, para la descripción cuantitativa de la capacidad inherente de su producto de ser recuperado para el servicio, mediante la relación de tareas de mantenimiento (Knezevic,1996).

El estudio de los indicadores CMD por series temporales posibilita buscar una metodología adecuada, con el fin de brindar una herramienta para los ingenieros que laboran en el área de mantenimiento y poder mejorar su gestión.

El énfasis que se realiza en este proyecto es realizar un proceso de observación, análisis y estudio de los datos que se tienen para ser pronosticados; esto exige tener en cuenta todos los parámetros relevantes que inciden en el comportamiento de la remachadora, donde se pueden obtener respuestas tales como:

¿Que va suceder en el futuro? - Factor cualitativo

¿Cuándo debe ocurrir? - Factor temporal

¿En qué cantidad va a suceder? - Factor cuantitativo

¿Cuál es la probabilidad de que eso ocurra? - Factor probabilística

Los factores resumen las principales características del estudio de una serie temporal.

El proyecto se basa en determinar la confiabilidad de un equipo a través de la combinación de dos áreas de estudio en la carrera de ingeniería mecánica como lo son: el mantenimiento y la estadística. Este proyecto tiene una gran aplicación debido a la importancia y necesidad de predecir el comportamiento de la remachadora, basado en los datos recolectados durante un periodo determinado de tiempo y utilizando las series temporales como herramienta fundamental.

0.4 OBJETIVO GENERAL

Valorar la precisión de pronósticos CMD por series temporales. (Nivel 5)

0.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

0.5.1 Primer objetivo

Fundamentar la metodología de series temporales para predecir el comportamiento de las variables. (Nivel 2).

0.5.2 Segundo objetivo

Aplicar la disponibilidad alcanzada en indicadores CMD de un registro histórico de datos de una remachadora. (Nivel 3).

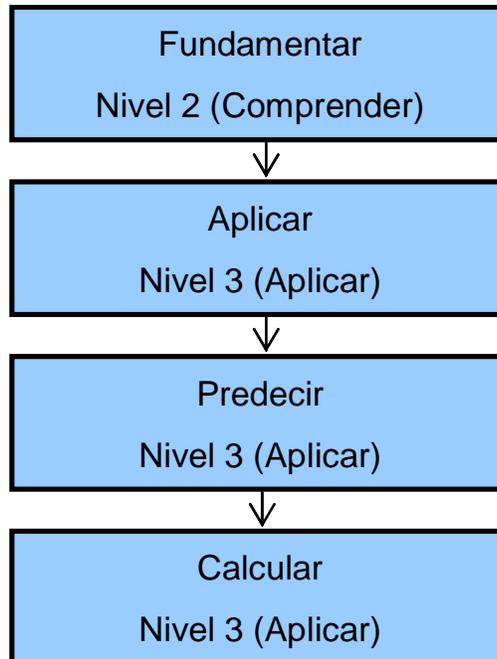
0.5.3 Tercer objetivo

Predecir el comportamiento CMD por distribuciones y series temporales. (Nivel 3).

0.5.4 Cuarto objetivo

Calcular la precisión de pronósticos CMD por series temporales frente a la realidad. (Nivel 3).

0.6 NIVELES OBJETIVOS BLOOM & GAGÑE



1. SERIES TEMPORALES

1.1 OBJETIVO

Fundamentar la metodología de series temporales para predecir el comportamiento de las variables.

1.2 INTRODUCCION

La realización de pronósticos a través del enfoque de las series de tiempo, o mejor la acción de pronosticar nos permite predecir valores futuros de una variable aleatoria basada en el estudio de una estructura conformada por el conjunto de las observaciones pasadas de la variable que explican su variación, donde se supone que la estructura del pasado se conserva en el futuro.

La característica más importante de la serie de tiempo es su orden cronológico o la secuencia de las observaciones que generan la serie, donde este orden forma una estructura de dependencia entre las observaciones, el cual no se observa en otro tipo de datos (Moreno,2000,1).

El propósito de este proyecto se basa en utilizar la metodología universal estandarizada de pronósticos para determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de un equipo en la industria.

1.3 DESARROLLO METODOLOGIA UNIVERSAL DE PRONOSTICOS

El propósito fundamental de la metodología universal es contener los pasos básicos de la metodología científica aplicada a series temporales, lo cual garantiza la calidad de la aplicación (Mora,2007,81).

Ilustración 2. Método científico y metodología universal de pronósticos

METODOLOGÍA UNIVERSAL DE PRONÓSTICOS	MÉTODO CIENTÍFICO
<p>Paso 1- Análisis previo de la serie de demanda</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Síntesis descriptiva 1.2 Calidad y cantidad de datos 1.3 Cumplimiento de estabilidad del entorno 1.4 Análisis previo de la serie completa <ol style="list-style-type: none"> 1.4.1 Estructura Vertical, determinación de Nivel 1.4.2 Estructura Horizontal, análisis de Ruido o Aleatoriedad 1.4.3 Estructura Tendencial, estimación de forma lineal y/o no lineal 1.4.4 Estructura Estacional y/o Cíclica 1.5 Valoración de datos Irregulares 1.6 Encuentro de fenómenos exógenos 1.7 Determinación del patrón estructural gráfico y numérico 1.8 Resultado del análisis Integral previo 	<p>Paso 1 – Observación y análisis de la demanda o fenómeno</p>
<p>Paso 2 – Postulación de los modelos – Construcción de la hipótesis, con relación a los modelos - Cruce entre análisis y características de modelos clásicos y/o modernos</p>	<p>Paso 2 – Postulación – Lanzamiento de Hipótesis</p>
<p>Paso 3 – Validación de la Hipótesis</p> <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Doble recorte de la serie 3.2 Corrida de todos los modelos con primer recorte 3.3 Selección de los tres mejores modelos acertados con la realidad 3.4 Aplicación de los tres mejores clásicos o modernos al segundo recorte 3.5 Selección del mejor modelo 3.6 Cálculo de pronósticos de demanda con el mejor modelo y sus parámetros 3.7 Comparación de la realidad y el pronóstico calculado en periodo anterior 3.8 Estimación del Goodness of Fit o Bondad de Ajuste 3.9 Consenso con ventas, comercialización, inventarios, mercadeo, etc. 3.10 Estrategias y acciones de mercadeo, producción, inventarios, etc. en función del área temática del pronóstico. 	<p>Paso 3 – Validación real de la Hipótesis Conversión de Hipótesis en tesis</p>
<p>Paso 4 – Nuevo cálculo de pronóstico de demanda en próximo periodo</p>	

Referencia: Mora, 2007, 80

1.3.1 Análisis previo

El primer paso del método universal propone desarrollar un proceso de observación, que implica el análisis de la serie, mediante elementos exploratorio que permitan detectar sus características, con el fin de poder lanzar la hipótesis que es el paso número dos, teniendo como base el conocimiento pleno de las características de la serie, para encontrar el o los modelos más adecuados, que se acomoden a estas propiedades (94).

1.3.1.1 Síntesis

La síntesis es la parte donde se define o se plantea el tema a estudiar, se

describen los antecedentes, en especial la metodología cualitativa por la cual se llega a determinar la importancia de realizar pronósticos en el fenómeno seleccionado y en especial se demuestra mediante la narración histórica de su contexto y del entorno en que se mueve. Esta síntesis histórica debe permitir al lector, poder conocer el entorno donde se desenvuelven los hechos que se pronostican y verificar que este tenga cierta estabilidad a lo largo de la historia.

1.3.1.2 Verificación de datos

La calidad de los datos se verifica por distintas fuentes, de tal manera que se tengan seguridad absoluta de que son veraces y que están correctamente transcritos.

Las series entre otros elementos importantes, poseen estructuras de diferentes ordenes lo cual permite que sean clasificadas y categorizadas, para diferenciarlas unas de otras, lo que sirve en el paso dos del MUP², para detectar cuales son los posibles modelos, que mejor se aproximen en la hipótesis y en la verificación del recorte.

1.3.1.3 Estructura vertical – Nivel

El nivel es la forma horizontal que adopta la serie en su comportamiento histórico y actual, en el caso donde se presenten varios niveles, es necesario sólo tomar el periodo más reciente.

Los cambios de nivel reflejan una variación de las condiciones del entorno, y cuando se presenta expresa que se encuentra en un ambiente diferente al

² MUP – Metodología Universal de Pronósticos.

natural de la serie, lo que conlleva a afirmar que la metodología de pronósticos con series temporales no trabaja bien, por lo cual se deben descartar los distintos niveles anteriores al actual. Una forma de descubrir estos cambios de nivel es mediante la observación de la gráfica o al calcular la relación entre la desviación estándar de toda la serie entre la media total y cuyo resultado no debe ser mayor al 50%, ya que de ser así, los cambios de nivel afectan la calidad de los pronósticos y se recomienda eliminar los diferentes niveles distintos al último (más reciente) (95).

1.3.1.4 Estructura horizontal – Ruido o aleatoriedad

El patrón o estructura horizontal se refiere a una serie neutra (que tiende a cero), que posee una desviación estándar pequeña y constante a lo largo de toda ella, donde a este fenómeno se le denomina estacionalidad. En estos casos se enuncia que la serie permanece estable dentro de cierto rango o desviación de valores; cuando esto ocurre en las series estacionarias en media, existe una probabilidad igual de que el siguiente valor este por encima como por debajo de la media (hay ausencia de ruido alrededor de la media) (Makridakis y otro,1998,73).

El principio básico para determinar la existencia de ruido es mediante la suavización, buscando minimizar la desviación estándar (oscilaciones alternadas alrededor de una serie) de la serie mediante la supresión del componente de ruido para eliminar las incidencias aleatorias, que son las causantes de este ruido (Mora,2007,103).

La serie con ruido presenta una distancia significativa entre los puntos de la serie original y los de la suavizada, lo que permite afirmar que los pronósticos que se calculan a partir de la historia de esta serie tienen influencia del ruido. Los componentes irregulares se revisan mediante Statgraphics en *Irregular Component*, que permite revisar la calidad de los datos de una serie. En el

evento de que exista uno a más datos fuera de una desviación estándar normal, la gráfica es diferente, el método es básicamente de observación cualitativa

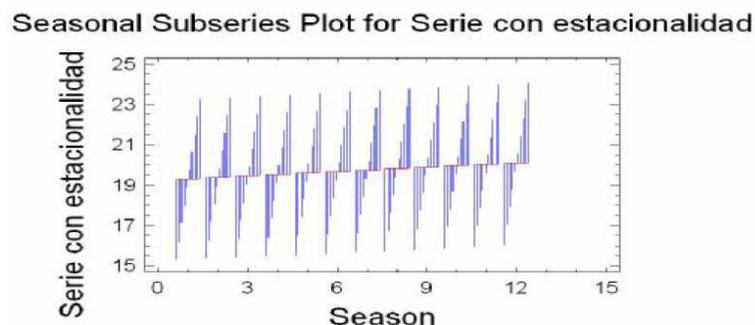
1.3.1.5 Estructura tendencial

Las series que presentan un crecimiento en su pendiente a través del tiempo, poseen una estructura tendencial, se puede detectar visualmente, y se dice que hay presencia de esta cuando la pendiente es diferente de cero (0 ± 0.25). La presencia de una estructura tendencial se aprecia fácilmente mediante un ajuste por tendencia lineal, de la forma $y = a + b \cdot t$, donde a es el intercepto, b es la tendencia (104).

1.3.1.6 Estructura estacional y cíclica

Las series que poseen estructuras repetitivas en el tiempo influenciadas por factores estacionales o cíclicos denotan un comportamiento similar, donde las iteraciones inferiores a doce meses son estacionales y superiores a un año para las cíclicas (108).

Ilustración 3. Serie con estructura tendencial detectada con Statgraphics

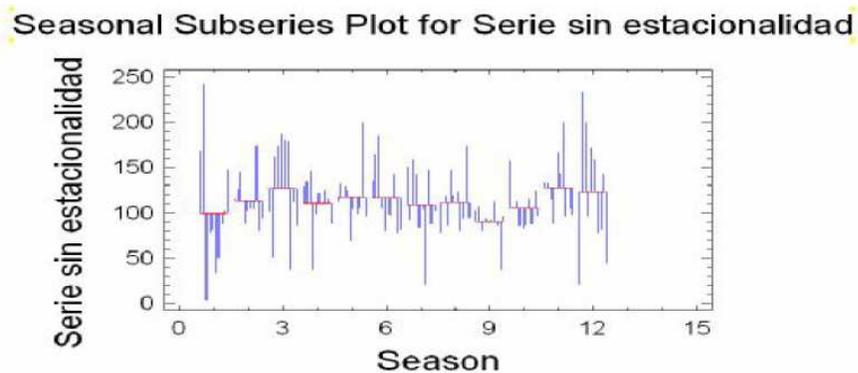


Referencia: Mora, 2007, 114

La estructura estacional se realiza con la herramienta *seasonal subseries plot* del software Statgraphics. La forma para decidir si se tiene o no presencia de

estacionalidad en la serie se basa en dos criterios, una es que cada icono (de izquierda a derecha) debe ser pictóricamente muy similar, y cada palote (líneas verticales) de cada icono debe ser proporcional y similar en todos los iconos, teniendo presente revisar todos los palotes de cada icono.

Ilustración 4. Serie que no posee estructura tendencia



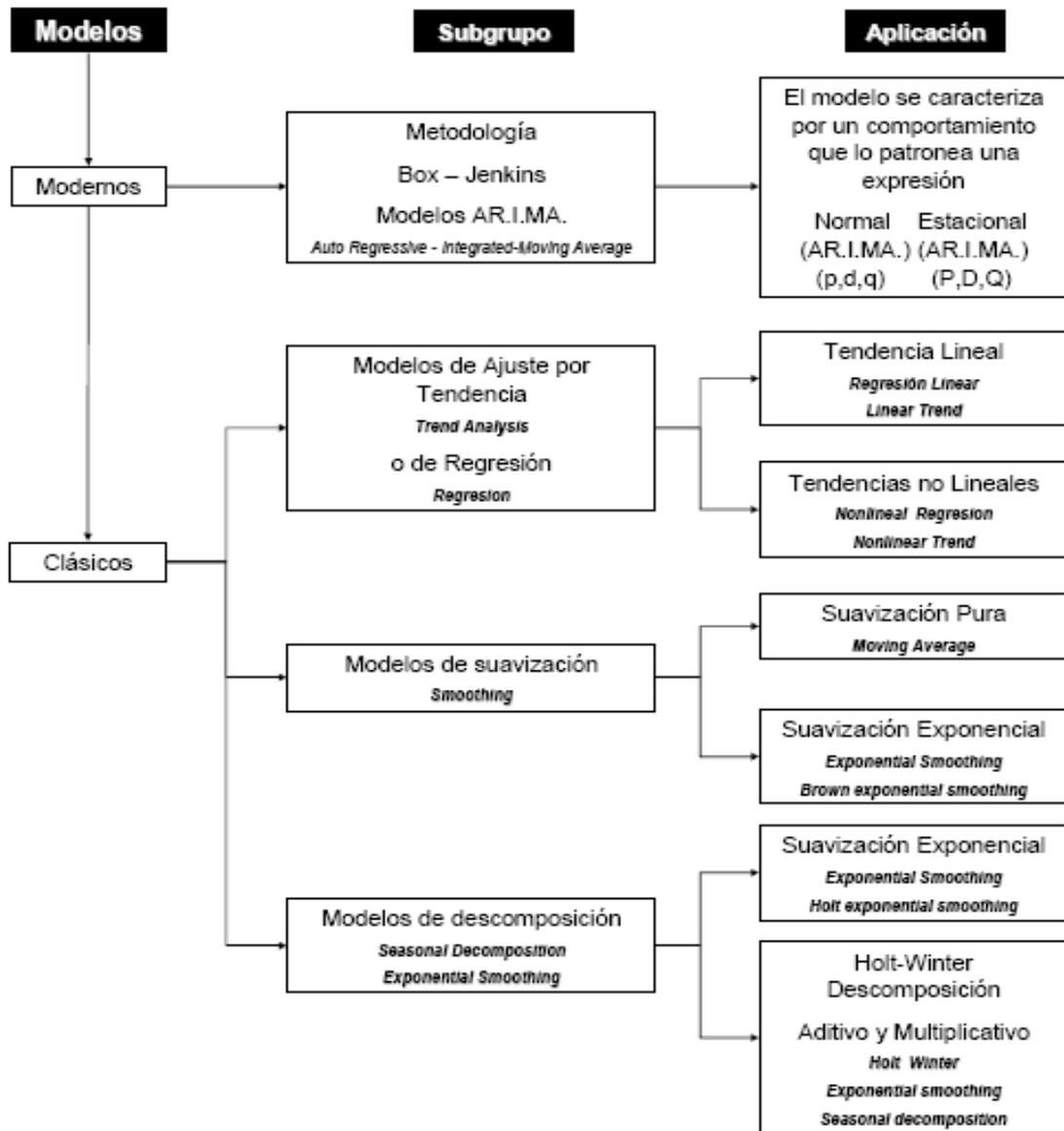
Referencia: Mora, 2007, 114

La detección de fenómenos repetitivos con frecuencias superiores a 12 meses, se logra de forma similar que en la estacional, donde se grafican todos los años en forma horizontal, y si la gráfica presenta cruces o no paralelismo entre ellas se puede afirmar que no hay estructura cíclica.

1.3.2 Hipótesis

El paso dos en la MUP consiste en determinar el o los modelos que mejor se acomoden a las características de la serie analizada en el paso uno. Se trata de conocer las particularidades de cada uno de los modelos más utilizados tanto de clásicas como de modernos, con el fin de lanzar hipótesis a partir las características de la serie encontrada en el paso previo.

Ilustración 5. Modelos de pronósticos



Referencia: Mora, 2007,114

1.3.3 Clasificación de las series de tiempo

Las series de tiempo se pueden dividir inicialmente en métodos clásicos y métodos modernos, donde los métodos clásicos son casos específicos de los modernos (Mora,2007,132).

1.3.3.1 Modelos clásicos

Las metodologías clásicas de series temporales se basan en extrapolar una función, que simula el comportamiento pasado y presente de la serie, hacia el futuro cercano.

Algunas características de los métodos clásicos, son:

- Determinísticos: se les puede expresar mediante una función matemática, que se construye con la modelación de los datos históricos y actuales.
- Pronósticos: básicamente estos se calculan a partir de los datos del pasado y están relacionados con ellos.
- Fenómenos exógenos: estos se involucran en la serie, la perturban durante un tiempo y luego se marchan.
- Simple vista: se puede predecir su tendencia con la simple observación humana.

La clasificación que se puede encontrar en estos métodos de proyección son los de tendencia y los de descomposición.

- Modelos basados en ajuste de tendencia

Los métodos de tendencia son exclusivos para series con situaciones de tendencia; positiva o negativa. Dentro de estos modelos podemos encontrar los ajustes de tendencia lineal y no lineal (Jaramillo,2000,74).

- Técnicas de suavizado

La técnica de suavizado presenta una característica, la cual, en vez de hacer previsiones prepara la serie temporal para otros métodos. El suavizado como su nombre lo indica, suaviza el aspecto de la curva, a través de la eliminación o el aislado de las oscilaciones de la serie (Hanke,1996,152).

- Modelos de descomposición

Los modelos por descomposición se basan en que existe una estructura profunda en las series temporales, el propósito de los métodos de descomposición es como su nombre indica descomponer la estructura integral de la serie en subestructuras, y para ello tiene en cuenta tres elementos: tendencia, ruido y fenómenos repetitivos temporales (estacionalidad y ciclicidad) (Mora,2007,152).

1.3.3.2 Modelos modernos

Los modelos modernos como los *ARIMA* fueron desarrollados por Box y Jenkins durante la década de 1970, los cuales presentan grandes ventajas (Makridakis y otro,1994,172).

- Modelos *ARIMA* – Metodología Box – Jenkins

Los modelos *ARIMA* son de carácter general, con lo cual siempre existe uno de ellos que se adecua a cualquier serie temporal por más especial que sea. Desde el punto de vista de los modelos probabilísticos, se puede afirmar que una serie temporal es una realización parcial de un proceso estocástico de parámetro de tiempo discreto (Carrión, 1999, 40).

Las características de los modelos *ARIMA* son:

- Estocásticos: ya que se basan en estos procesos, no se les expresa en forma determinística con ecuaciones, sino con expresiones que involucran operadores.
- Pronósticos: los modelos modernos pueden lanzar pronósticos que estén en función neta del pasado, pero también puede predecir hechos totalmente novedosos que muy poca o ninguna relación tienen con los eventos ya descritos del pasado; como también una combinación de los anteriores, pronósticos que por una parte dependan del pasado y por otra parte sean aleatorios.

- Fenómenos exógenos: estos se involucran, alteran la serie y pasan a formar parte de ella.
- Simple vista: no es fácil predecir el comportamiento futuro de la serie con la simple observación humana, en los modelos modernos.

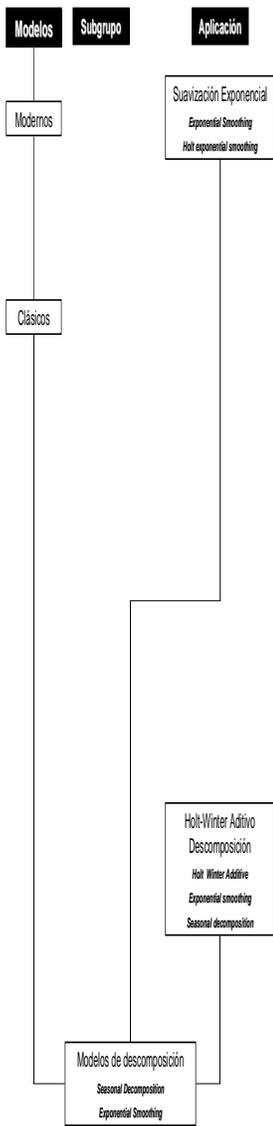
Los modelos *ARIMA*, son más generales y teóricos que los de ajuste por tendencia, que los de suavización o que los de descomposición, son capaces de tratar cualquier patrón de datos y a la vez son aptos para establecer directamente un modelo estadístico de clase general que simule más adecuadamente la serie de datos temporales (Mora, 2007,165).

La metodología Box – Jenkins utiliza un modelo basado en iteraciones que permite identificar el mejor modelo a partir de patrones de tipo general. El modelo se ajusta siempre y cuando los residuos entre el modelo real y el seleccionado sean bajos y se distribuyan de una forma aleatoria e independiente, a lo largo del tiempo; este proceso se repite sucesivamente hasta alcanzar el modelo que más se ajuste a estas especificaciones.

El método se utiliza especialmente para series estacionarias en media, quiere decir para series históricas cuyo promedio no varía significativamente a través del tiempo. La selección del mejor modelo se realiza mediante la comparación de la distribución de los coeficientes de auto correlación (simple) (*ACF*) y parcial (*PACF*) con modelos teóricos que sirven para identificar a p , q , P o Q (Hanke,1998,431).

Ilustración 6. Modelos y criterios de uso





Criterios técnicos

Usos

Holt - Winter Exponential Smoothing, es un modelo clásico elaborado especialmente para series que tienen estructuras estacionales y/o cíclicas con fenómenos repetitivos en el tiempo obligatoriamente, y pueden opcionalmente contar con estructura horizontal de ruido y/o estructura tendencial con pendiente diferente a cero ± 0.25 .

Holt - Winter Exponential Smoothing Additive

Su cálculo se realiza mediante la expresión:

Uno - $T_{t+M} = S_t + M \cdot b_t$ con **Dos - Pronóstico** $X_{t+M} = E_t + T_{t+M}$

Donde X_{t+M} es el pronóstico para el período $t + M$ realizado desde t .

El término T_{t+M} es el pronóstico sin estacionalidad (previsión de la tendencia).

La expresión E_t es el Factor Estacional

Las variables: S_t es el término referido a la suavización de la estructura horizontal de ruido, b_t es el valor referido al tratamiento de la pendiente y m es el número de períodos vista a que se desea pronosticar mediante cálculos escalonados sucesivos.

Al sustituir la expresión dos en uno queda:

$$X_{t+M} = \text{Pronóstico}_{t+M} = (S_t + M \cdot b_t) + E_t$$

La estimación de los valores escalonados en cada tiempo t , se realizan con las ecuaciones:

$$S_t = \text{alfa} \cdot (Z_t - E_{t-L}) + (1 - \text{alfa}) \cdot (S_{t-1} - b_{t-1})$$

$$b_t = \text{beta} \cdot (S_t - S_{t-1}) + (1 - \text{beta}) \cdot b_{t-1}$$

$$E_t = \text{Gamma} \cdot (Z_t - S_t) + (1 - \text{Gamma}) \cdot E_{t-L}$$

Fuente Bibliográfica: Yin-Long, 1998, 273

donde alfa , beta y $\text{Gamma} \cdot (y)$ son factores de modelación o constantes de suavizado, correspondientes así: alfa al componente de suavización S_t , beta al componente tendencial b_t , y $\text{Gamma} \cdot (y)$ al factor temporal (cíclico o estacional). En las expresiones enunciadas L es la longitud del ciclo, M es el número de períodos futuros a pronosticar (Yin-Long, 1998, 273).

Las constantes alfa y beta trabajan entre 0.00001 y 0.35 y entre más bajas denotan mayor presencia de ruido (o aleatoriedad) y tendencia en forma respectiva, en cambio $\text{Gamma} \cdot (y)$ se desempeña entre 0.65 y 0.999999 y entre más alta, denota una mayor existencia del fenómeno temporal repetitivo.

Los valores de E_t , S_t y b_t se inicializan con las siguientes fórmulas y condiciones:

S_0 es la media móvil de los primeros L datos reales Z_t , con $t = 1, 2, \dots, L$.

b_0 es igual a cero

$E_t = Z_t - S_0$, para los primeros L valores con $t = 1, 2, 3, \dots, L$.

Los Pronósticos de los X_{t+M} valores se calculan con $M = 1$, cuando $t + M$ aún son valores reales históricos.

Los verdaderos pronósticos de X_{t+M} cuando $t + M$ es mayor al número de datos históricos se calculan con $M = 1$ el primer pronóstico, $M = 2$ la segunda predicción, $M = 3$ la tercera predicción y así sucesivamente hasta completar los valores solicitados.

