

ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO CON CMD¹ EN FLOTA DE
CAMIONES 793D CATERPILLAR DE LA MINA PRIBBENOW DE DRUMMOND

OSCAR ENRIQUE GALINDO GAMEZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN - COLOMBIA

2014

¹ CMD - Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO CON CMD² EN FLOTA DE
CAMIONES 793D CATERPILLAR DE LA MINA PRIBBENOW DE DRUMMOND

OSCAR ENRIQUE GALINDO GAMEZ
TRABAJO DE GRADO MAESTRÍA EN INGENIERÍA

ASESOR
PHD. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN - COLOMBIA

2014

² CMD - Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

CONTENIDO

CONTENIDO.....	4
ILUSTRACIONES.....	6
ECUACIONES.....	8
0 PRÓLOGO.....	9
0.1 INTRODUCCIÓN.....	9
0.2 ANTECEDENTES.....	10
0.3 JUSTIFICACIÓN.....	10
0.4 OBJETIVOS.....	11
0.5 GENERAL.....	11
0.6 ESPECÍFICOS.....	11
0.6.1 Uno - Mantenimiento CMD.....	11
0.6.2 Dos - Equipos.....	11
0.6.3 Tres - Cálculos CMD.....	11
0.6.4 Cuatro - Estrategia CMD.....	12
0.6.5 Cinco - Conclusiones.....	12
1 MANTENIMIENTO CMD.....	13
1.1 OBJETIVO 1.....	13
1.2 INTRODUCCIÓN DE CAPITULO 1.....	13
1.3 DESARROLLO DE CAPITULO 1.....	14
1.3.1 Confiabilidad.....	14
1.3.2 Mantenibilidad.....	17
1.3.3 Disponibilidad.....	18
1.3.4 Disponibilidad alcanzada (AA).....	19
1.3.2 Distribuciones.....	20
1.3.2.1 Distribución Weibull.....	23
1.3.5 Metodología para medición CMD.....	24
1.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO.....	30
2 EQUIPOS.....	31
2.1 OBJETIVO 2.....	31
2.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 2.....	31
2.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 2.....	31
2.3.1 Componentes Representativos.....	32
2.3.1.1 Componente Motor.....	34
2.3.1.2 Tren de Potencia.....	34
2.3.1.3 Sistema de Dirección.....	37
2.3.1.4 Sistema de Levante.....	37
2.3.1.5 Sistema de Frenos.....	38
2.3.2 Parámetros de Mantenimiento.....	38
2.3.3 Estado deseado frente al Actual.....	39
2.4.....	39
2.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO 2.....	40
3 CÁLCULOS CMD.....	41
3.1 OBJETIVO 3.....	41
3.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 3.....	41
3.3 DESARROLLO DE CAPITULO 3.....	41
3.3.1 Análisis de Datos y selección de variables.....	41

3.3.2	Procesamiento de Datos.....	41
3.4	CONCLUSIONES DE CAPITULO 3	49
4	<i>ESTRATEGIA CMD.....</i>	51
4.1	OBJETIVO 4	51
4.2	INTRODUCCIÓN DE CAPITULO 4.....	51
4.3	DESARROLLO DE CAPITULO 4.....	51
4.3.1	Fundamentación	51
4.3.2	Validación.....	52
4.3.3	Resultados, estrategias y pronósticos	67
4.4	CONCLUSIONES DE CAPITULO 4	82
5	<i>CONCLUSIONES</i>	83
5.1	OBJETIVO 5	83
5.2	CONCLUSIONES generalES	83
5.2.1	Estrategia	83
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	84

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Secuencia Lógica de Objetivos Gagné@.....	12
Ilustración 2 - Curva de la bañera o de Davies	16
Ilustración 3 - Aplicación de acciones y tácticas acorde CMD	16
Ilustración 4 - Métodos de distribución para estimación CM.....	21
Ilustración 5 - Comportamiento de $\lambda(t)$, $f(t)$ y $F(t)$ de algunas distribuciones	22
Ilustración 6 - Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico	25
Ilustración 7 - Nivel Estratégico - CMD.....	26
Ilustración 8 - Procesos estándar de cálculo y predicción CMD	27
Ilustración 9 - Modelo universal e integral, propuesto para la medición CMD	28
Ilustración 10 - Continuación Modelo universal e integral medición CMD	29
Ilustración 11 - Tiempos requeridos para el cálculo de los indicadores.....	30
Ilustración 12 - Camión Minero CAT 793D	31
Ilustración 13 - Descripción de la Maquina.....	32
Ilustración 14 - Dimensión Estructural.....	33
Ilustración 15 - Componente Motor.....	34
Ilustración 16 - Convertidor de torsión	35
Ilustración 17 - Componente Transmisión.....	35
Ilustración 18 - Componente Diferencial.....	36
Ilustración 19 - Mandos Finales	36
Ilustración 20 - Sistema de Dirección.....	37
Ilustración 21 - Sistema de Frenos	38
Ilustración 22 - Grafica Pie Chart Estado Actual por sistemas	39
Ilustración 23 - Primera etapa de datos para la predicción CMD.....	42
Ilustración 24 - Selección de variables.....	42
Ilustración 25 - Historial de Orden Cíclicos	43
Ilustración 26 - Selección de disponibilidad.....	45
Ilustración 27 - Valores de MTBMc, MTTR	45
Ilustración 28 - Valores de MTBmp y MP.....	47
Ilustración 29 - Valores de trabajo CMD.....	48
Ilustración 30 - Curva de Weibull - Davies	51
Ilustración 31 - Datos de MTBmp MP, MTBMc, MTTR.....	52
Ilustración 32 - Histograma de frecuencia MTBMc	52
Ilustración 33 - Histograma de frecuencia MTTR	53
Ilustración 34 - Histograma de frecuencia MTBmp	54
Ilustración 35 - Histograma de frecuencia Mp	54
Ilustración 36 - Prueba Coeficiente Alfa de Cronbach.....	55
Ilustración 37 - Pruebas de ACF	56
Ilustración 38 - Correlación entre los cuatro parámetros CMD.....	58
Ilustración 39 - Valores CMD - De cada una de las cuatro variables.	59
Ilustración 40 - Betas	63
Ilustración 41 - Con Reliasoft Weibull 6 con Distribución Weibull	64
Ilustración 42 - Resumen y comparación de resultados	67
Ilustración 43 - Pronósticos e Históricos CMD.....	68
Ilustración 44 - Análisis betas No Planeados con historia y pronósticos.....	69
Ilustración 45 - Análisis betas Planeados con historia y pronósticos	69
Ilustración 46 - Métodos futurísticos actuales	70
Ilustración 47 - Metodología universal de pronósticos.....	71
Ilustración 48 - Valores de los parámetros beta.....	72
Ilustración 49 - Tiempos Útiles	73

Ilustración 50 - Valores de los η Etas Factor de Escala.....74
Ilustración 51 - Tiempos útiles de Funcionalidad o de Mantenimiento75
Ilustración 52 - Disponibilidad histórica y futura76
Ilustración 53 - Curvas Alineación, $f(t)$, $F(t)$, Hazard, Mantenibilidad de Reliasoft77
Ilustración 54 - Cálculos CMD con software Statgraphics Centurion79

ECUACIONES

Ecuación 1 - Representación matemática de la función de confiabilidad	15
Ecuación 2 - Representación matemática de la función de mantenibilidad	18
Ecuación 3 - Disponibilidad alcanzada (AA).....	19
Ecuación 4 - Transformación valores X e Y para la distribución de Weibull	23
Ecuación 5 - Parámetros de la distribución de Weibull	23
Ecuación 6 - Densidad de la distribución de Weibull.....	24
Ecuación 7 - Confiabilidad de la distribución de Weibull	24
Ecuación 8 - Tasa de fallas de la distribución de Weibull	24
Ecuación 9 - Cálculos Incremento. Número de Orden, de datos censurados	43

0 PRÓLOGO

0.1 INTRODUCCIÓN

En muchos países del mundo se incluye Colombia, se presenta una oscilación de sus ingresos anuales entre un 14% y un 26% del presupuesto en gastos de mantenimiento, es importante señalar que mantenimiento se identifica como una ciencia o área logística, que se encarga de prever acciones que se pueden hacer con antelación a las necesidades de reparaciones o de mantenimientos preventivos o predictivos, para mitigar los desgastes funcionales inevitables en los equipos o las paradas imprevistas, que generan la pérdida de funcionalidad de los equipos.

Existen dos grandes manera de ahorrar en mantenimiento, una de ellas es la ampliación de periodos entre mantenimientos planeados, donde se pueda determinar los factores y las formas de falla, la segunda es eliminar la causa raíz de las fallas que generan paros imprevistos y por ende evitar las reparaciones (Análisis de Fallas).

El presente proyecto trata el análisis del comportamiento de los camiones Caterpillar 793D de acarreo de material estéril en la mina de carbón de Drummond, en la costa caribe colombiana, mediante el uso de las técnicas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, con el objetivo de plantear estrategias y acciones futuras de mantenimiento en los componentes del sistema.

Es importante resaltar, el uso de las distribuciones estadísticas, que permiten hallar los resultados y de esta manera sea factible construir y parametrizar los modelos de predicción, con el fin de anticiparse a los tiempos útiles de las máquinas y a los tiempos de reparación futura, o sea una administración del mantenimiento basada en el estado futuro.

El estudio está estructurado principalmente en cinco capítulos: el primero de ellos, versa sobre conceptos de principios estructurales de CMD, el capítulo dos trata la descripción de los factores técnicos en los equipos camiones 793D de Caterpillar, susceptibles de fallas o de mantenimientos planeados donde se valora el CMD en secciones posteriores, el tercer capítulo efectúa la medida de CMD en los estados actuales y futuros, el cuarto capítulo plantea las acciones estratégicas a realizar a partir del análisis futurístico de las curvas CMD, para elaborar un plan de acciones propias de mantenimiento y operación a partir de los análisis e interpretación de las curvas CMD y las conclusiones generales son el quinto capítulo.

0.2 ANTECEDENTES

La mejor forma de controlar el mantenimiento y sus implicaciones es a través del componente confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y parámetros asociados (Barringer, 1996).

Es importante señalar que la Compañía dueña de los camiones, no tiene datos reportados ni una política única para la estimación de los índices CMD, en los camiones Caterpillar 793D de acarreo de material estéril³ en la mina de carbón de Drummond⁴.

El enfoque de mantenimiento cambia con los años, desde las acciones correctivas y preventivas hacia la implementación de tácticas y estrategias con las que se organizan las actividades y los recursos con base en indicadores de costos y desempeño (Mora, 2009).

Ante esta situación, la operación y el mantenimiento del sistema cuentan con deficiencias en la valoración de la máquina en el tiempo para conocer su evolución, donde se pueda tener un criterio claro de la efectividad y evitar a toda costa los factores que deterioran la funcionalidad del equipo.

Se hacen mejoras sustanciales, con el desarrollo de este proyecto en los índices de CMD en los Camiones Caterpillar 793D.

0.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años el precio de referencia del carbón colombiano cayó 38% y 27% en oro en el mismo periodo. Además, las proyecciones de los precios internacionales no muestran recuperación en el corto plazo y los análisis de prospectiva de organismos internacionales como el Banco Mundial, muestran que en los próximos años el precio real del carbón continuará su tendencia decreciente (Revista Dinero, 2014).

La industria espera mantener la funcionalidad de los equipos al menor costo, al tiempo que entreguen un mayor rendimiento, una mayor disponibilidad, confiabilidad y las ganancias más altas que alarguen la vida útil de los mismos.

Como consecuencia de lo anterior, la implementación de los principios estructurales de CMD⁵, en los camiones Caterpillar 793D en la compañía Drummond es relevante. Lo importante en la metodología, consiste en la

³ El monto de unidad de sobrecapa que debe ser removida para obtener acceso a un monto de unidad de carbón o mineral.
⁴ Drummond Company, Inc. y sus filiales extraen carbón en Colombia a través de su participación en el 80 por ciento de Drummond International, LLC, una sociedad con una filial de ITOCHU Corporation, creada en octubre de 2011.
⁵ CMD, Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad - RAM, Reliability, Availability, Maintenance

capacidad de predecir el comportamiento de los equipos, en cuanto a las fallas o las reparaciones, los tiempos útiles, los mantenimientos planeados (Mora, 2009).

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas: en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación (Mora, 2009), son los parámetros de cálculo de la efectividad (fórmula magna de mantenimiento).

Por otra parte, académicamente este trabajo se puede utilizar como soporte investigativo para futuros nuevos trabajos.

0.4 OBJETIVOS

La arquitectura de los objetivos utiliza como base la teoría de Bloom y Gagné⁶ de la taxonomía de los objetivos en la educación, donde el nivel de avance en el aprendizaje es paralelo a la acción propuesta en cada objetivo (Bloom@, 2014).

0.5 GENERAL

Medir el estado actual de la gestión de mantenimiento mediante CMD en los camiones 793D Caterpillar en la mina de Drummond.

0.6 ESPECÍFICOS

0.6.1 Uno - Mantenimiento CMD

Fundamentar conceptos de los principios estructurales de CMD, con el fin de aplicarlos en el camión 793D de Caterpillar en la mina Pribbenow de Drummond – Nivel 1 - Conocer.

0.6.2 Dos - Equipos

Describir los factores técnicos en los equipos Camión 793D de Caterpillar en la mina Pribbenow de Drummond que influyen en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. – Nivel 2 - Comprender.

0.6.3 Tres - Cálculos CMD

Medir el CMD en los estados actuales y futuros, calculando los valores de MTBMc⁷, MTBmp⁸, MTTR⁹, y Mp¹⁰, en un equipo camión 793D de Caterpillar en la

⁶ Benjamín Bloom, Robert Gagné, psicólogos norteamericanos destacados por sus publicaciones en el área de aprendizaje

mina Pribbenow de Drummond, mediante parametrización y metodologías internacionales CMD - Nivel 3 - Aplicar.

0.6.4 Cuatro - Estrategia CMD

Elaborar un plan de acciones propias de mantenimiento y operación, a partir de los análisis e interpretación de las curvas CMD de confiabilidad, densidad de fallas, mantenibilidad, *hazard*, etcétera; de valores históricos y futuros, derivados de los cálculos CMD - Nivel 4 - Analizar

0.6.5 Cinco - Conclusiones

Presentar los principales resultados del proyecto.

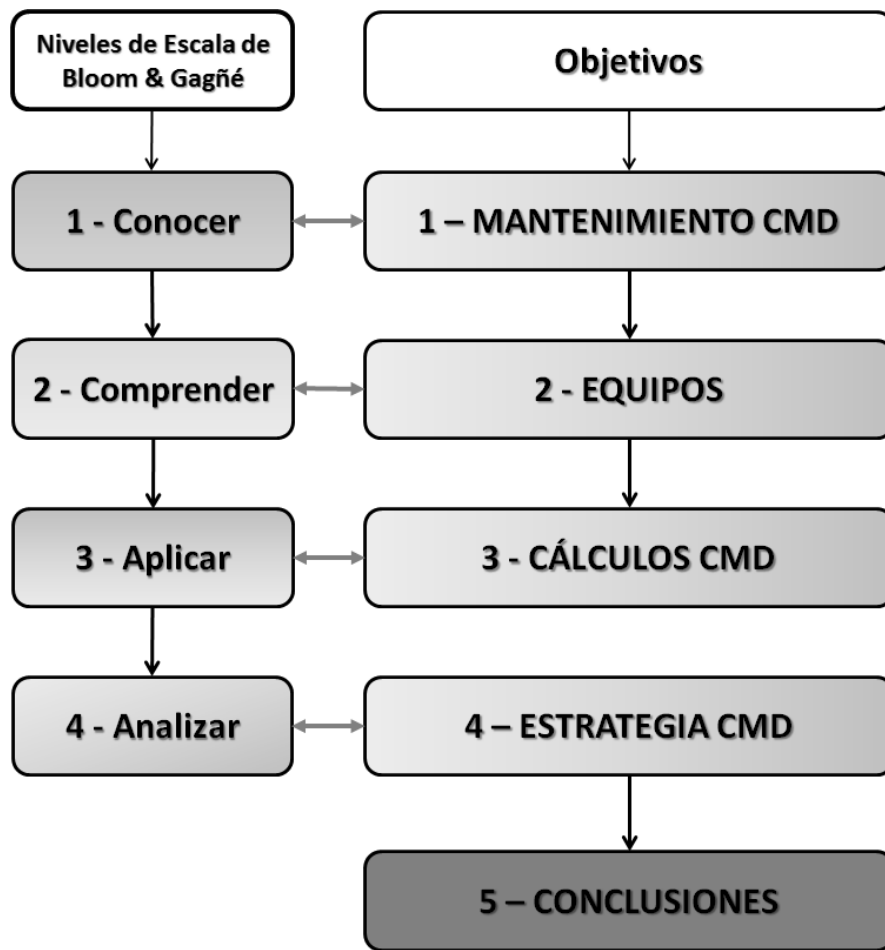
Ilustración 1 - Secuencia Lógica de Objetivos Gagné@

⁷ MTBMc: Tiempo Medio entre Mantenimientos Correctivos

⁸ MTBmp: Tiempo Medio entre Mantenimientos Programados.

⁹ MTTR: Tiempo Medio entre Reparaciones.

¹⁰ Mp: Mantenimientos Planeados



(Bloom@, 2014).

1 MANTENIMIENTO CMD

1.1 OBJETIVO 1

Fundamentar conceptos de los principios estructurales de CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) con el fin de aplicarlos en el camión 793D de Caterpillar en la mina Pribbenow de Drummond.

1.2 INTRODUCCIÓN DE CAPITULO 1

La siguiente sección, provee los fundamentos conceptuales sobre la Confiabilidad, la Mantenibilidad y la Disponibilidad, ineludibles, para poder formalizar los pasos precedentes de CMD.

1.3 DESARROLLO DE CAPITULO 1

El mantenimiento industrial puede definirse como una ciencia, ya que cumple todos los requisitos, que se define para ello en la RAE@¹¹, la cual define, que un conjunto de conocimientos que se obtiene a través de la observación, del estudio, de la experiencia y del razonamiento, debidamente estructurados en forma sistémica y de los cuales se pueden deducir principios, leyes generales, comportamientos y predicciones, etc., permiten constituir una ciencia (RAE@, 2008).

El considerar el mantenimiento como una ciencia permite su tratamiento profundo, serio, coherente y estructurado, de tal forma que todos los conocimientos que se desarrollan sean realizables y útiles a los lectores (Mora, 2009). El servicio de mantenimiento está enmarcado en una empresa en la función de producción la cual logra la más alta productividad mediante el uso eficaz de los factores (Mora, 2012).

1.3.1 Confiabilidad¹²

La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales es diseñado, durante un período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación, ambientales y de entorno adecuadas se define como confiabilidad (Ramakumar, 1996) (Blanchard, 1995) (Nachlas, 1995) (Smith, 1983) (Díaz, 1992) (Knezevic, 1996) (Ebeling, 2005) (Kelly, y otros, 1998) (Kapur, y otros, 1977) (Rey, 1996)(Halpern, 1978) (Navarro, y otros, 1997) (Modarres, 1993).

Sin embargo, hay que reconocer que la confiabilidad depende del montaje, buenos materiales, tecnología, diseño, respaldo, ensamble, entorno, y es imputable a la máquina.

Es importante señalar que, la confiabilidad¹³ es una propiedad de la máquina no negociable, es adquirida, incambiable en corto plazo.

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es bastante confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia ha

¹¹ El símbolo @ se utiliza en esta monografía para denotar la bibliografía de Internet y RAE Real Academia Española.

¹² Tomada del Libro del Asesor Alberto Mora (Mora, 2011)

¹³ El término asociado a confiabilidad en inglés es Reliability

demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan alguna vez (Bazovsky, 1961).

Por tanto, la confiabilidad se mide en pasado y presente, y se obtiene por medición directa ya que es una variable independiente.

En síntesis, la confiabilidad¹⁴ se puede entender como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos, las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos del ciclo vida y la seguridad de un producto (Nachlas, 1995). Normalmente se expresa como:

Ecuación 1 - Representación matemática de la función de confiabilidad

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

Dónde:

$R(t)$ es la función de confiabilidad o supervivencia, la cual decrece en la medida que se incrementa el tiempo, al igual $R(0)=1$ o sea que siempre la probabilidad de confiabilidad de cualquier elemento antes de iniciar su funcionamiento es máxima del cien por ciento (100%); t es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento.

$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$, expresa que cualquier elemento o máquina, siempre entra en estado de falla, así sea en un tiempo grande o infinito (Leemis, 1995).

Curva de la Bañera o de Davies, se define como la curva típica de evolución de la tasa de fallos. Mortalidad infantil¹⁵ es el período al inicio de la operación, donde con frecuencia ocurren fallas prematuras debidas a defectos no detectados, defectos de diseño no corregidos, errores en la fabricación y el montaje. En este período la tasa de falla es decreciente con el tiempo. También se conoce con el nombre de período de rodaje o período infantil (Díaz, 1992).

Esta curva no dice a qué edad va a morir un ser humano específico; pero refleja cómo cambia el peligro de morir con la edad (Mercado, y otros, 2004).

Los mayores segmentos de los modos de falla que se presentan en los componentes mecánicos en ingeniería poseen representación de curva de la bañera.

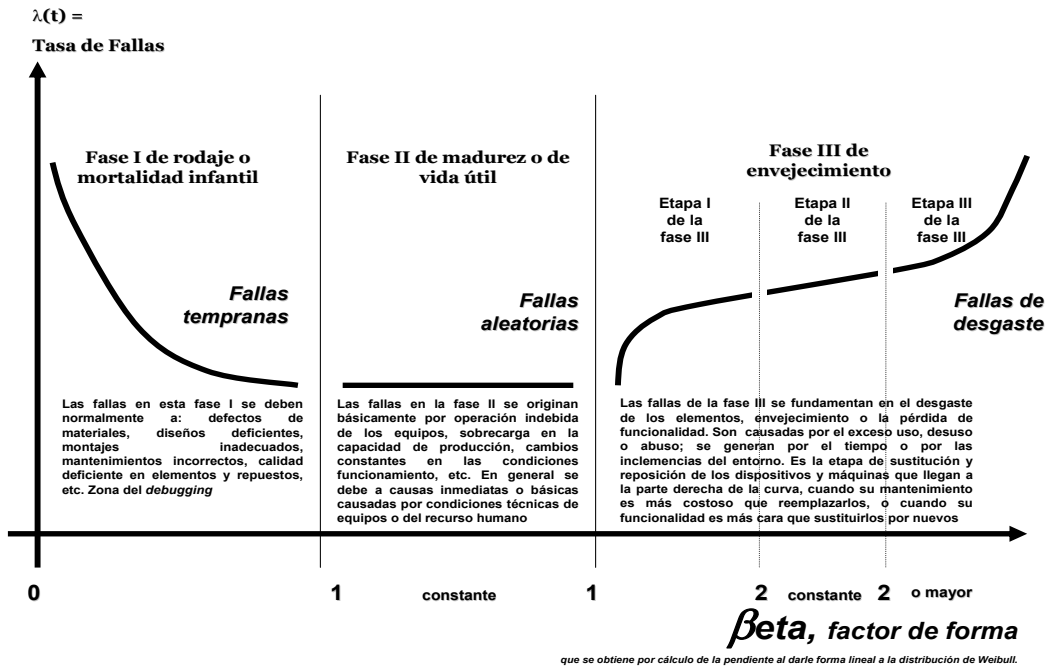
¹⁴ En castellano se puede decir que las expresiones fiabilidad y confiabilidad denotan lo mismo.