Por otro lado al momento de estimar los pronósticos con la ecuación

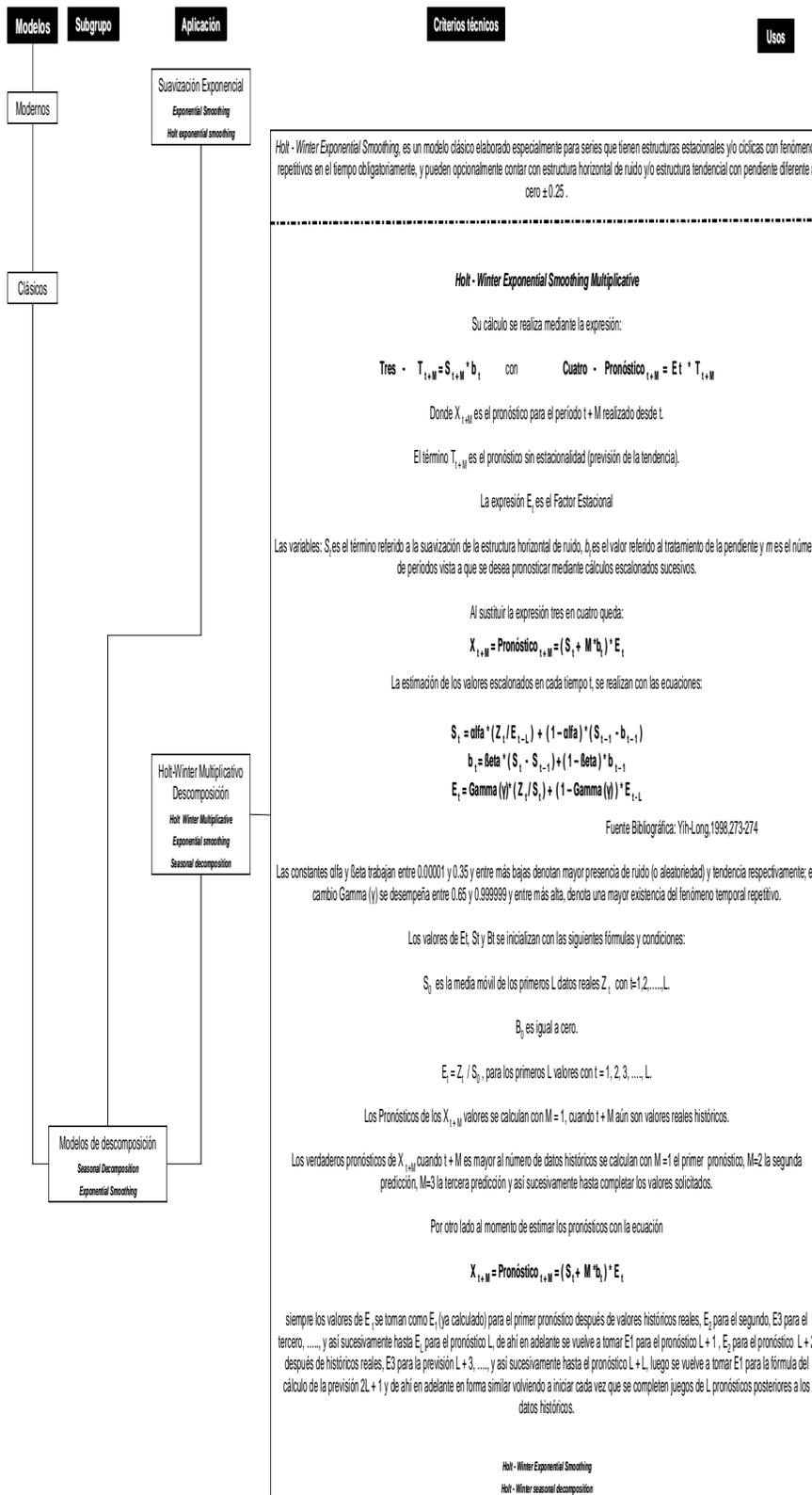
$$X_{t+M} = \text{Pronóstico}_{t+M} = (S_t + M \cdot b_t) + E_t$$

siempre los valores de E_t se toman como E_1 (ya calculado) para el primer pronóstico después de valores históricos reales, E_2 para el segundo, E_3 para el tercero, y así sucesivamente hasta E_t para el pronóstico t , de ahí en adelante se vuelve a tomar E_1 para el pronóstico $L + 1$, E_2 para el pronóstico $L + 2$ después de históricos reales, E_3 para la previsión $L + 3$, y así sucesivamente hasta el pronóstico $L + L$, luego se vuelve a tomar E_1 para la fórmula del cálculo de la previsión $2L + 1$ y de ahí en adelante en forma similar volviendo a iniciar cada vez que se completen juegos de L pronósticos posteriores a los datos históricos.

siempre los valores de E_t se toman como E_1 (ya calculado) para el primer pronóstico después de valores históricos reales, E_2 para el segundo, E_3 para el tercero, y así sucesivamente hasta E_t para el pronóstico t , de ahí en adelante se vuelve a tomar E_1 para el pronóstico $L + 1$, E_2 para el pronóstico $L + 2$ después de históricos reales, E_3 para la previsión $L + 3$, y así sucesivamente hasta el pronóstico $L + L$, luego se vuelve a tomar E_1 para la fórmula del cálculo de la previsión $2L + 1$ y de ahí en adelante en forma similar volviendo a iniciar cada vez que se completen juegos de L pronósticos posteriores a los datos históricos.

Holt - Winter Exponential Smoothing
Holt - Winter seasonal decomposition

Es ideal en series con presencia obligatoria de estructuras estacionales y/o cíclicas; la presencia de ruido (o aleatoriedad) o tendencia es opcional no impositiva, aún sin estas dos últimas es un modelo que se acomoda bien a series con fenómenos temporales repetitivos.



Referencia: Mora, 2007, 129-131

1.3.4 Postulación de los modelos

La postulación de los modelos se basa en construir una hipótesis con relación a los modelos, y se cruza el análisis previo con las características de los modelos clásicos y/o modernos.

1.3.4.1 Recorte de la serie de datos

La serie recorta máxima en el diez por ciento (10%) de sus datos siempre y cuando no pase de doce meses (o cuatro años, o doce semanas, o sesenta días, etc. (Dependiendo de la unidad de tiempo en el que se tengan los datos).

1.3.4.2 Determinar el mejor modelo

El mejor modelo, es la fase de desarrollo y se realiza mediante la utilización de herramientas de tipo computacional, es decir software para realizar los pronósticos con cada uno de los modelos clásicos y los modernos.

1.3.4.3 Preparación de la tabla de comparaciones

La tabla de comparaciones se elabora en una hoja de Excel y consiste en una tabla de cálculos donde se descargan los n pronósticos recortados en el paso anterior con el fin de comparar los resultados, y poder establecer un mecanismo de error cuadrático o similar con valor absoluto, que permite seleccionar los modelos que más se acerquen a los n datos reales recortados, con el fin de tomar los más opcionados y con estos realizar la prueba final de comparación con los dos últimos reales con los cuales se selecciona el mejor y con la serie completa se realiza el pronóstico final.

1.3.4.4 Selección del mejor modelo

La selección del mejor modelo se realiza para satisfacer la hipótesis, el recorte y en general el método, por lo cual se adopta como modelo, para realizar las previsiones requeridas para el corto plazo.

1.3.4.5 Cálculo de los pronósticos

El cálculo de los pronósticos se realiza después de escoger el mejor modelo, y donde se deben tener presente los parámetros con los cuales fueron calculados.

1.3.4.6 Comparación de la realidad y el pronóstico calculado

La comparación se realiza, una vez transcurra la realidad, y se determina mediante la bondad de ajuste. El resultado se debe dar en porcentaje, donde debe estar por debajo del 11% para que se verifique como adecuado (Makridakis y otro,1998,312).

1.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

La aplicación y utilización de los métodos de previsiones, proporciona un conocimiento profundo del fenómeno que se analiza, sobretodo en el análisis previo y en la corrida de los modelos, ya que son muy útiles a la hora de analizar una serie.

La aplicación del método universal de pronósticos proporciona una herramienta importante en la gestión de mantenimiento ya que el método permite un flujo de información relevante para el manejo de las variables, y donde sus resultados sirven para realizar otros estudios dentro de las organizaciones.

2. APLICAR DISPONIBILIDAD ALCANZADA

2.1 OBJETIVO

Aplicar la disponibilidad alcanzada en indicadores CMD de un registro histórico de datos de una remachadora.

2.2 INTRODUCCION

La necesidad de controlar los equipos en la industria, para la gestión de mantenimiento, se realiza directamente con respecto a las fallas que estos presentan, donde se busca alta disponibilidad, mayor seguridad y mayor economía.

La tarea de todo equipo es satisfacer, la demanda de funcionamiento durante toda su vida operativa, en las condiciones técnicas y de seguridad adecuadas con un bajo costo. La baja disponibilidad provoca pérdidas en eficiencia, llevando tanto a los fabricantes como a los consumidores a medir la confiabilidad de los productos (Blanchard y otros,1995,13).

El mantenimiento en el ámbito industrial ha llevado a utilizar nuevas estrategias, sobre la seguridad de funcionamiento de los sistemas basada en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

2.3 DESARROLLO CMD

La confiabilidad como disciplina se inicia en Estados Unidos por los años cincuenta, y esto se da por el incremento de la complejidad de los sistemas electrónicos. Los conceptos básicos de la confiabilidad se encuentran en la actualidad en todo tipo de industria (Barlow,1998,21).

2.3.1 Confiabilidad

La medida de confiabilidad de un equipo es la frecuencia a la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es cien por ciento confiable, si la frecuencia de falla es muy baja, tiene una confiabilidad aceptable, pero si tiene una frecuencia de falla alta, el equipo no es confiable (Bazovsky,2004,3).

Los autores definen la confiabilidad de un equipo o sistema como la probabilidad de que este desempeñe adecuadamente su función, durante un intervalo de tiempo, y bajo condiciones ambientales o de entorno específicas (Leemis,1995,2) (Ramakumar,1996,3) (O'Connor,1989,4) (Bazovsky,2004,11) (Billinton y otro,1983,2) (Lewis,1987,1) (Barlow y otros,1995,5) (Nachlas,1995,18). Se destacan en tal definición cuatro componentes importantes, la probabilidad, el desempeño adecuado, el tiempo y el entorno.

La probabilidad de ocurrencia de un evento es el resultado de dividir los casos favorables que pueden ocurrir en un suceso, por el total de casos posibles (Moreno y otro,1999,61).

La probabilidad es más exacta cuanto mayor sea el número de intentos (Ramakumar,1993,13). De esta manera se puede suponer que la estimación es cercana a un valor real cuando el número de intentos es lo suficientemente grande (un número mínimo de 30 datos). Si se especifica tal evento como el número de fallos se puede definir la confiabilidad como el complemento o la probabilidad de éxito.

Ecuación 1. Probabilidad de ocurrencia de un evento y confiabilidad

$$P_f = \left(\frac{n}{N} \right)$$
$$P_f = \mathit{Lim}_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$
$$R_s = 1 - P_f$$

Referencia: Ramakumar, 1993, 13

Donde:

Pf: probabilidad de ocurrencia del evento n o de fallo

n: evento n

N: número total de eventos

Rs: probabilidad de éxito o confiabilidad

El segundo componente de la definición de confiabilidad es el desempeño de la función, este no implica una falla completa, sino la condición de su desempeño no satisfactorio; por ejemplo, un motor puede estar trabajando pero estar recalentado. Por lo tanto se requiere una definición clara de lo que es una falla, es decir, debe haber claridad acerca de las condiciones de desempeño (Ramakumar, 1993, 3).

2.3.1.1 Indicadores de confiabilidad

Los indicadores de confiabilidad deben ser necesarios para la caracterización de la habilidad del sistema para desempeñar su operación, deben reflejar las propiedades esenciales de operación del sistema, ser entendibles desde el punto de vista físico, simples de calcular, y simples de comprobar a la hora de su uso. El número de indicadores de confiabilidad debe ser pequeño, donde casi todos son de naturaleza estadística y dependen del tiempo (Gnedenko y otro, 1995, 86).

- Tiempo medio entre fallas (*MTBF*)

El tiempo medio entre fallas $MTBF^3$, es la medida de la tendencia central o valor promedio de la distribución de la variable aleatoria tiempo entre fallas, aplicada a ítems reparables (254).

Ecuación 2. Definición de tendencia por distribución para confiabilidad

$$MTBF = [E] = \int_0^{\infty} R(t).dt$$

Referencia: Leemis,1995,60

Donde:

R(t): función de confiabilidad

E: corresponde a esperanza matemática de la distribución

- Tiempo medio entre mantenimiento (*MTBM*)

El tiempo medio entre mantenimiento $MTBM^4$, más que un indicador de confiabilidad es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos programados (preventivos) y no programados (correctivos), y en ausencia de mantenimiento preventivo, el *MTBM* se aproxima al *MTBF* (Blanchard y otros,1995,111).

³ *MTBF – Mean time between failures.*

⁴ *MTBM – Mean time between maintenance.*

Ecuación 3. Definición del tiempo medio entre mantenimientos

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

Referencia: Blanchard y otros,1995,111

Donde:

MTBM_c: tiempo medio entre mantenimiento no programados (correctivos), se aproxima al MTBF

MTBM_p: tiempo medio entre mantenimiento programados (preventivos)

2.3.2 Mantenibilidad

La mantenibilidad esta relacionada con la duración de las paradas por mantenimiento y el tiempo que toma efectuar las acciones de restauración. Las características de la mantenibilidad se determinan usualmente por el diseño del equipo, el cual establece los procedimientos de mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación (Barringer,1996,4).

2.3.2.1 Indicadores de mantenibilidad

Las acciones de mantenimiento se clasifican en mantenimientos programados y no programados. El mantenimiento no programado o correctivo es usado cuando el sistema presenta una falla o un mal funcionamiento, su propósito es restaurar la operación del sistema tan pronto sea posible (Ramakumar,1993,129).

El mantenimiento programado se ejecuta aun si el sistema ésta funcionando satisfactoriamente, su propósito es mantener el sistema en condiciones de desempeño. Este proceso prolonga la vida de los componentes, disminuye el número de fallas e incrementa el *MTBF* del sistema (Bazosky,1961,165).

- Tiempo medio para reparar (*MTTR*)

El índice clave para la mantenibilidad es frecuentemente el tiempo medio para reparar *MTTR*⁵, o tiempo medio de mantenimiento correctivo, y se interpreta como el límite para el tiempo máximo de reparación. Cualitativamente se refiere a la facilidad con que los equipos son restablecidos a su estado de funcionamiento. Cuantitativamente es una probabilidad y se mide con base en el tiempo de parada por mantenimiento y contempla el tiempo en el cual se hacen pruebas y se verifica si la reparación fue adecuada (Knezevic,1996,50).

Ecuación 4. Definición de tendencia para la distribución de mantenibilidad

$$MTT = [E] = \int_0^{\infty} M(t).dt$$

Referencia: Knezevic,1996,50

Donde:

M(t): función de mantenibilidad

E: corresponde a la tendencia central de la distribución

- Tiempo medio de mantenimiento (\bar{M})

El tiempo medio de mantenimiento activo \bar{M} ⁶, es el tiempo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento. Es función de los tiempos medios de mantenimiento correctivo y preventivo, y sus frecuencias relativas, solo consideran los tiempos activos de mantenimiento y no consideran los tiempos

⁵ *MTTR – Mean time to repair.*

⁶ \bar{M} - *Mean active maintenance time.*

administrativos, ni logísticos (Blanchard y otro, 1995, 108).

Ecuación 5. Definición del tiempo medio de mantenimiento

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

Referencia: Blanchard y otros,1995,111

Donde:

M_p : tiempo neto medio para ejecutar tareas preactivas de mantenimientos programados.

$MTTR$: tiempo medio entre reparaciones

$MTBM_c$: tiempo medio entre mantenimientos correctivos

$MTBM_p$: tiempo medio entre mantenimientos preventivos

2.3.3 Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo este operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación y se usa bajo condiciones estables; el tiempo total puede incluir el tiempo operativo, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo, tiempo administrativo y tiempo logístico, de acuerdo con la disponibilidad seleccionada (127).

La frecuencia con la cual un sistema se encuentra disponible se expresa básicamente como la relación de sus tiempos de funcionamiento y sus tiempos de parada y presenta diferentes variantes. El tiempo de funcionamiento y el tiempo de parada son mutuamente excluyentes por la condición de los estados de un sistema; el tiempo de funcionamiento se refiere a la capacidad de desempeñar una tarea, en tanto que el tiempo de

parada se refiere a la imposibilidad de desempeñarla (Barringer,1997,4).

Ecuación 6. Disponibilidad general

$$Disponibilidad = \frac{UT}{UT + DT}$$

Referencia: Barringer,1997,4

Donde:

UT: tiempo de funcionamiento

DT: tiempo de parada

2.3.3.1 Indicadores de disponibilidad

La modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidad, hasta otras mas complejas donde si se tiene en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

Los diferentes tipos de disponibilidad son: la: genérica, la inherente, la alcanzada, la operacional y la operacional generalizada (Mora,2007,60).

- Disponibilidad inherente

La disponibilidad inherente, es la probabilidad de que el sistema opere favorablemente, cuando sea requerido en cualquier tiempo y bajo las condiciones de operación especificadas, teniendo en el entorno logístico buena disponibilidad de personal, repuestos, herramientas, y todo lo necesario, para no tener demoras logísticas o administrativas (Blanchard, y otro,1995,127).

Ecuación 7. Disponibilidad inherente

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

Referencia: Blanchard, y otro,1995,127

Donde:

MTBF: tiempo medio entre fallas

MTTR: tiempo medio entre reparaciones

- Disponibilidad alcanzada

La disponibilidad alcanzada es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo, bajo condiciones específicas, y un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo, pero donde se tienen en cuenta las tareas de mantenimiento preventivo.

Ecuación 8. Disponibilidad alcanzada

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}}$$

Referencia: Blanchard, y otro,1995,127

Donde:

MTBM: tiempo medio entre mantenimientos

\overline{M} : tiempo medio de mantenimiento

Ecuación 9. Tiempo medio entre mantenimiento

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

Referencia: Blanchard y otros, 1995, 127

Donde:

\overline{M} : es el tiempo medio de mantenimiento requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento

$MTBM_p$: es el tiempo medio entre mantenimiento preventivo

$MTBM_c$: tiempo medio entre mantenimientos correctivos

Ecuación 10. Tiempo medio de mantenimiento activo

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

Referencia: Blanchard y otros, 1995, 127

Donde:

$MTBM_p$: es el tiempo medio entre mantenimiento preventivo

M_p : el tiempo que se requiere para realizar una tarea programadas o preventiva de mantenimiento

$MTBF$: tiempo medio entre fallas

$MTTR$: tiempo medio entre reparaciones

- Disponibilidad operacional

La disponibilidad operacional es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo, bajo

condiciones específicas, en un entorno real de soporte logístico, abarcando por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos causados por los retrasos logísticos y administrativos, es decir todos los tiempos concernientes al estado de reparación, incluyendo mantenimiento programado y no programado.

Ecuación 11. Disponibilidad operacional

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

Referencia: Blanchard, y otro,1995,127

Donde:

MTBM: tiempo medio entre mantenimientos

MDT: tiempo medio de parada

2.3.4 Distribuciones

Las distribuciones de probabilidad son un concepto importante en la estadística, apoyando el concepto de variable aleatoria. Una variable aleatoria es una función de valor real cuyo dominio es un espacio muestral (McClave,1993,67).

Las variables aleatorias son de dos tipos discretas y continuas, donde esta última es la de interés en el estudio de fallas y puede tomar un número infinito de valores posibles asociados con intervalos de números reales; son ejemplos de este tipo de variables, los tiempos de fallas y los tiempos de reparaciones (Ramakumar,1993,32).

La proporción de ocurrencia de una variable aleatoria se expresa en términos de su probabilidad. La definición matemática de una función de probabilidad

continua $f(x)$ es una función que cumple con las siguientes tres propiedades básicas (Vallejo,2004,47).

Ecuación 12. Tres propiedades de las distribuciones

$$1. f(x) \geq 0$$

$$2. \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

$$3. P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

Referencia: Vallejo,2004,47

Las distribuciones con mayor frecuencia pueden representar el comportamiento dentro del análisis de fallas y los análisis de confiabilidad (Leemis,1994,80). Existen varias distribuciones continuas útiles para el análisis de fallas; entre ellas están, la exponencial, la normal, la logarítmica normal y la de Weibull, la gamma, beta, la de Rayleigh, la de Pareto, etc.

- Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es apropiada para modelar situaciones de tasa de fallas constante, estrictamente creciente o decreciente; estas distribuciones tienen dos parámetros y mediante su ajuste se puede obtener una variedad de formas en la curva para describir datos experimentales. Por su gran forma de adaptarse, esta distribución es de gran uso en la ingeniería de confiabilidad (Ramakumar,1993,108).

La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad, ellos son:

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 que la

probabilidad de falla es nula (Forcadas,1983,42).

Parámetro de escala o característica de vida (η), su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.

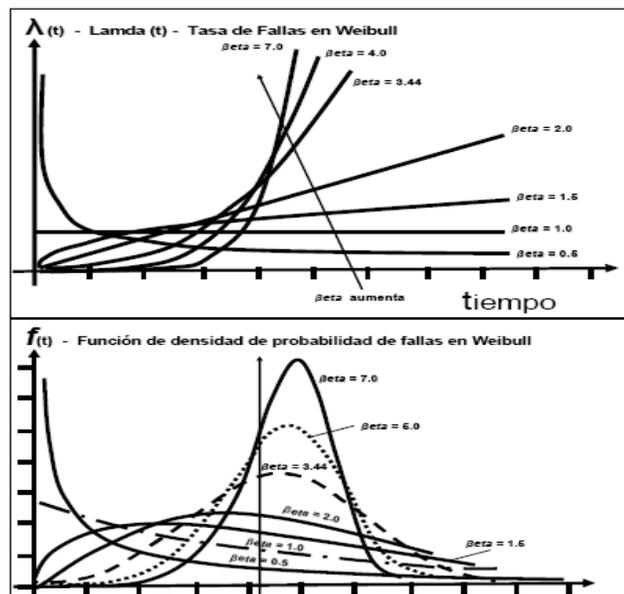
Parámetro de forma (β), este parámetro es el que determina la forma de la función de Weibull, e indica la dispersión de los datos. Es también conocida como la pendiente.

Ilustración 7. Parámetro de forma de la distribución de Weibull

Valor (β)	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución Exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de Falla creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de Falla creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de Falla creciente se aproxima a la distribución Normal; simétrica

Referencia: Mora,2007,98

Ilustración 8. Gráfica con diferentes betas



Referencia: Mora,2007,99

2.3.5 Cálculo de la disponibilidad

2.3.5.1 Recolección de datos

La planta de *internacional tooling*, se encuentra dividida por secciones dependiendo de la función que cumplan sus máquinas en el sistema productivo.

La información requerida para los modelos de cálculo, se extrae del departamento de ingeniería, en la cual se encuentra el área de producción y mantenimiento, y donde cada operario de la planta tiene un código y puede acceder a un listado con códigos de barras que indican los tiempos perdidos, lotes de producción, etc.

Ilustración 9. Modelos de recolección datos

Fecha	WC	Description	Employee	Name	Horas			
08/22/07		MAINTENANCE	T000100	VARGAS CASTRILL, JUAN CAM	6,1	17,88	11:47	11,78
08/22/07		MAINTENANCE	T000085	MARTINEZ MONTOY, ROBERTO	6,04	6,04	00:00	0
08/22/07		MAINTENANCE	T000085	MARTINEZ MONTOY, ROBERTO	6,04	6,75	00:42	0,7
08/22/07		MAINTENANCE	E000062	CANO ZAPATA, ADOLFO ENRIQ	6,86	8,83	01:58	1,97
08/22/07	MILL1	MAINTENANCE	E000033	CORREA VERA, LUIS FELIPE	8,95	8,95	00:00	0
08/22/07		MAINTENANCE	T000114	OCHOA MESA, CARLOS ANDRES	9,2	9,2	00:00	0
08/22/07		MAINTENANCE	E000068	SANCHEZ GALEANO, LUIS ALE	9,2	14,43	05:14	5,23
08/22/07	MILL1	MAINTENANCE	E000033	CORREA VERA, LUIS FELIPE	8,95	13,54	04:36	4,59
08/22/07	DRILL2	MAINTENANCE	E000091	MONTOYA GARCIA, DIEGO EDU	14,17	15,47	01:18	1,3
08/22/07		MAINTENANCE	T000114	OCHOA MESA, CARLOS ANDRES	9,2	14,42	05:13	5,22
08/22/07		MAINTENANCE	T000114	OCHOA MESA, CARLOS ANDRES	14,42	14,43	00:00	0,01
							30,81	TOTAL
08/22/07	AC2	TOOLS	E000071	OBANDO QUINTERO, MAURICIO	10,1	11,4	01:18	1,3
08/22/07	TURN3	TOOLS	E000106	CARDONA PEREZ, YULIANA AN	10,3	11,06	00:46	0,76
08/22/07	MILL2	TOOLS	E000103	SANABRIA VILLA, SERGIO	13,44	14,11	00:40	0,67
08/22/07	VFLOW1	TOOLS	T000099	MUNOZ VASQUEZ, VICTOR ALF	12,15	12,46	00:19	0,31
08/22/07	MILL4	TOOLS	E000076	GARCIA HENAO, JORGE LUIS	12,74	14,35	01:37	1,61
08/22/07		TOOLS	E000067	RESTREPO PUERTA, VLADIMIR	14,11	14,59	00:29	0,48

Los operarios de la planta pueden utilizar en su turno la cantidad que sea necesaria de los códigos de barras. Esta información es almacenada en un software, el cual puede exportar la información a una hoja de cálculo de Excel, para un mejor análisis de los resultados.

La información que suministran los operarios es almacenada en hojas de cálculo día a día, de esta información se extraen los datos necesarios para poder calcular la disponibilidad de una remachadora en la planta de producción.

La propuesta consiste en extraer los datos de mantenimiento de cada uno de los días desde el primero de enero hasta el 19 de agosto del año 2007. Los datos que se extraen contiene la siguiente información: fecha, máquina, paro por mantenimiento, código operario, nombre del operario, hora de paro, hora de inicio y tiempo de paro, los cuales se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 10. Datos de paros de mantenimiento

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	FECHA ▼	MAQUINA ▼	PARO ▼	CODIGO OPERARIO ▼	NOMBRE OPERARIO ▼	HORA PARO ▼	HORA INICIO ▼	TIEMPO DE PARO ▼
25	01/04/2007	WELD1	MAINTENANCE	E000028	ARIAS P., JORGE ALBERTO	12.99	13.69	00:42
39	01/10/2007	WELD1	MAINTENANCE	E000028	ARIAS P., JORGE ALBERTO	7.24	7.43	00:11
42	01/10/2007	WELD1	MAINTENANCE	E000002	GARCIA, WILSON EUGENIO	13.6	13.75	00:09
88	01/16/07	WELD1	MAINTENANCE	E000002	GARCIA, WILSON EUGENIO	19.60	19.60	00:00
89	01/16/07	WELD1	MAINTENANCE	T000090	GUERRA GRANDA, PEDRO NEL	19.73	19.73	00:00
90	01/16/07	WELD1	MAINTENANCE	E000002	GARCIA, WILSON EUGENIO	19.60	21.89	02:18
91	01/16/07	WELD1	MAINTENANCE	T000090	GUERRA GRANDA, PEDRO NEL	19.73	21.91	02:11
120	01/23/07	WELD1	MAINTENANCE	E000081	GARCIA CRUZ, LUIS EDUARDO	14.71	15.3	00:36
194	01/30/07	WELD1	MAINTENANCE	T000090	GUERRA GRANDA, PEDRO NEL	14.27	14.49	00:13
206	02/01/2007	WELD1	MAINTENANCE	E000028	ARIAS P., JORGE ALBERTO	15.6	16.14	00:32
214	02/01/2007	WELD1	MAINTENANCE	E000028	ARIAS P., JORGE ALBERTO	16.73	17.05	00:19
241	02/06/2007	WELD1	MAINTENANCE	E000002	GARCIA, WILSON EUGENIO	8.07	8.86	00:47
321	02/16/07	WELD1	MAINTENANCE	T000090	GUERRA GRANDA, PEDRO NEL	5.8	5.93	00:08
350	02/20/07	WELD1	MAINTENANCE	E000081	GARCIA CRUZ, LUIS EDUARDO	18.23	18.65	00:25
361	02/23/07	WELD1	MAINTENANCE	E000028	ARIAS P., JORGE ALBERTO	21.22	21.57	00:21
362	02/23/07	WELD1	MAINTENANCE	E000081	GARCIA CRUZ, LUIS EDUARDO	21.23	21.57	00:21

El cálculo de la disponibilidad se realiza al tener los datos por tiempos cronológicos de falla en orden ascendente, teniendo en cuenta los tiempos útiles de operación y los tiempos en donde el equipo presenta fallas o se realiza una tarea programada o no programada de mantenimiento.

2.3.5.2 Cálculo puntual de la disponibilidad

El cálculo puntual de la disponibilidad, se hace mediante promedios; ver ejemplo de la ilustración 11 que se presenta, en donde no se realizan simulaciones por distribuciones.

Ilustración 11. Disponibilidad alcanzada

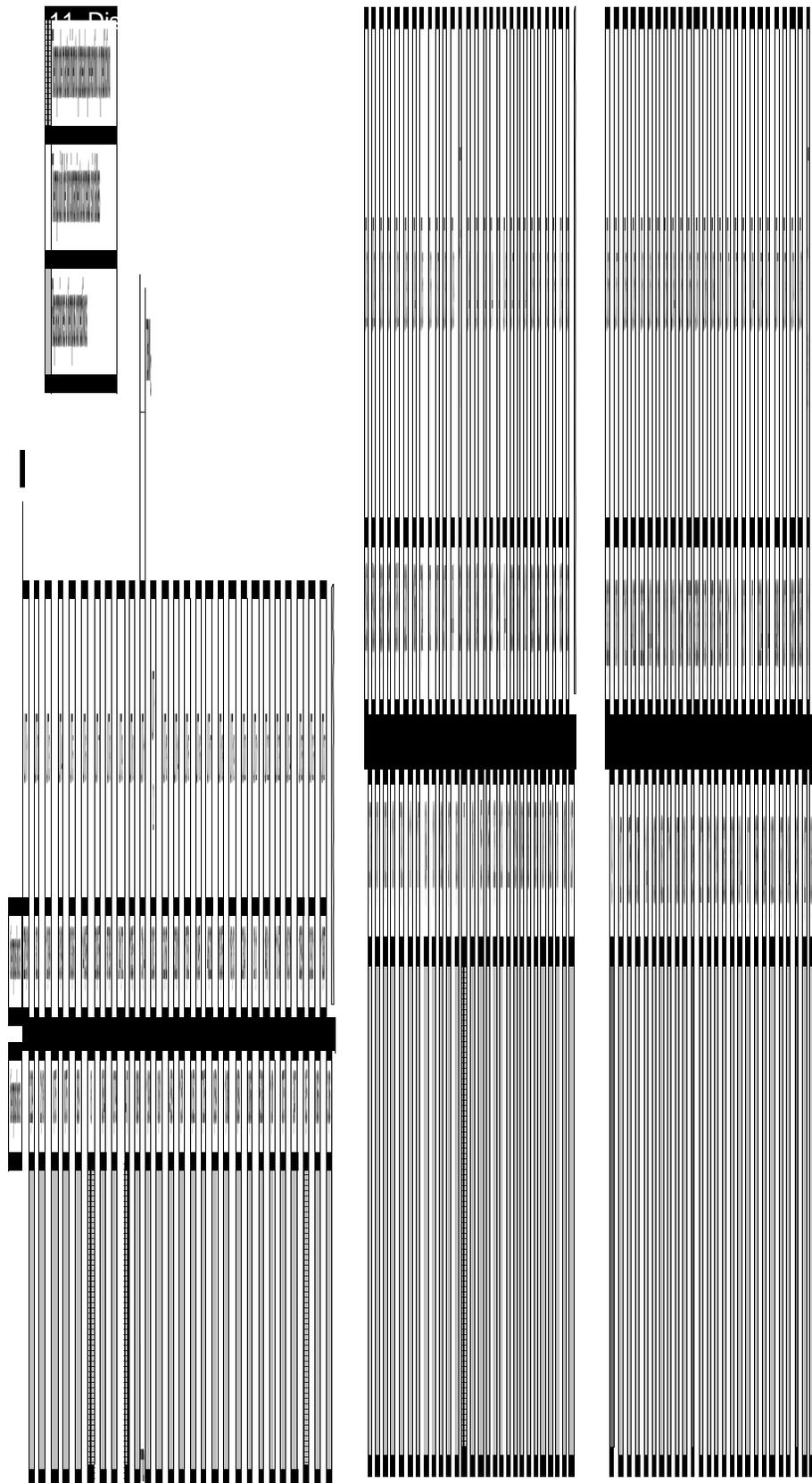


Ilustración 12. Mantenimientos correctivos

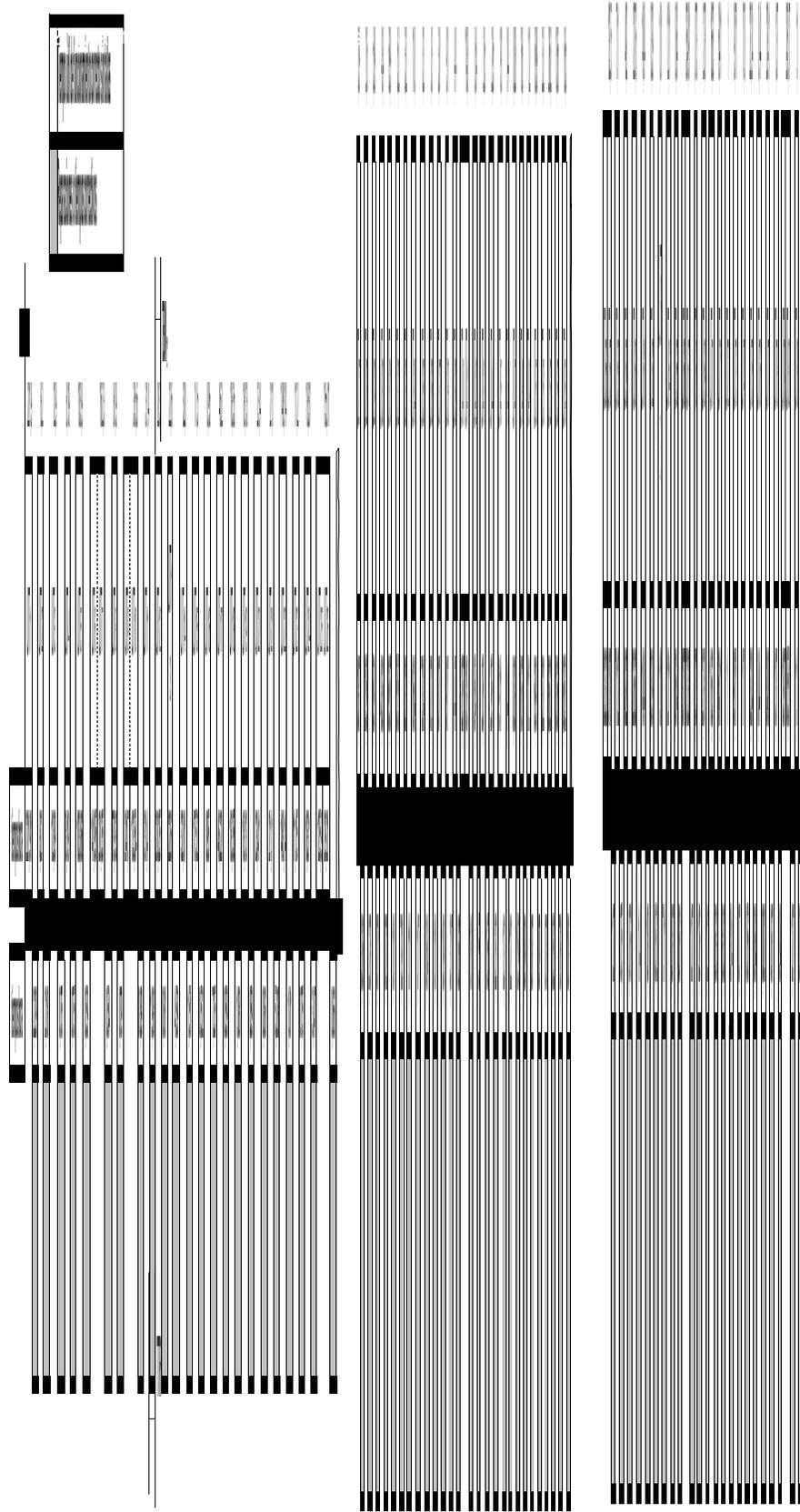


Ilustración 13. Mantenimientos preventivos

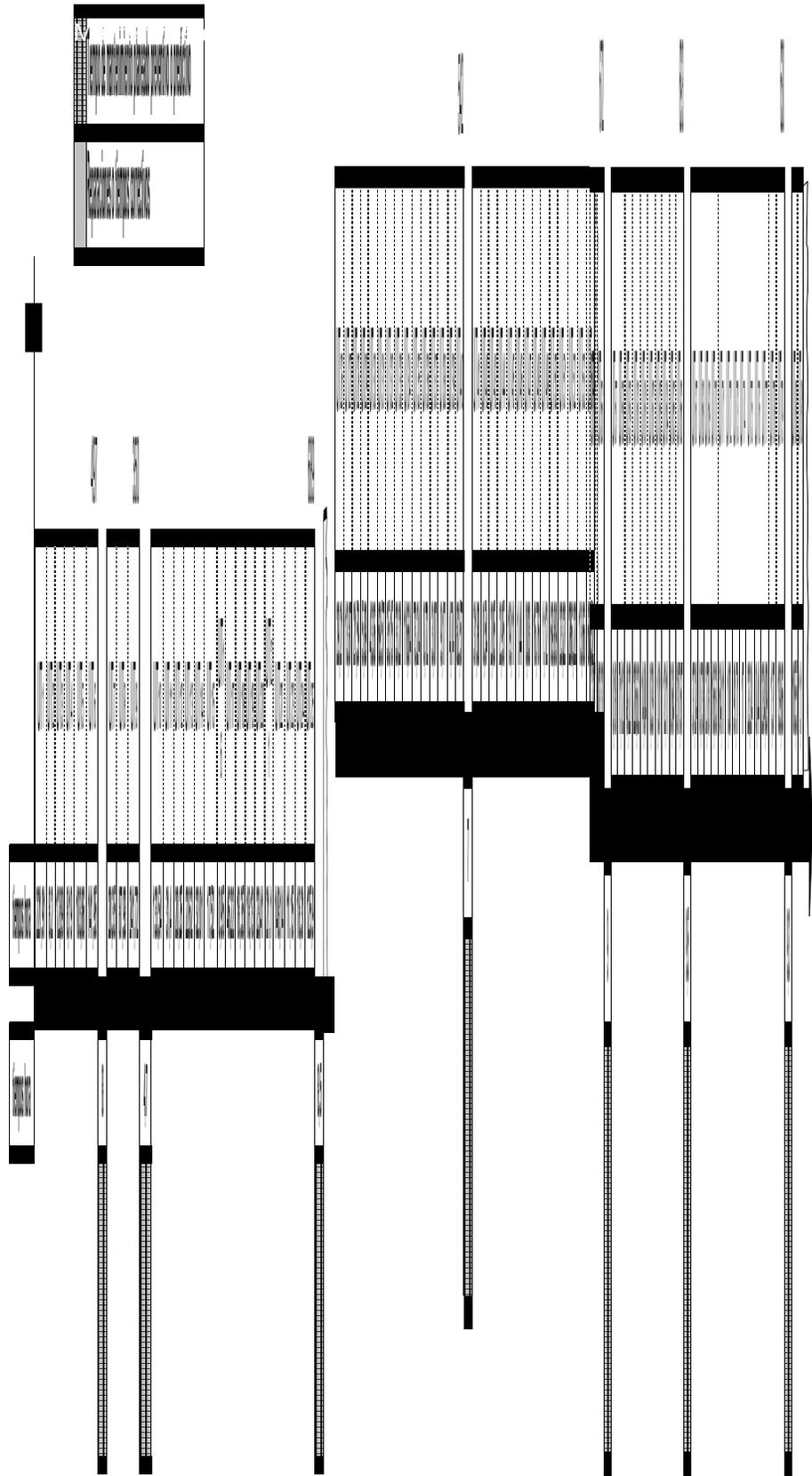


Ilustración 14. Resultados con cálculos puntuales

	Horas
$MTBM_c$	56,9
$MTBM_p$	581,9
$MTTR$	2,18
M_p	8,0

$M' = \frac{\frac{2,18}{56,87} + \frac{8,00}{581,86}}{\frac{1}{56,87} + \frac{1}{581,86}} = 2,694$	$M' = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} =$
$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{56,87} + \frac{1}{581,86}} = 51,808$	$MTBM' = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} =$

Disponibilidad = 95,06%

2.3.5.3 Cálculo de la disponibilidad por distribuciones

Los tiempos de operación y los tiempos invertidos en reparaciones, se pueden analizar de varias formas, una de ellas es a través de las distribuciones, las cuales pueden emular su comportamiento en el tiempo. Los datos van a ser analizados con la distribución de Weibull.

Tabla 1. Estimación de probabilidad de falla *UT's* correctivos

No. Dato	Datos de operación sin fallas en horas $TMBM_c$	Datos de operación sin fallas Ordenados de menor a mayor	Método i-kaésimo $F(t) = \frac{j}{N+1}$	F(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	F(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard	Kaplan & Meier	F(t) con Valores más altos
1	221,91	0,03	1,33%	0,94%	0,94%	0,94%	1,33%
2	8,2	0,39	2,67%	2,28%	2,28%	1,89%	2,67%
3	12,89	0,44	4,00%	3,63%	3,63%	2,85%	4,00%
4	8,19	0,54	5,33%	4,97%	4,97%	3,82%	5,33%
5	103,86	0,64	6,67%	6,32%	6,32%	4,80%	6,67%
6	192,3	0,72	8,00%	7,66%	7,66%	5,78%	8,00%
7	87,93	0,73	9,33%	9,01%	9,01%	6,78%	9,33%
8	375,26	0,95	10,67%	10,35%	10,35%	7,79%	10,67%
9	31,4	1,00	12,00%	11,69%	11,69%	8,80%	12,00%
10	20,25	1,01	13,33%	13,04%	13,04%	9,83%	13,33%
11	22,62	1,10	14,67%	14,38%	14,38%	10,87%	14,67%
12	32,01	1,12	16,00%	15,73%	15,73%	11,91%	16,00%
13	17,52	1,37	17,33%	17,07%	17,07%	12,97%	17,33%
14	0,95	1,44	18,67%	18,41%	18,41%	14,03%	18,67%
15	46,22	2,05	20,00%	19,76%	19,76%	15,11%	20,00%
16	18,35	2,37	21,33%	21,10%	21,10%	16,19%	21,33%
17	18,13	2,78	22,67%	22,45%	22,45%	17,29%	22,67%
18	23,41	2,95	24,00%	23,79%	23,79%	18,39%	24,00%
19	21,1	3,07	25,33%	25,13%	25,13%	19,51%	25,33%
20	148,14	4,74	26,67%	26,48%	26,48%	20,64%	26,67%
21	11,15	5,89	28,00%	27,82%	27,82%	21,77%	28,00%
22	18,31	8,19	29,33%	29,17%	29,17%	22,92%	29,33%
23	155,11	8,20	30,67%	30,51%	30,51%	24,08%	30,67%
24	13,87	9,17	32,00%	31,85%	31,85%	25,25%	32,00%
25	21,59	11,15	33,33%	33,20%	33,20%	26,43%	33,33%
26	5,89	12,11	34,67%	34,54%	34,54%	27,62%	34,67%
27	43,36	12,89	36,00%	35,89%	35,89%	28,82%	36,00%
28	69,57	13,66	37,33%	37,23%	37,23%	30,03%	37,33%
29	35,15	13,87	38,67%	38,58%	38,58%	31,25%	38,67%
30	33,21	14,04	40,00%	39,92%	39,92%	32,48%	40,00%
31	116,64	16,63	41,33%	41,26%	41,26%	33,73%	41,33%
32	73,24	16,76	42,67%	42,61%	42,61%	34,98%	42,67%
33	0,72	17,00	44,00%	43,95%	43,95%	36,25%	44,00%
34	3,07	17,52	45,33%	45,30%	45,30%	37,53%	45,33%
35	9,17	18,13	46,67%	46,64%	46,64%	38,82%	46,67%
36	4,74	18,31	48,00%	47,98%	47,98%	40,12%	48,00%
37	114,37	18,35	49,33%	49,33%	49,33%	41,43%	49,33%
38	0,54	19,11	50,67%	50,67%	50,67%	42,75%	50,67%
39	2,05	20,25	52,00%	52,02%	52,02%	44,09%	52,02%
40	2,95	21,10	53,33%	53,36%	53,36%	45,43%	53,36%
41	19,11	21,59	54,67%	54,70%	54,70%	46,79%	54,70%
42	1,44	22,62	56,00%	56,05%	56,05%	48,16%	56,05%
43	0,028	23,22	57,33%	57,39%	57,39%	49,55%	57,39%
44	16,76	23,24	58,67%	58,74%	58,74%	50,94%	58,74%
45	1,12	23,41	60,00%	60,08%	60,08%	52,35%	60,08%
46	69,89	31,40	61,33%	61,42%	61,42%	53,77%	61,42%
47	23,22	32,01	62,67%	62,77%	62,77%	55,20%	62,77%
48	286,22	33,21	64,00%	64,11%	64,11%	56,64%	64,11%
49	13,66	35,15	65,33%	65,46%	65,46%	58,10%	65,46%
50	68,52	43,36	66,67%	66,80%	66,80%	59,56%	66,80%
51	2,37	46,22	68,00%	68,15%	68,15%	61,05%	68,15%
52	132,5	49,22	69,33%	69,49%	69,49%	62,54%	69,49%
53	71,12	64,11	70,67%	70,83%	70,83%	64,04%	70,83%
54	49,22	68,52	72,00%	72,18%	72,18%	65,56%	72,18%
55	226,62	69,57	73,33%	73,52%	73,52%	67,09%	73,52%
56	14,04	69,89	74,67%	74,87%	74,87%	68,64%	74,87%
57	0,39	71,12	76,00%	76,21%	76,21%	70,20%	76,21%
58	1,01	73,24	77,33%	77,55%	77,55%	71,77%	77,55%
59	12,11	87,93	78,67%	78,90%	78,90%	73,35%	78,90%
60	0,64	91,71	80,00%	80,24%	80,24%	74,95%	80,24%
61	354,91	103,86	81,33%	81,59%	81,59%	76,56%	81,59%
62	0,73	114,37	82,67%	82,93%	82,93%	78,18%	82,93%
63	2,78	116,64	84,00%	84,27%	84,27%	79,82%	84,27%
64	16,63	132,50	85,33%	85,62%	85,62%	81,47%	85,62%
65	64,11	148,14	86,67%	86,96%	86,96%	83,13%	86,96%
66	1	155,11	88,00%	88,31%	88,31%	84,81%	88,31%
67	91,71	192,30	89,33%	89,65%	89,65%	86,50%	89,65%
68	17	221,91	90,67%	90,99%	90,99%	88,21%	90,99%
69	23,24	226,62	92,00%	92,34%	92,34%	89,93%	92,34%
70	0,44	234,09	93,33%	93,68%	93,68%	91,66%	93,68%
71	234,09	245,17	94,67%	95,03%	95,03%	93,41%	95,03%
72	1,37	286,22	96,00%	96,37%	96,37%	95,17%	96,37%
73	245,17	354,91	97,33%	97,72%	97,72%	96,95%	97,72%
74	0	375,26	98,67%	99,06%	99,06%	98,74%	99,06%
Media			50%	50%	50%	44,74%	

Tabla 2. Estimación mantenibilidad DT's correctivos

No. Dato	Datos de reparaciones en horas TTR	Datos de reparaciones en horas TTR	Método i-kaésimo $M(t) = \frac{j}{N+1}$	M(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	M(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard	Kaplan & Meier	M(t) con Valores más altos
1	2,29	0,52	1,33%	0,94%	0,94%	0,94%	1,33%
2	2,18	0,52	2,67%	2,28%	2,28%	1,89%	2,67%
3	0,75	0,52	4,00%	3,63%	3,63%	2,85%	4,00%
4	0,75	0,54	5,33%	4,97%	4,97%	3,82%	5,33%
5	0,59	0,56	6,67%	6,32%	6,32%	4,80%	6,67%
6	0,54	0,56	8,00%	7,66%	7,66%	5,78%	8,00%
7	0,79	0,59	9,33%	9,01%	9,01%	6,78%	9,33%
8	0,89	0,59	10,67%	10,35%	10,35%	7,79%	10,67%
9	1,98	0,59	12,00%	11,69%	11,69%	8,80%	12,00%
10	0,61	0,61	13,33%	13,04%	13,04%	9,83%	13,33%
11	4,59	0,61	14,67%	14,38%	14,38%	10,87%	14,67%
12	1,51	0,63	16,00%	15,73%	15,73%	11,91%	16,00%
13	0,52	0,64	17,33%	17,07%	17,07%	12,97%	17,33%
14	7,25	0,64	18,67%	18,41%	18,41%	14,03%	18,67%
15	0,59	0,66	20,00%	19,76%	19,76%	15,11%	20,00%
16	1,08	0,67	21,33%	21,10%	21,10%	16,19%	21,33%
17	0,59	0,70	22,67%	22,45%	22,45%	17,29%	22,67%
18	0,86	0,71	24,00%	23,79%	23,79%	18,39%	24,00%
19	5,28	0,72	25,33%	25,13%	25,13%	19,51%	25,33%
20	1,01	0,75	26,67%	26,48%	26,48%	20,64%	26,67%
21	0,75	0,75	28,00%	27,82%	27,82%	21,77%	28,00%
22	3,47	0,75	29,33%	29,17%	29,17%	22,92%	29,33%
23	0,66	0,75	30,67%	30,51%	30,51%	24,08%	30,67%
24	3,06	0,76	32,00%	31,85%	31,85%	25,25%	32,00%
25	2,78	0,78	33,33%	33,20%	33,20%	26,43%	33,33%
26	0,71	0,79	34,67%	34,54%	34,54%	27,62%	34,67%
27	0,72	0,79	36,00%	35,89%	35,89%	28,82%	36,00%
28	1,01	0,86	37,33%	37,23%	37,23%	30,03%	37,33%
29	7,82	0,87	38,67%	38,58%	38,58%	31,25%	38,67%
30	1,11	0,87	40,00%	39,92%	39,92%	32,48%	40,00%
31	1,17	0,88	41,33%	41,26%	41,26%	33,73%	41,33%
32	0,64	0,89	42,67%	42,61%	42,61%	34,98%	42,67%
33	1,01	0,89	44,00%	43,95%	43,95%	36,25%	44,00%
34	1,09	1,01	45,33%	45,30%	45,30%	37,53%	45,33%
35	3,17	1,01	46,67%	46,64%	46,64%	38,82%	46,67%
36	0,63	1,01	48,00%	47,98%	47,98%	40,12%	48,00%
37	1,61	1,08	49,33%	49,33%	49,33%	41,43%	49,33%
38	1,55	1,08	50,67%	50,67%	50,67%	42,75%	50,67%
39	1,65	1,08	52,00%	52,02%	52,02%	44,09%	52,02%
40	2,52	1,09	53,33%	53,36%	53,36%	45,43%	53,36%
41	1,23	1,11	54,67%	54,70%	54,70%	46,79%	54,70%
42	1,22	1,17	56,00%	56,05%	56,05%	48,16%	56,05%
43	1,59	1,19	57,33%	57,39%	57,39%	49,55%	57,39%
44	0,89	1,22	58,67%	58,74%	58,74%	50,94%	58,74%
45	0,87	1,23	60,00%	60,08%	60,08%	52,35%	60,08%
46	0,79	1,26	61,33%	61,42%	61,42%	53,77%	61,42%
47	0,78	1,27	62,67%	62,77%	62,77%	55,20%	62,77%
48	0,52	1,27	64,00%	64,11%	64,11%	56,64%	64,11%
49	7,61	1,27	65,33%	65,46%	65,46%	58,10%	65,46%
50	1,08	1,40	66,67%	66,80%	66,80%	59,56%	66,80%
51	2,57	1,51	68,00%	68,15%	68,15%	61,05%	68,15%
52	1,27	1,55	69,33%	69,49%	69,49%	62,54%	69,49%
53	0,75	1,59	70,67%	70,83%	70,83%	64,04%	70,83%
54	0,76	1,61	72,00%	72,18%	72,18%	65,56%	72,18%
55	1,4	1,65	73,33%	73,52%	73,52%	67,09%	73,52%
56	1,08	1,94	74,67%	74,87%	74,87%	68,64%	74,87%
57	0,52	1,98	76,00%	76,21%	76,21%	70,20%	76,21%
58	7,11	2,18	77,33%	77,55%	77,55%	71,77%	77,55%
59	0,87	2,29	78,67%	78,90%	78,90%	73,35%	78,90%
60	0,61	2,52	80,00%	80,24%	80,24%	74,95%	80,24%
61	1,27	2,57	81,33%	81,59%	81,59%	76,56%	81,59%
62	1,26	2,78	82,67%	82,93%	82,93%	78,18%	82,93%
63	1,19	3,06	84,00%	84,27%	84,27%	79,82%	84,27%
64	6,83	3,17	85,33%	85,62%	85,62%	81,47%	85,62%
65	8,03	3,47	86,67%	86,96%	86,96%	83,13%	86,96%
66	8,14	4,59	88,00%	88,31%	88,31%	84,81%	88,31%
67	0,7	5,28	89,33%	89,65%	89,65%	86,50%	89,65%
68	0,56	6,83	90,67%	90,99%	90,99%	88,21%	90,99%
69	0,64	7,11	92,00%	92,34%	92,34%	89,93%	92,34%
70	0,56	7,25	93,33%	93,68%	93,68%	91,66%	93,68%
71	0,67	7,61	94,67%	95,03%	95,03%	93,41%	95,03%
72	1,94	7,82	96,00%	96,37%	96,37%	95,17%	96,37%
73	1,27	8,03	97,33%	97,72%	97,72%	96,95%	97,72%
74	0,88	8,14	98,67%	99,06%	99,06%	98,74%	99,06%
Media			50%	50%	50%	44,74%	