¹⁵ Término Asociado al periodo considerado normal en el funcionamiento de equipos con naturaleza decreciente.

Las diferentes acciones que se deciden sobre las tareas que se deben realizar por parte de mantenimiento (y producción), dependen entre otros parámetros de la curva de la bañera o de Davies (Ebeling, 2005).

La curva de la bañera se obtiene al graficar los valores de $\lambda(t)$ vs. $T(\beta)$, tal como se muestra en la siguiente figura:

Ilustración 2 - Curva de la bañera o de Davies

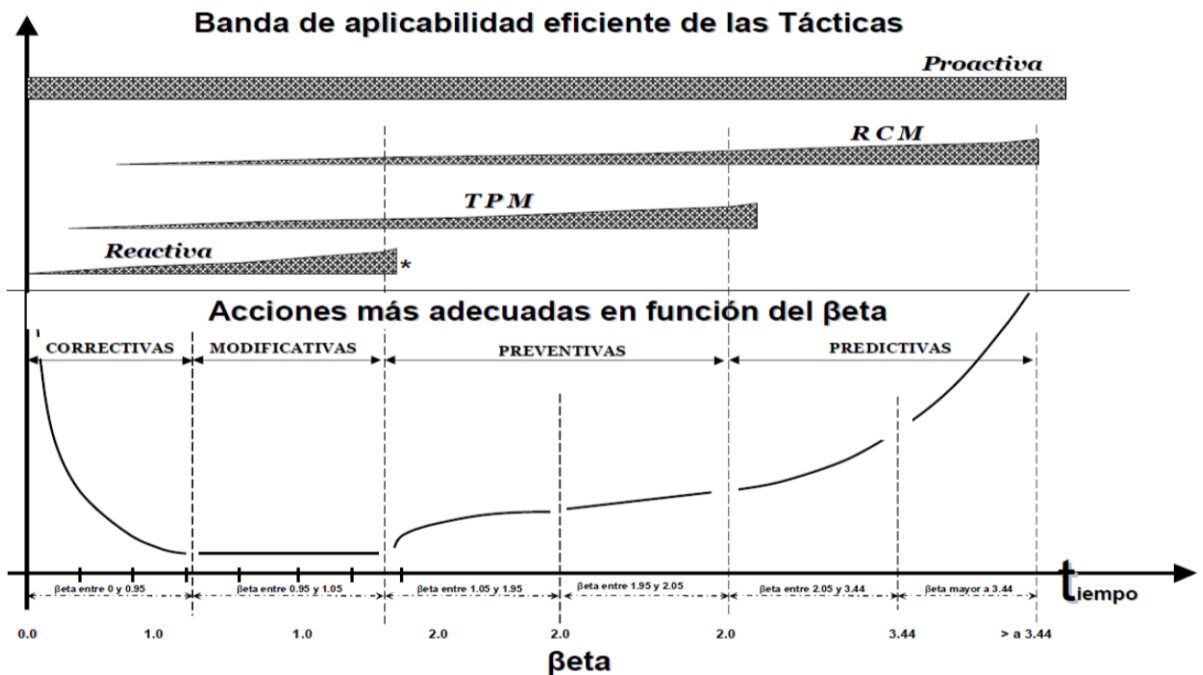


(Mora, 2006)

El principal inconveniente para el análisis CMD, es que en la práctica se presentan casos en que ninguna de las distribuciones clásicas estudiadas se ajusta a la gráfica de la función de tasa de fallas en forma de curva de la bañera.

Ilustración 3 - Aplicación de acciones y tácticas acorde CMD

$\lambda(t)$ Tasa de fallas en Weibull



* 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.

(Mora, 2006)

1.3.2 Mantenibilidad

La mantenibilidad está 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 (Blanchard, y otros, 1995)

Se puede afirmar que la mantenibilidad se mide directamente, es una variable independiente. Otro rasgo sumamente notable como definición es la probabilidad de que un equipo que ha trabajado y que ha perdido parcial o totalmente su funcionalidad y/o ha sufrido cierto desgaste se restituya con cierta condición de referencia, no de diseño.

El índice clave para la mantenibilidad es frecuentemente el tiempo medio para reparar, MTTR (mean time to repair), o tiempo medio de mantenimiento correctivo, y se interpreta como un límite para el tiempo máximo de reparación. Cualitativamente, se refiere a la facilidad con que los equipos son devueltos a su estado de funcionamiento. Cuantitativamente es una probabilidad y se mide con base en el tiempo de parada por mantenimiento, incluyendo todos los tiempos por

mantenimiento activo: diagnóstico, desarme, reemplazo y pruebas de verificación para saber si la reparación fue adecuada (Knezevic, 1996).

Todos los equipos no son mantenibles, por ejemplo los del sector eléctrico. La mantenibilidad depende de: los costos, del dueño, somos nosotros determinadores de la mantenibilidad del equipo (Diseño, Soporte técnico, equipos, tecnología, conocimiento de la máquina, repuestos) y es imputable en los seres humanos.

Mantenibilidad ha sido definida como la probabilidad de que un equipo sea restablecido a una condición especificada dentro de un período de tiempo dado, usando recursos determinados y Fiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desarrolle una función específica, bajo unas condiciones específicas durante un tiempo determinado.

Ecuación 2 - Representación matemática de la función de mantenibilidad

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

Dónde:

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

$\lim_{t \rightarrow 0} M(t) = 0$ o enunciado como $M(0) = 0$.

(Mora, 2009).

1.3.3 Disponibilidad

Como disponibilidad¹⁶ se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico (Ramakumar, 1996)(Blanchard, 1995) (Nachlas, 1995)(Smith, 1983) (Leemis, 1995)(Kececioglu, 1995) (Díaz, 1992) (Knezevic, 1996) (Ebeling, 2005) (Kelly, y otros, 1998) (Kapur, y otros, 1977) (Rey, 1996)(Halpern, 1978) (Navarro, y otros, 1997) (Modarres, 1993).

Por otro lado, cabe señalar que la disponibilidad no se mide, se calcula, es una variable dependiente.

¹⁶ La traducción en inglés es Availability (BABYLON@,2005)

También es una medida relevante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas.

Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionalidad (Nachlas, 1995) (O'Connor, 2002) (Mora, 2007b).

Indiscutiblemente la disponibilidad es la que converge¹⁷ con confiabilidad y mantenibilidad.

Los diferentes métodos para estimar la disponibilidad que más se utilizan por la industria son: genérica, inherente, alcanzada, operacional y operacional generalizada (Mora, 2009).

1.3.4 Disponibilidad alcanzada (AA)

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

Ecuación 3 - Disponibilidad alcanzada (AA)

$$Disponibilidad\ Alcanzada = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{\frac{MTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}$$

Donde MTBM = Mean Time Between Maintenance o sea el Tiempo Medio entre Mantenimientos (tanto reparaciones correctivas o modificativas, como también mantenimientos planeados, sean de orden preventivo o predictivo) y \bar{M} = Mean Time active Maintenance = MTM = Mean Time Maintenance = Tiempo Medio de Mantenimiento (correctivo y planeado). El tiempo medio entre mantenimientos, MTBM, más que un índice de confiabilidad es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos; es función de la frecuencia de los mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivos) y

¹⁷ Tiene como definición: Juntarse dos o más cosas en un punto

no planeados (correctivos), en ausencia de mantenimiento preventivo el MTBM se aproxima al MTBF (Blanchard, y otros, 1994).

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

Con MTBM_c, como el tiempo medio entre mantenimientos no planeados (correctivos o modificativos), se aproxima al MTBF en ausencia de tareas proactivas y el MTBM_p como el tiempo medio entre mantenimientos planeados.

Ahora, para el cálculo del \bar{M} se usa la expresión:

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

Donde, MTTR = Mean Time To Repair = es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos (o modificativos), sin incluir demoras logísticas, ni los retrasos administrativos, es el mismo que se define anteriormente.

MP = es el tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

El \bar{M} (Mean Time active Maintenance), es el tiempo medio de mantenimiento activo que se requiere para realizar cualquier tarea de mantenimiento. Es función de los tiempos medios de mantenimientos planeados o no, con sus frecuencias relativas; sólo considera los tiempos activos de mantenimiento y no tiene en cuenta los tiempos administrativos y tampoco los logísticos (Blanchard, y otros, 1994) por demoras.

(Mora, 2014)

1.3.2 Distribuciones

En la última década ha tomado fuerza las Distribuciones para estudiar confiabilidad basados en la función de tasa de fallos en forma de curva de la Bañera (Transformation of the Bathtub Failure Rate Data in Reliability, 2009).

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 el tiempo de funcionamiento del equipo (MTTF), el tiempo de operación

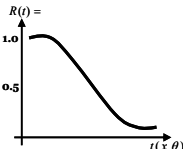
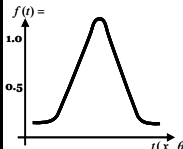
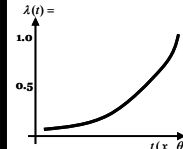
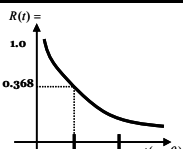
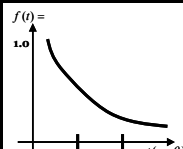
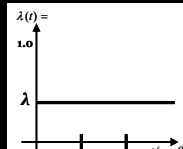
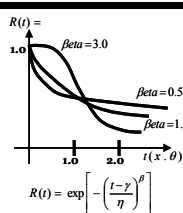
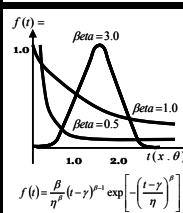
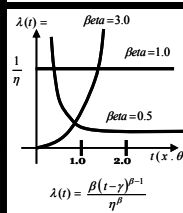
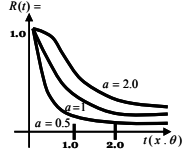
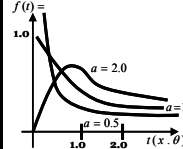
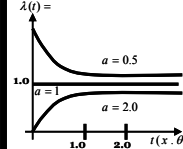
del sistema (MTBF) o el tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar (MTTR). Estos tiempos de vida pueden medirse en horas, millas, ciclos de fracaso, ciclos de tensión, o cualquier otra medida con que la vida o exposición del ítem pueda evaluarse (O'Connor, 2002).

Ilustración 4 - Métodos de distribución para estimación CM

<i>Distribución</i>	<i>Criterios</i>
Normal	<ul style="list-style-type: none"> - Describe fenómenos de envejecimiento de equipos (Díaz, 1992). - Describe fenómenos de modelos de fatiga (Ebeling,2005) - Describe fenómenos naturales (Ramakumar, 1996). - Los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste (Rojas, 1975).
Exponencial	<ul style="list-style-type: none"> - Las reparaciones constituyen un intercambio de piezas estándar. - Fallas aleatorias y que no dependan del tiempo que lleve en funcionamiento. - Describe situaciones de función de tasa de falla constante (Rojas, 1975). - El componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo. - Modelar componentes electrónicos (Díaz, 1992). Es un caso particular de la Gamma cuando $\beta = 1$.
Weibull	<ul style="list-style-type: none"> - Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución (Kelly y otro,1998,24). - Representar la vida de los componentes. - Vida de servicio de tubos y equipos electrónicos (Rojas, 1975).
Gamma	<ul style="list-style-type: none"> - Conveniente para caracterizar los tiempos de fallas de equipos durante períodos de rodaje (Rojas,1975). - Adecuada para representar sistemas con componentes <i>stand-by</i> (Díaz, 1992).
Log normal	<ul style="list-style-type: none"> - Describe bien cuando la mayor parte de las intervenciones son de corta duración (Díaz,1992). - Aplicada para equipos electrónicos y electromecánicos (Blanchard,1994). - Se aproxima a la distribución exponencial, y siendo ésta mucho más sencilla de manejar, es esta última la que más se utiliza.
Binomial	<ul style="list-style-type: none"> - Se aplica en eventos mutuamente excluyentes, falla o no falla (Lewis, 1995).
Poisson	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuentemente usada en gestión de inventarios. - Se usa también en lugar de la distribución binomial cuando se manejan probabilidades de fallas bajas (Díaz,1992).
Beta	<ul style="list-style-type: none"> - Usada principalmente en procesos acotados en dos extremos (Díaz, 1992).
Erlang	<ul style="list-style-type: none"> - Es un caso especial de la distribución gamma, K entero (Díaz, 1992).
Rayleigh	<ul style="list-style-type: none"> - Es un caso especial de la distribución Weibull, $\beta=2$ (Ebeling, 2005).
Chi cuadrada	<ul style="list-style-type: none"> - Es un caso especial de la distribución gamma, $\lambda=0.5$, y $\nu = 2a$ (Leemis, 1995).
Valores Extremos	<ul style="list-style-type: none"> - Es usada en modelos que limitan los valores máximos y mínimos (Díaz, 1992).

(Mora, 2011)

Ilustración 5 - Comportamiento de $\lambda(t)$, $f(t)$ y $F(t)$ de algunas distribuciones

Distribución	Parámetros	$R(t) = 1 - F(t)$ Función de Confiabilidad	Función de Densidad de Probabilidad de Falla $f(t)$	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$ Función de Tasa de Falla	Sus usos son relevantes en
Normal	Media, μ Desviación estándar, σ	 $R(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	 $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	Distribución de vida de elementos o sistemas sometidos a grandes cargas o esfuerzos
Exponencial	MTBF, θ $\theta = \lambda^{-1}$	 $R(t) = \exp(-\lambda t)$	 $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$	 $\lambda(t) = \lambda = \theta^{-1}$	Distribución de vida de elementos o sistemas complejos no reparables Distribución de vida de algunos elementos o sistemas en el período de rodaje, fase I o de mortalidad infantil
Weibull $f(t) = \frac{\tau}{\Gamma(a)} (\tau t)^{a-1} \exp(-\lambda t)$	Posición, γ Escala, η Forma, β Las curvas de esta ilustración son con $\gamma = 0.0$	 $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	 $f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t-\gamma)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	 $\lambda(t) = \frac{\beta (t-\gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta}$	Elementos o sistemas con resistencia a la corrosión Distribución de vida de muchos elementos básicos: capacitores, relays, rodamientos, algunos motores, etc.
Gamma	$SD = \frac{a^{1/2}}{\lambda}$ Cuando a es un número entero, se cumple que: $\Gamma(a) = (a-1)!$	 $R(t) = \frac{\lambda^a}{\Gamma(a)} \int_0^t t^{\Gamma(a)-1} \exp(-\tau t) dt$	 $f(t) = \frac{\tau}{\Gamma(a)} (t)^{a-1} \exp(-\lambda t)$	 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	Distribución de tiempo de vida entre recalibración, ajuste o mantenimiento de equipos Distribución de tiempo de vida de elementos con sistemas paralelos o en stand-by

(Mora, 2007b)

1.3.2.1 Distribución Weibull

En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua. Recibe su nombre de Waloddi Weibull, que la describió detalladamente en 1951, aunque fue descubierta inicialmente por Fréchet (1927) y aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933) para describir la distribución de los tamaños de determinadas partículas.

Es la distribución de mayor aceptación para determinar CMD, su función de tasa de fallas se ajusta a cualquier fase de la curva de la bañera, es la única probabilidad que puede utilizarse para representar Confiabilidad y Mantenibilidad de cualquier tipo de equipo (Mendehall, 1997).

Una de las ventajas significativas que ofrece la distribución Weibull es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies (Mora, 2009).

La distribución de Weibull responde a los parámetros β y η , que representan, respectivamente, el factor de forma y de escala de la distribución. Estos parámetros se obtienen con la alineación de la distribución de Weibull mediante las transformaciones necesarias; luego de obtener la pendiente y el intercepto de la recta, se calculan los parámetros β y η , de la distribución (Reliasoft@, 2008).

Ecuación 4 - Transformación valores X e Y para la distribución de Weibull

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - RM_i} \right) \right]$$
$$x_i = \ln(T_i)$$

(Reliasoft@, 2000)

Dónde:

RM_i: Estimado de la confiabilidad y T_i: tiempo de falla

Ecuación 5 - Parámetros de la distribución de Weibull

$$\beta = b$$
$$\eta = e^{\left(\frac{-a}{\beta} \right)}$$

(Reliasoft@, 2000)

Dónde:

a: intercepto de la recta y b: pendiente de la recta.

Ecuación 6 - Densidad de la distribución de Weibull

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Ecuación 7 - Confiabilidad de la distribución de Weibull

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Ecuación 8 - Tasa de fallas de la distribución de Weibull

$$h(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta}$$

Dónde:

- β : parámetro de forma de la distribución de Weibull.
- η : parámetro de escala de la distribución de Weibull.
- $f(t)$: Función de densidad de fallas.
- $R(t)$: Función de confiabilidad.
- $h(t)$: Función de tasa de fallas.

1.3.5 Metodología para medición CMD

El tratamiento del mantenimiento como ciencia que permite sintetizar sus elementos principales en tres: producción, máquinas y mantenimiento; a la vez admite su jerarquización en niveles de categorías y establece las relaciones y las condiciones entre sus tres elementos (Mora, 2012).

Los cuatro niveles de mantenimiento comprenden las cosas mínimas que se requieren para que un departamento de mantenimiento funcione.

Notara, que en la ilustración siguiente se muestra los niveles o categorías al jerarquizar los diferentes tópicos que maneja el mantenimiento.

Ilustración 6 - Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico



El nivel instrumental está compuesto por los elementos reales necesarios para que el área de mantenimiento funcione. Dichos elementos, denominados instrumentos de mantenimiento, son de orden real y entre los más relevantes se pueden anunciar los básicos y los avanzados (Mora, 2009).

El nivel operacional comprende todas las posibles acciones por realizar en el mantenimiento de equipos por parte del oferente, a partir de las necesidades y los deseos de los demandantes (Mora, 2009).

El nivel táctico contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico; es el grupo de tareas de mantenimiento que se realizan para alcanzar un fin al seguir las normas y reglas establecidas para ello.

Existe una característica interesante, todas las tácticas miden CMD.

El campo estratégico está compuesto por las metodologías que se desarrollan con el fin de evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas; esto implica el establecimiento de índices, rendimientos e indicadores que permitan medir el caso particular con otros de diferentes.

Ilustración 7 - Nivel Estratégico - CMD



Dentro de los niveles de mantenimiento CMD hace parte del último nivel que es el estratégico.

Para el análisis de CMD en plantas grandes y complejas, se debe establecer una jerarquía de partes clasificadas, de acuerdo con sus funciones y con su posibilidad de ser reemplazados (Kelly, y otros, 1998)

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

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

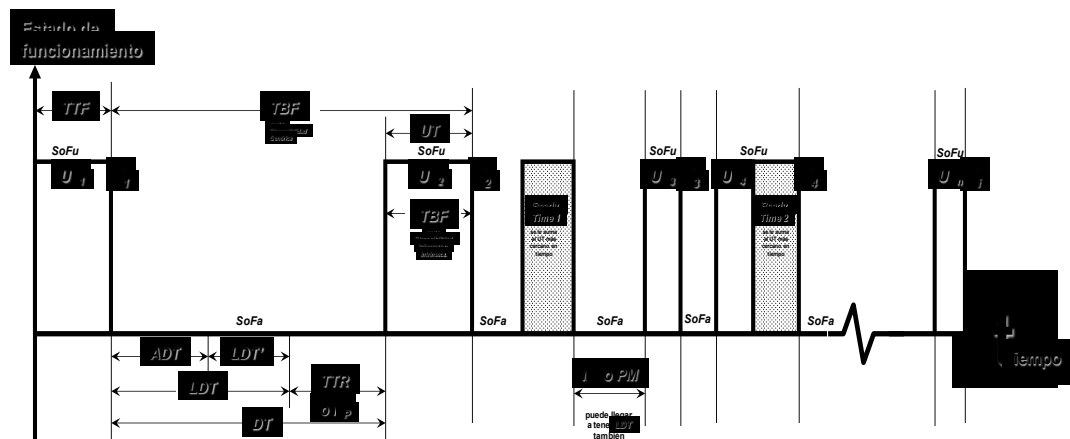
La decisión del tipo de CMD a usar, más que basarse en el deseo de los empresarios, depende del tipo y sistema de información que se posee, por ejemplo las más usadas, son Genérica y la Inherente, algo la Alcanzada y muy

poco la Operacional y la Generalizada, por los altos costos que implica la recolección de la información necesaria para los cálculos.

En síntesis, lo importante en la metodología CMD, consiste en poder predecir el comportamiento futuro de los equipos, en cuanto a saber sobre: las fallas o las reparaciones (tiempos y fechas de ocurrencia), los tiempos útiles (duración y días en que ocurrirán), los mantenimientos planeados (para su programación en tiempos y frecuencias) y demás actividades alusivas a la planeación de las máquinas, en aras de poder establecer planes concretos de operación y efectividad (Mora, 2009).

Lo primero que se resuelve es qué se hace con los datos, el segundo paso es tomar como base de valoración el método de Weibull.

Ilustración 8 - Procesos estándar de cálculo y predicción CMD



Donde

TTF = Time To Failure = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables)

f_i = Falla i -ésima

n = número de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde f_1 hasta f_i

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

MTTR = Mean Time To Repair = Tiempo Medio para Reparar = $\Sigma TTR / n$

TBF = Time Between Failures = Tiempo entre Fallas

m = número de eventos de tiempos útiles que ocurren durante el tiempo que se evalúa

MTBF = Mean Time Between Failures = Tiempo Medio entre Fallas = $\Sigma TBF / m$

UT = Up Time = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.

MUT = Mean Up Time = Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallas = $\Sigma UT / m$

DT = Down Time = Tiempo no operativo

MDT = Mean Down Time = Tiempo Medio de Indisponibilidad o no funcionamiento entre Fallas = $\Sigma DT / n$

ADT = Administrative Delay Time = retrasos administrativos exógenos a la actividad propia de reparación, diferentes al tiempo activo neto de la reparación; ejemplos de estos son: suministro de personal especializado, entrenamiento de recursos humanos requeridos para esa reparación, revisión de manuales de mantenimiento u operación, localización de herramientas, cumplimiento de procesos y/o procedimientos internos, etc.