Tabla 3. Estimación probabilidad de parada *UT's* preventivos

No. Dato	Datos de operación sin fallas en horas $TMBM_p$	Datos de operación sin fallas Ordenados de menor a mayor	Método i-kaésimo $F(t) = \frac{j}{N+1}$	F(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	F(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard	Kaplan & Meier	F(t) con Valores más altos
1	497	350	12,50%	9,46%	9,46%	9,46%	12,50%
2	350	497	25,00%	22,97%	22,97%	19,85%	25,00%
3	689	542	37,50%	36,49%	36,49%	31,23%	37,50%
4	542	630	50,00%	50,00%	50,00%	43,67%	50,00%
5	672	672	62,50%	63,51%	63,51%	57,23%	63,51%
6	693	689	75,00%	77,03%	77,03%	71,98%	77,03%
7	630	693	87,50%	90,54%	90,54%	81,67%	90,54%

Media	50%	50%	50%	45,01%
-------	-----	-----	-----	--------

Tabla 4. Estimación mantenibilidad *DT's* preventivos

No. Dato	Datos de reparaciones en horas TTR	Datos de reparaciones en horas TTR	Método i-kaésimo $M(t) = \frac{j}{N+1}$	M(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	M(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard	Kaplan & Meier	M(t) con Valores más altos
1	8	5	12,50%	9,46%	9,46%	9,46%	12,50%
2	4,7	7	25,00%	22,97%	22,97%	19,85%	25,00%
3	8,5	8	37,50%	36,49%	36,49%	31,23%	37,50%
4	7	9	50,00%	50,00%	50,00%	43,67%	50,00%
5	9	9	62,50%	63,51%	63,51%	57,23%	63,51%
6	9,5	9	75,00%	77,03%	77,03%	71,98%	77,03%
7	9,3	9,5	87,50%	90,54%	90,54%	81,67%	90,54%

Media	800%	50%	50%	50%	45,01%
-------	------	-----	-----	-----	--------

Tabla 5. Regresión lineal para la distribución de Weibull UT 's correctivos

j	t_j	$F(t_j)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t_j)))) - Y$ de la regresión	\ln de datos - X de la regresión	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	Y_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$(X_j - \bar{X})^2$	$(Y_j - \bar{Y})^2$	$(X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$	$(Y_j - \bar{Y})^3$	$(X_j - \bar{X})^3$
1	0,03	1,33%	-4,31078	-3,576	15,4134	12,7846	-4,2999	-0,0109	-6,3035	39,7340	23,7026	-3,7602	14,1393	0,0001
2	0,39	2,67%	-3,61086	-0,942	3,4000	0,8866	-2,7332	-0,8776	-3,6696	13,4656	11,2299	-3,0603	9,3654	0,7703
3	0,44	4,00%	-3,19853	-0,821	2,6259	0,6740	-2,6615	-0,5371	-3,5489	12,5949	9,3975	-2,6480	7,0118	0,2884
4	0,54	5,33%	-2,90391	-0,616	1,7894	0,3797	-2,5397	-0,3643	-3,3441	11,1832	7,8699	-2,3534	5,5383	0,1327
5	0,64	6,67%	-2,67375	-0,446	1,1933	0,1992	-2,4386	-0,2352	-3,1742	10,0757	6,7395	-2,1232	4,5079	0,0553
6	0,72	8,00%	-2,48433	-0,329	0,8161	0,1079	-2,3685	-0,1158	-3,0564	9,3419	5,9105	-1,9338	3,7395	0,0134
7	0,73	9,33%	-2,32299	-0,315	0,7311	0,0990	-2,3803	0,0373	-3,0427	9,2577	5,3929	-1,7724	3,1415	0,0014
8	0,95	10,67%	-2,18218	-0,051	0,1119	0,0026	-2,2037	0,0215	-2,7792	7,7242	4,5347	-1,6316	2,6622	0,0005
9	1,00	12,00%	-2,05703	0,000	0,0000	0,0000	-2,1731	0,1161	-2,7279	7,4417	4,1096	-1,5065	2,2694	0,0135
10	1,01	13,33%	-1,94421	0,010	-0,0193	0,0001	-2,1672	0,2230	-2,7180	7,3875	3,7879	-1,3936	1,9422	0,0497
11	1,10	14,67%	-1,84134	0,095	-0,1755	0,0091	-2,1165	0,2751	-2,6326	6,9308	3,3981	-1,2908	1,6661	0,0757
12	1,12	16,00%	-1,74667	0,113	-0,1979	0,0128	-2,1057	0,3591	-2,6146	6,8362	3,1274	-1,1961	1,4307	0,1289
13	1,37	17,33%	-1,65887	0,315	-0,5222	0,0991	-1,9859	0,3270	-2,4131	5,8232	2,6745	-1,1083	1,2284	0,1069
14	1,44	18,67%	-1,57690	0,365	-0,5750	0,1330	-1,9563	0,3794	-2,3633	5,5852	2,4256	-1,0263	1,0534	0,1439
15	2,05	20,00%	-1,49994	0,718	-1,0767	0,5153	-1,7462	0,2462	-2,0101	4,0405	1,9084	-0,9494	0,9013	0,0606
16	2,37	21,33%	-1,42732	0,863	-1,2316	0,7446	-1,6599	0,2326	-1,8651	3,4784	1,6352	-0,8768	0,7687	0,0541
17	2,78	22,67%	-1,35850	1,022	-1,3890	1,0454	-1,5850	0,2065	-1,7055	2,9087	1,3779	-0,8079	0,6528	0,0426
18	2,95	24,00%	-1,29303	1,082	-1,3988	1,1703	-1,5297	0,2367	-1,6461	2,7098	1,2222	-0,7425	0,5513	0,0360
19	3,07	25,33%	-1,23053	1,122	-1,3803	1,2582	-1,5060	0,2754	-1,6063	2,5801	1,0922	-0,6800	0,4624	0,0759
20	4,74	26,67%	-1,17068	1,556	-1,8216	2,4213	-1,2476	0,0769	-1,1719	1,3734	0,7267	-0,6201	0,3846	0,0059
21	5,89	28,00%	-1,11321	1,773	-1,9740	3,1444	-1,1184	0,0052	-0,9547	0,9114	0,5372	-0,5626	0,3166	0,0000
22	8,19	29,33%	-1,05787	2,103	-2,2246	4,4222	-0,9223	-0,1355	-0,6250	0,3907	0,3171	-0,5073	0,2574	0,0184
23	8,20	30,67%	-1,00445	2,104	-2,1135	4,4274	-0,9216	-0,0829	-0,6238	0,3891	0,2831	-0,4539	0,2060	0,0069
24	9,17	32,00%	-0,95279	2,216	-2,1113	4,9104	-0,8551	-0,0977	-0,5120	0,2622	0,2059	-0,4022	0,1618	0,0095
25	11,15	33,33%	-0,90272	2,411	-2,1769	5,8150	-0,7388	-0,1639	-0,3165	0,1002	0,1115	-0,3522	0,1240	0,0269
26	12,11	34,67%	-0,85410	2,494	-2,1301	6,2202	-0,6897	-0,1644	-0,2339	0,0547	0,0710	-0,3035	0,0921	0,0270
27	12,89	36,00%	-0,80679	2,556	-2,0625	6,5354	-0,6526	-0,1542	-0,1715	0,0294	0,0439	-0,2562	0,0657	0,0238
28	13,66	37,33%	-0,76070	2,614	-1,9888	6,8355	-0,6181	-0,1426	-0,1135	0,0129	0,0238	-0,2101	0,0442	0,0203
29	13,87	38,67%	-0,71571	2,630	-1,8821	6,9155	-0,6090	-0,1067	-0,0982	0,0096	0,0162	-0,1651	0,0273	0,0114
30	14,04	40,00%	-0,67173	2,642	-1,7746	6,9797	-0,6017	-0,0700	-0,0860	0,0074	0,0104	-0,1212	0,0147	0,0049
31	16,63	41,33%	-0,62867	2,811	-1,7673	7,9029	-0,5010	-0,1276	0,0833	0,0069	-0,0065	-0,0781	0,0061	0,0163
32	16,76	42,67%	-0,58647	2,819	-1,6533	7,9467	-0,4964	-0,0901	0,0911	0,0083	-0,0033	-0,0359	0,0013	0,0081
33	17,00	44,00%	-0,54504	2,833	-1,5442	8,0271	-0,4879	-0,0571	0,1053	0,0111	0,0006	0,0055	0,0000	0,0033
34	17,52	45,33%	-0,50432	2,863	-1,4440	8,1987	-0,4700	-0,0343	0,1354	0,0183	0,0063	0,0062	0,0021	0,0012
35	18,13	46,67%	-0,46425	2,898	-1,3452	8,3959	-0,4497	-0,0146	0,1696	0,0288	0,0146	0,0083	0,0004	0,0002
36	18,31	48,00%	-0,42476	2,907	-1,2350	8,4533	-0,4438	0,0190	0,1795	0,0322	0,0226	0,1258	0,0158	0,0004
37	18,35	49,33%	-0,38581	2,910	-1,1226	8,4659	-0,4425	0,0567	0,1817	0,0330	0,0299	0,1648	0,0271	0,0032
38	19,11	50,67%	-0,34718	2,950	-1,0243	8,7037	-0,4184	0,0712	0,2223	0,0494	0,0452	0,2034	0,0414	0,0051
39	20,25	52,02%	-0,30883	3,008	-0,9290	9,0490	-0,3839	0,0751	0,2802	0,0785	0,0677	0,2417	0,0584	0,0056
40	21,10	53,36%	-0,27087	3,049	-0,8260	9,2981	-0,3594	0,0886	0,3213	0,1033	0,0899	0,2797	0,0782	0,0078
41	21,59	54,70%	-0,23325	3,072	-0,7166	9,4386	-0,3458	0,1125	0,3443	0,1185	0,1092	0,3173	0,1007	0,0127
42	22,62	56,05%	-0,19592	3,119	-0,6110	9,7271	-0,3181	0,1221	0,3909	0,1528	0,1386	0,3546	0,1258	0,0149
43	23,22	57,39%	-0,15883	3,145	-0,4995	9,8911	-0,3025	0,1437	0,4171	0,1739	0,1634	0,3917	0,1534	0,0206
44	23,24	58,74%	-0,12195	3,146	-0,3836	9,8965	-0,3020	0,1800	0,4179	0,1747	0,1791	0,4286	0,1837	0,0324
45	23,41	60,08%	-0,08522	3,153	-0,2687	9,9424	-0,2976	0,2124	0,4252	0,1808	0,1979	0,4653	0,2165	0,0451
46	31,40	61,42%	-0,04860	3,447	-0,1675	11,8805	-0,1230	0,0744	0,7189	0,5168	0,3608	0,5020	0,2520	0,0055
47	32,01	62,77%	-0,01205	3,466	-0,0418	12,0135	-0,1115	0,0995	0,7381	0,5448	0,3975	0,5385	0,2900	0,0099
48	33,21	64,11%	0,02449	3,503	0,0858	12,2700	-0,0896	0,1141	0,7749	0,6005	0,4456	0,5750	0,3307	0,0130
49	35,15	65,46%	0,06106	3,560	0,2174	12,6709	-0,0559	0,1169	0,8317	0,6917	0,5087	0,6116	0,3741	0,0137
50	43,36	66,80%	0,09772	3,770	0,3684	14,2094	0,0690	0,0287	1,0416	1,0849	0,6752	0,6483	0,4203	0,0008
51	46,22	68,15%	0,13451	3,833	0,5156	14,6951	0,1070	0,0275	1,1055	1,2221	0,7573	0,6851	0,4693	0,0008
52	49,22	69,49%	0,17151	3,896	0,6682	15,1812	0,1444	0,0271	1,1684	1,3651	0,8436	0,7221	0,5214	0,0007
53	64,11	70,83%	0,20876	4,161	0,8885	17,3106	0,3016	-0,0928	1,4327	2,0525	1,0878	0,7593	0,5766	0,0086
54	68,52	72,18%	0,24633	4,227	1,0413	17,8686	0,3412	-0,0948	1,4992	2,2475	1,1947	0,7969	0,6350	0,0090
55	69,57	73,52%	0,28430	4,242	1,2061	17,9974	0,3502	-0,0659	1,5144	2,2934	1,2643	0,8349	0,6970	0,0043
56	69,89	74,87%	0,32276	4,247	1,3707	18,0364	0,3529	-0,0302	1,5190	2,3073	1,3266	0,8733	0,7627	0,0009
57	71,12	76,21%	0,36179	4,264	1,5428	18,1848	0,3633	-0,0015	1,5364	2,3606	1,4017	0,9123	0,8324	0,0000
58	73,24	77,55%	0,40149	4,294	1,7239	18,4362	0,3808	0,0207	1,5658	2,4517	1,4907	0,9520	0,9064	0,0004
59	87,93	78,90%	0,44199	4,477	1,9786	20,0394	0,4895	-0,0475	1,7486	3,0576	1,7356	0,9925	0,9851	0,0023
60	91,71	80,24%	0,48342	4,519	2,1844	20,4180	0,5145	-0,0311	1,7907	3,2066	1,8515	1,0340	1,0691	0,0010
61	103,86	81,59%	0,52595	4,643	2,4420	21,5579	0,5885	-0,0626	1,9151	3,6676	2,0616	1,0765	1,1589	0,0039
62	114,37	82,93%	0,56977	4,739	2,7004	22,4623	0,6459	-0,0761	2,0115	4,0461	2,2535	1,1203	1,2551	0,0058
63	116,64	84,27%	0,61511	4,759	2,9274	22,6490	0,6576	-0,0425	2,0311	4,1256	2,3677	1,1657	1,3588	0,0018
64	132,50	85,62%	0,66228	4,887	3,2363	23,8787	0,7334	-0,0711	2,1586	4,6597	2,6181	1,2128	1,4710	0,0051
65	148,14	86,96%	0,71164	4,998	3,5569	24,9816	0,7998	-0,0881	2,2702	5,1539	2,8655	1,2622	1,5931	0,0078
66	155,11	88,31%	0,76367	5,044	3,8520	25,4433	0,8271	-0,0634	2,3162	5,3647	3,0440	1,3142	1,7272	0,0040
67	192,30	89,65%	0,81900	5,259	4,3072	27,6577	0,9550	-0,1359	2,5311	6,4065	3,4665	1,3696	1,8757	0,0185
68	221,91	90,99%	0,87853	5,402	4,7460	29,1845	1,0401	-0,1616	2,6743	7,1520	3,8218	1,4291	2,0423	0,0261
69	226,62	92,34%	0,94351	5,423	5,1169	29,4119	1,0526	-0,1091	2,6953	7,2648	4,0270	1,4941	2,2323	0,0119
70	234,09	93,68%	1,01592	5,456	5,5425	29,7647	1,0719	-0,0560	2,7278	7,4407	4,2730	1,5665	2,4538	0,0031
71	245,17	95,03%	1,09899	5,502	6,0466	30,2715	1,0994	-0,0004	2,7740	7,6951	4,5759	1,6495	2,7210	0,0000
72	286,22	96,37%	1,19882	5,657	6,7814	31,9989	1,1915	0,0073	2,9288	8,5780	5,1236	1,7494	3,0603	0,0001
73	354,91	97,72%	1,32941	5,872	7,8061	34,4788	1,3194	0,0100	3,1439	9,8842	5,9105	1,8900	3,5343	0,0001
74	375													

Tabla 6. Regresión lineal para la distribución de Weibull DT's correctivos

i	t_j	F(t)	$\ln(\ln(1/(1-F(t)))) - Y$ de la regresión	Ln de datos - X de la regresión	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$ Y_j - \bar{Y} $	$ X_j - \bar{X} \cdot Y_j - \bar{Y} $	$ Y_j - \bar{Y} ^2$	$ X_j - \bar{X} ^2$	
1	0,52	1,33%	-4,31078	-0,654	2,8189	0,4276	-1,7489	-2,5618	-0,9107	0,8293	3,4243	-3,7602	14,1393	6,5631
2	0,52	2,67%	-3,61086	-0,654	2,3612	0,4276	-1,7489	-1,8619	-0,9107	0,8293	2,7869	-3,0603	9,3654	3,4668
3	0,52	4,00%	-3,19853	-0,654	2,0916	0,4276	-1,7489	-1,4496	-0,9107	0,8293	2,4114	-2,6480	7,0118	2,1013
4	0,54	5,33%	-2,90391	-0,616	1,7894	0,3797	-1,6993	-1,2046	-0,8729	0,7620	2,0543	-2,3534	5,5383	1,4512
5	0,56	6,67%	-2,67375	-0,580	1,5503	0,3362	-1,6514	-1,0223	-0,8366	0,6998	1,7762	-2,1232	4,5079	1,0452
6	0,56	8,00%	-2,48433	-0,580	1,4405	0,3362	-1,6514	-0,8329	-0,8366	0,6998	1,6177	-1,9338	3,7395	0,6937
7	0,59	9,33%	-2,32299	-0,528	1,2257	0,2784	-1,5827	-0,7402	-0,7844	0,6153	1,3903	-1,7724	3,1415	0,5480
8	0,59	10,67%	-2,18218	-0,528	1,1514	0,2784	-1,5827	-0,5994	-0,7844	0,6153	1,2798	-1,6316	2,6622	0,3593
9	0,59	12,00%	-2,05703	-0,528	1,0854	0,2784	-1,5827	-0,4743	-0,7844	0,6153	1,1816	-1,5065	2,2694	0,2249
10	0,61	13,33%	-1,94421	-0,494	0,9610	0,2443	-1,5389	-0,4053	-0,7510	0,5641	1,0467	-1,3936	1,9422	0,1643
11	0,61	14,67%	-1,84134	-0,494	0,9102	0,2443	-1,5389	-0,3025	-0,7510	0,5641	0,9694	-1,2908	1,6661	0,0915
12	0,63	16,00%	-1,74667	-0,462	0,8070	0,2135	-1,4964	-0,2502	-0,7188	0,5167	0,8597	-1,1961	1,4307	0,0626
13	0,64	17,33%	-1,65887	-0,446	0,7403	0,1992	-1,4757	-0,1832	-0,7030	0,4943	0,7792	-1,1083	1,2284	0,0336
14	0,64	18,67%	-1,57690	-0,446	0,7038	0,1992	-1,4757	-0,1012	-0,7030	0,4943	0,7216	-1,0263	1,0534	0,0102
15	0,66	20,00%	-1,49994	-0,416	0,6232	0,1727	-1,4352	-0,0647	-0,6723	0,4519	0,6382	-0,9494	0,9013	0,0042
16	0,67	21,33%	-1,42732	-0,400	0,5716	0,1604	-1,4154	-0,0119	-0,6572	0,4319	0,5762	-0,8768	0,7687	0,0001
17	0,70	22,67%	-1,35850	-0,357	0,4845	0,1272	-1,3578	-0,0007	-0,6134	0,3763	0,4956	-0,8079	0,6528	0,0000
18	0,71	24,00%	-1,29303	-0,342	0,4429	0,1173	-1,3391	0,0461	-0,5992	0,3591	0,4449	-0,7425	0,5513	0,0021
19	0,72	25,33%	-1,23053	-0,329	0,4042	0,1079	-1,3207	0,0902	-0,5853	0,3425	0,3980	-0,6800	0,4624	0,0081
20	0,75	26,67%	-1,17068	-0,288	0,3368	0,0828	-1,2670	0,0963	-0,5444	0,2964	0,3376	-0,6201	0,3846	0,0093
21	0,75	28,00%	-1,11321	-0,288	0,3202	0,0828	-1,2670	0,1538	-0,5444	0,2964	0,3063	-0,5626	0,3166	0,0236
22	0,75	29,33%	-1,05787	-0,288	0,3043	0,0828	-1,2670	0,2091	-0,5444	0,2964	0,2762	-0,5073	0,2574	0,0437
23	0,75	30,67%	-1,00445	-0,288	0,2890	0,0828	-1,2670	0,2625	-0,5444	0,2964	0,2471	-0,4539	0,2060	0,0689
24	0,76	32,00%	-0,95279	-0,274	0,2615	0,0753	-1,2496	0,2968	-0,5312	0,2822	0,2137	-0,4022	0,1618	0,0881
25	0,78	33,33%	-0,90272	-0,248	0,2243	0,0617	-1,2154	0,3127	-0,5052	0,2552	0,1779	-0,3522	0,1240	0,0978
26	0,79	34,67%	-0,85410	-0,236	0,2013	0,0556	-1,1986	0,3445	-0,4925	0,2425	0,1495	-0,3035	0,0921	0,1187
27	0,79	36,00%	-0,80679	-0,236	0,1902	0,0556	-1,1986	0,3918	-0,4925	0,2425	0,1262	-0,2562	0,0657	0,1535
28	0,86	37,33%	-0,76070	-0,151	0,1147	0,0227	-1,0869	0,3262	-0,4076	0,1661	0,0856	-0,2101	0,0442	0,1064
29	0,87	38,67%	-0,71571	-0,139	0,0997	0,0194	-1,0717	0,3560	-0,3960	0,1568	0,0654	-0,1651	0,0273	0,1267
30	0,87	40,00%	-0,67173	-0,139	0,0935	0,0194	-1,0717	0,4000	-0,3960	0,1568	0,0480	-0,1212	0,0147	0,1600
31	0,88	41,33%	-0,62867	-0,128	0,0804	0,0163	-1,0566	0,4280	-0,3846	0,1479	0,0300	-0,0781	0,0061	0,1832
32	0,89	42,67%	-0,58647	-0,117	0,0683	0,0136	-1,0418	0,4553	-0,3733	0,1393	0,0134	-0,0359	0,0013	0,2073
33	0,89	44,00%	-0,54504	-0,117	0,0635	0,0136	-1,0418	0,4967	-0,3733	0,1393	-0,0021	0,0055	0,0000	0,2467
34	1,01	45,33%	-0,50432	0,010	-0,0050	0,0001	-0,8753	0,3710	-0,2468	0,0609	-0,0114	0,0462	0,0021	0,1376
35	1,01	46,67%	-0,46425	0,010	-0,0046	0,0001	-0,8753	0,4111	-0,2468	0,0609	-0,0213	0,0863	0,0074	0,1690
36	1,01	48,00%	-0,42476	0,010	-0,0042	0,0001	-0,8753	0,4506	-0,2468	0,0609	-0,0310	0,1258	0,0158	0,2030
37	1,08	49,33%	-0,38581	0,077	-0,0297	0,0059	-0,7871	0,4013	-0,1798	0,0323	-0,0296	0,1648	0,0271	0,1611
38	1,08	50,67%	-0,34718	0,077	-0,0267	0,0059	-0,7871	0,4400	-0,1798	0,0323	-0,0366	0,2034	0,0414	0,1936
39	1,08	52,02%	-0,30883	0,077	-0,0238	0,0059	-0,7871	0,4783	-0,1798	0,0323	-0,0435	0,2417	0,0584	0,2288
40	1,09	53,36%	-0,27087	0,086	-0,0233	0,0074	-0,7750	0,5041	-0,1706	0,0291	-0,0477	0,2797	0,0782	0,2542
41	1,11	54,70%	-0,23325	0,104	-0,0243	0,0109	-0,7511	0,5178	-0,1524	0,0232	-0,0484	0,3173	0,1007	0,2682
42	1,17	56,05%	-0,19592	0,157	-0,0308	0,0247	-0,6818	0,4859	-0,0997	0,0099	-0,0354	0,3546	0,1258	0,2361
43	1,19	57,39%	-0,15883	0,174	-0,0276	0,0303	-0,6595	0,5007	-0,0828	0,0069	-0,0324	0,3917	0,1534	0,2507
44	1,22	58,74%	-0,12195	0,199	-0,0242	0,0395	-0,6267	0,5048	-0,0579	0,0034	-0,0248	0,4286	0,1837	0,2548
45	1,23	60,08%	-0,08522	0,207	-0,0176	0,0429	-0,6160	0,5308	-0,0497	0,0025	-0,0231	0,4653	0,2165	0,2817
46	1,26	61,42%	-0,04860	0,231	-0,0112	0,0534	-0,5843	0,5357	-0,0256	0,0007	-0,0129	0,5020	0,2520	0,2870
47	1,27	62,77%	-0,01205	0,239	-0,0029	0,0571	-0,5739	0,5618	-0,0177	0,0003	-0,0095	0,5385	0,2900	0,3157
48	1,27	64,11%	0,02449	0,239	0,0059	0,0571	-0,5739	0,5984	-0,0177	0,0003	-0,0102	0,5750	0,3307	0,3581
49	1,27	65,46%	0,06106	0,239	0,0146	0,0571	-0,5739	0,6350	-0,0177	0,0003	-0,0108	0,6116	0,3741	0,4032
50	1,40	66,80%	0,09772	0,336	0,0329	0,1132	-0,4457	0,5434	0,0797	0,0064	0,0517	0,6483	0,4203	0,2953
51	1,51	68,15%	0,13451	0,412	0,0554	0,1698	-0,3461	0,4906	0,1554	0,0241	0,1064	0,6851	0,4693	0,2310
52	1,55	69,49%	0,17151	0,438	0,0752	0,1921	-0,3117	0,4832	0,1815	0,0329	0,1311	0,7221	0,5214	0,2335
53	1,59	70,83%	0,20876	0,464	0,0968	0,2150	-0,2782	0,4869	0,2070	0,0428	0,1572	0,7593	0,5766	0,2371
54	1,61	72,18%	0,24633	0,476	0,1173	0,2268	-0,2617	0,5081	0,2195	0,0482	0,1749	0,7969	0,6350	0,2581
55	1,65	73,52%	0,28430	0,501	0,1424	0,2508	-0,2294	0,5137	0,2440	0,0595	0,2037	0,8349	0,6970	0,2639
56	1,94	74,87%	0,32276	0,663	0,2139	0,4392	-0,0164	0,3391	0,4059	0,1648	0,3545	0,8733	0,7627	0,1150
57	1,98	76,21%	0,36179	0,683	0,2471	0,4666	0,0105	0,3513	0,4263	0,1818	0,3890	0,9123	0,8324	0,1234
58	2,18	77,55%	0,40149	0,779	0,3129	0,6073	0,1371	0,2644	0,5226	0,2731	0,4975	0,9520	0,9064	0,0699
59	2,29	78,90%	0,44199	0,829	0,3662	0,6865	0,2019	0,2401	0,5718	0,3270	0,5675	0,9925	0,9851	0,0576
60	2,52	80,24%	0,48342	0,924	0,4468	0,8543	0,3278	0,1556	0,6675	0,4456	0,6902	1,0340	1,0691	0,0242
61	2,57	81,59%	0,52595	0,944	0,4964	0,8910	0,3537	0,1723	0,6872	0,4722	0,7397	1,0765	1,1589	0,0297
62	2,78	82,93%	0,56977	1,022	0,5826	1,0454	0,4570	0,1127	0,7657	0,5863	0,8578	1,1203	1,2551	0,0127
63	3,06	84,27%	0,61511	1,118	0,6880	1,2509	0,5833	0,0318	0,8617	0,7425	1,0044	1,1657	1,3588	0,0010
64	3,17	85,62%	0,66228	1,154	0,7641	1,3311	0,6298	0,0325	0,8970	0,8046	1,0879	1,2128	1,4710	0,0011
65	3,47	86,96%	0,71164	1,244	0,8854	1,5479	0,7488	-0,0371	0,9874	0,9750	1,2463	1,2622	1,5931	0,0014
66	4,59	88,31%	0,76367	1,524	1,1637	2,3222	1,1169	-0,3532	1,2671	1,6056	1,6653	1,3142	1,7272	0,1248
67	5,28	89,65%	0,81900	1,664	1,3628	2,7687	1,3012	-0,4822	1,4072	1,9801	1,9272	1,3696	1,8757	0,2325
68	6,83	90,99%	0,87853	1,921	1,6879	3,6915	1,6399	-0,7614	1,6646	2,7708	2,3788	1,4291	2,0423	0,5797
69	7,11	92,34%	0,94351	1,962	1,8507	3,8475	1,6928	-0,7492	1,7048	2,9062	2,5470	1,4941	2,2323	0,5614
70	7,25	93,68%	1,01592	1,981	2,0125	3,9244	1,7184	-0,7025	1,7243	2,9730	2,7010	1,5665	2,4538	0,4935
71	7,61	95,03%	1,09899	2,029	2,2304	4,1187	1,7822	-0,6832	1,7727	3,1425	2,9242	1,6495	2,7210	0,4668
72	7,82	96,37%	1,19882	2,057	2,4656	4,2300	1,8180	-0,6192	1,7999	3,2398	3,1488	1,7494	3,0603	0,3834
73	8,03	97,72%	1,32941	2,083	2,7694	4,3397	1,8529	-0,5235	1,8264	3,3359	3,4336	1,8800	3,5343	0,2740
74	8,14	99,06%	1,54033	2,097	3,2297	4,3965	1,8708	-0,3305	1,8400	3,3857	3,8473	2,0909	4,3718	0,10

Ilustración 15. Parámetros y pruebas para la distribución de Weibull UT's correctivos

	\bar{Y} -0,55056	\bar{X} 2,728	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{Y}_j =$ 0,0000	Ajuste	Coefficiente de determinación muestral r^2 ajustado 0,9751
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} =$ 0,5948		$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} =$ 0,1899	Error Estándar del Estimado o Variación o Error Típico	r^2 ajustado debe ser mayor a 0,90
Intercepto	$a = \bar{Y} - b * \bar{X} =$ -2,1731		$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}$ 0,9754	Coefficiente de Determinación Muestral	$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} =$ 0,9876
Weibull - Estimación de Parámetros					
Cumplimiento de las pruebas de ajuste (0), del coeficiente de determinación (mayor a 0.9025), del coeficiente de correlación (mayor a 0.95) y del coeficiente de determinación muestral r^2 ajustado (debe estar entre 0.9 y 1.0)					

No Confiabilidad Correctiva

Escala	38,611977	Eta
Forma	0,5948	Beta
MTBM _c	$\eta * \text{Gamma } \Gamma(1+1/\beta) =$ $\eta = e^{[-\frac{a}{\beta x}]}$ $= e^{[-\frac{38,611977}{0,5948 * 2,728}]}$ 58,762774	

Ilustración 16. Parámetros y pruebas para la distribución de Weibull DT's correctivos

	\bar{Y} -0,55056	\bar{X} 0,185	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{Y}_j =$ 0,0000	Ajuste	Coefficiente de determinación muestral r^2 ajustado 0,7632
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} =$ 0,9576		$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} =$ 0,3856	Error Estándar del Estimado o Variación o Error Típico	r^2 ajustado debe ser mayor a 0,90
Intercepto	$a = \bar{Y} - b * \bar{X} =$ -0,7274		$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}$ 0,7665	Coefficiente de Determinación Muestral	$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} =$ 0,8481
Weibull - Estimación de Parámetros					
Cumplimiento de las pruebas de ajuste (0), del coeficiente de determinación (mayor a 0.9025), del coeficiente de correlación (mayor a 0.95) y del coeficiente de determinación muestral r^2 ajustado (debe estar entre 0.9 y 1.0)					

Mantenibilidad Correctiva

Escala	$\eta = e^{[-\frac{a}{\beta x}]}$ $= e^{[-\frac{2,137268}{0,9576 * 0,185}]}$ 2,137268	Eta
Forma	$\beta = \frac{1}{\eta * \text{Gamma } \Gamma(1+1/\beta)}$ 0,9576	Beta
MTBM _c	$\eta * \text{Gamma } \Gamma(1+1/\beta) =$ 2,178966	

Tabla 7. Regresión lineal para la distribución de Weibull *UT's* preventivos

i	t_j	$F(t_j)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t_j)))) - Y$ de la regresión	Ln de datos - X de la regresión	$X_j * Y_j$	X_j^2	\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$[X_j - \bar{X}]^2$	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[X_j - \bar{X}] * [Y_j - \bar{Y}]$	$[Y_j - \bar{Y}]^3$	$[X_j - \bar{X}]^3$
1	350	12,50%	-2,01342	5,858	-11,7945	34,3154	-2,2572	0,2437	-0,4841	0,2343	0,7583	-1,5664	2,4537	0,0594
2	497	25,00%	-1,24590	6,209	-7,7353	38,5466	-0,9459	-0,3000	-0,1334	0,0178	0,1066	-0,7989	0,6383	0,0900
3	542	37,50%	-0,75501	6,295	-4,7530	39,6304	-0,6218	-0,1332	-0,0467	0,0022	0,0144	-0,3080	0,0949	0,0178
4	630	50,00%	-0,36651	6,446	-2,3624	41,5473	-0,0592	-0,3074	0,1037	0,0108	0,0083	0,0805	0,0065	0,0945
5	672	63,51%	0,00819	6,510	0,0533	42,3835	0,1822	-0,1740	0,1683	0,0283	0,0766	0,4552	0,2072	0,0303
6	689	77,03%	0,38584	6,535	2,5216	42,7094	0,2756	0,1102	0,1932	0,0373	0,1609	0,8328	0,6936	0,0122
7	693	90,54%	0,85788	6,541	5,6114	42,7851	0,2973	0,5606	0,1990	0,0396	0,2597	1,3049	1,7027	0,3143
Suma					-18,459	281,918	-3,129	0,000	0,000	0,370	1,385	0,000	5,797	0,618

Ilustración 17. Regresión lineal para la distribución de Weibull *UT's* preventivos

$\bar{Y} = -0,44699$	$\bar{X} = 6,342$	Ajuste = $\sum Y_j - \hat{Y}_j = 0,0000$	Ajuste	Coefficiente de determinación muestral r^2 ajustado = 0,91243
Pendiente $b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} = 3,7394$		$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} = 0,2375$	Error Estándar del Estimado o Variación o	r^2 ajustado debe ser mayor a 0,90
Intercepto $a = \bar{Y} - b * \bar{X} = -24,1625$		$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} = 0,9222$	Coefficiente de Determinación Muestral	$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} = 0,9552$ Coeficiente de Correlación Múltiple

Weibull - Estimación de Parámetros

No Confiabilidad Planeada

Cumplimiento de las pruebas de ajuste (0), del coeficiente de determinación (mayor a 0.9025), del coeficiente de correlación (mayor a 0.95) y del coeficiente de determinación muestral r^2 ajustado (debe estar entre 0.9 y 1.0)

Escala $\lambda = \frac{1}{\beta}$	$\lambda = \frac{1}{\beta} = e^{\frac{1}{\beta}}$	640,045604	Eta
Forma β	$\beta = b = \ln(\lambda)$	3,7394	Beta
MTBM η	$\eta = \Gamma(1 + 1/\beta)$	577,949176	

Tabla 8. Regresión lineal para la distribución de Weibull *DT's* preventivos

i	t_j	$F(t_j)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t_j)))) - Y$ de la regresión	Ln de datos - X de la regresión	$X_j * Y_j$	X_j^2	\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$[X_j - \bar{X}]^2$	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[X_j - \bar{X}] * [Y_j - \bar{Y}]$	$[Y_j - \bar{Y}]^3$	$[X_j - \bar{X}]^3$
1	4,7	12,50%	-2,01342	1,548	-3,1159	2,3949	-2,3162	0,3028	-0,5084	0,2584	0,7963	-1,5664	2,4537	0,0917
2	7,0	25,00%	-1,24590	1,946	-2,4244	3,7866	-0,8515	-0,3944	-0,1100	0,0121	0,0879	-0,7989	0,6383	0,1555
3	8,0	37,50%	-0,75501	2,079	-1,5700	4,3241	-0,3605	-0,3945	0,0235	0,0006	-0,0072	-0,3080	0,0949	0,1556
4	8,5	50,00%	-0,36651	2,140	-0,7844	4,5799	-0,1376	-0,2289	0,0841	0,0071	0,0068	0,0805	0,0065	0,0524
5	9,0	63,51%	0,00819	2,197	0,0180	4,8278	0,0725	-0,0643	0,1413	0,0200	0,0643	0,4552	0,2072	0,0041
6	9,3	77,03%	0,38584	2,230	0,8604	4,9730	0,1931	0,1928	0,1741	0,0303	0,1450	0,8328	0,6936	0,0372
7	9,5	90,54%	0,85788	2,251	1,9313	5,0683	0,0580	0,7999	0,1954	0,0382	0,2549	1,3049	1,7027	0,0253
Suma					-5,085	29,955	-3,342	0,213	0,000	0,367	1,348	0,000	5,797	0,403

Ilustración 18. Parámetros y pruebas para la distribución de Weibull DT's preventivos

	$\bar{Y} = -0,44699$	$\bar{X} = 2,056$	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{Y}_j = 0,2133$	Ajuste	Coefficiente de determinación muestral r^2 ajustado = 0,91661
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} = 3,6768$		$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} = 0,2838$	Error Estándar del Estimado o Variación o	r^2 ajustado debe ser mayor a 0,90
Intercepto	$a = \bar{Y} - b * \bar{X} = -8,0063$		$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} = 0,9305$	Coefficiente de Determinación Muestral	$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} = 0,9552$ Coeficiente de Correlación Múltiple
Weibull - Estimación de Parámetros					
Cumplimiento de las pruebas de ajuste (0), del coeficiente de determinación (mayor a 0.9025), del coeficiente de correlación (mayor a 0.95) y del coeficiente de determinación muestral r^2 ajustado (debe estar entre 0.9 y 1.0)					

Mantenibilidad Planeada

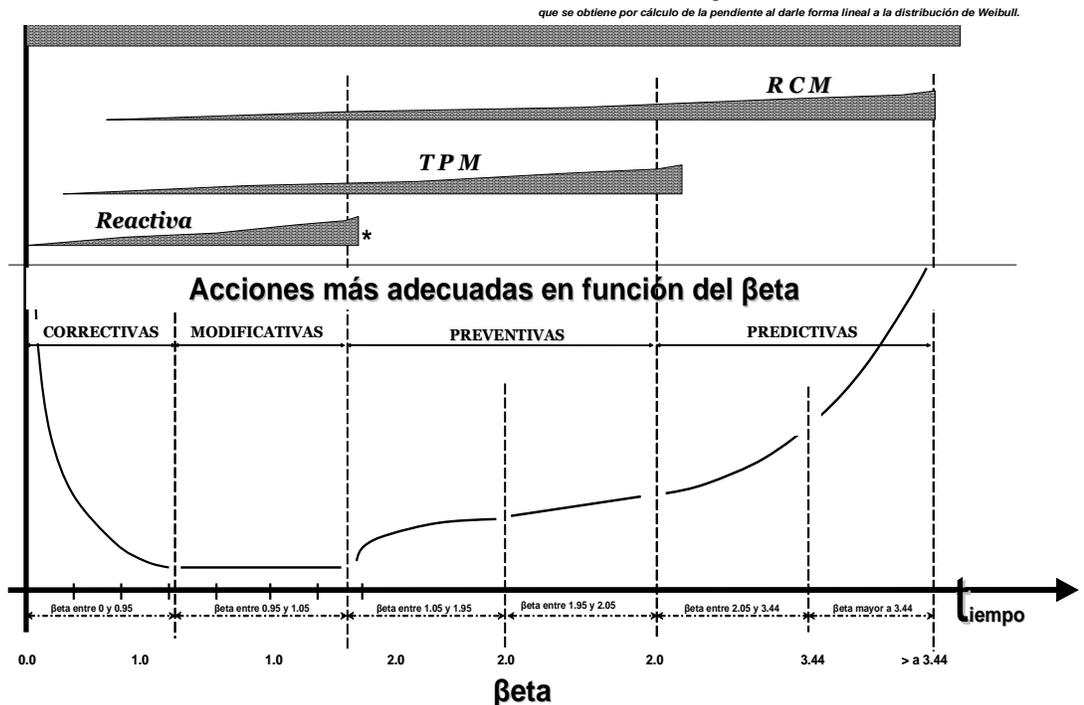
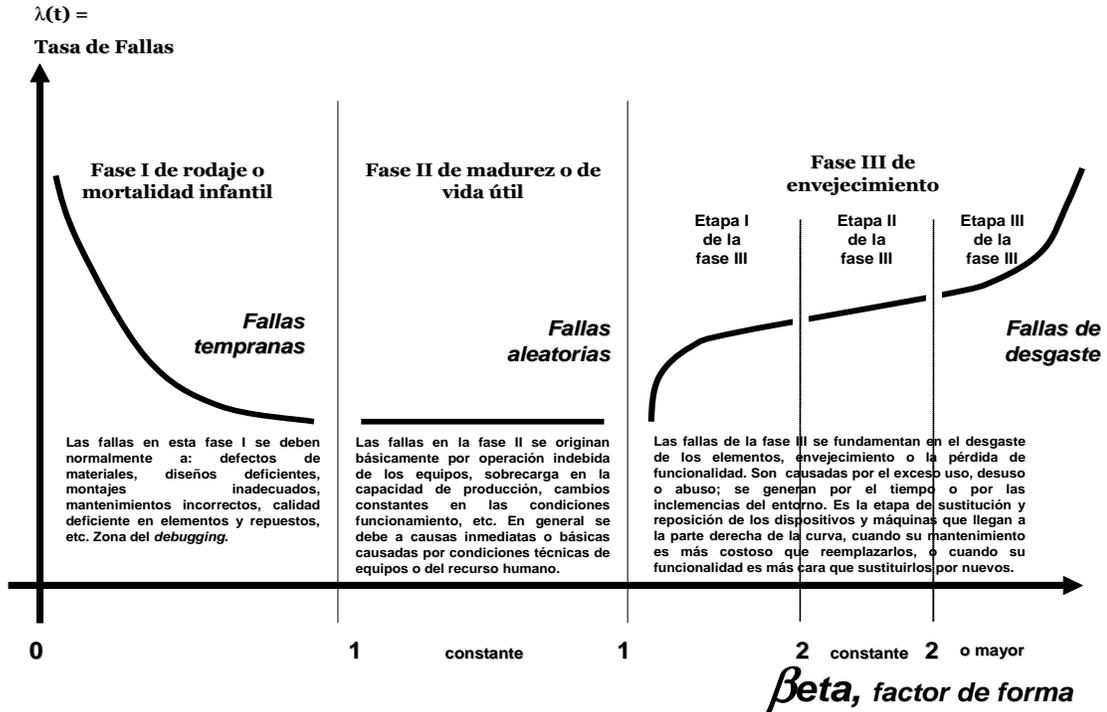
Escala	$\beta = \frac{1}{\lambda} = e^{\frac{-\alpha}{\lambda}}$	$\lambda = \frac{-\ln(\beta)}{\alpha}$	$\alpha = \frac{-\ln(\beta)}{\lambda}$	8,82420964	Eta
Forma	$\beta = b = \lambda * \alpha$	$\lambda = \frac{\beta}{\alpha}$	$\alpha = \frac{\beta}{\lambda}$	3,6768	Beta

Los resultados obtenidos se pueden verificar por medio de una hoja de cálculo en Excel ya existente (Valramor4), programada por medio de Visual Basic. Además se utiliza el software Weibull ++, para obtener todos los parámetros y compáralos con los datos obtenidos.

Ilustración 19. Comparación resultados

	Regresion Excel			VALRAMOR4			WEIBULL++		
	Horas	Beta	Eta	Horas	Beta	Eta	Horas	Beta	Eta
MTBMC	58,76	0,59	38,61	57	0,61	38,67	56,71	0,61	38,64
MTBMP	577,95	3,74	640,05	582,91	4,16	641,61	582,91	4,18	641,53
MTTR	2,18	0,98	2,13	2,17	0,96	2,10	2,17	0,96	2,10
MP	7,96	3,68	8,82	8,03	4,11	8,84	8,26	4,12	8,84
M	2,711690574			2,691979653			2,483130182		
MTBM	53,3395			51,92272			36,47183		
Disponibilidad Alcanzada	95,16%			95,07%			93,62%		

Ilustración 20. Curva de Davies



* Denota que la línea a medida que se vuelve más gruesa la aplicación de la táctica es más eficiente ya que se acomoda más a las características de las fallas y de su tasa.

Referencia: Mora, 2007,78

2.3.6 Análisis de los resultados

- El $MTBM_p$ (582.91) es superior que el $MTBM_c$ (57), lo que demuestra que la empresa tiende a ser organizada, al igual se observa lo expresado anteriormente con que M_p es mucho mayor que $MTTR$ ($8.03 \gg 2.17$).
- El beta del $MTTR$, a pesar de que se encuentra en la zona de $\beta < 1$, que corresponde a la zona correctiva, aún es muy alto por lo cual se sugiere aplicar enfáticamente análisis de fallas
- Tanto el beta del $MTBM_p$ (4.16) y del M_p (4.11) denotan tiempos útiles y de paradas programadas muy estandarizados, lo que corrobora su presencia en la zona derecha de la curva de Davies para $\beta > 1$.

2.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

Los datos obtenidos en la disponibilidad alcanzada revela que el equipo, esta disponible en promedio por encima del 95% del tiempo en que se le requiere, esto gracias a la diferencia que existe entre la media del tiempo de reparación y la media de funcionamiento antes de falla.

La disponibilidad refleja mejoras o retrocesos que se presentan, en los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad, lo cual lo hace impredecible para el análisis de valoración de los tiempos invertidos en el equipo.

El proceso para el cálculo de CMD comienza por la selección de la distribución y estimación de sus parámetros, para después realizar la validación mediante las pruebas de bondad de ajuste, finalmente a partir de la distribución y los parámetros obtener los indicadores necesarios.

3. PREDECIR EL COMPORTAMIENTO CMD

3.1 OBJETIVO

Predecir el comportamiento CMD por distribuciones y series temporales.

3.2 INTRODUCCION

El control en la gestión de mantenimiento, se hace por medio de los indicadores, los cuales entran a jugar un papel importante en la medición del desempeño de los bienes de una empresa. Es por esto que los pronósticos de los indicadores CMD sirven para mostrar la tendencia y el comportamiento funcional de un equipo.

3.3 DESARROLLO DEL COMPORTAMIENTO CMD

3.3.1 Comportamiento CMD por distribuciones

Los datos que se analizan mediante las distribuciones, pueden responder a diferentes características, de acuerdo con el tipo y evento de estudio, como por ejemplo los tiempos de funcionamiento del equipo (*TBF*), o los tiempos que tarde en reparación un equipo después de fallar (*TTR*).

El análisis de los datos de tiempo en el estudio de confiabilidad, se debe hacer al estimar los valores de probabilidad de falla, la probabilidad de éxito o confiabilidad, los parámetros de una distribución, o cualquier otro parámetro aplicable, que son los instrumentos que permiten desarrollar estrategias y acciones de mantenimiento (Mora,2007,97).

Las distribuciones pueden representarse de diferentes maneras, no solo

mediante la curva de confiabilidad o mantenibilidad, se pueden representar mediante la función de supervivencia, la acumulada, la de densidad de falla, la función de tasa de falla, la función de tasa de falla acumulada, entre otras.

- Función de supervivencia

La función de confiabilidad o de supervivencia permite observar mediante la gráfica, la probabilidad de que un equipo dure cierta cantidad de horas sin presentar fallas, o la probabilidad de ocurrencia de un evento.

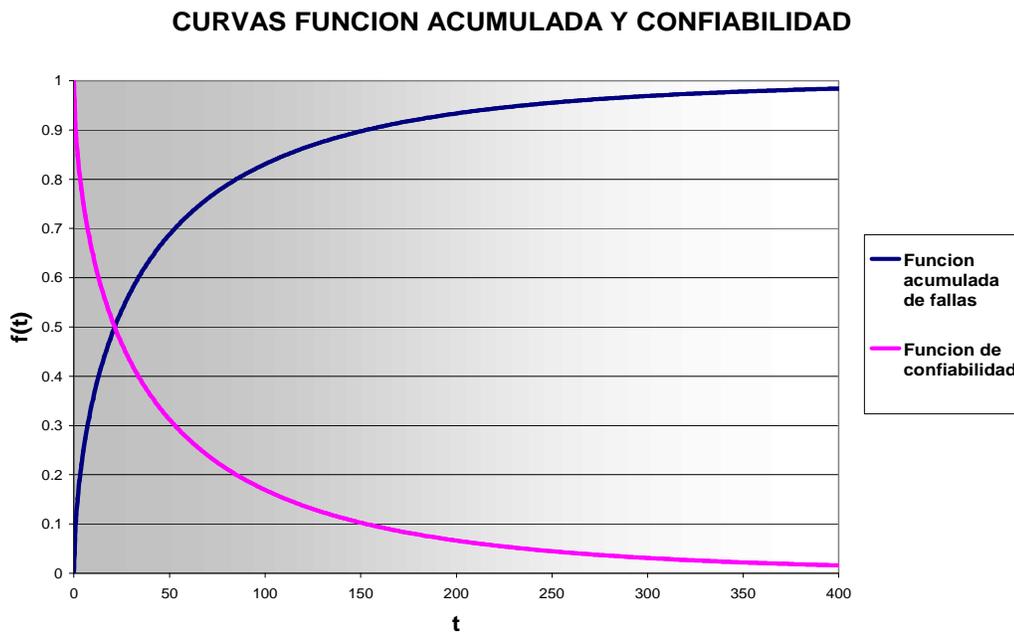
La curva de confiabilidad es la forma gráfica del funcionamiento, y se puede entender de la siguiente maneras; es la representación de probabilidad de confiabilidad o supervivencia, después de transcurrido un determinado tiempo en la máquina (Mora,2007,71).

- Función de distribución acumulada

La función de distribución acumulada se refiere a la probabilidad de que un valor X sea menor o igual a un valor X_n ; es una función creciente y es el complemento de la función de confiabilidad $(1-R(t))$; y representa la probabilidad de que una máquina no este funcionando (Lewis,1987,21); de igual manera representa la curva de mantenibilidad, constituyéndose en la probabilidad de que un ítem sea reparado antes de un tiempo t .

El desempeño de la máquina esta dado por la característica de los datos, pues el entorno y los factores que lo afectan, se consideran estables en el tiempo, donde se supone que el equipo siempre esta trabajando en unas condiciones muy similares.

Ilustración 21. Gráfica de la función acumulada y confiabilidad



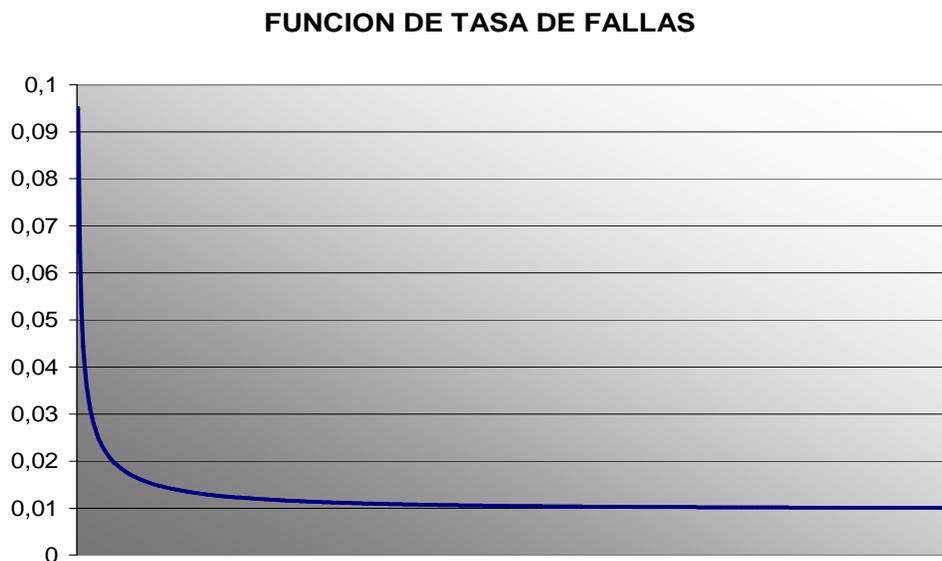
Las curvas de la función de supervivencia y distribución acumulada son complementarias y permiten realizar lecturas de diversos tiempos de la función. Para los datos analizados se observa que la confiabilidad decrece rápidamente, pues vale aproximadamente el 50% cuando han transcurrido alrededor de 25 horas de funcionamiento, y cercana al 10% cuando han transcurrido 150 horas de funcionamiento; inversamente se puede decir que la probabilidad de falla es del 50% después de 25 horas de funcionamiento y es del 90% cuando han transcurrido 150 horas.

- Función de tasa de falla

La distribución de riesgo o tasa de falla, es quizás la distribución más popular debido a su interpretación intuitiva que constituye el riesgo asociado a un elemento para un tiempo t . La función de tasa de falla indica qué tan probable

es que un ítem que ha sobrevivido un tiempo t , vaya a fallar en las siguientes unidades de tiempo (Leemis,1995,49).