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

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

MLDT = Mean Logistics Down Time = Tiempo Medio de Tiempos Logísticos de demora

SoFa = State of Failure = Estado de Falla, el equipo no funciona correctamente

SoFu = State of Functioning = Estado de Funcionamiento correcto

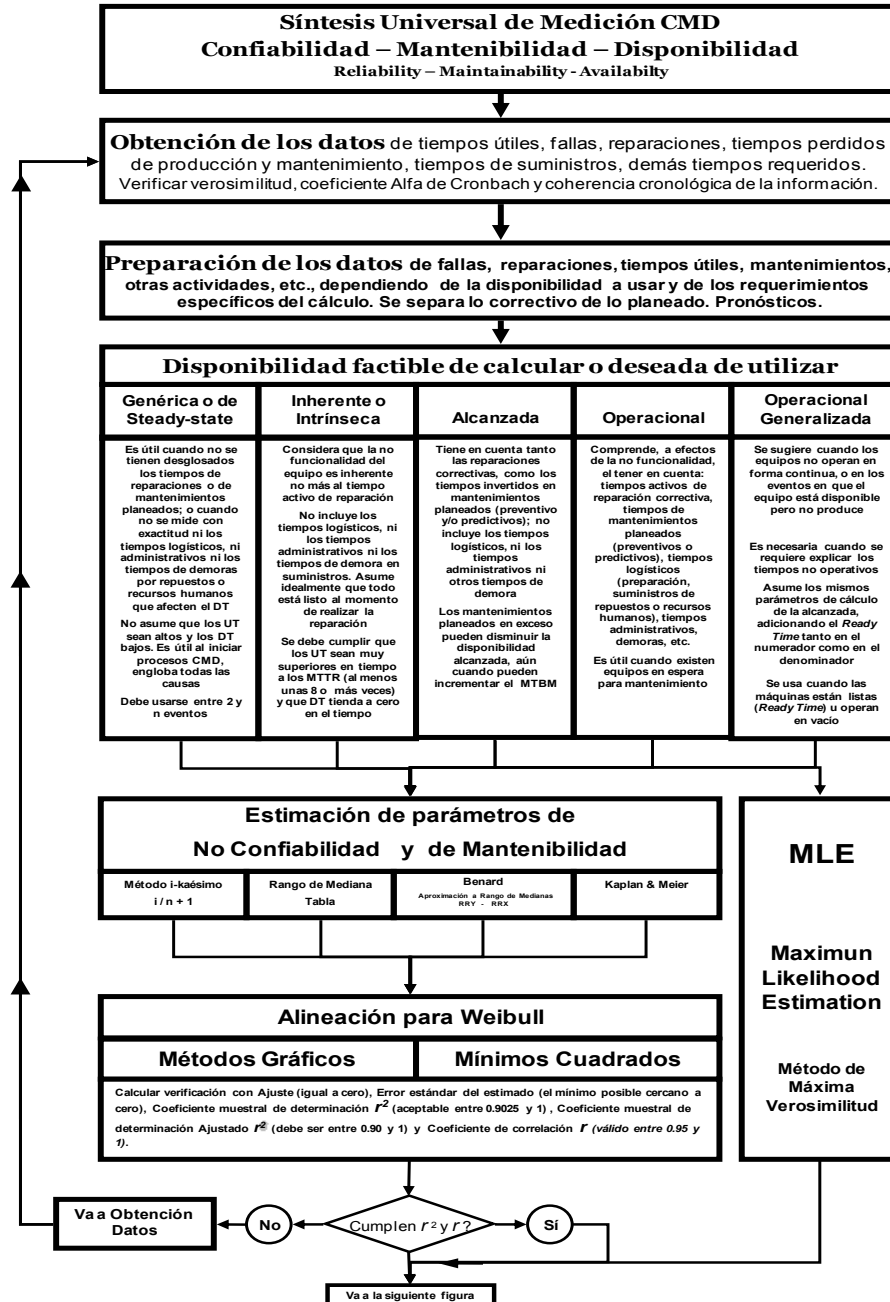
M_p = PM = Planned Maintenances = Mantenimientos Planeados, pueden ser preventivos o predictivos.

Ready Time = Tiempo de Alistamiento = el equipo o sistema está disponible, opera pero no produce, no está en carga operativa; funciona mas no produce

(Mora, 2006)

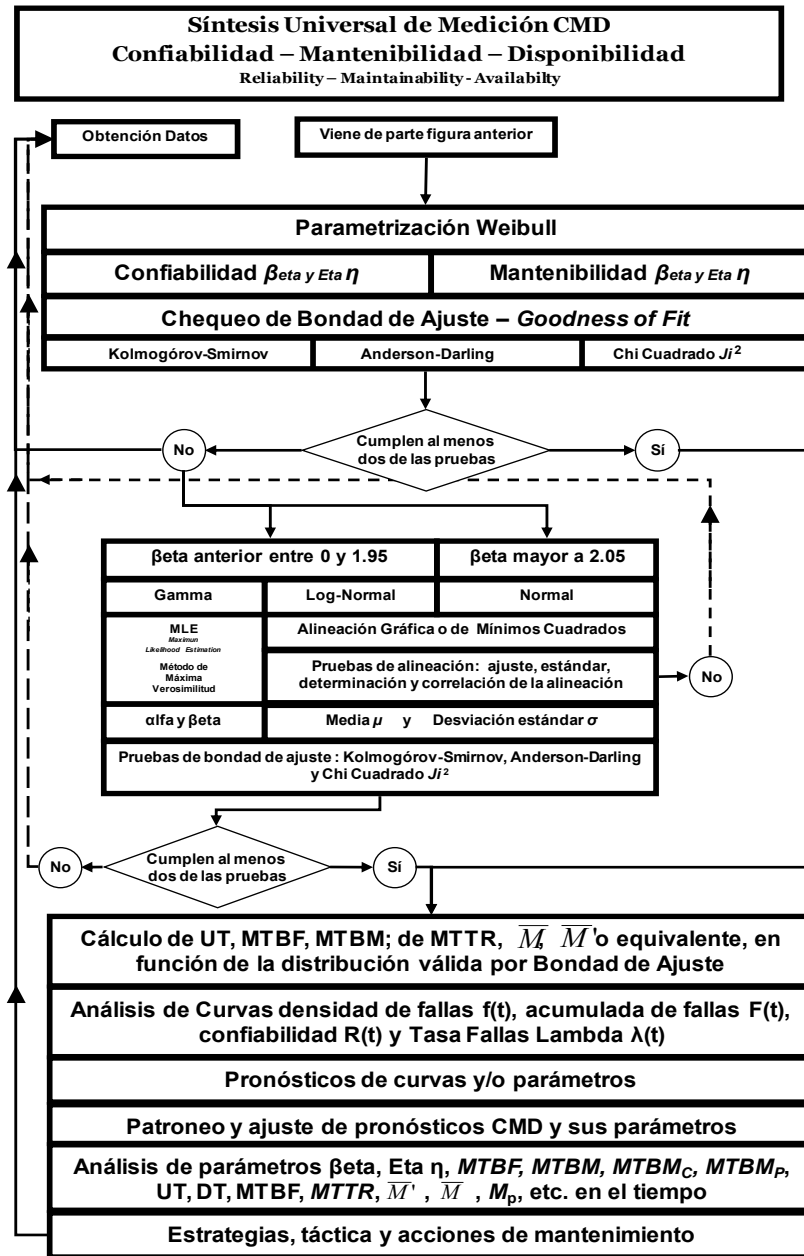
Para la estimación de los índices CMD se sigue la guía universal para la medición CMD planteado por el autor Luis Mora en su libro *Mantenimiento Industrial Efectivo* (Mora, 2012).

Ilustración 9 - Modelo universal e integral, propuesto para la medición CMD



Continúa en la siguiente página.

Ilustración 10 - Continuación Modelo universal e integral medición CMD



(Mora, 2006)

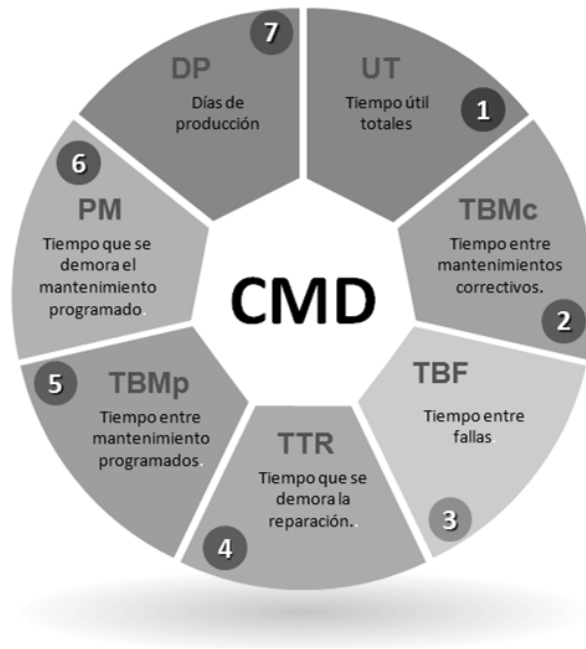
De acuerdo con el tipo de datos que se tenga, es posible hacer pronósticos acerca del comportamiento de un equipo mediante el cálculo de los parámetros CMD futuros, se mencionan algunos de los métodos que permiten estas estimaciones:

- Estadística con métodos Puntuales (Errores del 15% - 12%)
- CMD internacional con distribuciones Weibull (Errores 9%- 10%)

- Series Temporales (Errores 8%-7%...con censo queda 1%)
- Redes Neuronales¹⁸ + Series Temporales¹⁹ + CMD (Errores 0.5%)

Adicionalmente, se puede apreciar los tiempos requeridos para el cálculo de los indicadores CMD:

Ilustración 11 - Tiempos requeridos para el cálculo de los indicadores



1.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO

Es evidente su importancia y aporte para determinar el comportamiento de los equipos de acuerdo a su contexto operacional como indicadores de mantenimiento de clase mundial se encuentran la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), los cuales permiten planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión del mantenimiento en cualquier tipo de organización sin importar el sector de la economía en el cual se desarrollan (Mora, 2012)

El modelo propuesto (Mora, 2009), es una secuencia práctica para el análisis CMD que a través de análisis y ajuste de los datos propone diferentes alternativas para lograr una mayor aproximación a la situación real de los sistemas productivos.

¹⁸ Las redes neuronales artificiales (RNA) son modelos de computación para el procesamiento de información e identificación de patrones.

¹⁹ Permite predecir con errores mínimos el comportamiento de variables en el corto plazo.

2 EQUIPOS

2.1 OBJETIVO 2

Describir los factores técnicos en los equipos Camión 793D de Caterpillar en la mina Pribbenow de Drummond que influyen en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. – Nivel 2 - Comprender.

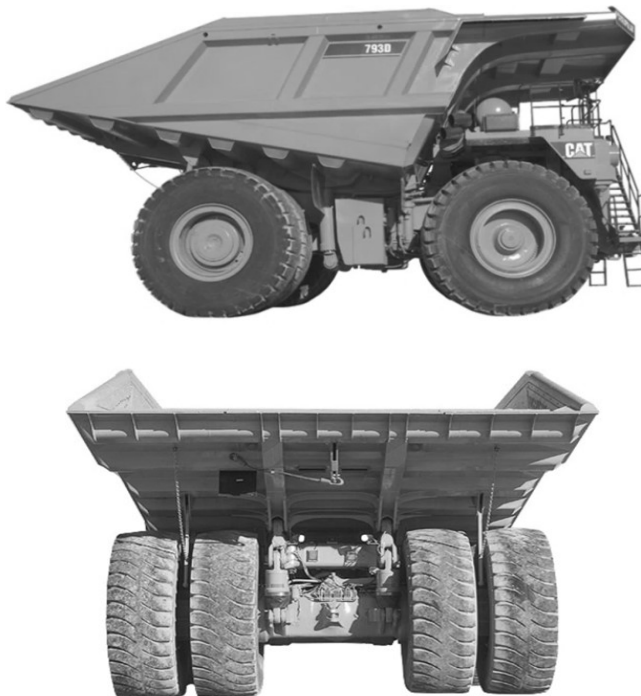
2.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 2

La siguiente sección, provee las condiciones y descripciones generales de todos los componentes que afectan la disponibilidad y conducen en fallas al camión 793D de Caterpillar.

2.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 2

Los camiones mineros grandes Cat²⁰ 793D contribuyen a construir la industria minera moderna y, hoy en día, transportan más de la mitad del material (rocas y minerales, carbón y arenas bituminosas) de las minas de todo el mundo.

Ilustración 12 - Camión Minero CAT 793D

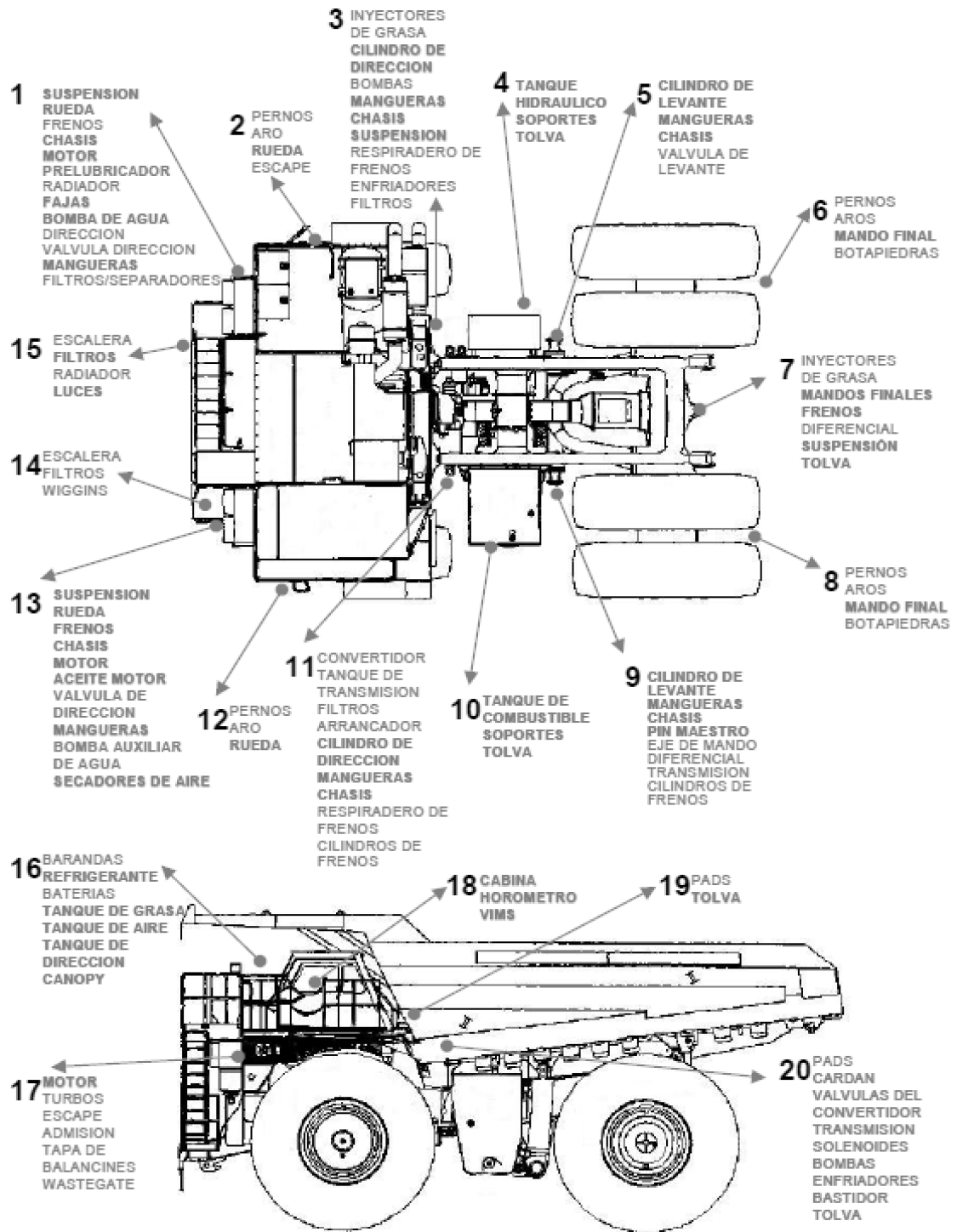


(Maquinariaspesadas@, 2014)

²⁰ Caterpillar Inc.

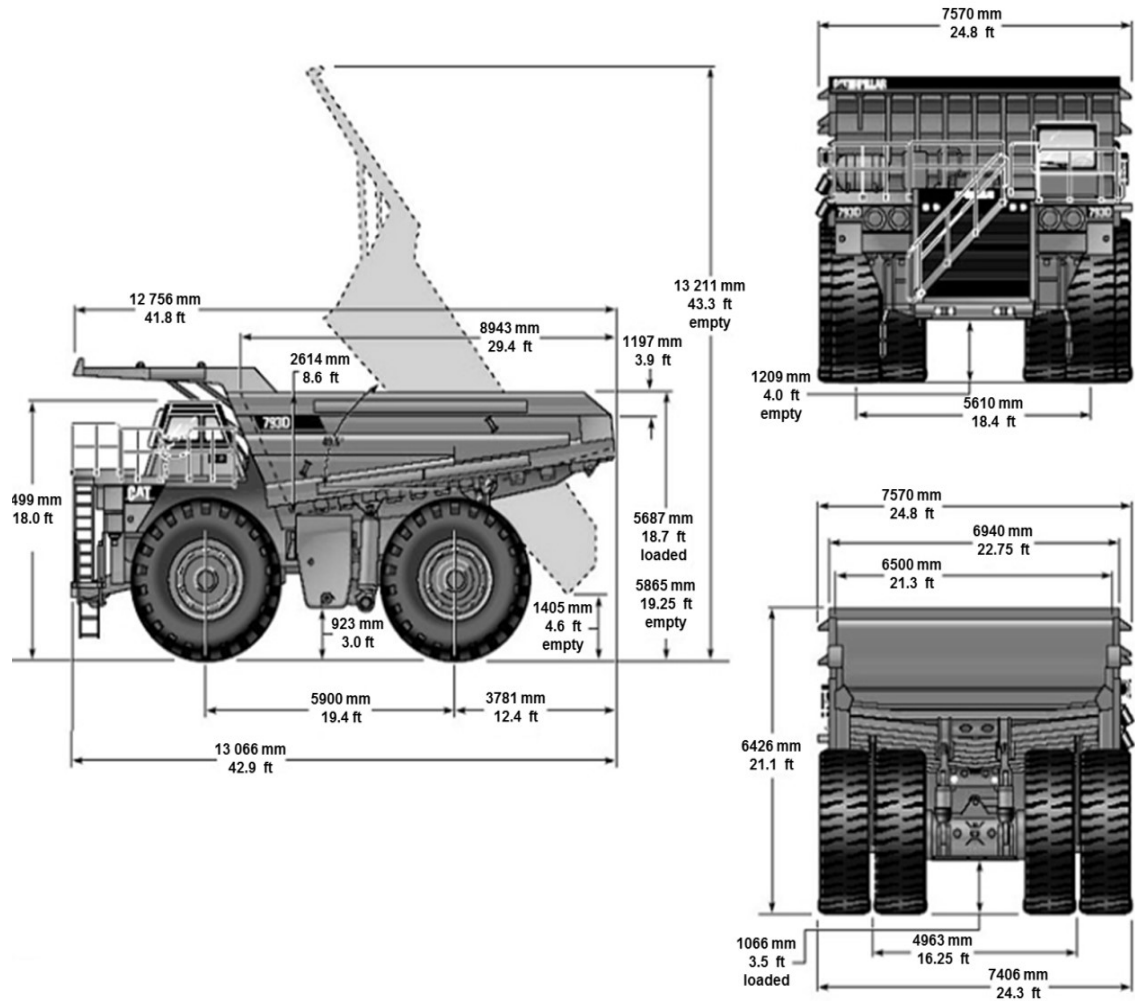
2.3.1 Componentes Representativos

Ilustración 13 - Descripción de la Maquina



(MiningCat@, 2014)

Ilustración 14 - Dimensión Estructural



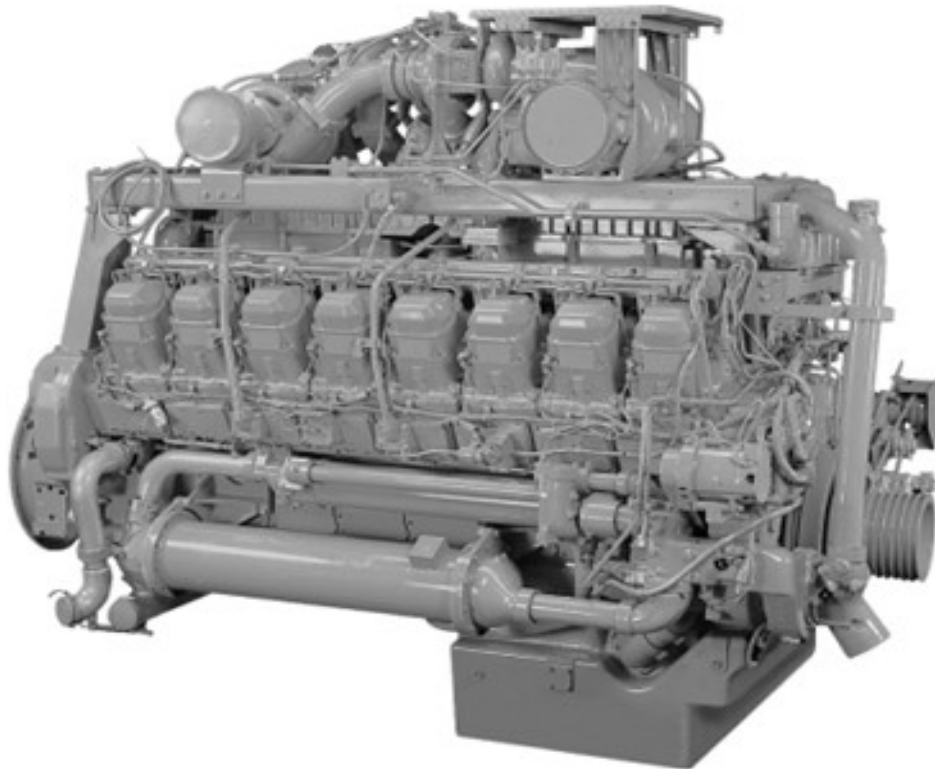
(Todocamiones@, 2014)

El número de prefijo de serie: FDB, la capacidad de transporte de carga es de (240 toneladas) 218 toneladas métricas, el peso total de la maquina cargada es

383.739 Kg. (846000 libras), Máxima velocidad de tierra a 2000 RPM del motor: 53.3 km/h (3.7 mph) y 60 km/h (37 mph) para el arreglo de velocidad extra alta.

2.3.1.1 Componente Motor

Ilustración 15 - Componente Motor



(MiningCat@, 2014)

El CAT 793D está equipado con un motor 3516B HD EUI²¹ diésel de 4 tiempo y 16 cilindros en V con turbo compresión en serie y post-enfriamiento, además consta de inyectores unitarios para un consumo adecuado de combustible; un motor es un conjunto de piezas móviles y fijas capaz de convertir la energía química de un combustible en energía mecánica.

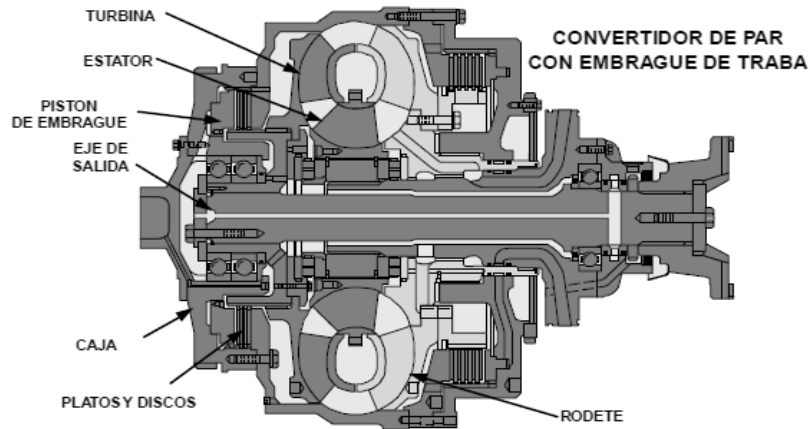
2.3.1.2 Tren de Potencia

Un sistema de propulsión o tren de potencia es el sistema que usa un vehículo para moverse.

²¹ Sistema de entrega de combustible EUI

El flujo de potencia desde el motor a las ruedas traseras es a través del tren de potencia, los componentes del tren de potencia son:

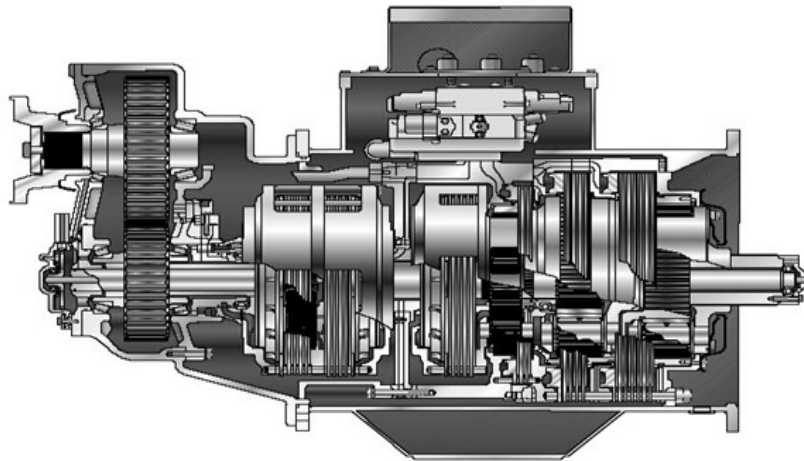
Ilustración 16 - Convertidor de torsión



(Todocamiones@, 2014)

El convertidor de torsión proporciona una conexión fluida que permita que el motor continúe funcionando con el camión detenido. En mando de convertidor, el convertidor de torque multiplica el torque a la transmisión. A velocidades de tierra más altas, un embrague de traba engancha para proporcionar el mando directo. Las gamas NEUTRALES y REVERSAS son en mando de convertidor solamente.

Ilustración 17 - Componente Transmisión



(MiningCat@, 2014)

La transmisión está localizada entre los engranajes de transferencia y el diferencial. La transmisión se controla electrónicamente y funciona hidráulicamente como el resto de las transmisiones ICM (modulación individual de embrague) en los camiones de bastidor rígido de Caterpillar.

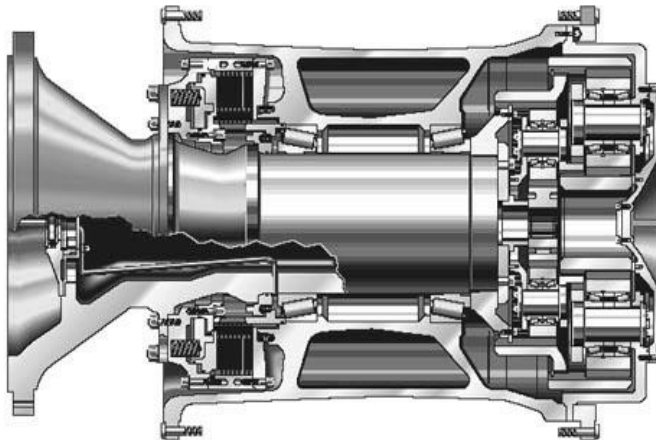
Ilustración 18 - Componente Diferencial



(Maquinariaspesadas@, 2014)

El diferencial está situado en la caja del eje trasero detrás de la transmisión. El diferencial divide la potencia a los ejes derechos e izquierdos. El torque se transmite igualmente desde el diferencial a través de los dos ejes a los mandos finales. El diferencial ajusta la velocidad de los ejes según para arrinconar el vehículo, por lo tanto, la potencia entregada a los ejes es igual durante el arrinconamiento. Los mandos finales son planetarios de doble reducción.

Ilustración 19 - Mandos Finales

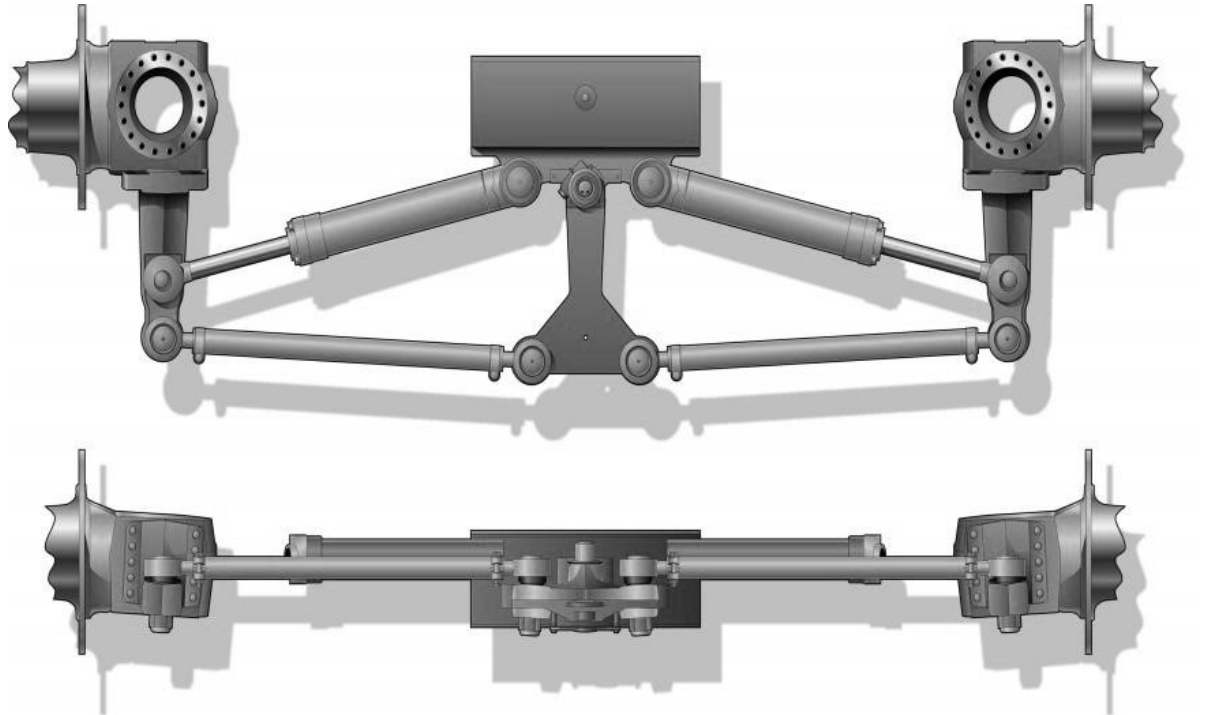


(MiningCat@, 2014)

El mando final es el último sistema reductor de la máquina, ¿por qué reductor? esto significa que al reducir la velocidad proveniente de la transmisión, aumenta el torque, y esto lo logra gracias a un conjunto de engranajes, este es llamado conjunto planetario.

2.3.1.3 Sistema de Dirección

Ilustración 20 - Sistema de Dirección



(Todocamiones@, 2014)

Igual que en los otros Camiones Caterpillar que no son de carretera, el sistema de dirección utiliza una fuerza hidráulica para cambiar la dirección en las ruedas delanteras. El sistema no tiene conexión mecánica entre las ruedas de dirección y los cilindros de dirección.

2.3.1.4 Sistema de Levante

Los cilindros de levante son telescópicos con el extremo de cabeza de los cilindros hacia arriba. Durante el desplazamiento de la máquina (mientras no se utiliza el sistema de levante), el aceite que llega a la válvula, se dirige hacia el sistema de enfriamiento de frenos.

2.3.1.5 Sistema de Frenos

Ilustración 21 - Sistema de Frenos



(Viarural@, 2012)

Los frenos de discos múltiples Caterpillar con enfriamiento de aceite forzado en las 4 ruedas se enfrían continuamente para ofrecer un excelente frenado y retardo sin desvanecimiento. El Control Integral de Frenado (IBS²²) combina el control de los sistemas ARC²³ y TCS²⁴, mediante frenos estándar enfriados por aceite para mejorar rendimiento del camión y aumentar la productividad.

2.3.2 Parámetros de Mantenimiento

Antes de comenzar a trabajar u opera el camión, lea completamente el manual de operación y manutención para la información de seguridad, mantenimiento y técnicas de operación.

Precauciones de seguridad y advertencias son proporcionadas en el manual y en el camión. Se debe identificar y entender todos los símbolos antes de arrancar el camión.

El primer paso a realizar cuando se acerca al camión, es hacer un paseo de inspección completo alrededor. Realice una mirada alrededor y debajo del camión por pernos faltantes o sueltos, por aumento de basura y por fugas de aceite,

²² Sistema de Frenado Integrado (IBS)

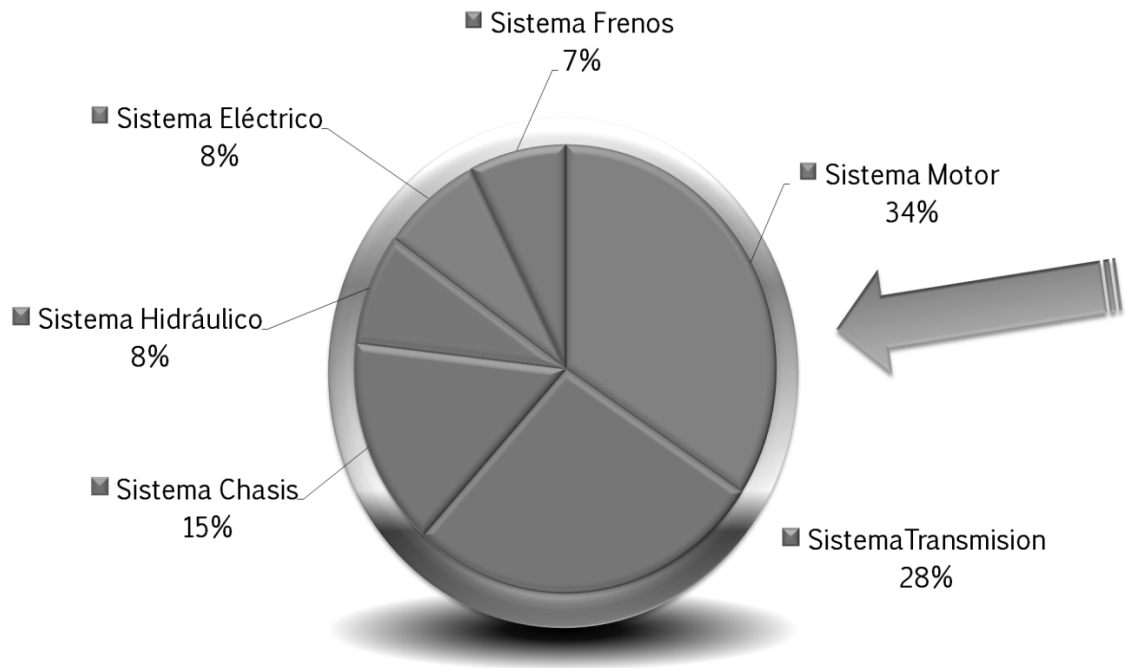
²³ Control Automático de Retardo (ARC)

²⁴ Sistema de Control de Tracción (TCS)

combustible o refrigerante. Mirar por indicios de fracturas. Preste atención a las áreas de alta tensión, como se muestra en el manual de operación y mantenimiento.

2.3.3 Estado deseado frente al Actual

Ilustración 22 - Grafica Pie Chart²⁵ Estado Actual por sistemas



Se puede observar que el sistema de motor 3516B predomina los tiempos improductivos en los equipos, debido a los altos costos anuales de mantenimiento, entre Enero del 2012 y Diciembre del 2013.

2.4

²⁵ Gráfico circular y se divide en sectores, lo que ilustra la proporción numérica

2.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO 2

Se define componente de un sistema como la unidad o partes individuales cuya confiabilidad se estudia independientemente de la de sus partes. Cuando falla un componente se reemplaza y no se repara. Por ejemplo, una bombilla, un interruptor o una resistencia (Forcadas, 1983).

Finalmente, es importante señalar que a pesar de poseer similares períodos para intervención por $MTBM_p^{26}$, ciertos sistemas requieren de otros tipos de tareas por sus mecanismos o por la criticidad de sus funciones.

²⁶ Tiempo medio útil entre dos mantenimientos planeados

3 CÁLCULOS CMD

3.1 OBJETIVO 3

Medir el CMD en los estados actuales y futuros, calculando los valores de MTBMc²⁷, MTBMp²⁸, MTTR²⁹, y Mp³⁰, en un equipo camión 793D de Caterpillar en la mina Pribbenow de Drummond, mediante Parametrización y metodologías internacionales CMD - Nivel 3 - Aplicar.

3.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 3

La siguiente sección, provee los parámetros para realizar la medición de los estados actuales y futuros en un equipo, y que a través del análisis y ajuste de los datos se proponen diferentes alternativas para lograr una mayor acercamiento a las escenarios más notables de las maquinas.

3.3 DESARROLLO DE CAPITULO 3

El primer paso, llegar donde los datos se organizan de tal manera que los eventos de falla queden en orden cíclicos para posterior análisis.

Aquí se exponen el diagnóstico de la situación actual para aplicar métodos CMD conociendo todos sus índices tales como ($\lambda, \gamma, \beta, \alpha, MTBF, MTTR$).

A esto se le suma, señalar los mecanismos adecuados para el plan de mantenimiento, para deducir el comportamiento del sistema bajo estudio.

3.3.1 Análisis de Datos y selección de variables

Con base en la tabulación de los datos se establecer los juicios y se seleccionan debidamente la disponibilidad. En síntesis, lo importante es tabulan los datos para luego realizar una esquema gráfico de los tiempos de funcionalidad y de no operación.

3.3.2 Procesamiento de Datos

La primera fase es ordenar los datos (Historicos) de tiempos útiles de menor a mayor, luego el paso posterior consiste en definir el aumento con la fórmula de número de orden de datos censurados, en cuanto a Disponibilidad Alcanzada

²⁷ MTBMc: Tiempo Medio entre Mantenimientos Correctivos

²⁸ MTBMp: Tiempo Medio entre Mantenimientos Programados.

²⁹ MTTR: Tiempo Medio entre Reparaciones.

³⁰ Mp: Mantenimientos Planeados

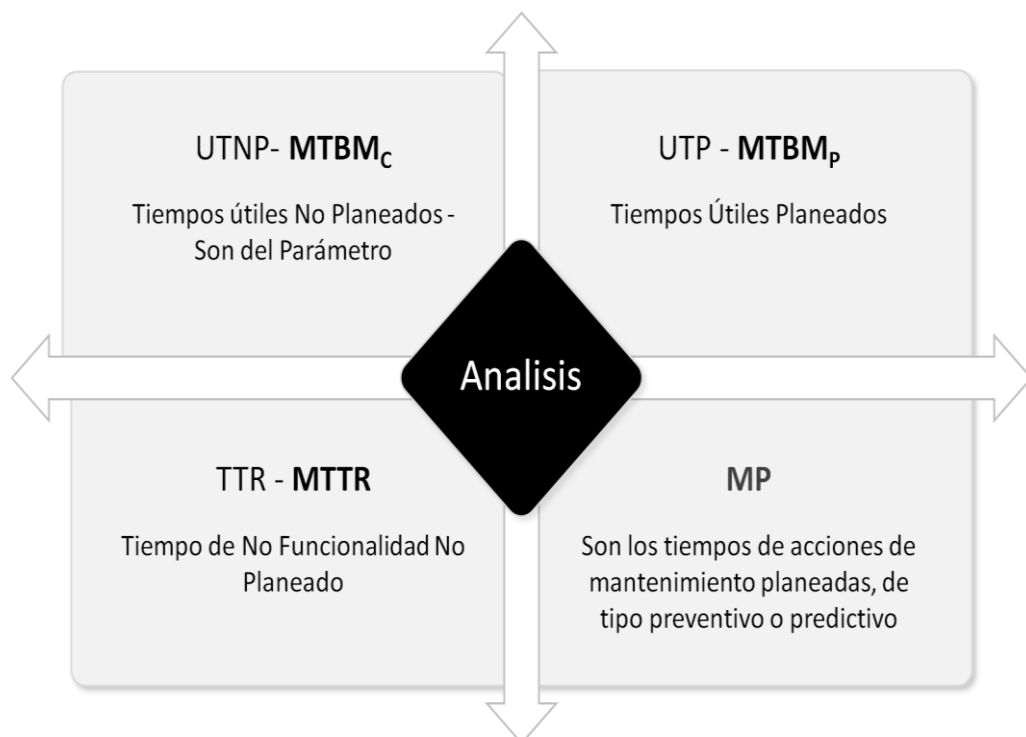
($MTBM_C$ $MTBM_P$ $MTTR$ y M_P), donde se disponen los datos por eventos continuos en el tiempos, clasificados por mes.

Ilustración 23 - Primera etapa de datos para la predicción CMD



(Mora, 2009)

Ilustración 24 - Selección de variables



Ecuación 9 - Cálculos Incremento. Número de Orden, de datos censurados

$$\text{Incremento} = \frac{N + 1 - (\text{Número de Orden del elemento anterior que falló})}{N + 1 - (\text{Número de elementos anteriores})}$$

$$\text{Número de Orden} = \text{Incremento} + \text{Número de Orden anterior}$$

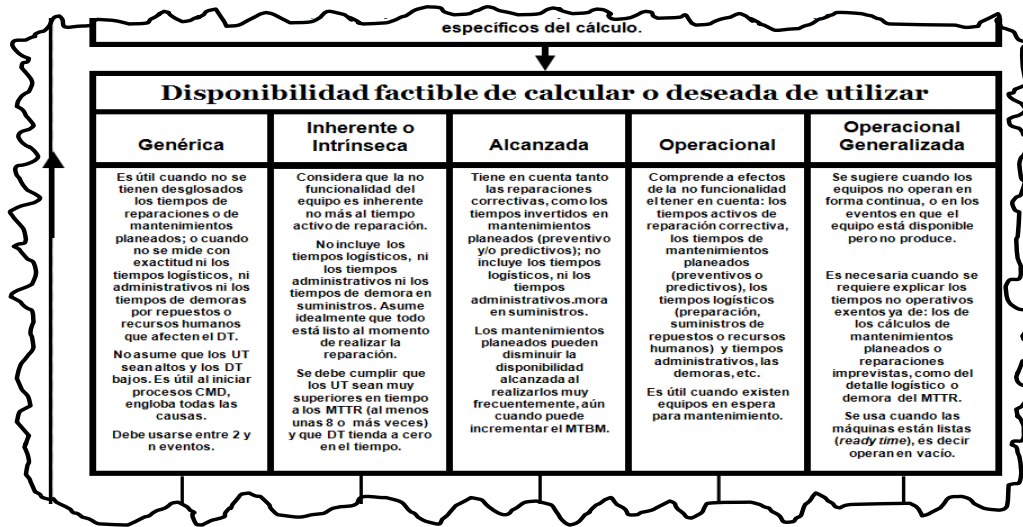
(Kelly, y otros, 1998)