Ilustración 22. Gráfica de la función de tasa de falla



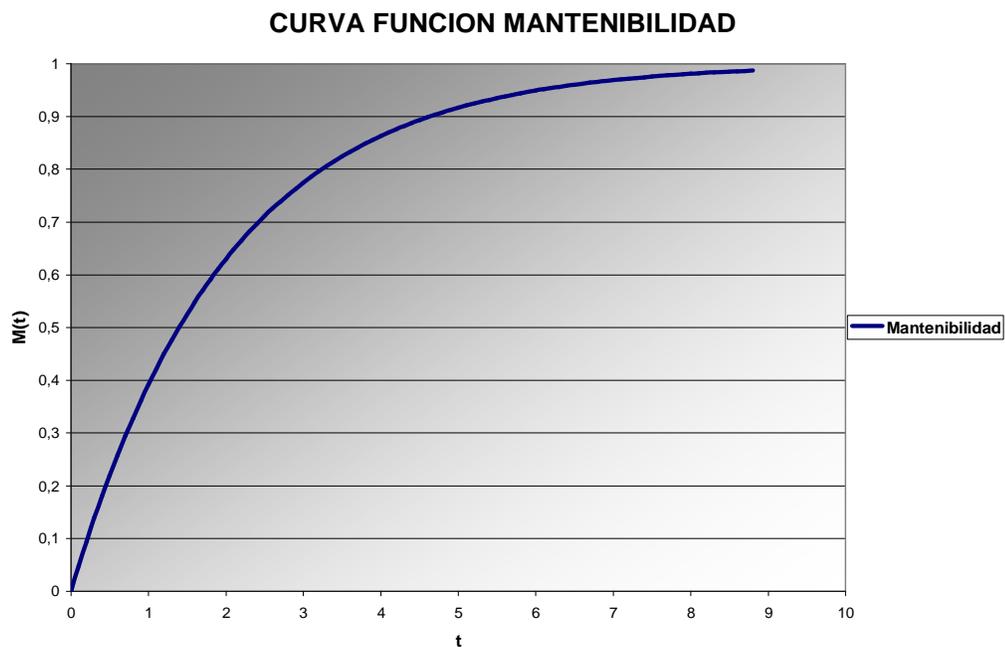
La ilustración muestra un comportamiento de beta entre 0 y 1, donde la tasa de falla para este equipo es decreciente en el tiempo.

- Función de mantenibilidad

La función de mantenibilidad es similar a la de confiabilidad, donde ésta representa la probabilidad de que la función del sistema sea recuperada y el equipo sea reparado dentro de un tiempo definido t antes de un tiempo especificado total.

La curva de función de mantenibilidad permite observar que el 90% de las reparaciones o mantenimientos pueden hacer en las primeras 5 después de presentarse la falla.

Ilustración 23. Gráfica de la función de mantenibilidad

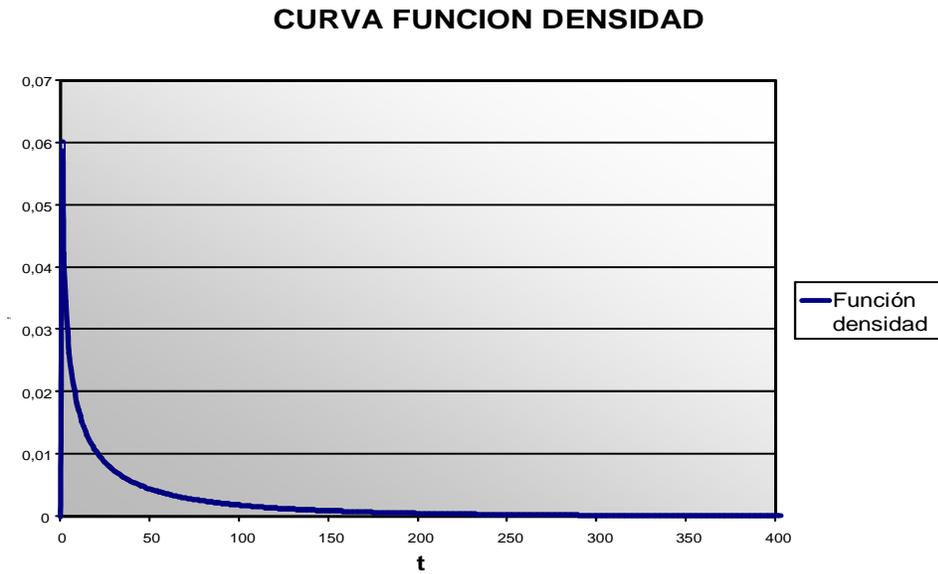


- Función de densidad

La función de densidad $f(t)$ esta definida como la derivada de la función de confiabilidad. Esta no es tan efectiva como la curva de confiabilidad para comparar dos poblaciones de datos; simboliza la frecuencia relativa de que un elemento alcance un tiempo t de vida (Leemis,1995,48).

Esta función da como resultado una probabilidad relativa y proporciona los modelos matemáticos de patrones de fallo, los cuales pueden ser usados en los cálculos de previsiones de funcionamiento (Mora,2007,97).

Ilustración 24. Gráfica de la función de densidad de fallas o mantenimiento



La curva de función de densidad permite observar para los datos analizados que la mayoría de los datos o fallas ocurren en las primeras 50 horas de operación.

Los datos por distribuciones permiten construir un futuro cercano y representar el estado de la máquina. Esta forma de estimar se hace con base en los tiempos entre reparaciones y mantenimientos obtenidos.

La simulación del futuro que se presenta tiene en cuenta las acciones correctivas y los mantenimientos planeados, donde se agrupan para observar su comportamiento en el futuro. Los datos que se presentan son los pronósticos con base en los tiempos utilizados para calcular la disponibilidad alcanzada en el capítulo anterior.

Ilustración 25. Simulación de las reparaciones correctivas

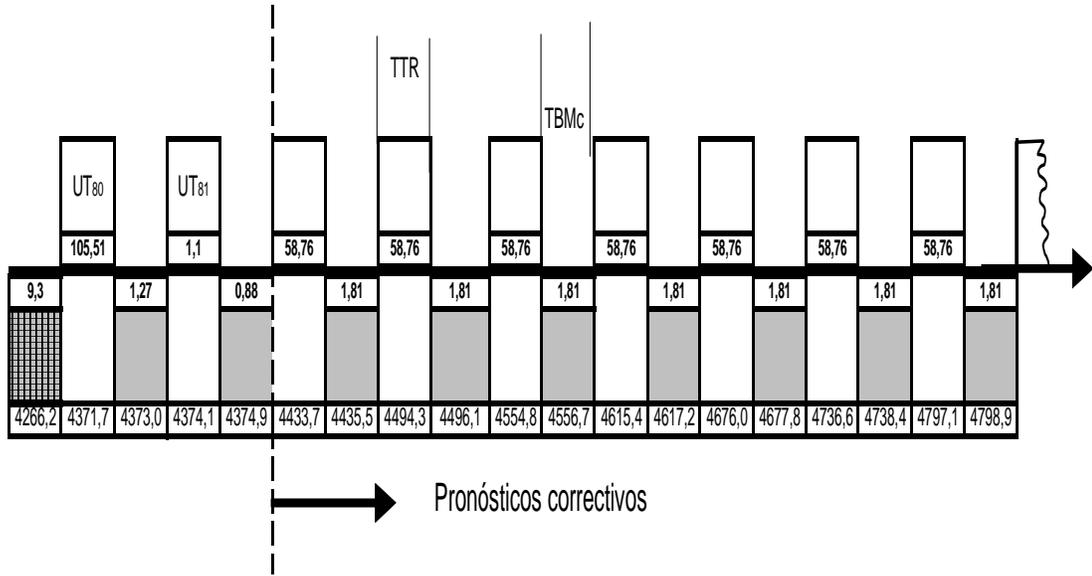


Ilustración 26. Simulación de los mantenimientos programados

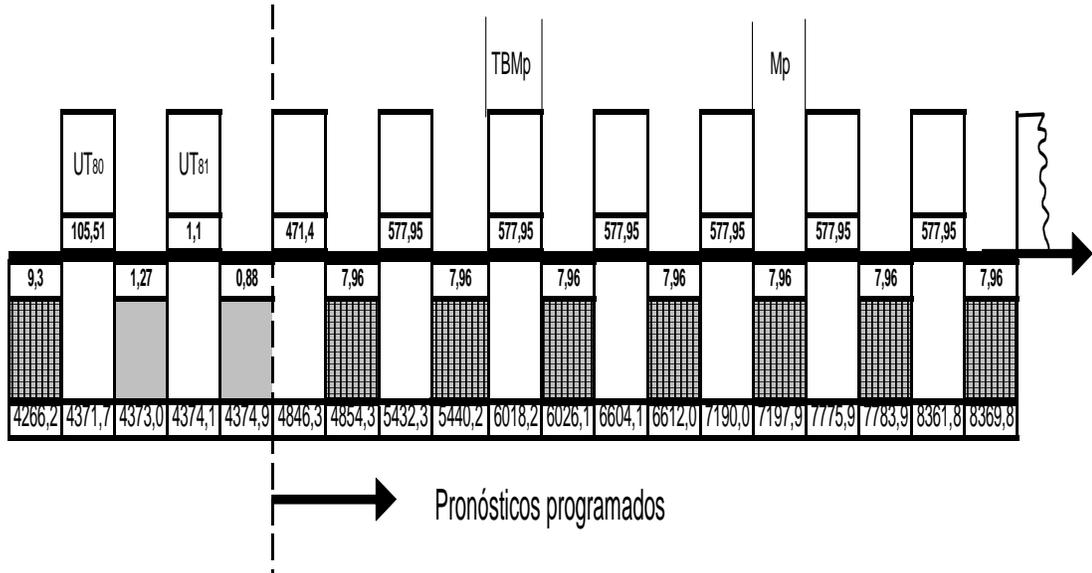
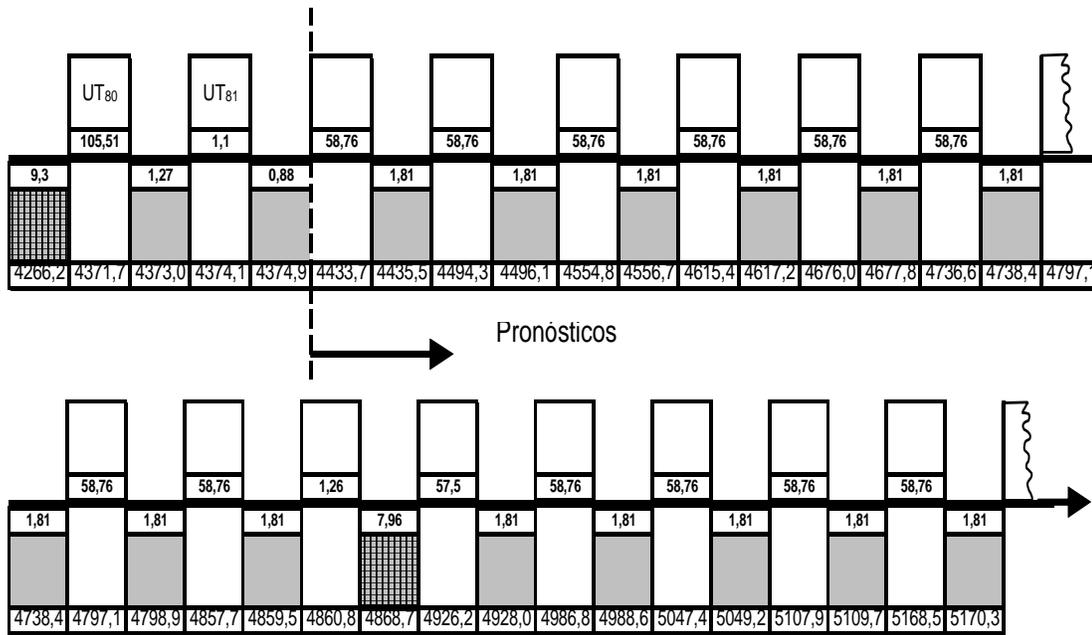


Ilustración 27. Simulación las reparaciones correctivas y programadas



3.3.2 Pronósticos CMD por series temporales

El método de series temporales sirve para elaborar la proyección de los valores futuros de una variable, basada en observaciones pasadas y presentes de ésta. Donde los factores que han influido en el pasado y el presente de las variables continuaran haciéndolo de una forma similar en el futuro.

La metodología de series temporales permite desarrollar el proceso lógico de análisis de los modelos clásicos como ajuste de tendencia (lineal, cuadrática, exponencial), suavización exponencial (Brown o Holt), modelos de descomposición (Holt, Winters) y modelos modernos (ARIMA).

La serie temporal para este proyecto se define teniendo presente los tiempos útiles y no operativos de la máquina, estos datos se organizan por semanas,

comenzando el primero de enero, y terminando el 19 de agosto, de donde se obtienen 33 datos, a los cuales se les puede realizar un seguimiento de los parámetros beta, eta y los indicadores *MTBF* y *MTTR*, y la disponibilidad.

Tabla 9. Datos de la serie temporal

SEMANA	SEMANA	DATO	Horas de opera.	# fallas	Acum Fallas	DT	Acum DT	UT	Acum UT	MTBF	MTTR	Disponibilidad
1	1 Enero – 7 Enero	1	144	1	1	0,7	0,7	143,3	143,3	143,300	0,700	0,995
2	8 Enero – 14 Enero	2	288	0	1	0,0	0,7	120	263,3	263,300	0,700	0,997
3	15 Enero – 21 Enero	3	432	4	5	6,0	6,7	138	401,3	80,260	1,340	0,984
4	22 Enero – 28 Enero	4	576	1	6	0,6	7,3	143,4	544,7	90,783	1,217	0,987
5	29 Enero – 4 Febrero	5	720	1	7	0,5	7,8	143,5	688,2	98,314	1,114	0,989
6	5 Febrero – 11 febrero	6	864	1	8	0,8	8,6	143,2	831,4	103,925	1,075	0,990
7	12 Febrero – 18 Febrero	7	1008	0	8	0,0	8,6	144	975,4	121,925	1,075	0,991
8	19 Febrero – 25 Febrero	8	1152	1	9	0,9	9,5	143,1	1118,5	124,278	1,056	0,992
9	26 Febrero – 4 Marzo	9	1296	6	15	16,5	26,0	127,5	1246,0	83,067	1,733	0,980
10	5 Marzo – 11 Marzo	10	1440	5	20	8,5	34,5	135,5	1381,5	69,075	1,725	0,976
11	12 Marzo – 18 Marzo	11	1584	2	22	1,8	36,3	142,2	1523,7	69,259	1,650	0,977
12	19 Marzo – 25 Marzo	12	1728	1	23	3,5	39,8	116,5	1640,2	71,313	1,730	0,976
13	26 Marzo – 1 Abril	13	1872	5	28	7,9	47,7	136,1	1776,3	63,439	1,704	0,974
14	2 Abril – 8 Abril	14	2016	1	29	1,0	48,7	95	1871,3	64,528	1,679	0,975
15	9 Abril – 15 Abril	15	2160	2	31	17,3	66,0	126,7	1998,0	64,452	2,129	0,968
16	16 Abril – 22 Abril	16	2304	6	37	7,7	73,7	136,3	2134,3	57,684	1,992	0,967
17	23 Abril – 29 Abril	17	2448	9	46	13,3	87,0	130,7	2265,0	49,239	1,891	0,963
18	30 Abril – 6 Mayo	18	2592	2	48	1,6	88,6	142,4	2407,4	50,154	1,846	0,965
19	7 Mayo – 13 Mayo	19	2736	0	48	0,0	88,6	144	2551,4	53,154	1,846	0,966
20	14 Mayo – 20 Mayo	20	2880	3	51	8,1	96,7	135,9	2687,3	52,692	1,896	0,965
21	21 Mayo – 27 Mayo	21	3024	2	53	3,7	100,4	116,3	2803,6	52,898	1,894	0,965
22	28 Mayo – 3 Junio	22	3168	2	55	2,0	102,4	142	2945,6	53,556	1,862	0,966
23	4 Junio – 10 Junio	23	3312	1	56	0,8	103,2	143,2	3088,8	55,157	1,843	0,968
24	11 Junio – 17 Junio	24	3456	1	57	1,4	104,6	118,6	3207,4	56,270	1,835	0,968
25	18 Junio – 24 Junio	25	3600	3	60	10,2	114,8	109,8	3317,2	55,287	1,913	0,967
26	25 Junio – 1 Julio	26	3744	0	60	0,0	114,8	144	3461,2	57,687	1,913	0,968
27	2 Julio – 8 Julio	27	3888	0	60	0,0	114,8	120	3581,2	59,687	1,913	0,969
28	9 Julio – 15 Julio	28	4032	6	66	26,7	141,5	117,3	3698,5	56,038	2,144	0,963
29	16 Julio – 22 Julio	29	4176	4	70	2,5	144,0	117,5	3816,0	54,514	2,049	0,964
30	23 Julio – 29 Julio	30	4320	0	70	0,0	144,0	144	3960,0	56,571	2,049	0,965
31	30 Julio – 5 Agosto	31	4464	2	72	2,6	146,6	141,4	4101,4	56,964	2,028	0,966
32	6 Agosto – 12 Agosto	32	4608	0	72	0,0	146,6	120	4221,4	58,631	2,028	0,967
33	13 Agosto – 19 Agosto	33	4752	2	74	2,2	148,8	141,8	4363,2	58,962	2,003	0,967

Las series de tiempo requieren un mínimo de 30 datos para poder realizar pronósticos, es de ésta forma que al tener solo 7 datos de mantenimientos programados se van a tomar como reparaciones, y se agrupan en los tiempos correctivos, teniendo para éste caso sólo dos indicadores *MTBF* y *MTTR*.

Tabla 10. Parámetros de la serie de tiempo

DATO	Horas de opera.	# fallas	Acum Fallas	DT	Acum DT	UT	Acum UT	MTBF	MTTR	β	eta	Disponibilidad
1	144	1	1	0,7	0,7	143,3	143,3	143,300	0,700	x	x	0,995
2	288	0	1	0,0	0,7	120	263,3	263,300	0,700	x	x	0,997
3	432	4	5	6,0	6,7	138	401,3	80,260	1,340	0,66	44,37	0,984
4	576	1	6	0,6	7,3	143,4	544,7	90,783	1,217	0,75	59,16	0,987
5	720	1	7	0,5	7,8	143,5	688,2	98,314	1,114	0,81	81,38	0,989
6	864	1	8	0,8	8,6	143,2	831,4	103,925	1,075	0,90	86,30	0,990
7	1008	0	8	0,0	8,6	144	975,4	121,925	1,075	0,90	86,30	0,991
8	1152	1	9	0,9	9,5	143,1	1118,5	124,278	1,056	0,85	116,90	0,992
9	1296	6	15	16,5	26,0	127,5	1246,0	83,067	1,733	0,74	66,47	0,980
10	1440	5	20	8,5	34,5	135,5	1381,5	69,075	1,725	0,79	56,70	0,976
11	1584	2	22	1,8	36,3	142,2	1523,7	69,259	1,650	0,80	58,50	0,977
12	1728	1	23	3,5	39,8	116,5	1640,2	71,313	1,730	0,80	56,64	0,976
13	1872	5	28	7,9	47,7	136,1	1776,3	63,439	1,704	0,81	54,57	0,974
14	2016	1	29	1,0	48,7	95	1871,3	64,528	1,679	0,83	55,75	0,975
15	2160	2	31	17,3	66,0	126,7	1998,0	64,452	2,129	0,85	55,07	0,968
16	2304	6	37	7,7	73,7	136,3	2134,3	57,684	1,992	0,80	48,81	0,967
17	2448	9	46	13,3	87,0	130,7	2265,0	49,239	1,891	0,67	36,73	0,963
18	2592	2	48	1,6	88,6	142,4	2407,4	50,154	1,846	0,69	37,60	0,965
19	2736	0	48	0,0	88,6	144	2551,4	53,154	1,846	0,69	37,60	0,966
20	2880	3	51	8,1	96,7	135,9	2687,3	52,692	1,896	0,68	40,04	0,965
21	3024	2	53	3,7	100,4	116,3	2803,6	52,898	1,894	0,68	39,57	0,965
22	3168	2	55	2,0	102,4	142	2945,6	53,556	1,862	0,69	41,99	0,966
23	3312	1	56	0,8	103,2	143,2	3088,8	55,157	1,843	0,70	42,42	0,968
24	3456	1	57	1,4	104,6	118,6	3207,4	56,270	1,835	0,70	44,73	0,968
25	3600	3	60	10,2	114,8	109,8	3317,2	55,287	1,913	0,66	38,98	0,967
26	3744	0	60	0,0	114,8	144	3461,2	57,687	1,913	0,66	38,98	0,968
27	3888	0	60	0,0	114,8	120	3581,2	59,687	1,913	0,66	38,98	0,969
28	4032	6	66	26,7	141,5	117,3	3698,5	56,038	2,144	0,63	38,32	0,963
29	4176	4	70	1,9	143,4	117,5	3816,0	54,514	2,049	0,63	37,63	0,964
30	4320	0	70	0,0	143,4	144	3960,0	56,571	2,049	0,63	37,63	0,965
31	4464	2	72	2,6	146,0	141,4	4101,4	56,964	2,028	0,62	38,31	0,966
32	4608	0	72	0,0	146,0	120	4221,4	58,631	2,028	0,62	38,31	0,967
33	4752	2	74	2,2	148,2	141,8	4363,2	58,962	2,003	0,60	38,65	0,967

Los parámetros beta y eta se calculan con el software Weibull++, tomando los datos acumulados de los tiempos útiles de cada semana (RELIASOFT@,2007).

El análisis previo permite detectar en forma descriptiva cuales son los modelos mas opcionados con los cuales se puede trabajar la serie, para ello se debe hacer el análisis de nivel, ruido, tendencia, variación irregular, variación estacional y fluctuación cíclica.

3.3.2.1 Pronósticos del *MTBF*

Análisis previo de las serie

La serie de datos para *MTBF* presenta un pequeño cambio de nivel que se estabiliza y ruido, además no presenta estacionalidad ni fluctuaciones cíclicas

Ilustración 28. Análisis previo *MTBF*

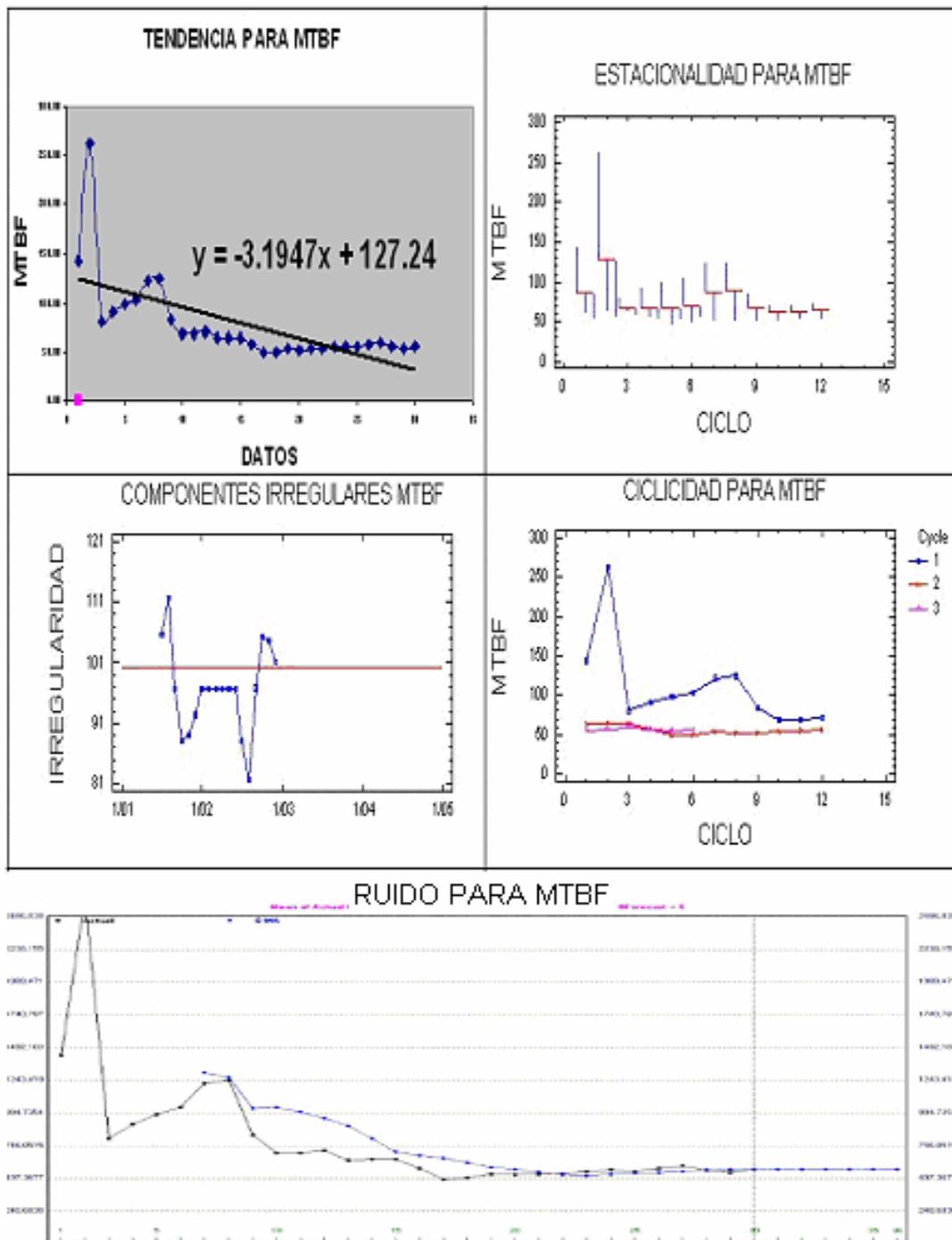


Tabla 11. Patrón para el *MTBF*

PATRON PARA MTBF		
	Promedio	Porcentaje
1	96.96	8.8188%
2	103.75	9.4363%
3	108.56	9.8733%
4	100.09	9.1034%
5	87.27	7.9369%
6	90.78	8.2566%
7	107.68	9.7938%
8	116.26	10.5740%
9	99.28	9.0294%
10	92.80	8.4398%
11	96.07	8.7377%
12	100.51	9.1412%
Suma	1099.49	100.00%

Tabla 12. Resultado del análisis previo

Análisis previo	Alto	Regular	Bajo	Muy leve	Inexistente
Nivel			X		
Ruido			X		
Tendencia lineal		X			
Estacionalidad					X
Ciclicidad					X

- Validación de la hipótesis

La tabla que se muestra a continuación presenta varios modelos a partir de los cuales se realizan los pronósticos, el segmento final de tres datos de la serie, donde el mejor modelo aparece resaltado, y se procede a realizar el pronóstico para los siguientes seis datos.