Ilustración 25 - Historial de Orden Cíclicos

Evento	Fecha down Máquina	Fecha Operativo	Down Maquina
1	06 - viernes - enero - 2012 a las 01:00 Horas (militar)	06 - viernes - enero - 2012 a las 02:14 Horas (militar)	1,2
2	06 - viernes - enero - 2012 a las 08:12 Horas (militar)	06 - viernes - enero - 2012 a las 15:43 Horas (militar)	7,5
3	07 - sábado - enero - 2012 a las 10:40 Horas (militar)	07 - sábado - enero - 2012 a las 16:00 Horas (militar)	5,3
4	08 - domingo - enero - 2012 a las 04:30 Horas (militar)	08 - domingo - enero - 2012 a las 04:55 Horas (militar)	0,4
5	10 - martes - enero - 2012 a las 01:25 Horas (militar)	10 - martes - enero - 2012 a las 03:28 Horas (militar)	2,0
6	10 - martes - enero - 2012 a las 18:40 Horas (militar)	10 - martes - enero - 2012 a las 19:49 Horas (militar)	1,1
7	11 - miércoles - enero - 2012 a las 08:40 Horas (militar)	11 - miércoles - enero - 2012 a las 13:45 Horas (militar)	5,1
8	11 - miércoles - enero - 2012 a las 19:30 Horas (militar)	12 - jueves - enero - 2012 a las 03:48 Horas (militar)	8,3
9	12 - jueves - enero - 2012 a las 13:00 Horas (militar)	13 - viernes - enero - 2012 a las 15:00 Horas (militar)	26,0
10	15 - domingo - enero - 2012 a las 01:50 Horas (militar)	15 - domingo - enero - 2012 a las 03:30 Horas (militar)	1,7
11	16 - lunes - enero - 2012 a las 20:00 Horas (militar)	17 - martes - enero - 2012 a las 05:00 Horas (militar)	9,0
12	18 - miércoles - enero - 2012 a las 02:00 Horas (militar)	18 - miércoles - enero - 2012 a las 04:00 Horas (militar)	2,0
13	19 - jueves - enero - 2012 a las 15:55 Horas (militar)	20 - viernes - enero - 2012 a las 01:33 Horas (militar)	9,6
14	23 - lunes - enero - 2012 a las 02:45 Horas (militar)	23 - lunes - enero - 2012 a las 04:20 Horas (militar)	1,6
15	24 - martes - enero - 2012 a las 17:30 Horas (militar)	24 - martes - enero - 2012 a las 22:55 Horas (militar)	5,4
16	25 - miércoles - enero - 2012 a las 14:00 Horas (militar)	25 - miércoles - enero - 2012 a las 21:25 Horas (militar)	7,4
17	27 - viernes - enero - 2012 a las 18:25 Horas (militar)	28 - sábado - enero - 2012 a las 01:17 Horas (militar)	6,9
18	12 - domingo - febrero - 2012 a las 00:25 Horas (militar)	12 - domingo - febrero - 2012 a las 04:30 Horas (militar)	4,1
19	19 - domingo - febrero - 2012 a las 21:11 Horas (militar)	19 - domingo - febrero - 2012 a las 22:24 Horas (militar)	1,2
20	21 - martes - febrero - 2012 a las 07:25 Horas (militar)	21 - martes - febrero - 2012 a las 08:48 Horas (militar)	1,4
21	26 - domingo - febrero - 2012 a las 09:30 Horas (militar)	26 - domingo - febrero - 2012 a las 15:48 Horas (militar)	6,3
22	27 - lunes - febrero - 2012 a las 00:10 Horas (militar)	27 - lunes - febrero - 2012 a las 02:00 Horas (militar)	1,8
23	28 - martes - febrero - 2012 a las 05:30 Horas (militar)	28 - martes - febrero - 2012 a las 12:45 Horas (militar)	7,3
24	06 - martes - marzo - 2012 a las 02:25 Horas (militar)	06 - martes - marzo - 2012 a las 03:40 Horas (militar)	1,3
25	06 - martes - marzo - 2012 a las 23:00 Horas (militar)	07 - miércoles - marzo - 2012 a las 04:28 Horas (militar)	5,5
26	07 - miércoles - marzo - 2012 a las 07:30 Horas (militar)	07 - miércoles - marzo - 2012 a las 12:00 Horas (militar)	4,5
27	10 - sábado - marzo - 2012 a las 12:45 Horas (militar)	10 - sábado - marzo - 2012 a las 22:12 Horas (militar)	9,5
28	11 - domingo - marzo - 2012 a las 23:08 Horas (militar)	12 - lunes - marzo - 2012 a las 00:10 Horas (militar)	1,0
29	12 - lunes - marzo - 2012 a las 11:00 Horas (militar)	12 - lunes - marzo - 2012 a las 13:00 Horas (militar)	2,0
30	14 - miércoles - marzo - 2012 a las 07:00 Horas (militar)	14 - miércoles - marzo - 2012 a las 10:25 Horas (militar)	3,4
31	15 - jueves - marzo - 2012 a las 11:35 Horas (militar)	15 - jueves - marzo - 2012 a las 14:55 Horas (militar)	3,3
32	15 - jueves - marzo - 2012 a las 19:47 Horas (militar)	17 - sábado - marzo - 2012 a las 15:45 Horas (militar)	44,0
33	17 - sábado - marzo - 2012 a las 21:00 Horas (militar)	18 - domingo - marzo - 2012 a las 03:30 Horas (militar)	6,5
34	21 - miércoles - marzo - 2012 a las 08:20 Horas (militar)	21 - miércoles - marzo - 2012 a las 08:30 Horas (militar)	0,2
35	28 - miércoles - marzo - 2012 a las 08:30 Horas (militar)	28 - miércoles - marzo - 2012 a las 12:49 Horas (militar)	4,3
36	29 - jueves - marzo - 2012 a las 14:00 Horas (militar)	29 - jueves - marzo - 2012 a las 15:40 Horas (militar)	1,7
37	30 - viernes - marzo - 2012 a las 20:43 Horas (militar)	01 - domingo - abril - 2012 a las 16:35 Horas (militar)	43,9
38	02 - lunes - abril - 2012 a las 00:30 Horas (militar)	02 - lunes - abril - 2012 a las 01:38 Horas (militar)	1,1
39	07 - sábado - abril - 2012 a las 07:45 Horas (militar)	07 - sábado - abril - 2012 a las 14:06 Horas (militar)	6,4
40	29 - domingo - abril - 2012 a las 16:40 Horas (militar)	29 - domingo - abril - 2012 a las 22:43 Horas (militar)	6,0
41	30 - lunes - abril - 2012 a las 02:30 Horas (militar)	30 - lunes - abril - 2012 a las 09:04 Horas (militar)	6,6
42	30 - lunes - abril - 2012 a las 18:50 Horas (militar)	01 - martes - mayo - 2012 a las 01:08 Horas (militar)	6,3
43	02 - miércoles - mayo - 2012 a las 22:30 Horas (militar)	03 - jueves - mayo - 2012 a las 02:30 Horas (militar)	4,0
44	03 - jueves - mayo - 2012 a las 09:10 Horas (militar)	03 - jueves - mayo - 2012 a las 12:03 Horas (militar)	2,9
45	08 - martes - mayo - 2012 a las 08:00 Horas (militar)	08 - martes - mayo - 2012 a las 23:40 Horas (militar)	15,7
46	12 - sábado - mayo - 2012 a las 12:00 Horas (militar)	13 - domingo - mayo - 2012 a las 00:55 Horas (militar)	12,9
47	13 - domingo - mayo - 2012 a las 20:58 Horas (militar)	13 - domingo - mayo - 2012 a las 22:14 Horas (militar)	1,3
48	15 - martes - mayo - 2012 a las 10:25 Horas (militar)	16 - miércoles - mayo - 2012 a las 17:10 Horas (militar)	30,8

47	13 - domingo - mayo - 2012 a las 20:58 Horas (militar)	13 - domingo - mayo - 2012 a las 22:14 Horas (militar)	1,3
48	15 - martes - mayo - 2012 a las 10:25 Horas (militar)	16 - miércoles - mayo - 2012 a las 17:10 Horas (militar)	30,8
49	17 - jueves - mayo - 2012 a las 21:05 Horas (militar)	19 - sábado - mayo - 2012 a las 07:38 Horas (militar)	34,6
50	20 - domingo - mayo - 2012 a las 11:20 Horas (militar)	20 - domingo - mayo - 2012 a las 16:30 Horas (militar)	5,2
51	02 - sábado - junio - 2012 a las 10:00 Horas (militar)	02 - sábado - junio - 2012 a las 12:37 Horas (militar)	2,6
52	04 - lunes - junio - 2012 a las 12:00 Horas (militar)	04 - lunes - junio - 2012 a las 16:30 Horas (militar)	4,5
53	05 - martes - junio - 2012 a las 14:30 Horas (militar)	09 - sábado - junio - 2012 a las 19:30 Horas (militar)	101,0
54	11 - lunes - junio - 2012 a las 04:30 Horas (militar)	11 - lunes - junio - 2012 a las 09:00 Horas (militar)	4,5
55	22 - viernes - junio - 2012 a las 13:55 Horas (militar)	22 - viernes - junio - 2012 a las 15:30 Horas (militar)	1,6
56	01 - domingo - julio - 2012 a las 11:50 Horas (militar)	01 - domingo - julio - 2012 a las 23:00 Horas (militar)	11,2
57	02 - lunes - julio - 2012 a las 03:20 Horas (militar)	02 - lunes - julio - 2012 a las 04:30 Horas (militar)	1,2
58	04 - miércoles - julio - 2012 a las 07:35 Horas (militar)	05 - jueves - julio - 2012 a las 02:00 Horas (militar)	18,4
59	05 - jueves - julio - 2012 a las 12:10 Horas (militar)	05 - jueves - julio - 2012 a las 12:45 Horas (militar)	0,6
60	06 - viernes - julio - 2012 a las 20:19 Horas (militar)	07 - sábado - julio - 2012 a las 03:40 Horas (militar)	7,4
61	10 - martes - julio - 2012 a las 11:08 Horas (militar)	10 - martes - julio - 2012 a las 12:45 Horas (militar)	1,6
62	11 - miércoles - julio - 2012 a las 02:44 Horas (militar)	11 - miércoles - julio - 2012 a las 03:25 Horas (militar)	0,7
63	11 - miércoles - julio - 2012 a las 08:00 Horas (militar)	12 - jueves - julio - 2012 a las 15:20 Horas (militar)	31,3
64	16 - lunes - julio - 2012 a las 20:30 Horas (militar)	17 - martes - julio - 2012 a las 03:00 Horas (militar)	6,5
65	22 - domingo - julio - 2012 a las 23:30 Horas (militar)	23 - lunes - julio - 2012 a las 05:25 Horas (militar)	5,9
66	23 - lunes - julio - 2012 a las 19:38 Horas (militar)	23 - lunes - julio - 2012 a las 20:36 Horas (militar)	1,0
67	27 - viernes - julio - 2012 a las 11:45 Horas (militar)	27 - viernes - julio - 2012 a las 21:55 Horas (militar)	10,2
68	29 - domingo - julio - 2012 a las 19:00 Horas (militar)	29 - domingo - julio - 2012 a las 21:06 Horas (militar)	2,1
69	03 - viernes - agosto - 2012 a las 12:05 Horas (militar)	03 - viernes - agosto - 2012 a las 15:00 Horas (militar)	2,9
70	07 - martes - agosto - 2012 a las 12:50 Horas (militar)	07 - martes - agosto - 2012 a las 14:50 Horas (militar)	2,0
71	10 - viernes - agosto - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	15 - miércoles - agosto - 2012 a las 01:00 Horas (militar)	121,0
72	25 - sábado - agosto - 2012 a las 16:25 Horas (militar)	25 - sábado - agosto - 2012 a las 22:30 Horas (militar)	6,1
73	01 - sábado - septiembre - 2012 a las 15:00 Horas (militar)	01 - sábado - septiembre - 2012 a las 23:00 Horas (militar)	8,0
74	13 - jueves - septiembre - 2012 a las 10:40 Horas (militar)	13 - jueves - septiembre - 2012 a las 21:50 Horas (militar)	11,2
75	21 - viernes - septiembre - 2012 a las 14:30 Horas (militar)	28 - viernes - septiembre - 2012 a las 16:18 Horas (militar)	169,8
76	02 - martes - octubre - 2012 a las 15:35 Horas (militar)	02 - martes - octubre - 2012 a las 16:00 Horas (militar)	0,4
77	03 - miércoles - octubre - 2012 a las 01:30 Horas (militar)	03 - miércoles - octubre - 2012 a las 02:53 Horas (militar)	1,4
78	05 - viernes - octubre - 2012 a las 08:50 Horas (militar)	05 - viernes - octubre - 2012 a las 14:30 Horas (militar)	5,7
79	08 - lunes - octubre - 2012 a las 01:40 Horas (militar)	08 - lunes - octubre - 2012 a las 03:45 Horas (militar)	2,1
80	14 - domingo - octubre - 2012 a las 18:00 Horas (militar)	15 - lunes - octubre - 2012 a las 12:50 Horas (militar)	18,8
81	20 - sábado - octubre - 2012 a las 13:20 Horas (militar)	20 - sábado - octubre - 2012 a las 14:28 Horas (militar)	1,1
82	20 - sábado - octubre - 2012 a las 23:15 Horas (militar)	21 - domingo - octubre - 2012 a las 02:44 Horas (militar)	3,5
83	21 - domingo - octubre - 2012 a las 14:33 Horas (militar)	21 - domingo - octubre - 2012 a las 16:55 Horas (militar)	2,4
84	22 - lunes - octubre - 2012 a las 20:30 Horas (militar)	23 - martes - octubre - 2012 a las 01:58 Horas (militar)	5,5
85	31 - miércoles - octubre - 2012 a las 15:35 Horas (militar)	31 - miércoles - octubre - 2012 a las 17:58 Horas (militar)	2,4
86	31 - miércoles - octubre - 2012 a las 20:53 Horas (militar)	31 - miércoles - octubre - 2012 a las 22:45 Horas (militar)	1,9
87	03 - sábado - noviembre - 2012 a las 04:30 Horas (militar)	08 - jueves - noviembre - 2012 a las 15:30 Horas (militar)	131,0
88	09 - viernes - noviembre - 2012 a las 02:00 Horas (militar)	09 - viernes - noviembre - 2012 a las 03:30 Horas (militar)	1,5
89	23 - viernes - noviembre - 2012 a las 09:45 Horas (militar)	23 - viernes - noviembre - 2012 a las 10:09 Horas (militar)	0,4
90	29 - jueves - noviembre - 2012 a las 06:25 Horas (militar)	29 - jueves - noviembre - 2012 a las 10:48 Horas (militar)	4,4
91	04 - martes - diciembre - 2012 a las 09:00 Horas (militar)	04 - martes - diciembre - 2012 a las 14:25 Horas (militar)	5,4
92	05 - miércoles - diciembre - 2012 a las 09:45 Horas (militar)	05 - miércoles - diciembre - 2012 a las 09:45 Horas (militar)	0,0
93	05 - miércoles - diciembre - 2012 a las 14:00 Horas (militar)	07 - viernes - diciembre - 2012 a las 01:48 Horas (militar)	35,8
94	07 - viernes - diciembre - 2012 a las 08:00 Horas (militar)	07 - viernes - diciembre - 2012 a las 13:40 Horas (militar)	5,7
95	11 - martes - diciembre - 2012 a las 01:55 Horas (militar)	11 - martes - diciembre - 2012 a las 02:30 Horas (militar)	0,6
96	13 - jueves - diciembre - 2012 a las 15:30 Horas (militar)	14 - viernes - diciembre - 2012 a las 03:17 Horas (militar)	11,8

Ilustración 26 - Selección de disponibilidad



(Mora, 2009)

De esta forma, ya se pueden clasificar y jerarquizar los datos eventos de cada uno de los cuatro (4) grupos, en eventos promedios por mes, es decir, para poder realizar más adelante Pronósticos por series temporales (Methodologica, 2000); de cada uno de los cuatro (4) parámetros, se organizan por mes, si en un mes ocurren varios eventos del mismo tipo, se promedian los del mes correspondiente y ese valor se adopta como $MTBM_C$, $MTTR$, $MTBM_P$ y M_P del mes correspondiente, como base del cálculo predictivo por series (Mora, 2007c).

Ilustración 27 - Valores de $MTBM_C$, $MTTR$

Años	Dato de	$MTBM_C$	Horas Promedio Mensual	Dato de	$MTTR$	Horas Promedio Mensual
2012	Mes 1 Año 1	1	79,3614	Mes 1 Año 1	1	1,0167
2012	Mes 2 Año 1	2	68,2833	Mes 2 Año 1	2	0,9932
2012	Mes 3 Año 1	3	76,5109	Mes 3 Año 1	3	0,8348
2012	Mes 4 Año 1	4	98,8846	Mes 4 Año 1	4	0,9731
2012	Mes 5 Año 1	5	76,7806	Mes 5 Año 1	5	0,8130
2012	Mes 6 Año 1	6	77,9529	Mes 6 Año 1	6	0,8616
2012	Mes 7 Año 1	7	74,7570	Mes 7 Año 1	7	0,7754
2012	Mes 8 Año 1	8	122,7400	Mes 8 Año 1	8	0,8350
2012	Mes 9 Año 1	9	77,6482	Mes 9 Año 1	9	0,9456
2012	Mes 10 Año 1	10	65,2094	Mes 10 Año 1	10	0,8983
2012	Mes 11 Año 1	11	62,9574	Mes 11 Año 1	11	0,7456
2012	Mes 12 Año 1	12	66,3233	Mes 12 Año 1	12	0,9743
2013	Mes 1 Año 2	13	70,0970	Mes 1 Año 2	13	0,8659
2013	Mes 2 Año 2	14	75,3894	Mes 2 Año 2	14	1,0811
2013	Mes 3 Año 2	15	80,7245	Mes 3 Año 2	15	0,8843
2013	Mes 4 Año 2	16	118,5833	Mes 4 Año 2	16	1,0818
2013	Mes 5 Año 2	17	83,6167	Mes 5 Año 2	17	1,0008
2013	Mes 6 Año 2	18	87,4528	Mes 6 Año 2	18	0,9806
2013	Mes 7 Año 2	19	66,0406	Mes 7 Año 2	19	1,0239
2013	Mes 8 Año 2	20	53,1342	Mes 8 Año 2	20	0,8350

Años	Dato de	MTBM _C	Horas Promedio Mensual	Dato de	MTTR	Horas Promedio Mensual
2012	Mes 1 Año 1	1	79,3614	Mes 1 Año 1	1	1,0167
2012	Mes 2 Año 1	2	68,2833	Mes 2 Año 1	2	0,9932
2012	Mes 3 Año 1	3	76,5109	Mes 3 Año 1	3	0,8348
2012	Mes 4 Año 1	4	98,8846	Mes 4 Año 1	4	0,9731
2012	Mes 5 Año 1	5	76,7806	Mes 5 Año 1	5	0,8130
2012	Mes 6 Año 1	6	77,9529	Mes 6 Año 1	6	0,8616
2012	Mes 7 Año 1	7	74,7570	Mes 7 Año 1	7	0,7754
2012	Mes 8 Año 1	8	122,7400	Mes 8 Año 1	8	0,8350
2012	Mes 9 Año 1	9	77,6482	Mes 9 Año 1	9	0,9456
2012	Mes 10 Año1	10	65,2094	Mes 10 Año1	10	0,8983
2012	Mes 11 Año 1	11	62,9574	Mes 11 Año 1	11	0,7456
2012	Mes 12 Año 1	12	66,3233	Mes 12 Año 1	12	0,9743
2013	Mes 1 Año 2	13	70,0970	Mes 1 Año 2	13	0,8659
2013	Mes 2 Año 2	14	75,3894	Mes 2 Año 2	14	1,0811
2013	Mes 3 Año 2	15	80,7245	Mes 3 Año 2	15	0,8843
2013	Mes 4 Año 2	16	118,5833	Mes 4 Año 2	16	1,0818
2013	Mes 5 Año 2	17	83,6167	Mes 5 Año 2	17	1,0008
2013	Mes 6 Año 2	18	87,4528	Mes 6 Año 2	18	0,9806
2013	Mes 7 Año 2	19	66,0406	Mes 7 Año 2	19	1,0239
2013	Mes 8 Año 2	20	53,1342	Mes 8 Año 2	20	0,8350
2013	Mes 9 Año 2	21	59,9784	Mes 9 Año 2	21	0,8580
2013	Mes 10 Año2	22	71,4380	Mes 10 Año2	22	0,9753
2013	Mes 11 Año 2	23	68,3274	Mes 11 Año 2	23	1,0244
2013	Mes 12 Año 2	24	95,3487	Mes 12 Año 2	24	0,9795
2014	Mes 1 Año 3	25	86,4160	Mes 1 Año 3	25	0,8873
2014	Mes 2 Año 3	26	104,1501	Mes 2 Año 3	26	0,8494
2014	Mes 3 Año 3	27	91,9452	Mes 3 Año 3	27	0,7536
2014	Mes 4 Año 3	28	98,6232	Mes 4 Año 3	28	0,8120
2014	Mes 5 Año 3	29	141,4199	Mes 5 Año 3	29	0,9075
2014	Mes 6 Año 3	30	64,1718	Mes 6 Año 3	30	0,8177
2014	Mes 7 Año 3	31	87,8617	Mes 7 Año 3	31	1,0937
2014	Mes 8 Año 3	32	90,2291	Mes 8 Año 3	32	1,6821
2014	Mes 9 Año 3	33	99,0416	Mes 9 Año 3	33	1,3272
2014	Mes 10 Año 3	34	82,0416	Mes 10 Año 3	34	0,8843

Ilustración 28 - Valores de MTBMp y MP

Años	Dato de	MTBM _p	Horas Promedio Mensual	Dato de	M _p	Horas Promedio Mensual
2012	Mes 1 Año 1	1	406,5583	Mes 1 Año 1	1	26,0667
2012	Mes 2 Año 1	2	400,1417	Mes 2 Año 1	2	27,7000
2012	Mes 3 Año 1	3	423,2333	Mes 3 Año 1	3	29,5167
2012	Mes 4 Año 1	4	412,3750	Mes 4 Año 1	4	27,2333
2012	Mes 5 Año 1	5	802,9833	Mes 5 Año 1	5	14,0000
2012	Mes 6 Año 1	6	416,5833	Mes 6 Año 1	6	18,8167
2012	Mes 7 Año 1	7	423,6500	Mes 7 Año 1	7	28,6833
2012	Mes 8 Año 1	8	423,1083	Mes 8 Año 1	8	29,7667
2012	Mes 9 Año 1	9	413,3917	Mes 9 Año 1	9	25,2000
2012	Mes 10 Año1	10	802,9833	Mes 10 Año1	10	14,0000
2012	Mes 11 Año 1	11	413,2333	Mes 11 Año 1	11	25,5167
2012	Mes 12 Año 1	12	802,9833	Mes 12 Año 1	12	14,0000
2013	Mes 1 Año 2	13	412,5333	Mes 1 Año 2	13	26,9167
2013	Mes 2 Año 2	14	730,9833	Mes 2 Año 2	14	14,0000
2013	Mes 3 Año 2	15	422,6333	Mes 3 Año 2	15	30,7167
2013	Mes 4 Año 2	16	778,9833	Mes 4 Año 2	16	14,0000
2013	Mes 5 Año 2	17	421,3417	Mes 5 Año 2	17	33,3000
2013	Mes 6 Año 2	18	778,9833	Mes 6 Año 2	18	14,0000
2013	Mes 7 Año 2	19	802,9833	Mes 7 Año 2	19	14,0000
2013	Mes 8 Año 2	20	420,2417	Mes 8 Año 2	20	35,5000
2013	Mes 9 Año 2	21	778,9833	Mes 9 Año 2	21	14,0000
2013	Mes 10 Año2	22	422,8000	Mes 10 Año2	22	30,3833
2013	Mes 11 Año 2	23	778,9833	Mes 11 Año 2	23	14,0000
2013	Mes 12 Año 2	24	802,9833	Mes 12 Año 2	24	14,0000
2014	Mes 1 Año 3	25	411,7457	Mes 1 Año 3	25	28,4919
2014	Mes 2 Año 3	26	730,9833	Mes 2 Año 3	26	14,0000
2014	Mes 3 Año 3	27	802,9833	Mes 3 Año 3	27	14,0000
2014	Mes 4 Año 3	28	778,9833	Mes 4 Año 3	28	14,0000
2014	Mes 5 Año 3	29	298,1181	Mes 5 Año 3	29	32,1931
2014	Mes 6 Año 3	30	778,9833	Mes 6 Año 3	30	14,0000
2014	Mes 7 Año 3	31	422,7282	Mes 7 Año 3	31	30,5269
2014	Mes 8 Año 3	32	802,9833	Mes 8 Año 3	32	14,0000
2014	Mes 9 Año 3	33	408,2611	Mes 9 Año 3	33	35,4611
2014	Mes 10 Año 3	34	778,9833	Mes 10 Año 3	34	33,3000

Los datos individuales de MTTR, MTBMc, MP y MTBMp; están resumidos tal como se muestran en la plantilla de análisis. Los datos comprenden prácticamente cuatro (4) años de análisis, suministrando como consecuencia las anteriores ilustraciones.