Tabla 13. Selección del modelo de pronóstico para MTBF

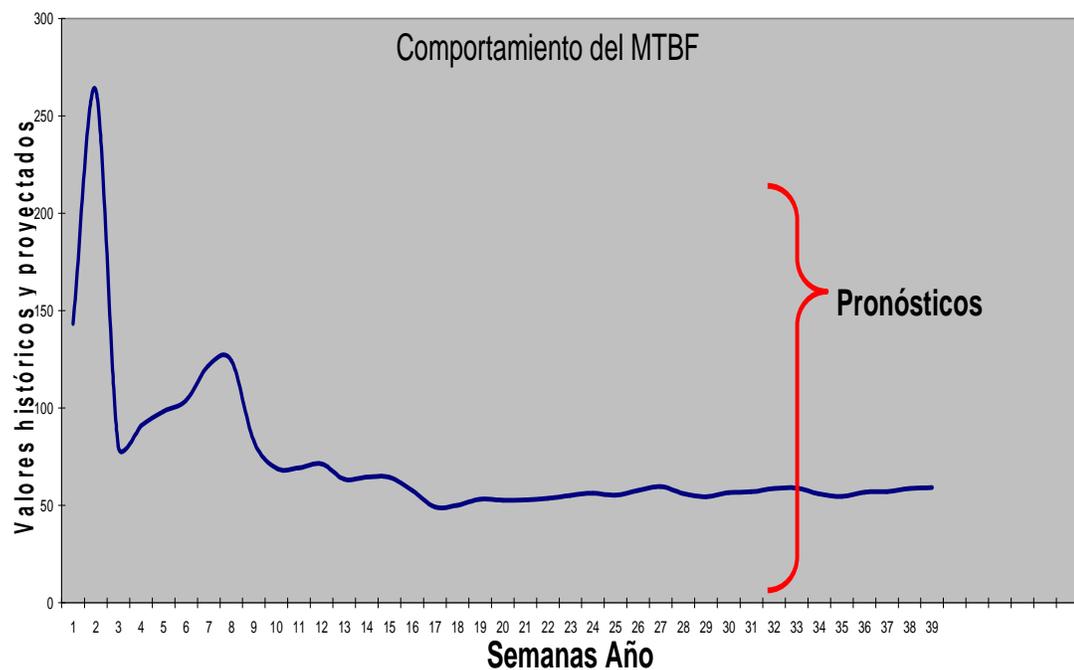
Modelo No.	Software	Símbolo				Diferencia	Puesto
1	WINQSB Window Single Exponential Smoothing (alpha=0.342)	SES	56.2179	56.2179	56.2179	1	5
2	WINQSB Window Single Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.31,beta=0.03)	SEST	50.9562	49.4428	47.9294	24	9
3	WINQSB Window Double Exponential (alpha=0.34)	DES	56.2223	56.2223	56.2223	1	4
4	WINQSB Window Double Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.16)	DEST	50.4086	49.2132	48.0179	25	10
5	WINQSB Window Holt-Winters Additive Algorithm (alpha=0.13,beta=0.34,gamma=0.99)	HWA	56.6706	58.4559	59.7067	0	1
6	WINQSB Window Holt-Winters Multiplicative Algorithm (alpha=0.34,beta=0.34,gamma=0.99)	HWM	52.0690	53.9351	56.2668	5	6
7	Tendencia Lineal (A=123.88,B=-3.01364)	DAT	32.0791	30.0247	24.8883	260	13
8	Tendencia Cuadratica	DAQ	75.1354	83.4035	80.1555	139	12
9	Tendencia Exponencial	DAE	45.1111	45.3414	40.8537	65	11
10	Tendencia Curva S	DAS	65.5164	67.9595	63.1992	18	8
11	Statgrafic AR I MA (110)(000)	DAR	56.3339	56.3767	56.4177	1	3
12	Forecats Expert Trial -	FET	61.0700	65.7300	69.4800	18	7
13	DecisionPro	DP	56.4524	56.4524	56.4524	1	2
	Realidad	Real	56.9639	58.6306	58.9622	0	
		Dato	31	32	33		

La siguiente tabla muestra los pronósticos obtenidos.

Tabla 14. Pronósticos para la serie *MTBF*

Dato	Semana	Pronóstico
34	Ago-07	55.88671
35	Sep-07	54.58999
36	Sep-07	56.74336
37	Sep-07	57.06364
38	Sep-07	58.68449
39	Sep-07	59.09560

Ilustración 29. Gráfica de los pronósticos obtenidos para *MTBF*



3.3.2.2 Pronósticos de *MTTR*

Análisis previo de la serie

La serie de datos para *MTTR* presenta un pequeño cambio de nivel que se estabiliza, un ruido y tendencia baja, una pequeña variación estacional, sin embargo no se observan fluctuaciones cíclicas.

Ilustración 30. Análisis previo para la serie *MTTR*

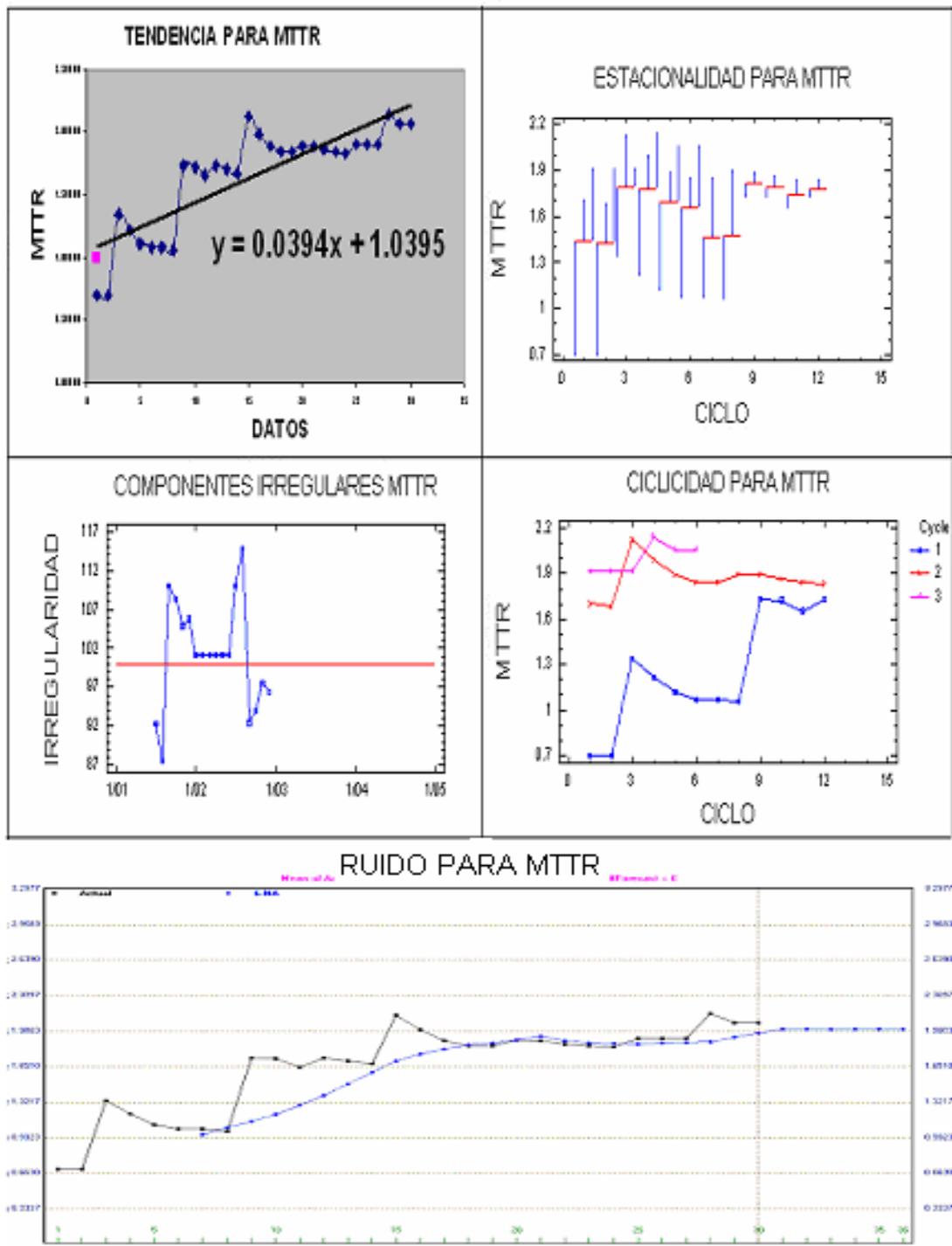


Tabla 15. Patrón para el *MTTR*

PATRON PARA MTTR		
	Promedio	Porcentaje
1	98.48	8.9495%
2	95.60	8.6876%
3	106.52	9.6803%
4	107.87	9.8025%
5	101.66	9.2385%
6	98.56	8.9564%
7	90.03	8.1819%
8	87.72	7.9719%
9	108.87	9.8940%
10	105.28	9.5678%
11	99.80	9.0697%
12	99.61	9.0523%
Suma	1100.39	100.00%

Tabla 16. Resultado del análisis previo

Análisis previo	Alto	Regular	Bajo	Muy leve	Inexistente
Nivel		X			
Ruido			X		
Tendencia lineal				X	
Estacionalidad					X
Ciclicidad					X

- Validación de la hipótesis

La tabla que se muestra a continuación presenta varios modelos a partir de los cuales se realizan los pronósticos, el segmento final de tres datos de la serie, donde el mejor modelo aparece resaltado, y se procede a realizar el pronóstico para los siguientes seis datos.

Tabla 17. Selección del modelo de pronóstico para MTTR

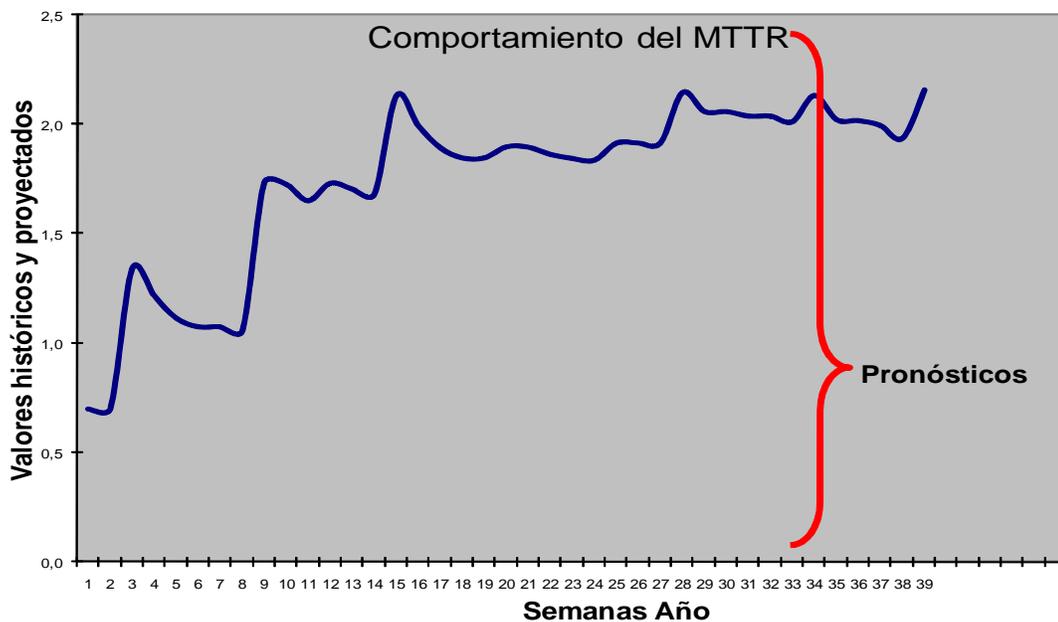
Modelo No.	Software	Símbolo				Diferencia	Puesto
1	WINQSB Window Single Exponential Smoothing (alpha=0.34)	SES	2,0227	2,0227	2,0227	0	1
2	WINQSB Window Single Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34,beta=0.33)	SEST	2,0951	2,1325	2,1698	0	7
3	WINQSB Window Double Exponential (alpha=0.34)	DES	1,9721	1,9721	1,9721	0	2
4	WINQSB Window Double Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.29)	DEST	2,0965	2,1214	2,1463	0	6
5	WINQSB Window Holt-Winters Additive Algorithm(alpha=0.34,beta=0.34,gamma=0.99)	HWA	2,1497	2,1402	2,1660	0	8
6	WINQSB Window Holt-Winters Multiplicative Algorithm(alpha=0.25,beta=0.06,gamma=0.65)	HWM	2,0911	2,1147	2,1382	0	5
7	Tendencia Lineal (A=1.03341,B=-0.0397483)	DAT	2,1521	2,1367	2,5416	0	12
8	Tendencia Cuadratica	DAQ	1,8157	1,7450	2,0046	0	10
9	Tendencia Exponencial	DAE	2,3261	2,3339	2,8061	0	13
10	Tendencia Curva S	DAS	1,7146	1,6752	1,9611	0	11
11	Statgratic ARIMA (101)(000)	DAR	2,0679	2,0748	2,0812	0	3
12	Forecats Expert Trial -	FET	2,2300	2,1900	2,2400	0	9
13	DecisionPro	DP	2,1000	2,1000	2,1000	0	4
	Realidad	Real	2,0278	2,0278	2,0027	0	
		Dato	31	32	33		

La siguiente tabla muestra los pronósticos obtenidos.

Tabla 18. Pronósticos para la serie *MTTR*

Dato	Semana	Pronostico
34	Ago-07	2,118
35	Sep-07	2,008
36	Sep-07	2,004
37	Sep-07	1,981
38	Sep-07	1,923
39	Sep-07	2,143

Ilustración 31. Gráfica de los pronósticos obtenidos para *MTTR*



3.3.2.3 Pronósticos de β

Análisis previo de las serie

La serie de datos para beta presente un bajo nivel, ruido y tendencia, la serie presenta variación irregular, no se observan fluctuaciones cíclicas, pero no tiene variación estacional, ni fluctuaciones cíclicas.

Ilustración 32. Análisis previo para la serie Beta

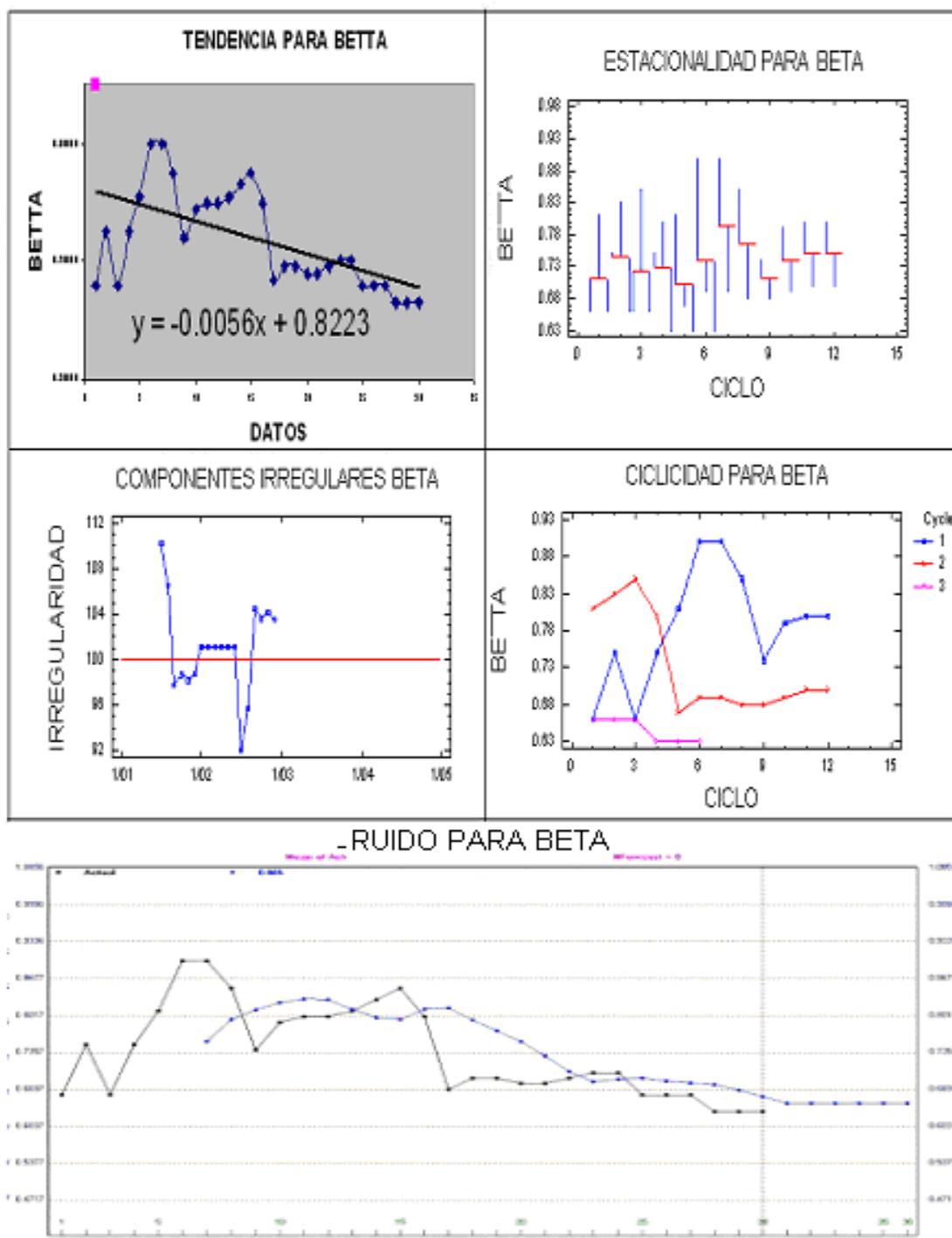


Tabla 19. Patrón para el Beta
a.

PATRON PARA BETA		
	Promedio	Porcentaje
1	101.01	9.2005%
2	103.77	9.4521%
3	106.18	9.6712%
4	105.97	9.6526%
5	89.47	8.1494%
6	93.47	8.5138%
7	104.22	9.4928%
8	100.61	9.1638%
9	94.13	8.5737%
10	98.41	8.9638%
11	100.64	9.1664%
12	101.85	9.2765%
Suma	1097.88	100.00%

Tabla 20. Resultado del análisis previo

Análisis previo	Alto	Regular	Bajo	Muy leve	Inexistente
Nivel			X		
Ruido			X		
Tendencia lineal			X		
Estacionalidad					X
Ciclicidad					X

- Validación de la hipótesis

La tabla que se muestra a continuación presenta varios modelos a partir de los cuales se realizan los pronósticos, el segmento final de tres datos de la serie, donde el mejor modelo aparece resaltado, y se procede a realizar el pronóstico para los siguientes seis datos.

Tabla 21. Selección del modelo de pronóstico para Beta

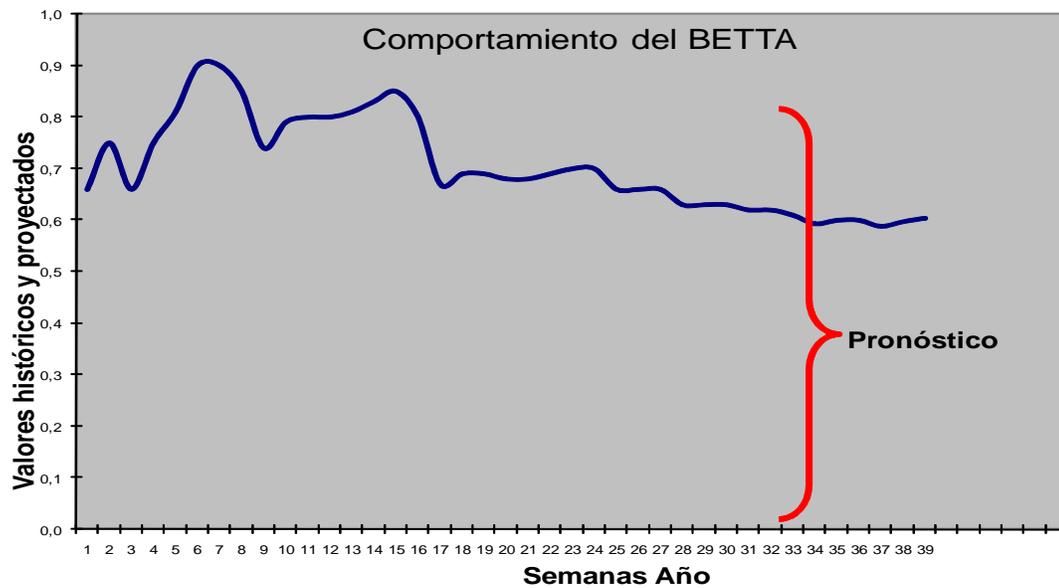
Modelo No.	Software	Símbolo				Diferencia	Puesto
1	WINQSB Window Single Exponential Smoothing (alpha=0.34)	SES	0.6418	0.6418	0.6418	0	6
2	WINQSB Window Single Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34,beta=0)	SEST	0.6418	0.6418	0.6418	0	5
3	WINQSB Window Double Exponential (alpha=0.34)	DES	0.6577	0.6577	0.6577	0	11
4	WINQSB Window Double Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34)	DEST	0.6177	0.6095	0.6014	0	1
5	WINQSB Window Holt-Winters Additive Algorithm(alpha=0.19,beta=0,gamma=0.65)	HWA	0.6387	0.6463	0.6452	0	8
6	WINQSB Window Holt-Winters Multiplicative Algorithm(alpha=0.17,beta=0,gamma=0.73)	HWM	0.6373	0.6431	0.6457	0	7
7	Tendencia Lineal	DAT	0.6560	0.6480	0.6333	0	9
8	Tendencia Cuadratica	DAQ	0.5675	0.5427	0.5116	0	12
9	Tendencia Exponencial	DAE	0.6571	0.6497	0.6356	0	10
10	Tendencia Curva S	DAS	0.7398	0.7371	0.7266	0	13
11	Statgrafic AR I MA (111)(000)	DAR	0.6289	0.6278	0.6266	0	4
12	Forecats Expert Trial -	FET	0.6300	0.6300	0.6200	0	2
13	DecisionPro	DP	0.6300	0.6300	0.6200	0	3
	Realidad	Real	0.6200	0.6200	0.6100	0	
		Dato	31	32	33		

La siguiente tabla muestra los pronósticos obtenidos.

Tabla 22. Pronósticos para la serie beta

Dato	Semana	Pronostico
34	Ago-07	0,593
35	Sep-07	0,599
36	Sep-07	0,600
37	Sep-07	0,588
38	Sep-07	0,597
39	Sep-07	0,604

Ilustración 33. Gráfica de los pronósticos obtenidos para Beta.



3.3.2.4 Pronósticos de eta

Análisis previo de las serie

La serie de datos para eta presenta un cambio de nivel muy pequeño, además presenta un poco de tendencia y ruido, pero no se observan estacionalidad ni fluctuaciones cíclicas.

Ilustración 34. Análisis previo para la serie Eta

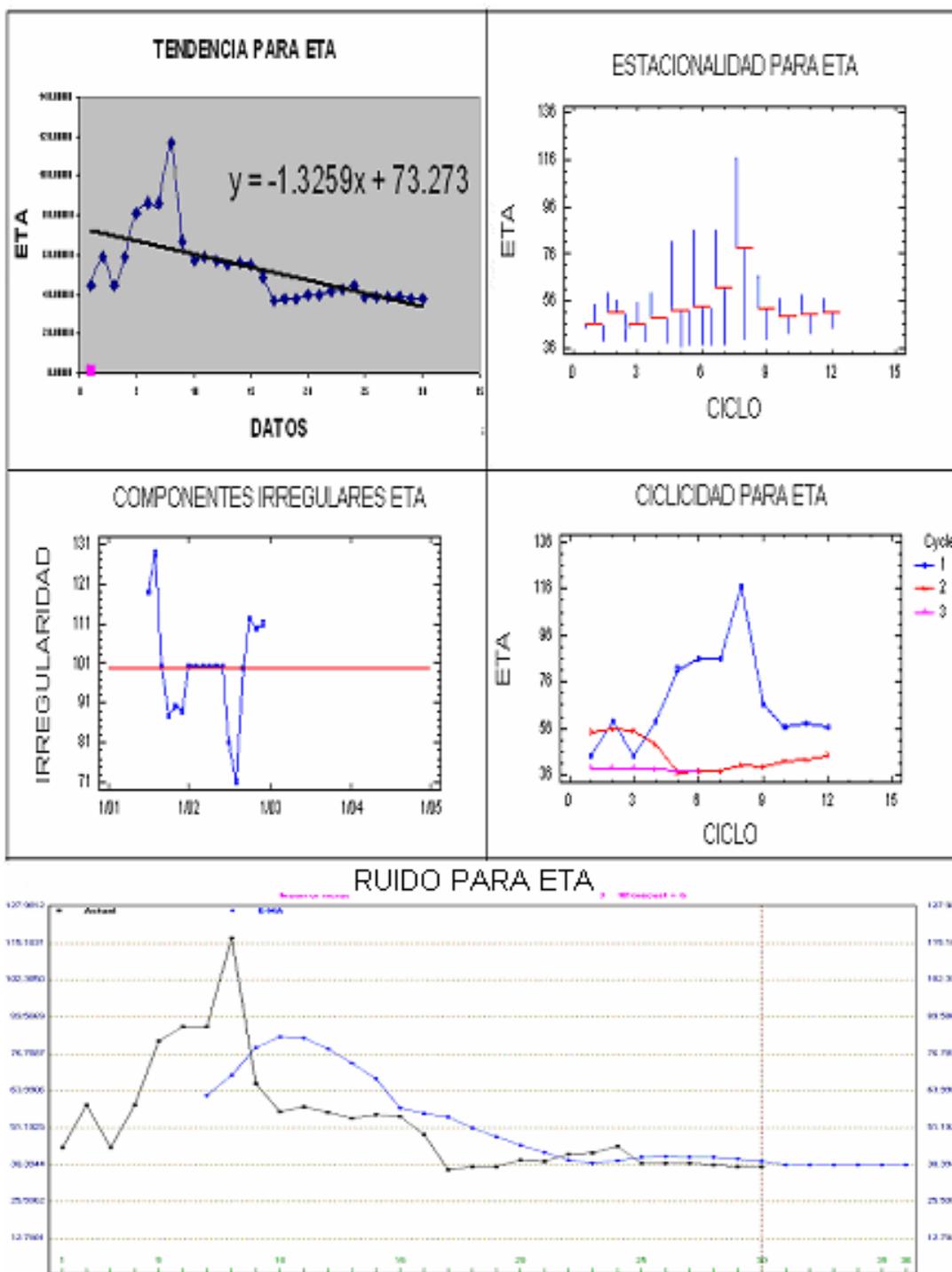


Tabla 23. Patrón para el Eta

PATRON PARA ETA		
	Promedio	Porcentaje
1	95.95	8.7376%
2	101.66	9.2582%
3	105.68	9.6243%
4	103.30	9.4072%
5	79.89	7.2755%
6	83.90	7.6405%
7	106.45	9.6936%
8	132.82	12.0952%
9	96.70	8.8065%
10	93.95	8.5555%
11	97.80	8.9059%
12	101.91	9.2802%
Suma	1098.10	100.00%

Tabla 24. Resultado del análisis previo

Análisis previo	Alto	Regular	Bajo	Muy leve	Inexistente
Nivel				X	
Ruido		X			
Tendencia lineal		X			
Estacionalidad					X
Ciclicidad					X

- Validación de la hipótesis

La tabla que se muestra a continuación presenta varios modelos a partir de los cuales se realizan los pronósticos, el segmento final de tres datos de la serie, donde el mejor modelo aparece resaltado, y se procede a realizar el pronóstico para los siguientes seis datos.