Es importante señalar que los datos recolectados de cada mes se toman en los softwares, para conseguir los parámetros de forma y de escala, que precise la distribución superior que se ajusten estadísticamente a los datos que se analizan.

Ilustración 29 - Valores de trabajo CMD

Dato Número	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_c$	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $MTTR$	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_p$	Tiempos de Mantenibilidad Tomados M_p
1	50	6	306	9
2	89	4	355	9
3	43	7	326	44
4	180	5	357	6
5	90	15	369	5
6	171	3	309	101
7	59	7	363	18
8	229	4	311	121
9	363	10	275	170
10	78	4	54	170
11	200	2	294	131
12	44	3	354	36
13	140	5	299	146
14	138	4	324	24
15	199	6	291	162
16	208	4	323	74
17	119	5	699	70
18	107	5	696	70
19	188	15	356	32
20	188	16	638	32
21	339	8	573	148
22	80	10	743	148
23	39	6	345	31
24	150	5	156	432
25	145	4	355	34
26	78	4	299	73
27	116	5	362	21
28	75	9	326	67
29	365	21	355	33
30	105	2	295	130
31	97	9	86	130
32	52	15	338	68
33	64	9	280	160
34	68	16	280	160

En total se cuenta con 34 datos que proceden de valores mensuales, promediados en cada mes, para cada valor, por ello, se presentan de esta forma, con el fin de poder aplicar series temporales. En general se observa que los tiempos útiles entre correctivos son menores que los que se encuentran entre trabajos planeados, por otro lado, los tiempos de trabajos correctivos, son infinitamente menores que los planeados.

3.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO 3

Los resultados obtenidos describe la metodología que requiere el cálculo y el análisis de los parámetros de CMD.

Se concluye entonces, la importancia de tener una gran cantidad de datos de fallas, tiempos útiles y reparaciones ya que de esta manera se puede aprovechar la estimación del parámetro de inmediatos valores reales.

La información de funcionalidad y mantenimiento organizada de forma estándar permite dejar abierto el inicio del análisis CMD para los Camiones Caterpillar.

Los mantenimientos correctivos, son menores que los planeados, esto aparentemente está bien, pero se debe analizar.

Disponer de sistemas de registro de históricos es de gran importancia, más aún en equipos que pueden generar grandes pérdidas o utilidades para la empresa, como sus equipos de carga pesada.

La disponibilidad alcanzada es la más adecuada para el análisis CMD, ya que contempla tiempos de funcionalidad y no funcionalidad, los tiempos de ejecución de mantenimientos planeados y no planeados; con el beneficio del uso de la metodología universal para predicción CMD, permite orientar los esfuerzos para minimizar tiempo en la recolección y organización de los datos.

El registro preciso, exacto, adecuado y confiable de la información (calidad de información) de un camión, asegura que los pronósticos del análisis CMD tenga completa utilidad.

4 ESTRATEGIA CMD

4.1 OBJETIVO 4

Elaborar un plan de acciones propias de mantenimiento y operación a partir de los análisis e interpretación de las curvas CMD de confiabilidad, densidad de fallas, mantenibilidad, *hazard*, etcétera de valores históricos y futuros, derivados de los cálculos CMD - Nivel 4 - Analizar

4.2 INTRODUCCIÓN DE CAPITULO 4

La siguiente sección, muestra las acciones a seguir con base en los análisis de datos históricos, para así determinar los caminos de CMD.

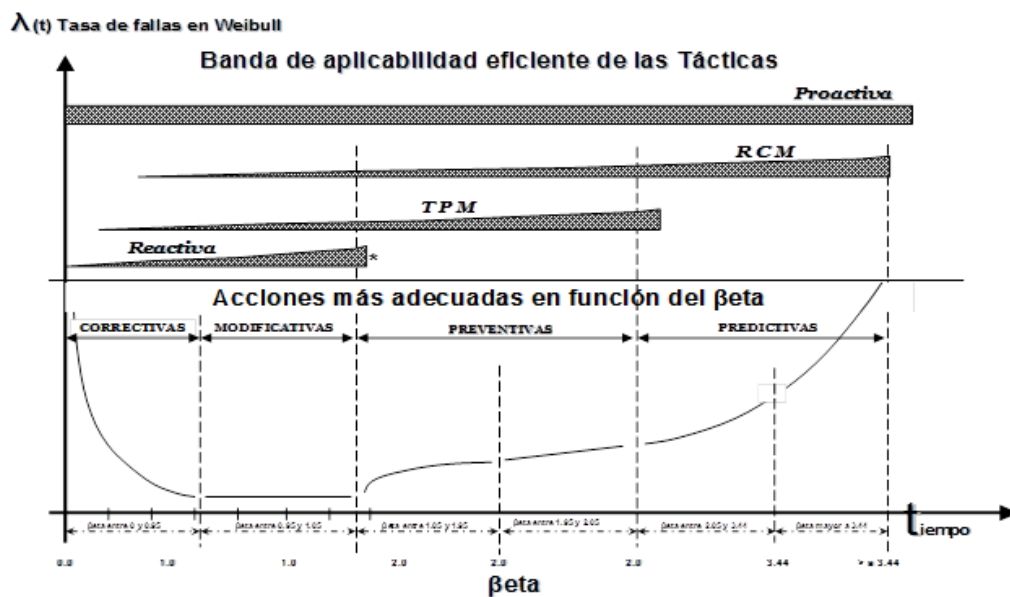
4.3 DESARROLLO DE CAPITULO 4

Con referencia a lo anterior, continua precisar la metodología sistemática que permite plasmar los pronósticos concluyentes de las variables y los parámetros, de las curvas de CMD.

4.3.1 Fundamentación

En este contexto se valida matemáticamente con las pruebas de bondad de ajuste mediante las tres zonas de la Curva de Davies.

Ilustración 30 - Curva de Weibull - Davies



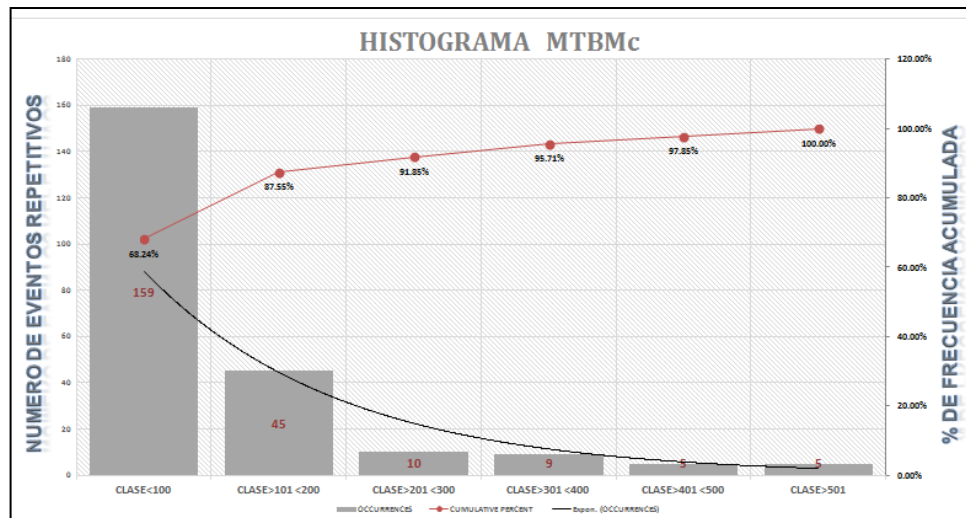
4.3.2 Validación

Es importante señalar la utilización de pruebas de Cronbach donde se definirá la manera de manipular la toma de acciones en el tema de operación y mantenimiento como resultado de las predicciones una vez se hallan definidos las automatizaciones CMD.

Ilustración 31 - Datos de MTBMP MP, MTBMc, MTTR

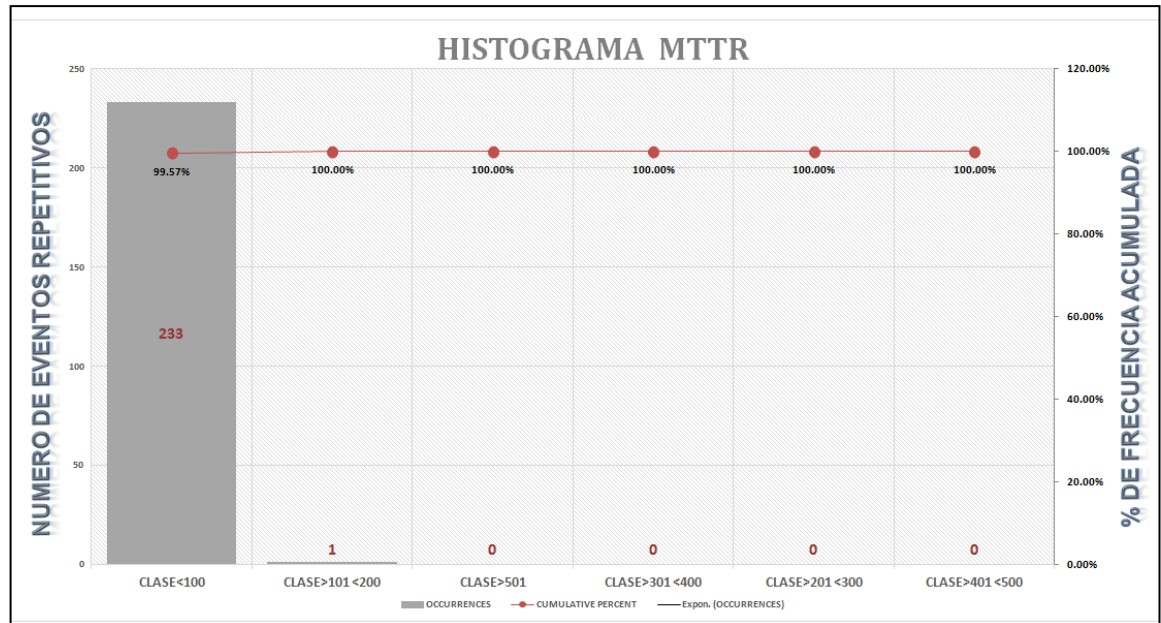
Años	Dato de	MTBMc	Horas Promedio Mensual	Dato de	MTTR	Horas Promedio Mensual	Dato de	MTBMP	Horas Promedio Mensual	Dato de	MP	Horas Promedio Mensual	Años
2012	Mes 1 Año 1	1	79.3614	Mes 1 Año 1	1	1.0167	Mes 1 Año 1	1	406.5583	Mes 1 Año 1	1	26.0667	2012
2012	Mes 2 Año 1	2	68.2833	Mes 2 Año 1	2	0.9932	Mes 2 Año 1	2	400.1417	Mes 2 Año 1	2	27.7000	2012
2012	Mes 3 Año 1	3	76.5109	Mes 3 Año 1	3	0.8348	Mes 3 Año 1	3	423.2333	Mes 3 Año 1	3	29.5167	2012
2012	Mes 4 Año 1	4	98.8846	Mes 4 Año 1	4	0.9731	Mes 4 Año 1	4	412.3750	Mes 4 Año 1	4	27.2333	2012
2012	Mes 5 Año 1	5	76.7806	Mes 5 Año 1	5	0.8130	Mes 5 Año 1	5	802.9833	Mes 5 Año 1	5	14.0000	2012
2012	Mes 6 Año 1	6	77.9529	Mes 6 Año 1	6	0.8616	Mes 6 Año 1	6	416.5833	Mes 6 Año 1	6	18.8167	2012
2012	Mes 7 Año 1	7	74.7570	Mes 7 Año 1	7	0.7754	Mes 7 Año 1	7	423.6500	Mes 7 Año 1	7	28.6833	2012
2012	Mes 8 Año 1	8	122.7400	Mes 8 Año 1	8	0.8350	Mes 8 Año 1	8	423.1083	Mes 8 Año 1	8	29.7667	2012
2012	Mes 9 Año 1	9	77.6482	Mes 9 Año 1	9	0.9456	Mes 9 Año 1	9	413.3917	Mes 9 Año 1	9	25.2000	2012
2012	Mes 10 Año1	10	65.2094	Mes 10 Año1	10	0.8983	Mes 10 Año1	10	802.9833	Mes 10 Año1	10	14.0000	2012
2012	Mes 11 Año 1	11	62.9574	Mes 11 Año 1	11	0.7456	Mes 11 Año 1	11	413.2333	Mes 11 Año 1	11	25.5167	2012
2012	Mes 12 Año 1	12	66.3233	Mes 12 Año 1	12	0.9743	Mes 12 Año 1	12	802.9833	Mes 12 Año 1	12	14.0000	2012
2013	Mes 1 Año 2	13	70.0970	Mes 1 Año 2	13	0.8659	Mes 1 Año 2	13	412.5333	Mes 1 Año 2	13	26.9167	2013
2013	Mes 2 Año 2	14	75.3894	Mes 2 Año 2	14	1.0811	Mes 2 Año 2	14	730.9833	Mes 2 Año 2	14	14.0000	2013
2013	Mes 3 Año 2	15	80.7245	Mes 3 Año 2	15	0.8843	Mes 3 Año 2	15	422.6333	Mes 3 Año 2	15	30.7167	2013
2013	Mes 4 Año 2	16	118.5833	Mes 4 Año 2	16	1.0818	Mes 4 Año 2	16	778.9833	Mes 4 Año 2	16	14.0000	2013
2013	Mes 5 Año 2	17	83.6167	Mes 5 Año 2	17	1.0008	Mes 5 Año 2	17	421.3417	Mes 5 Año 2	17	33.3000	2013
2013	Mes 6 Año 2	18	87.4528	Mes 6 Año 2	18	0.9806	Mes 6 Año 2	18	778.9833	Mes 6 Año 2	18	14.0000	2013
2013	Mes 7 Año 2	19	66.0406	Mes 7 Año 2	19	1.0239	Mes 7 Año 2	19	802.9833	Mes 7 Año 2	19	14.0000	2013
2013	Mes 8 Año 2	20	53.1342	Mes 8 Año 2	20	0.8350	Mes 8 Año 2	20	420.2417	Mes 8 Año 2	20	35.5000	2013
2013	Mes 9 Año 2	21	59.9784	Mes 9 Año 2	21	0.8580	Mes 9 Año 2	21	778.9833	Mes 9 Año 2	21	14.0000	2013
2013	Mes 10 Año2	22	71.4380	Mes 10 Año2	22	0.9753	Mes 10 Año2	22	422.8000	Mes 10 Año2	22	30.3833	2013
2013	Mes 11 Año 2	23	68.3274	Mes 11 Año 2	23	1.0244	Mes 11 Año 2	23	778.9833	Mes 11 Año 2	23	14.0000	2013
2013	Mes 12 Año 2	24	95.3487	Mes 12 Año 2	24	0.9795	Mes 12 Año 2	24	802.9833	Mes 12 Año 2	24	14.0000	2013
2014	Mes 1 Año 3	25	86.4160	Mes 1 Año 3	25	0.8873	Mes 1 Año 3	25	411.7457	Mes 1 Año 3	25	28.4919	2014
2014	Mes 2 Año 3	26	104.1501	Mes 2 Año 3	26	0.8494	Mes 2 Año 3	26	730.9833	Mes 2 Año 3	26	14.0000	2014
2014	Mes 3 Año 3	27	91.9452	Mes 3 Año 3	27	0.7536	Mes 3 Año 3	27	802.9833	Mes 3 Año 3	27	14.0000	2014
2014	Mes 4 Año 3	28	98.6232	Mes 4 Año 3	28	0.8120	Mes 4 Año 3	28	778.9833	Mes 4 Año 3	28	14.0000	2014
2014	Mes 5 Año 3	29	141.4199	Mes 5 Año 3	29	0.9075	Mes 5 Año 3	29	298.1161	Mes 5 Año 3	29	32.1931	2014
2014	Mes 6 Año 3	30	64.1718	Mes 6 Año 3	30	0.8177	Mes 6 Año 3	30	778.9833	Mes 6 Año 3	30	14.0000	2014
2014	Mes 7 Año 3	31	87.8617	Mes 7 Año 3	31	1.0937	Mes 7 Año 3	31	422.7262	Mes 7 Año 3	31	30.5269	2014
2014	Mes 8 Año 3	32	90.2291	Mes 8 Año 3	32	1.6821	Mes 8 Año 3	32	802.9833	Mes 8 Año 3	32	14.0000	2014
2014	Mes 9 Año 3	33	99.0416	Mes 9 Año 3	33	1.3272	Mes 9 Año 3	33	408.2611	Mes 9 Año 3	33	35.4611	2014
2014	Mes 10 Año 3	34	82.0416	Mes 10 Año 3	34	0.8843	Mes 10 Año 3	34	778.9833	Mes 10 Año 3	34	33.3000	2014

Ilustración 32 - Histograma de frecuencia MTBMc



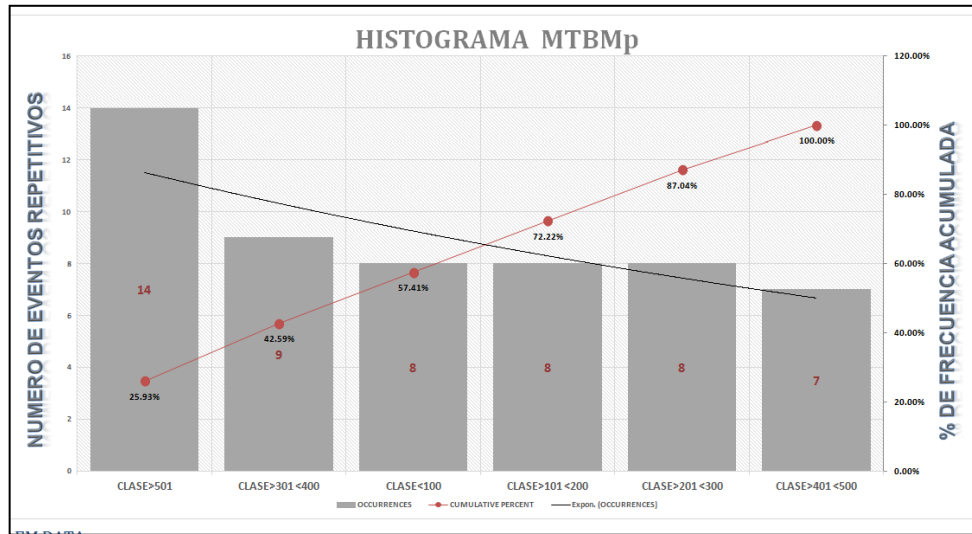
PROBLEM DATA			
EVENTOS	OCCURRENCES	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENT
CLASE < 100	159	68.24%	68.24%
CLASE > 101 < 200	45	19.31%	87.55%
CLASE > 201 < 300	10	4.29%	91.85%
CLASE > 301 < 400	9	3.86%	95.71%
CLASE > 401 < 500	5	2.15%	97.85%
CLASE > 501	5	2.15%	100.00%
	233	100.00%	

Ilustración 33 - Histograma de frecuencia MTTR



PROBLEM DATA			
EVENTOS	OCCURRENCES	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENT
CLASE < 100	233	99.57%	99.57%
CLASE > 101 < 200	1	0.43%	100.00%
CLASE > 501	0	0.00%	100.00%
CLASE > 301 < 400	0	0.00%	100.00%
CLASE > 201 < 300	0	0.00%	100.00%
CLASE > 401 < 500	0	0.00%	100.00%
	234	100.00%	

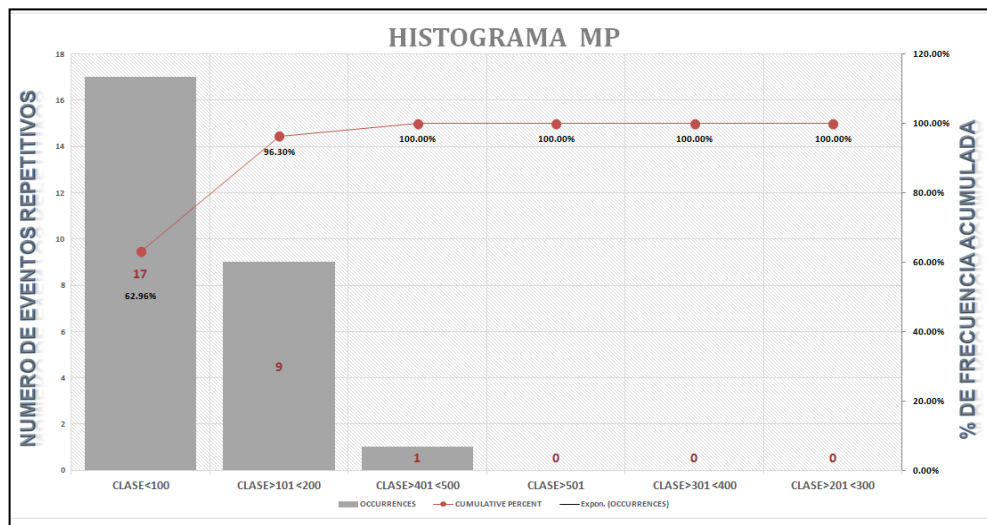
Ilustración 34 - Histograma de frecuencia MTBMp



PROBLEM DATA

EVENTOS	OCCURRENCES	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENT
CLASE>501	14	25.93%	25.93%
CLASE>301 <400	9	16.67%	42.59%
CLASE<100	8	14.81%	57.41%
CLASE>101 <200	8	14.81%	72.22%
CLASE>201 <300	8	14.81%	87.04%
CLASE>401 <500	7	12.96%	100.00%
54	100.00%		

Ilustración 35 - Histograma de frecuencia Mp



PROBLEM DATA			
EVENTOS	OCCURRENCES	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENT
CLASE <100	17	62.96%	62.96%
CLASE >101 <200	9	33.33%	96.30%
CLASE >401 <500	1	3.70%	100.00%
CLASE >501	0	0.00%	100.00%
CLASE >301 <400	0	0.00%	100.00%
CLASE >201 <300	0	0.00%	100.00%
	27	100.00%	

La primera prueba de Cronbach, que otorga la coherencia de los datos de entrada, se realiza con el programa DYANE 4 (Santesmases, 2003), muestra un valor que no está por encima de 0.65, que es la que se requiere, más sin embargo esto no es excluyente, es decir, se procede con otras pruebas que permiten determinar su validez estadística.

Ilustración 36 - Prueba Coeficiente Alfa de Cronbach.

COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH

IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE 1 : yp'MTBMC yp'MTBMC Horas Promedio Mensual'

VARIABLE 2 : 'MTR 'MTR Horas Promedio Mensual'

VARIABLE 3 : 'MTBM 'MTBM Horas Promedio Mensual'

VARIABLE 4 : 'MP 'MP Horas Promedio Mensual'

Matriz de coeficientes de correlación simple

	yp'MTBMC	'MTR	'MTBM	'MP
yp'MTBMC	1.0000	0.1579	-0.1222	0.1042
'MTR	0.1579	1.0000	0.1079	-0.0530
'MTBM	-0.1222	0.1079	1.0000	-0.8490
'MP	0.1042	-0.0530	-0.8490	1.0000

Número de casos: 386

Número de ítems: 4

Coefficiente alfa de Cronbach = -0.14

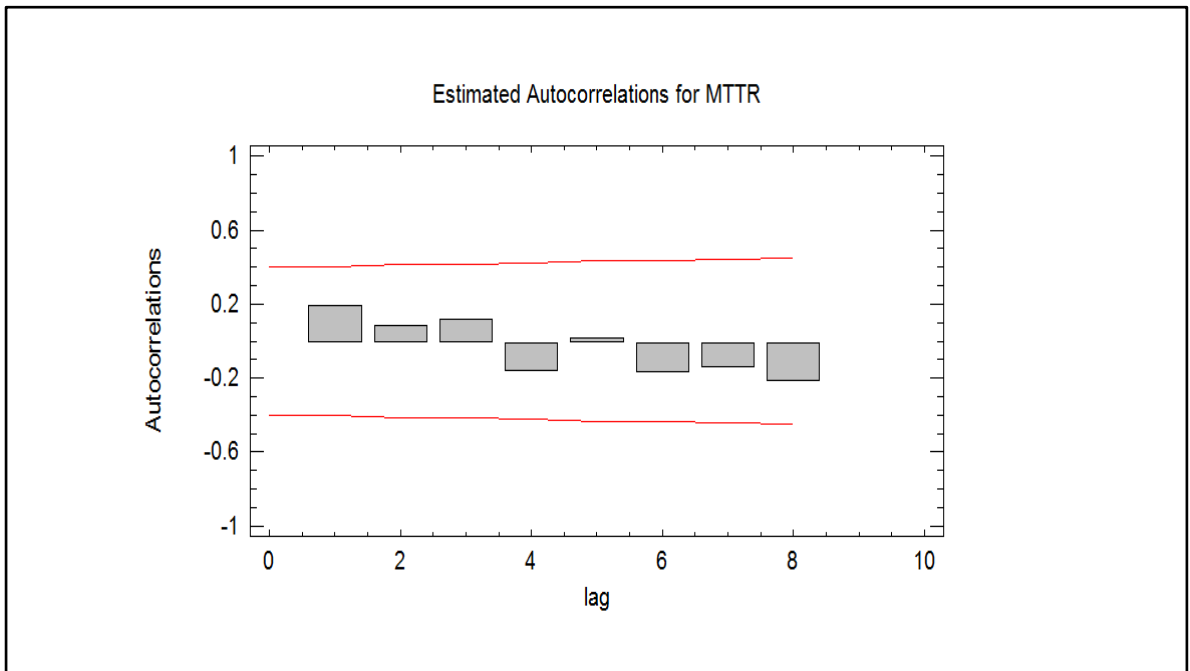
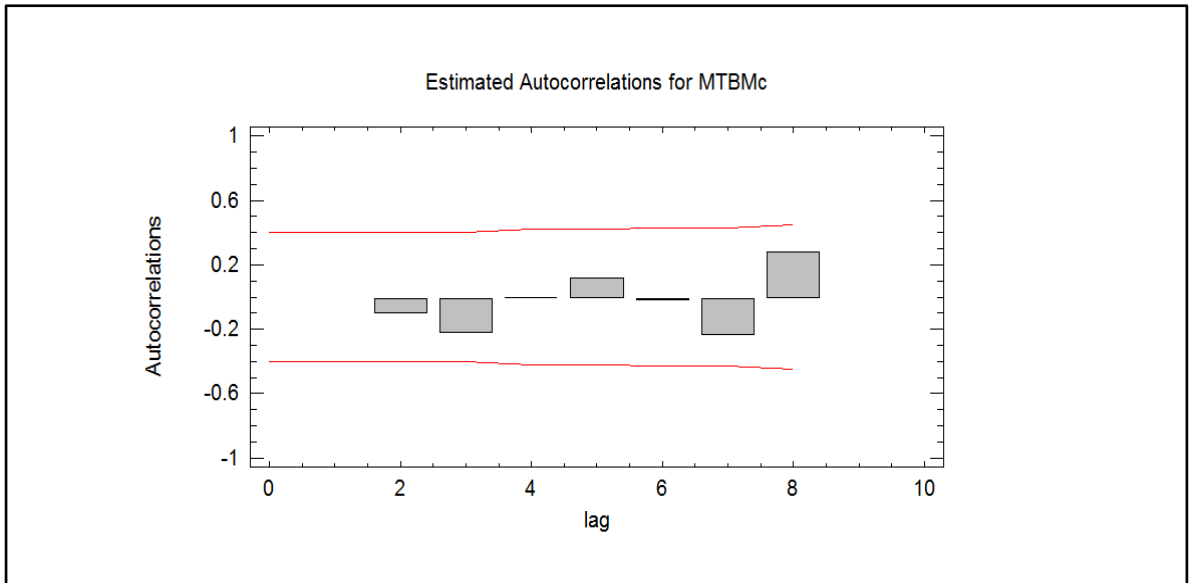
Enviar resultados a: Portapapeles Impresora Fichero

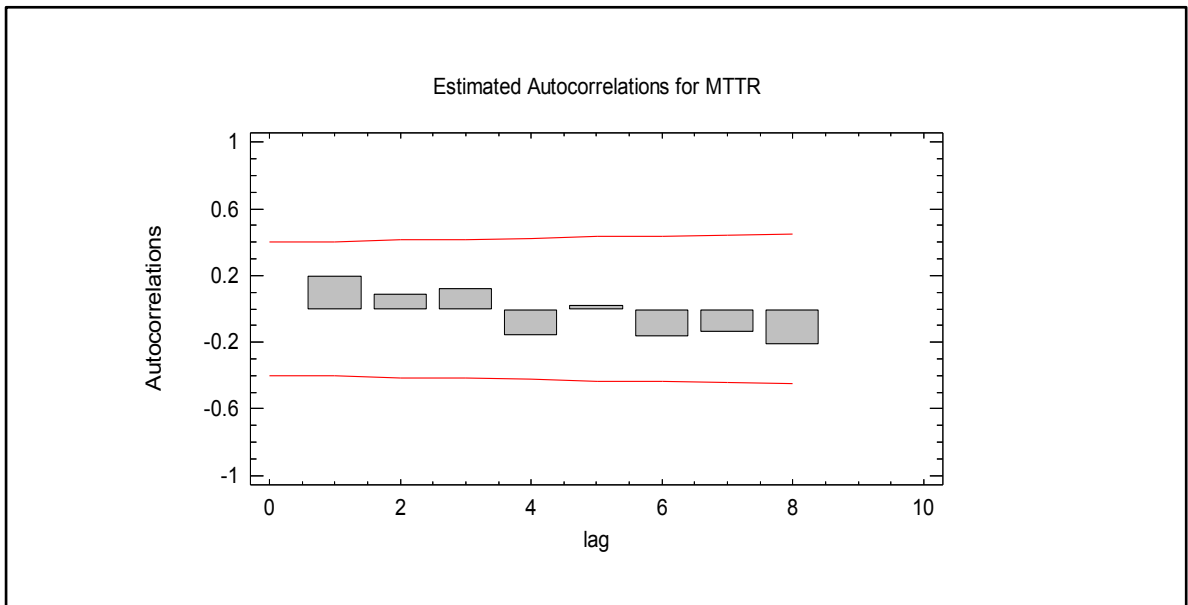
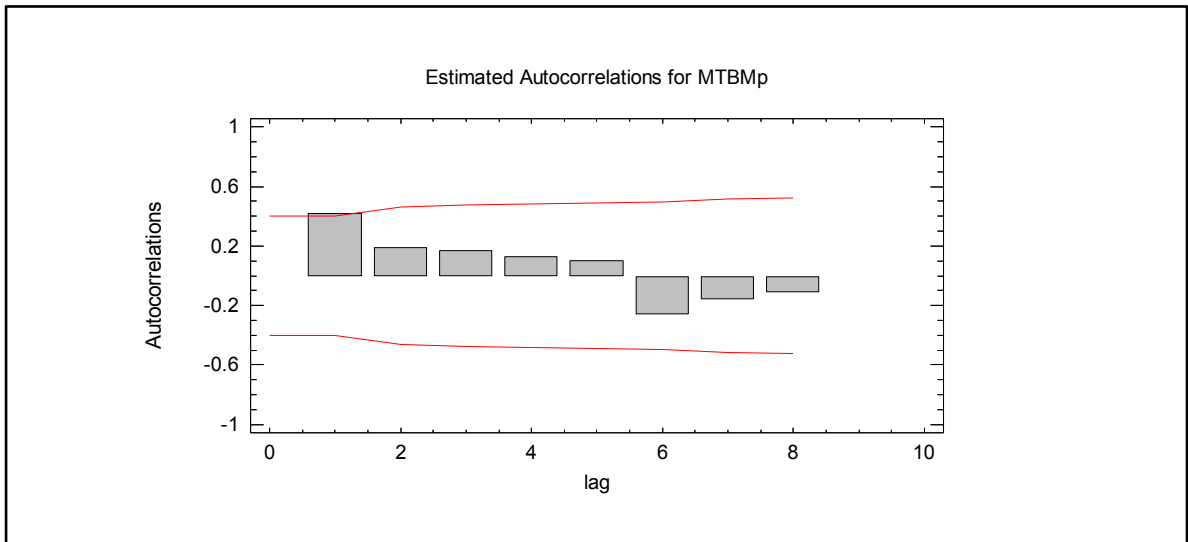
Tamaño de fuente: 10 Ajuste de línea: SI No

06/11/2014 | 2:24:24 a. m.

Casa 1 Acceso a Internet 2:24 a. m.

Ilustración 37 - Pruebas de ACF

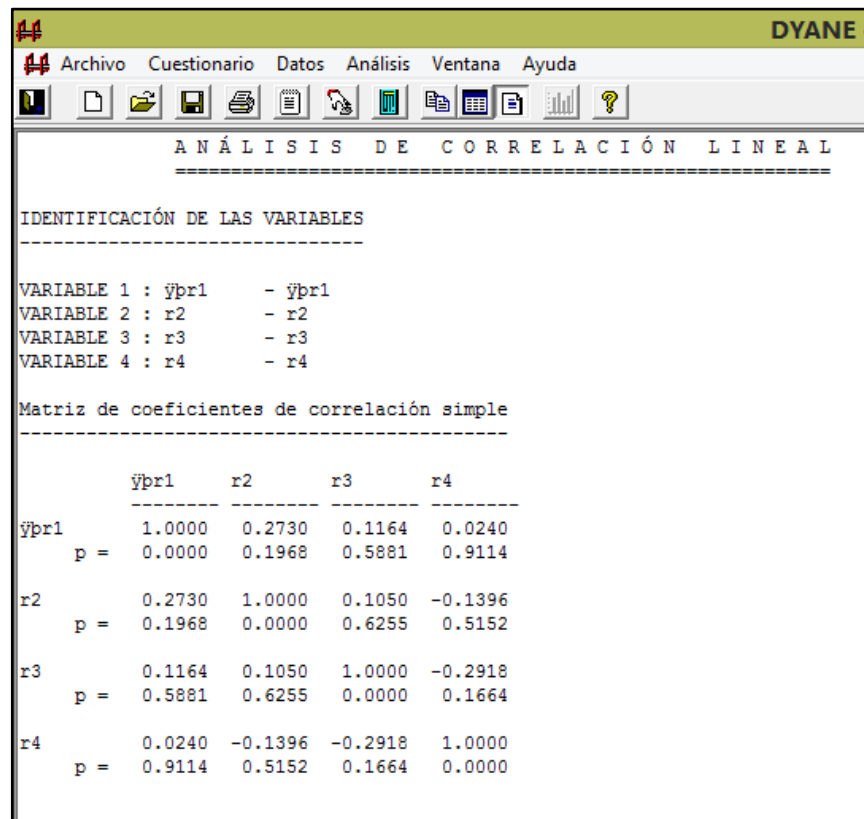




En general la prueba del ACF, no la cumple ninguna de las cuatro variables, quiere decir que su comportamiento futuro es netamente una prolongación del pasado, el hecho de que no se cumpla el ACF, denota varias cosas, que su tendencia es plana y tendrán a futuro valores similares al pasado, son de corte aleatorio, lo que puede entenderse los mantenimientos planeados que no para nada aleatorios, a diferencias de los correctivos, al igual los valores individuales de cada variable no se interrelaciona con los demás valores, eso pone una cortapisa muy grande, pues lo que denota, es que lo que haga en cualquiera de ellas, no influye en el futuro de ella ni de las demás.

Tres de las cuatro pruebas cumplen débilmente con ACF³¹, son MTBM_P, MTTR y M_P, MTBM_C no la cumple, el ACF cumple cuando uno o dos o tres o cuatro cinco de los palotes sobresalen fuera de la banda de confianza roja al inicio izquierdo de la gráfica, si cumple denota que no hay aleatoriedad, que los datos se correlacionan entre sí; a pesar de ello no se descartan los datos, ni la validez de uso con Weibull u otra función, hasta no tener la prueba al menos de Kolmogórov-Smirnov, o en caso eventual requerir Anderson-Darling, la cual trabaja bien en las puntas inicial y final de los datos.

Ilustración 38 - Correlación entre los cuatro parámetros CMD



La prueba denota que no hay correlación cuando el p value, es superior a 0.05, en el caso particular no hay relación entre ninguna de las variables, lo que corrobora lo anteriormente descubierto en el ACF, son variables entre sí independientes y esto es muy grave; son en primera instancia independientes.

Ya con estas pruebas previas, se procede entonces al estudio CMD, para ello, se realizan las pruebas globales con Weibull mediante el programa Excel BaseCMD, al igual con programa Weibull y con pronósticos de series temporales. Cuyas realizaciones, otorga los siguientes resultados.

³¹ ACF Función de Auto Correlación.

Ilustración 39 - Valores CMD - De cada una de las cuatro variables.

MTBM_C

Confiability - No Planeada (Correctiva)									
MTBM _C									
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	beta MTBM _C de Confiability	η - Eta de Confiability No Planeada MTBM _C	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTBM _C Calculado	Tiempo Confiability Calculado MTBM _C
1		49.73							
2		88.66							
3	Weibull	43.01	2.31	70.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	62.0844314	62.0844314
4	Weibull	180.49	1.44	106.66	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	96.83083903	96.83083903
5	Weibull	89.92	1.71	105.27	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	93.88625715	93.88625715
6	Weibull	171.16	1.69	120.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	107.9416392	107.9416392
7	Weibull	59.39	1.78	112.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	100.1836982	100.1836982
8	Weibull	229.31	1.64	131.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	117.4182137	117.4182137
9	Weibull	362.71	1.42	160.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	145.5970197	145.5970197
10	Weibull	77.58	1.49	152.37	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	137.6611799	137.6611799
11	Weibull	200.24	1.54	159.74	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	143.7440411	143.7440411
12	Weibull	43.52	1.48	150.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	135.7482655	135.7482655
13	Weibull	139.70	1.56	150.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	135.4596482	135.4596482
14	Weibull	138.31	1.64	151.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	135.3383521	135.3383521
15	Weibull	199.24	1.67	156.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	140.0389825	140.0389825
16	Weibull	208.14	1.69	162.22	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	144.7946709	144.7946709
17	Weibull	118.88	1.76	160.34	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	142.7400835	142.7400835
18	Weibull	106.59	1.83	157.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	140.2537082	140.2537082
19	Weibull	187.77	1.86	161.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	143.0377851	143.0377851
20	Weibull	188.00	1.89	164.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	145.5920925	145.5920925
21	Weibull	339.08	1.83	174.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	154.7122868	154.7122868
22	Weibull	80.43	1.85	169.86	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	150.8771285	150.8771285
23	Weibull	39.11	1.75	164.13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	146.1616842	146.1616842
24	Weibull	149.96	1.80	164.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	146.2880755	146.2880755
25	Weibull	144.67	1.84	164.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	146.1933085	146.1933085
26	Weibull	77.53	1.86	161.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	143.1996983	143.1996983
27	Weibull	116.19	1.90	160.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	142.0004737	142.0004737
28	Weibull	74.68	1.92	157.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	139.3388105	139.3388105
29	Weibull	365.12	1.84	165.34	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	146.8898087	146.8898087
30	Weibull	104.58	1.88	163.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	145.2685781	145.2685781
31	Weibull	96.88	1.90	161.75	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	143.52142	143.52142
32	Weibull	52.49	1.88	158.35	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	140.5749423	140.5749423
33	Weibull	64.21	1.87	155.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	138.0903153	138.0903153
34	Weibull	68.02	1.88	153.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	135.8931514	135.8931514

MTTR

Mantenibilidad - No Planeada (Correctiva)									
MTTR									
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	β eta MTTR de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTR Calculado	Tiempo Mantenibilidad Calculado MTTR
1		5.73							
2		3.68							
3	Weibull	6.69	3.06	6.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.404566089	5.404566089
4	Weibull	5.01	3.95	5.82	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.270265923	5.270265923
5	Weibull	14.58	1.84	8.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	7.363304023	7.363304023
6	Weibull	3.30	1.81	7.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.675390625	6.675390625
7	Weibull	6.63	2.02	7.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.632190638	6.632190638
8	Weibull	3.67	2.02	7.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.277495751	6.277495751
9	Weibull	9.58	2.10	7.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.622717244	6.622717244
10	Weibull	4.10	2.15	7.19	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.370513947	6.370513947
11	Weibull	2.09	2.00	6.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.945329729	5.945329729
12	Weibull	3.43	2.02	6.47	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.735576146	5.735576146
13	Weibull	5.05	2.12	6.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.673253628	5.673253628
14	Weibull	3.71	2.16	6.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.537093421	5.537093421
15	Weibull	6.34	2.25	6.30	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.584566936	5.584566936
16	Weibull	3.65	2.28	6.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.468593261	5.468593261
17	Weibull	5.28	2.37	6.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.452150795	5.452150795
18	Weibull	4.98	2.45	6.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.423069756	5.423069756
19	Weibull	15.37	2.13	6.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	5.950387411	5.950387411
20	Weibull	15.80	1.95	7.27	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.450816722	6.450816722
21	Weibull	7.75	2.01	7.34	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.50081621	6.50081621
22	Weibull	10.25	2.03	7.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.667272425	6.667272425
23	Weibull	6.40	2.09	7.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.649997275	6.649997275
24	Weibull	4.68	2.12	7.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.564960849	6.564960849
25	Weibull	4.27	2.15	7.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.472722541	6.472722541
26	Weibull	3.95	2.16	7.20	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.378171283	6.378171283
27	Weibull	4.84	2.19	7.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.320817231	6.320817231
28	Weibull	8.73	2.23	7.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.401580755	6.401580755
29	Weibull	20.97	2.01	7.77	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.885446171	6.885446171
30	Weibull	2.46	1.98	7.58	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.715819523	6.715819523
31	Weibull	8.94	2.01	7.66	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	6.783532506	6.783532506
32	Weibull	15.28	1.96	7.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	7.050270644	7.050270644
33	Weibull	9.18	1.99	8.02	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	7.112103211	7.112103211
34	Weibull	16.13	1.94	8.32	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	7.378779941	7.378779941

MTBM_p

Confiability - Planeada (Preventiva y/o Predictiva)									
MTBM _p									
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	βeta MTBM _p de Confiability	η - Eta de Confiability Planeada MTBM _p	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTBM _p Calculado	Tiempo Confiability Calculado MTBM _p
1		306.375							
2		355.383							
3	Weibull	326.008	12.76	340.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	327.1960447	327.1960447
4	Weibull	356.817	13.24	347.80	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	334.4722812	334.4722812
5	Weibull	369.408	13.17	354.99	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	341.3235804	341.3235804
6	Weibull	309.492	12.56	350.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	335.9911933	335.9911933
7	Weibull	362.783	13.04	353.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	339.7912757	339.7912757
8	Weibull	311.492	12.82	350.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	336.2714493	336.2714493
9	Weibull	275.092	10.75	345.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	329.3400642	329.3400642
10	Weibull	54.092	1.51	388.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	350.5818211	350.5818211
11	Weibull	294.492	1.59	385.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	345.458815	345.458815
12	Weibull	354.092	1.64	389.56	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	348.5041866	348.5041866
13	Weibull	299.067	1.71	386.99	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	345.1803711	345.1803711
14	Weibull	323.908	1.76	387.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	345.0795484	345.0795484
15	Weibull	290.950	1.83	384.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	341.3680564	341.3680564
16	Weibull	322.992	1.88	384.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	341.3897465	341.3897465
17	Weibull	698.667	1.87	405.81	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	360.2991314	360.2991314
18	Weibull	695.817	1.86	426.10	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	378.4058603	378.4058603
19	Weibull	355.867	1.90	425.98	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	377.9813958	377.9813958
20	Weibull	638.492	1.92	440.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	390.5986532	390.5986532
21	Weibull	573.000	1.95	449.86	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	398.8878248	398.8878248
22	Weibull	742.850	1.93	467.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	414.7231357	414.7231357
23	Weibull	344.533	1.97	464.90	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	412.1268368	412.1268368
24	Weibull	155.867	2.01	446.87	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	395.9755854	395.9755854
25	Weibull	354.883	2.05	445.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	394.789966	394.789966
26	Weibull	299.283	2.08	441.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	391.2551102	391.2551102
27	Weibull	361.575	2.12	440.96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	390.5330384	390.5330384
28	Weibull	326.492	2.15	438.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	388.6296386	388.6296386
29	Weibull	355.492	2.18	438.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	387.892188	387.892188
30	Weibull	295.242	2.21	434.56	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	384.8635017	384.8635017
31	Weibull	85.992	2.06	423.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	375.1700579	375.1700579
32	Weibull	337.783	2.09	422.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	374.4116319	374.4116319
33	Weibull	279.875	2.12	419.22	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	371.2781458	371.2781458
34	Weibull	279.875	2.15	416.01	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	368.4176309	368.4176309