Tabla 25. Selección del modelo de pronóstico para eta

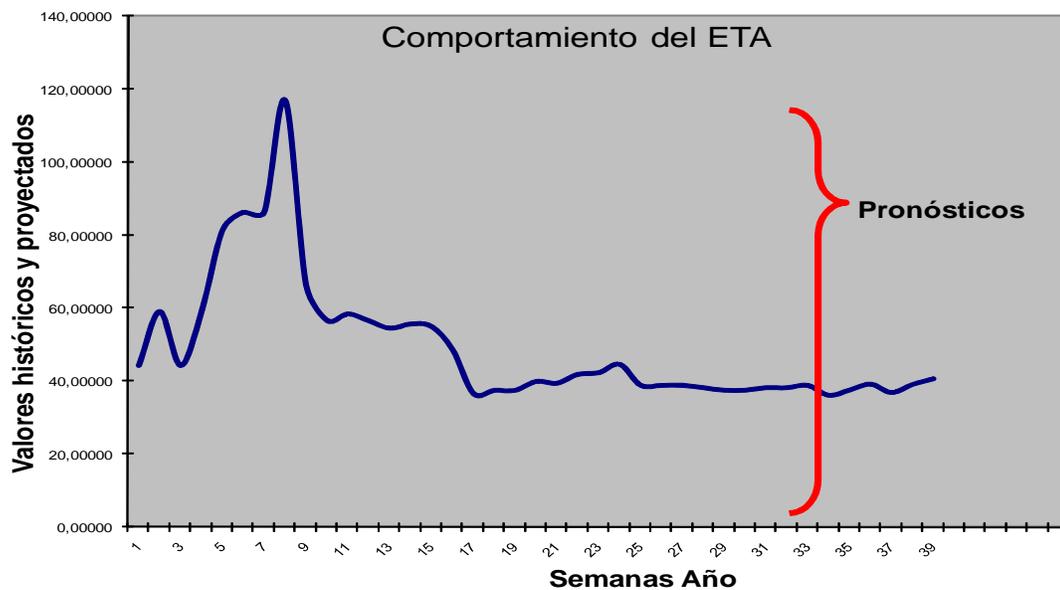
Modelo No.	Software	Símbolo				Diferencia	Puesto
1	WINQSB Window Single Exponential Smoothing (alpha=0.34)	SES	38,4283	38,4283	38,4283	0,00015	1
2	WINQSB Window Single Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34,beta=0)	SEST	38,4282	38,4281	38,4281	0,00035	2
3	WINQSB Window Double Exponential (alpha=0.34)	DES	39,4605	39,4605	39,4605	0,290791	3
4	WINQSB Window Double Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34)	DEST	36,8644	36,3326	35,8009	2	9
5	WINQSB Window Holt-Winters Additive Algorithm(alpha=0.29,beta=0,gamma=0.65)	HWA	36,8041	41,4805	38,5423	1	8
6	WINQSB Window Holt-Winters Multiplicative Algorithm(alpha=0.34,beta=0,gamma=0.79)	HWM	36,0615	38,9678	38,8815	1	5
7	Tendencia Lineal(A=72.6797,B=-1.29167)	DAT	31,9997	35,0804	29,6321	14	11
8	Tendencia Cuadrática	DAQ	28,0535	29,7042	24,0796	40	12
9	Tendencia Exponencial	DAE	34,3294	38,2809	32,9470	5	10
10	Tendencia Curva S	DAS	48,1799	54,9821	48,4285	47	13
11	Statgrafic ARIMA (111)(000)	DAR	37,2752	36,9949	36,6999	1	6
12	Forecast Expert Trial -	FET	39,3400	39,0500	40,6500	0	4
13	DecisionPro	DP	37,2204	36,8152	36,4145	1	7
	Realidad	Real	38,3100	38,3100	38,9500	0	
		Dato	31	32	33		

La siguiente tabla muestra los pronósticos obtenidos.

Tabla 26. Pronósticos para la serie Eta

Dato	Semana	Pronostico
34	Ago-07	36,228
35	Sep-07	37,712
36	Sep-07	39,296
37	Sep-07	36,999
38	Sep-07	39,203
39	Sep-07	40,753

Ilustración 35. Gráfica de los pronósticos obtenidos para Eta



3.3.2.5 Pronósticos de disponibilidad

Análisis previo de las serie

La serie de datos para la disponibilidad tiene una bajo cambio de nivel y ruido, la influencia de tendencia es regular, la serie presenta muy poco de variación estacional, pero no se observan fluctuaciones cíclicas.

Ilustración 36. Análisis previo para la serie disponibilidad

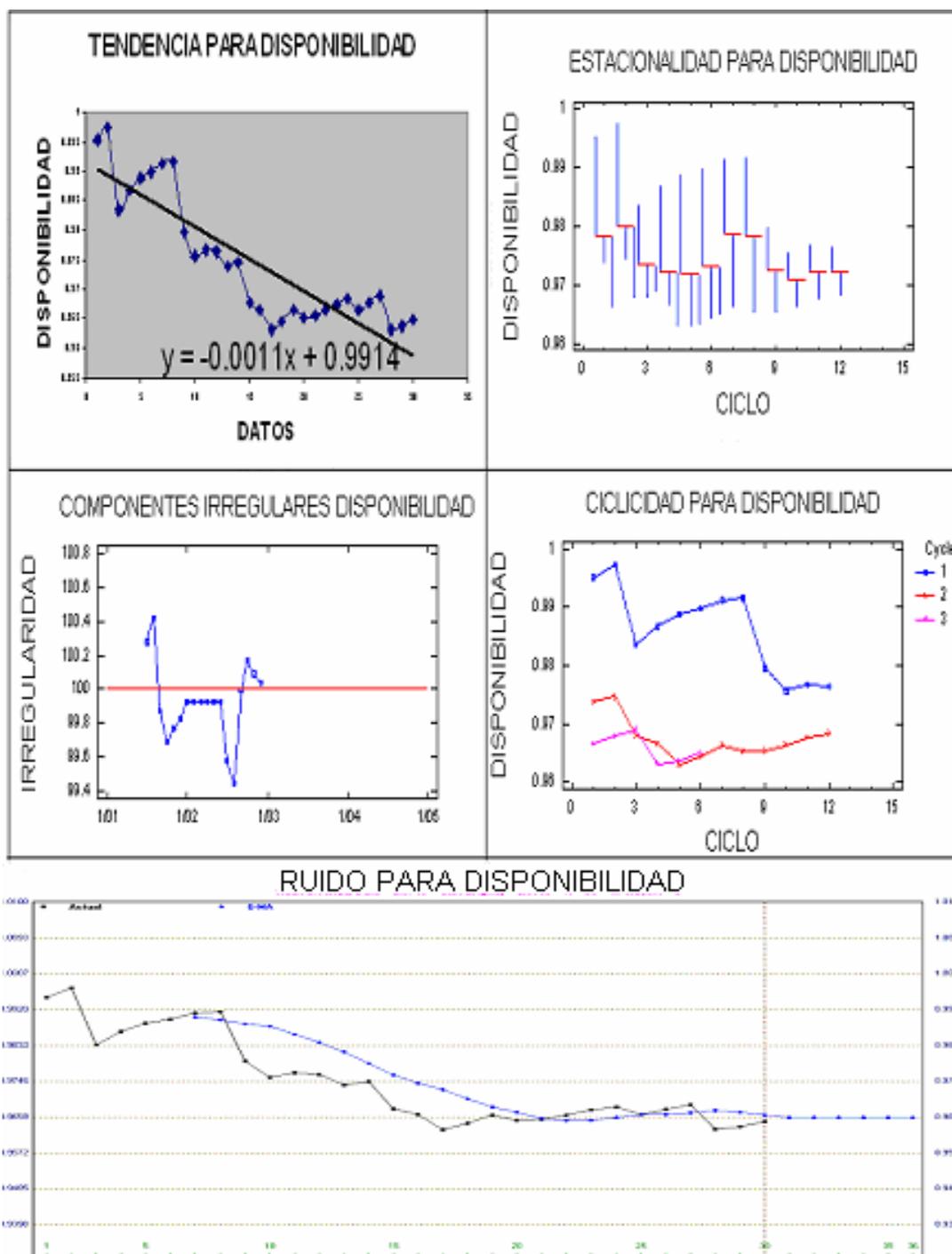


Tabla 27. Patrón para la disponibilidad

PATRON PARA DISPONIBILIDAD		
	Promedio	Porcentaje
1	100.06	9.0974%
2	100.28	9.1173%
3	100.07	9.0986%
4	99.77	9.0715%
5	99.48	9.0448%
6	99.70	9.0654%
7	100.32	9.1214%
8	100.40	9.1286%
9	99.89	9.0823%
10	99.82	9.0761%
11	100.05	9.0966%
12	100.17	9.1078%
Suma	1099.83	100.00%

Tabla 28. Resultado del análisis previo

Análisis previo	Alto	Regular	Bajo	Muy leve	Inexistente
Nivel			X		
Ruido			X		
Tendencia lineal		X			
Estacionalidad				X	
Ciclicidad					X

- Validación de la hipótesis

La tabla que se muestra a continuación presenta varios modelos a partir de los cuales se realizan los pronósticos, el segmento final de tres datos de la serie, donde el mejor modelo aparece resaltado, y se procede a realizar el pronóstico para los siguientes seis datos.

Tabla 29. Selección del modelo de pronóstico para la disponibilidad

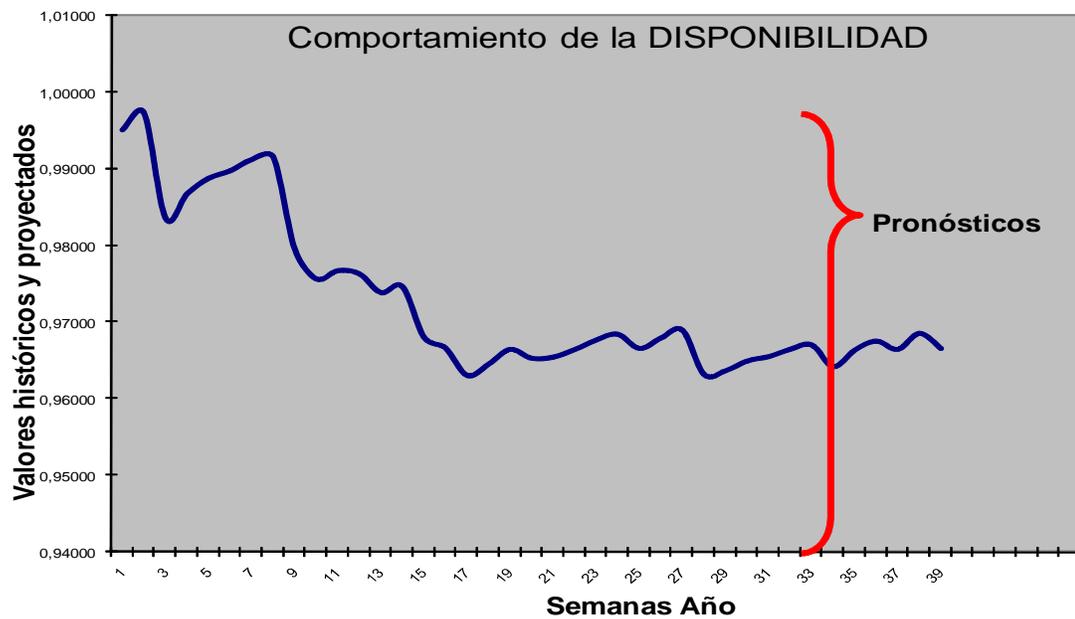
Software	Símbolo				Diferencia	Puesto
WINQSB Window Single Exponential Smoothing (alpha=0.34)	SES	0,9652	0,9652	0,9652	0	2
WINQSB Window Single Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34,beta=0.34)	SEST	0,9650	0,9645	0,9640	0	6
WINQSB Window Double Exponential (alpha=0.34)	DES	0,9660	0,9660	0,9660	0	1
WINQSB Window Double Exponential Smoothing with Trend (alpha=0.34)	DEST	0,9640	0,9636	0,9631	0	8
WINQSB Window Holt-Winters Additive Algorithm(alpha=0.34,beta=0.34,gamma=0.92)	HWA	0,9624	0,9638	0,9642	0	7
WINQSB Window Holt-Winters Multiplicative Algorithm(alpha=0.34,beta=0.34,gamma=0.95)	HWM	0,9587	0,9565	0,9552	0	12
Tendencia Lineal(A=0.991133,B=0.00106711)	DAT	0,9592	0,9594	0,9551	0	11
Tendencia Cuadrática	DAQ	0,9677	0,9696	0,9671	0	5
Tendencia Exponencial	DAE	0,9593	0,9596	0,9553	0	10
Tendencia Curva S	DAS	0,9719	0,9732	0,9699	0	9
Statgratic AR I MA (100)(000)	DAR	0,9649	0,9648	0,9647	0	3
Forecats Expert Trial -	FET	0,7900	0,7400	0,7300	0	13
DecisionPro	DP	0,9647	0,9647	0,9647	0	4
Realidad	Real	0,9656	0,9666	0,9671	0	
	Dato	31	32	33		

La siguiente tabla muestra los pronósticos obtenidos.

Tabla 30. Pronósticos para la serie disponibilidad

Dato	Semana	Pronostico
34	Ago-07	0.966
35	Sep-07	0.969
36	Sep-07	0.967
37	Sep-07	0.964
38	Sep-07	0.961
39	Sep-07	0.963

Ilustración 37. Gráfica de los pronósticos obtenidos para la disponibilidad



3.2 CONCLUSIONES

La distribución seleccionada para realizar los análisis es la distribución de Weibull, mediante sus parámetros se pueden calcular los indicadores CMD y se puede realizar una buena inferencia del comportamiento de los datos. Las curvas generadas a partir de estos parámetros pueden dar una lectura de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del equipo.

Los pronósticos para el cálculo de los indicadores CMD, permiten observar el comportamiento de éstos en el futuro, lo que genera una ayuda en la gestión de mantenimiento.

4. PRECISION DE LOS PRONOSTICOS

4.1 OBJETIVO

Calcular la precisión de pronósticos CMD por series temporales frente a la realidad. (Nivel 3).

4.2 INTRODUCCION

Los pronósticos por series temporales deben ser realizados teniendo presente todos los pasos de la metodología universal de pronósticos (MUP), para que las predicciones sean exitosas. Un aspecto que se puede tener en cuenta, es combinar el análisis de los resultados de pronósticos que se obtienen con la realidad, esto se hace para darle validez a los resultados obtenidos (Mora,2007,255).

4.3 DESARROLLO DE LA PRECISION DE LOS PRONOSTICOS

La precisión de los pronósticos se puede desarrollar, una vez transcurra en la realidad la semana 34, la bondad de ajuste se calcula, y se da en porcentaje, la cual debe estar por debajo del 11% para que califique como adecuada (Makridakis y otro,1998,312-317).

La comparación con los datos reales resulta después del 19 de agosto (semana 34), los cuales se toman después de hacer el corte para los pronósticos. Estos datos se llega hasta la última semana del mes de septiembre.

Tabla 31. Datos reales después de la semana 33

	DATO	Horas de opera.	# fallas	Acum Fallas	DT	Acum DT	UT	Acum UT	MTBF	MTTR	β	eta	Disponibilidad
20 - 26 Agosto	34	4176	2	76	0,2	148,4	143,8	4507,0	59,303	1,952	0,59	38,92	0,968
27 Agosto - 2 Septiembre	35	4320	3	79	11,0	159,4	133,0	4640,0	58,734	2,018	0,58	39,19	0,967
3 - 9 Septiembre	36	4464	0	79	0,2	159,6	143,8	4783,8	60,554	2,020	0,57	39,47	0,968
10 - 16 Septiembre	37	4608	3	82	1,3	160,9	142,7	4926,5	60,079	1,962	0,57	39,74	0,968
17 - 23 Septiembre	38	4752	3	85	0,5	161,4	143,5	5070,0	59,647	1,899	0,56	40,01	0,969
24 - 30 Septiembre	39	4176	2	87	1,2	162,6	142,8	5212,8	59,917	1,869	0,55	40,28	0,970

Los datos de los pronósticos se organizan y se tabulan para poder hacer la comparación y precisión.

Tabla 32. Pronósticos obtenidos

	DATO	MTBF	MTTR	β	eta	Disponibilidad
20 - 26 Agosto	34	55,887	2,118	0,593	36,228	0,963
27 Agosto - 2 Septiembre	35	54,590	2,008	0,600	37,712	0,965
3 - 9 Septiembre	36	56,743	2,004	0,600	39,296	0,966
10 - 16 Septiembre	37	57,064	1,981	0,588	36,999	0,966
17 - 23 Septiembre	38	58,684	1,923	0,597	39,203	0,968
24 - 30 Septiembre	39	59,096	2,143	0,604	40,753	0,965

Tabla 33. Bondad de ajuste entre los pronósticos y la realidad

	DATO	MTBF	MTTR	β	eta	Disponibilidad
20 - 26 Agosto	34	5,8%	8,5%	0,1%	6,9%	0,5%
27 Agosto - 2 Septiembre	35	7,1%	0,5%	2,8%	3,8%	0,2%
3 - 9 Septiembre	36	6,3%	0,8%	4,4%	0,4%	0,2%
10 - 16 Septiembre	37	5,0%	0,9%	3,9%	6,9%	0,2%
17 - 23 Septiembre	38	1,6%	1,3%	7,2%	2,0%	0,1%
24 - 30 Septiembre	39	1,4%	14,6%	10,1%	1,2%	0,5%

4.3 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

El éxito de los pronósticos se fundamenta en seguir cada uno de los pasos, y se puede afirmar que los errores alcanzados en los resultados analizados son inferiores al 11%, con excepción de un dato, pero esto puede por realizar pronósticos por encima del 10% de los datos que es lo recomendable.

5. CONCLUSIONES

Los pronósticos por series temporales son una herramienta que se pueden aplicar a cualquier variable en el tiempo, ya sea de mantenimiento o de otro departamento dentro de la empresa, como producción, ventas y otras. De ésta manera se puede observar el comportamiento futuro de las variables en estudio.

Los pronósticos en la industria son una herramienta de ayuda, los cuales según la información que suministran, sirven para mejorar las labores productivas dentro de la empresa, y poder de esta manera evaluar el desempeño de los equipos, para reforzar de ésta manera el área de mantenimiento.

El mantenimiento dentro de las empresas busca orientar las actividades, para conservar las características de los equipos, evitando las fallas imprevistas. Los indicadores CMD, permiten analizar estas características propias de los equipos.

La confiabilidad y mantenibilidad representan la probabilidad del desempeño adecuado de un equipo para un tiempo determinado, y la probabilidad de reparar un equipo antes de un tiempo determinado respectivamente, de estas dos definiciones es importante resaltar que tanto la confiabilidad como la mantenibilidad dependen directamente del tiempo.

La disponibilidad representa la relación entre el tiempo en que el equipo puede funcionar y el tiempo en el que no puede hacerlo, donde los tiempos no útiles pueden ser reparaciones programadas y no programadas para la disponibilidad alcanzada.

El cálculo puntual de CMD, no es más que un promedio de todos sus datos, lo cual no es un método recomendable por la incertidumbre en los resultados.

Las acciones de mantenimiento se pueden orientar a partir de las distribuciones y los indicadores generados, en donde se pueden incrementar o disminuir las acciones de mantenimiento preventivo, según la representación de la curva de Davies.

Los resultados que se obtienen de tiempos entre mantenimientos preventivos y reparaciones correctivas, muestran orden dentro de la empresa, pues debe ser mayor el tiempo de mantenimientos programados, además lo que se demora un mantenimiento debe ser mayor al tiempo que se invierte en un reparación correctiva.

Los datos recolectados para el estudio CMD, deben ser organizados en series de tiempo para realizar los pronósticos, en donde los mantenimientos programados son tomados dentro de las reparaciones, pues con los pocos datos que se tienen no se recomienda pronosticar.

Los resultados de los pronósticos son una aproximación estadística de lo que se puede presentar a mediano plazo, realizar comparaciones con la realidad, sirve para plantear mejor las estrategias en el área de mantenimiento, además de disminuir el error que se puede presentar.

6. RECOMENDACIONES

Se debe buscar una medida para que los datos se actualicen en tiempo real pues el tiempo que se invierte en organizar y depurar los datos después de exportarse a Excel es alto, con lo cual se convierte en un estudio tedioso. Además los datos son manipulados y pueden presentarse errores.

Se propone realizar un análisis de falla en la remachadora pues ésta presenta un nivel alto de reparaciones correctivas.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS

BARLOW, Richard E. - Engineering Reliability - Editorial Board SIAM – USA – 1998 -ISBN 0898714052.

BARLOW, Richard E. Proschan, Frank. - Mathematical theory of reliability. – Editorial Wiley, John & sons, Incorporated - New York – USA – 1995 - ISBN 0898713692.

BARRINGER, Paul. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. – Editorial PE Barringer & Associates – Texas – USA – 1996.

BAZOVSKY, Igor. Reliability theory and practice - Editorial Dover publications incorporated – USA – 2004 - ISBN 0486438678.

BILLINTON, Roy. Allan, Ronald. Reliability Evaluation of engineering Systems – Editorial GB Pitman Advanced Publishing program – 1983.

BLANCHARD, Benjamín. Verma, Dinesh. Peterson, Elmer. Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management - Editorial Wiley, John & Sons, Inc – USA – 1995 - ISBN 0486438678.

CARRION, García, Andrés. Pronósticos con series temporales – Memorias, ensayos y documentos publicados por la Universidad politécnica de Valencia – Valencia – España – 1999.

EBELING, Charles E. An introduction to reliability and maintainability engineering - Editorial waveland press, inc - New York – USA – 2005 - ISBN 1577663861.

FORCADAS Feliu, Jorge. Estadística aplicada a los sistemas & confiabilidad en los sistemas – Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – Revista SAI No. 4 Vol.1 – Medellín – Colombia1983.

GNEDENKO, Boris. Ushakov, Igor. Probabilistic Reliability Engineering – Editorial John Wiley & Sons, inc - New York – USA – 1995.

HANKE, John E. Pronósticos de los negocios – Editorial Prentice Hall – México – 1998 – ISBN 968 880 681 1.

KNEZEVIC. Jezdimir. Mantenibilidad - Editorial ISDEFE – Madrid - España. 1996 - ISBN 84 89338 08 6.

LEEMIS, Lawrence M. Reliability probabilistic models and statistical methods. Editoria - Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering - New Jersey – USA – 1995 - ISBN 0 13 720517 1.

LEWIS, Elmer E. Introduction to reliability engineering- Editorial Wiley, John & Sons, Inc – 1995 - ISBN 0471018333.

MAKRIDAKIS, Spyros. Wheelwright, Steven C. Métodos de pronósticos – Editorial Limusa – Ciudad de México – México – 1998 – ISBN 968 18 4879 9.

McCLAVE, James. Sheaffer, Richard. Probabilidad y estadística para ingenieros – Editorial Ibero América – Mexico – 1993.

MORA, Alberto Gutiérrez. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios - Segunda edición - Editorial A M G – Medellín – Colombia – 2007 - ISBN 958 33 8218 3.

MORA, Alberto Gutiérrez. Pronósticos de demanda e inventarios – Primera edición - Editorial A M G – Medellín – Colombia – 2007 - ISBN 978 958 44 0233 2.

MORA, Luis Alberto. Toro, Juan Carlos, y Céspedes, Pedro Alejandro. Gestión de mantenimiento de quinta generación - II congreso Bolivariano de Ingeniería mecánica. II COMBI - Ecuador 23 al 26 de julio.2001.

MORENO, Emilia Correa. Conceptos básicos de series de tiempo – Segunda edición – Editorial Universidad Nacional de Colombia – Bogotá – Colombia – 2000.

NACHALS, Joel. Fiabilidad - Editorial ISDEFE – Madrid – España – 1995 - ISBN 84 89338 07 8.

O' CONNOR, Patrick. Practical Reliability. Engineering - Editorial Wiley - John & sons Incorporated - New York – USA – 2002 - ISBN 0470844620.

RAMAKUMAR, Ramachandra. Engineering Reliability. Fundamentals and applications - Editorial Prentice Hall. Professional Technical - New Jersey – USA – 1996 - ISBN 0132767597.

RICARDO, David. On the principles of political economy and translation - Editorial Ayuso – Londres – Inglaterra - 1817.

ROJAS, Jaime Arias. Introducción a la confiabilidad. Universidad de los Andes – Bogotá – Colombia - 1975.

RUDELL REED, Junior. Location, Layout, and Maintenance - Editorial Richard D. Irwin – Illinois – USA - 1967.

VALLEJO, Juan Santiago. Desarrollo, Validación, Contraste y pronósticos del cálculo CMD. Tesis de investigación para optar por el título de Ingenieros Mecánicos - Universidad EAFIT – Medellín – Colombia- 2004.

REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET

FUENTE@,2007

Predicciones económicas y empresarial – 2007 -
<http://www.fuenterrebollo.com/Eviews/menu1.html>.

MANTENIMIENTO-INDUSTRIAL@,2007

Morea Lucas - Monografías – Sinexi S.A- 2007 -
<http://www.monografias.com/trabajos16/mantenimiento-industrial.shtml>.

NORIA@,2006

Mundo de confiabilidad de Latinoamérica – León Guanajuato – México
– 2007. <http://www.noria.com/sp/conferencia.asp>.

RELIASOFT,2007

ReliaSoft, Life Data Analysis On-Line Reference – System Reliability On-Line
Reference – 2007. <http://www.weibull.com/lifedatawebcontents.htm>.