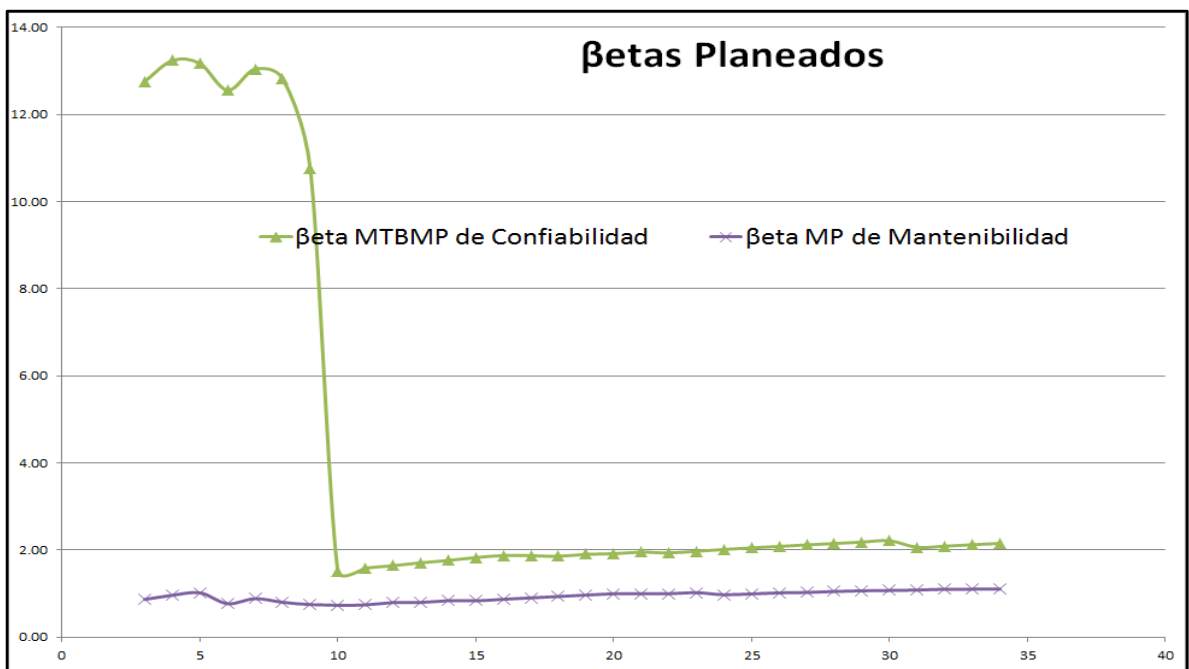
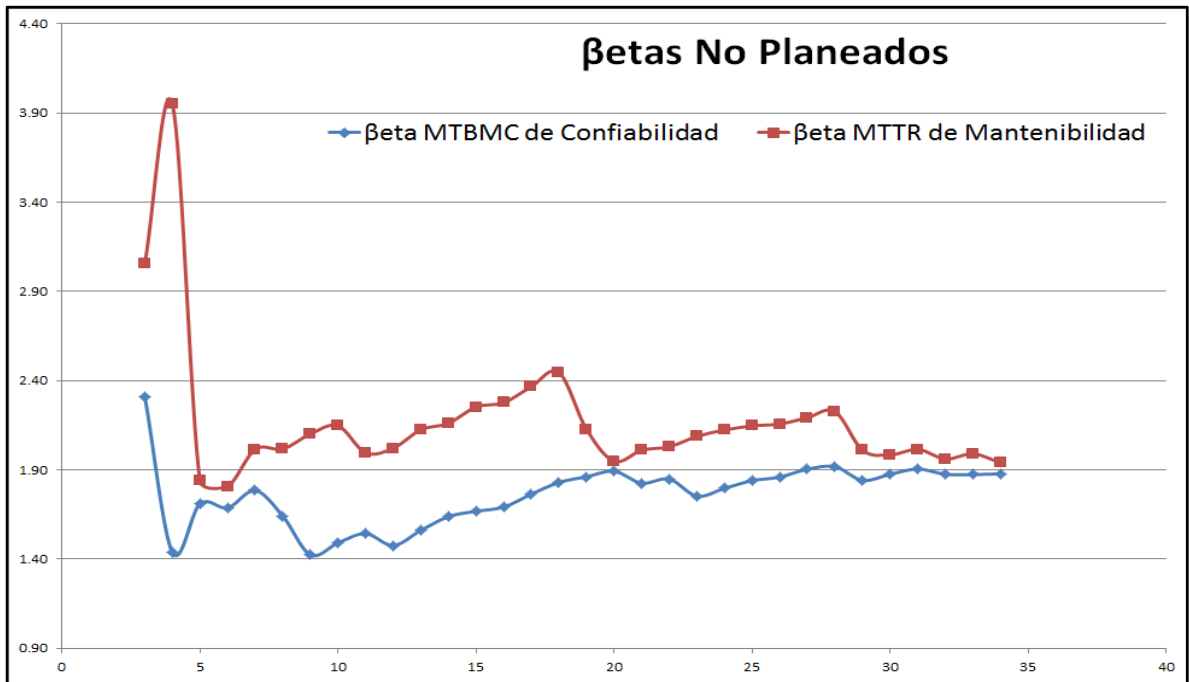
M_p

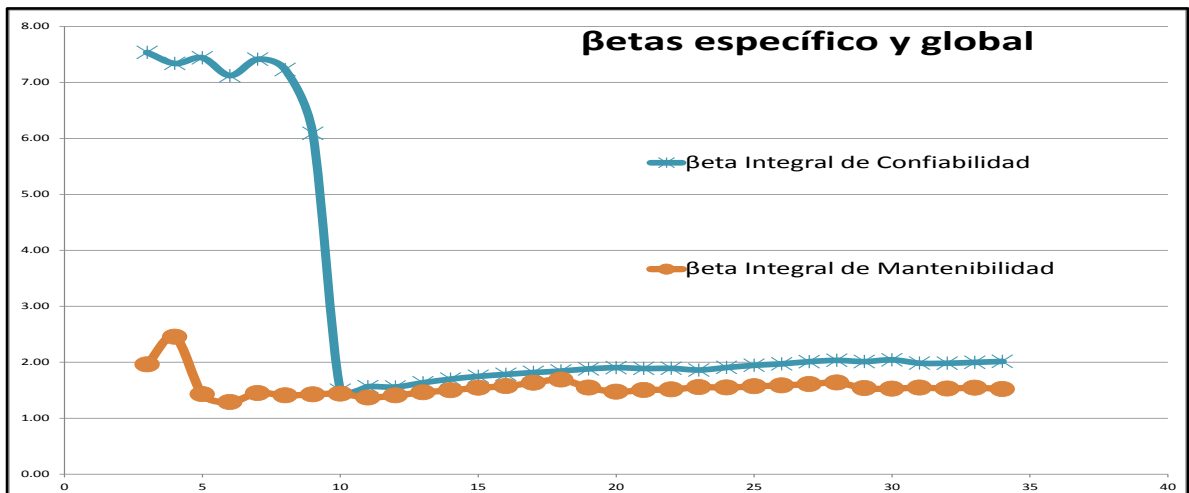
Mantenibilidad - Planeada (Preventiva y/o Correctiva)									
Orden Número	Función Distribución	Tiempo	beta M_p de Mantenibilidad	η -Eta de Mantenibilidad Planeada M_p	Alineación	Goodness of Fit	Cumple con Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	M_p Calculado	Tiempo Mantenibilidad Calculado M_p
1		9.00							22.0750524
2		9.00		25.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	20.5807743	20.5807743
3	Weibull	43.97	0.87	20.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	16.5802887	16.5802887
4	Weibull	6.35	1.02	16.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	16.7078017	16.7078017
5	Weibull	5.17	0.77	28.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	21.8954937	21.8954937
6	Weibull	101.00	0.88	27.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	40.2847047	40.2847047
7	Weibull	14.42	0.80	38.16	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	26.6873236	26.6873236
8	Weibull	121.00	0.75	58.92	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	50.8322528	50.8322528
9	Weibull	169.80	0.73	62.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	26.8772079	26.8772079
10	Weibull	169.80	0.74	71.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	36.3782081	36.3782081
11	Weibull	35.80	0.79	68.49	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	28.8720487	28.8720487
12	Weibull	145.85	0.80	76.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	28.8720487	28.8720487
13	Weibull	24.17	0.84	79.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	37.9428836	37.9428836
14	Weibull	162.08	0.83	80.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	36.2648625	36.2648625
15	Weibull	74.00	0.87	88.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
16	Weibull	69.50	0.90	81.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
17	Weibull	69.50	0.93	78.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
18	Weibull	32.25	0.97	76.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
19	Weibull	32.25	1.00	88.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
20	Weibull	148.13	1.00	85.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
21	Weibull	148.13	1.02	82.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
22	Weibull	30.92	0.97	92.79	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
23	Weibull	432.25	0.89	90.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
24	Weibull	34.22	1.02	87.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
25	Weibull	73.42	1.03	86.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
26	Weibull	20.83	1.05	84.96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
27	Weibull	67.00	1.05	87.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
28	Weibull	33.00	1.07	89.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
29	Weibull	129.50	1.08	88.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
30	Weibull	129.50	1.10	92.57	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
31	Weibull	68.42	1.10	95.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	35.0778527	35.0778527
32	Weibull	160.23	1.10						
33	Weibull	160.23	1.10						

Para los cuatro casos, se puede afirmar que cumple muy bien las pruebas de Bondad de Ajuste con Kolmogórov-Smirnov, en cuanto a los Betas, los dos no

planeados son superiores a uno (1) esto no es correcto y denota que hay problemas serios en este punto; en cuanto a los Betas Planeados, son mayores a uno, aunque el de mantenibilidad, supremamente crítico, por lo cercano a 1.

Ilustración 40 - betas



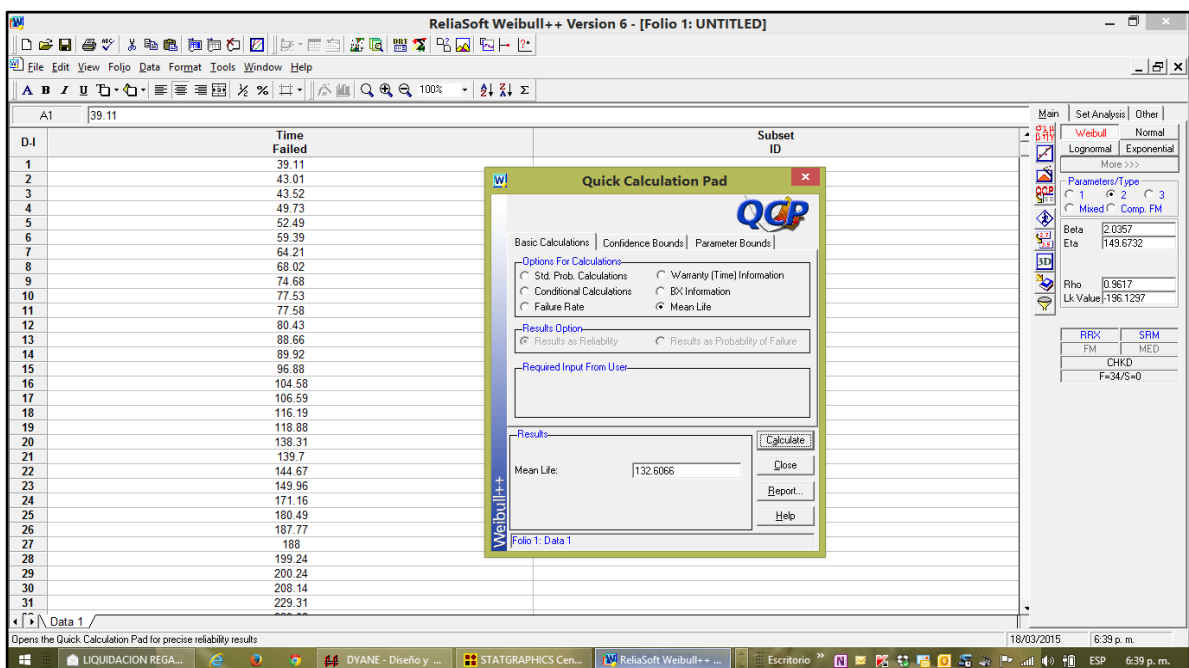


Para el caso de lo planeado, tanto $MTBM_P$ como M_P ; cumplen en todos los eventos individuales y acumulados con la prueba Kolmogórov-Smirnov, lo que permite asegurar que los cálculos CMD y los pronósticos pertinentes cumplen la expectativa de certeza estadística, que generan, por lo cual se procede a hacer la medición y posterior predicción de cada uno de los parámetros correspondientes, con Weibull.

Con Weibull, en el software Reliasoft + + Weibull 6, muestra los valores:

Ilustración 41 - Con Reliasoft Weibull 6 con Distribución Weibull

$MTBM_C$



Tanto β de 2.03 y η de 149, son consistentes con los de Weibull Excel de 1.88 y 153, al igual en Reliasoft la media de vida útil es de 132 frente a 135 de Weibull Excel, lo anterior muestra la consistencia hasta ahora de los resultados.

MTTR

The screenshot shows the ReliaSoft Weibull++ Version 6 interface. The main window displays a data table with the following columns: D-I, Time Failed, and Subset ID. The data points are as follows:

D-I	Time Failed	Subset ID
1	2.09	
2	2.46	
3	3.3	
4	3.43	
5	3.65	
6	3.67	
7	3.68	
8	3.71	
9	3.95	
10	4.1	
11	4.27	
12	4.68	
13	4.84	
14	4.98	
15	5.01	
16	5.05	
17	5.28	
18	5.73	
19	6.34	
20	6.4	
21	6.63	
22	6.69	
23	7.75	
24	8.73	
25	8.94	
26	9.18	
27	9.58	
28	10.25	
29	14.58	
30	15.28	
31	15.37	

The Quick Calculation Pad (QCP) dialog box is open, showing the following settings:

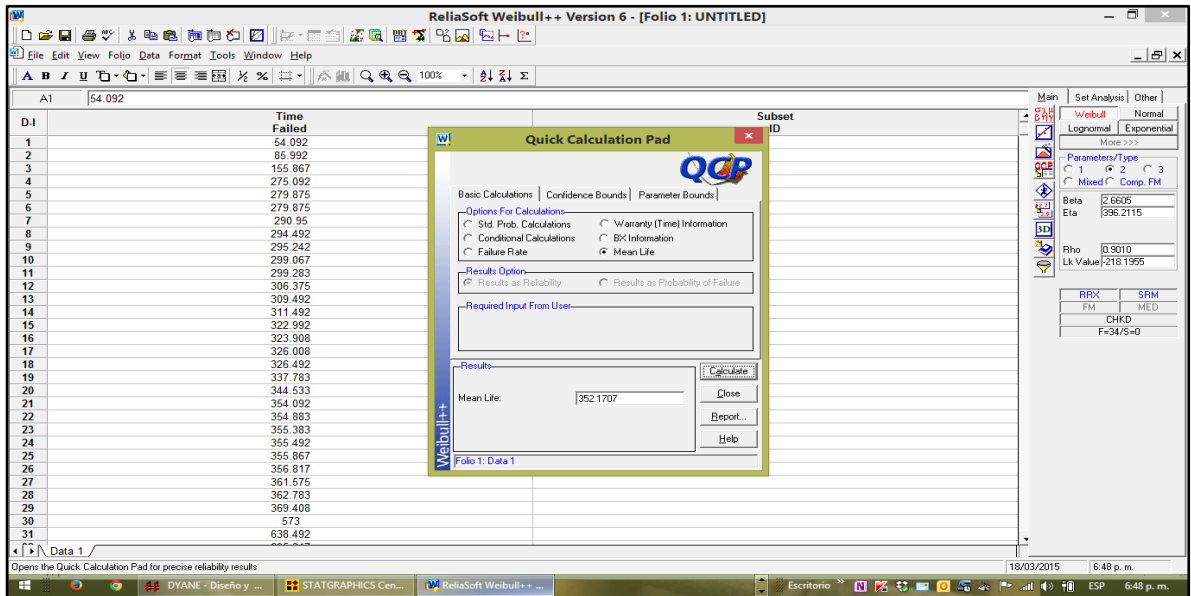
- Basic Calculations: Std. Prob. Calculations, Conditional Calculations, Failure Rate
- Confidence Bounds: Warranty (Time) Information, BX Information, Mean Life
- Results Option: Results as Reliability, Results as Probability of Failure
- Required Input From User: (Empty field)
- Results: Mean Life: 7.1285

The right-hand pane shows the following parameters:

- Parameters/Type: Weibull, Normal, Lognormal, Exponential
- Parameters: Beta: 2.1971, Eta: 8.0492
- Rho: 0.9408, Lk Value: 98.3466
- FRX: FM, SRM: MED, CHKD: F=34/S=0

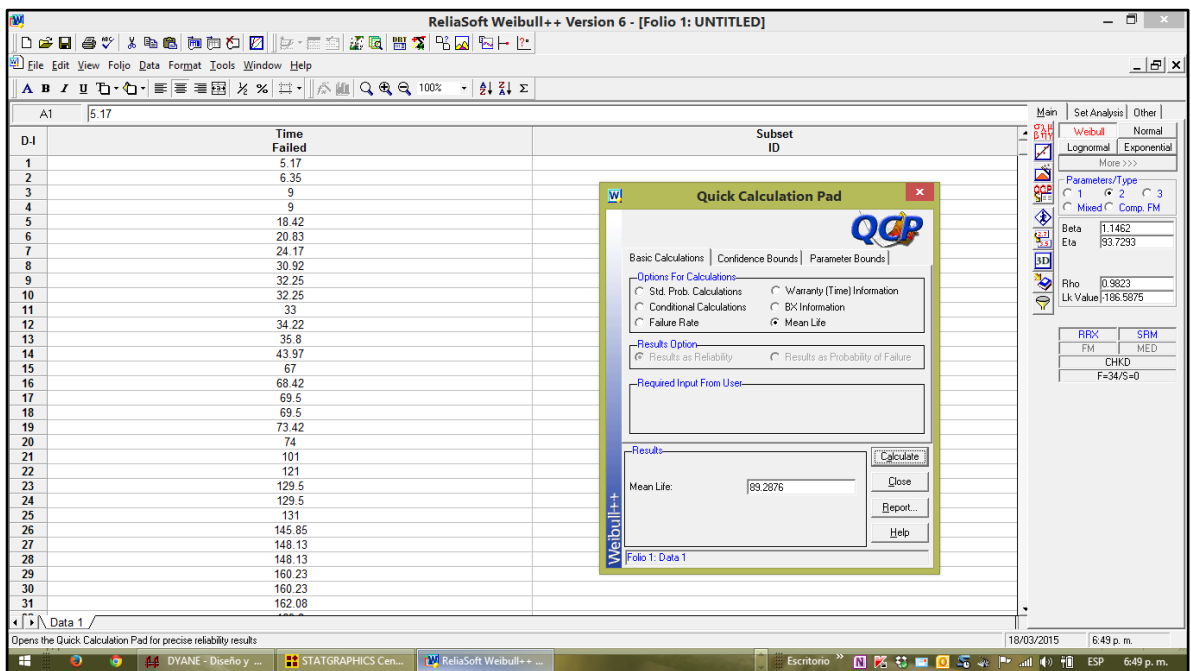
En el MTTR, los valores en este caso de β y η de Reliasoft, son β de 2.19 y η con 8.04, frente a los Weibull Excel que son β de 1.94 y η con un valor de 8.32, con una vida media en Reliasoft de 7.12 contra una igual en Excel de 7.37; los tres casos se dan como bastante similares y aceptables.

MTBM_p



Para el parámetro MTBM_p, las cantidades de β y Eta de Reliasoft, son respectivamente 2.66 de β y 396 de η , frente a los Weibull Excel que son β de 2.15 y 416; con una vida media en Reliasoft de 352 contra una en Excel de 368; en los valores comparados hay buen acercamiento, se aceptan en ambos programas informáticos.

M_p



Para el MP, se presentan en β y η de Reliasoft, respectivamente 1.14 y 93, frente a los Weibull Excel que son 1.1 y η de 95; con una vida media en Reliasoft de 89 en comparación con una en Excel de 92; todo se ve muy similar y se toman como válidos en los cuatro parámetros.

En general todo se encuentra con valores que no presentan diferencias significativas y cumplen aceptablemente bien.

Por ambos programas Reliasoft y Weibull Excel, en síntesis, al calcular la vida media en cada uno de los tipos de acciones que se analizan, se obtienen resultados similares utilizando la distribución de Weibull o el método puntual, la gran diferencia y ventaja de utilizar métodos de distribución, se encuentra en los parámetros de forma y de vida (β y η), que no ofrece el cálculo puntual (Billington, y otros, 1983) (Makridakis, y otros, 1998) (Mora, 2009).

Ilustración 42 - Resumen y comparación de resultados

	Weibull		Reliasof W6++		Puntual	
	β	η Eta	β	η Eta	β	η Eta
MTBM_C	1.88	153.08	2.03	149.67	1.76	150.20
MTTR	1.94	8.32	2.19	8.04	2.17	7.11
MTBM_P	2.15	416.01	2.66	396.21	4.28	406.16
M_P	1.10	95.44	1.14	93.72	0.94	70.98

4.3.3 Resultados, estrategias y pronósticos

Una vez se procede a obtener los pronósticos con la metodología de series temporales, para los valores de η y β cada una de los cuatro casos: MTBM_C, MTTR, MTBM_P y M_P, de la Disponibilidad Alcanzada, requerida, se obtienen los siguientes valores, que permiten la interpretación a futuro que se manifiesta al final de la sección.

Ilustración 43 - Pronósticos e Históricos CMD

Confiabilidad No Planeada		Mantenibilidad No Planeada		Confiabilidad Planeada		Mantenibilidad Planeada		Confiabilidad No Planeada	Mantenibilidad No Planeada	Confiabilidad Planeada	Mantenibilidad Planeada
Beta $MTBM_c$ de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBM_c$	Beta $MTTR$ de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTTR$	Beta $MTBM_p$ de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_p$	Beta M_p de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M_p	$MTBM_c$ Calculado	$MTTR$ Calculado	$MTBM_p$ Calculado	M_p Calculado
2.31	70.08	3.06	6.05	12.76	340.67	0.87	25.93	62.08	5.40	327.20	27.88
1.44	106.66	3.95	5.82	13.24	347.80	0.96	20.15	96.83	5.27	334.47	20.51
1.71	105.27	1.84	8.29	13.17	354.99	1.02	16.71	93.89	7.36	341.32	16.59
1.69	120.91	1.81	7.51	12.56	350.03	0.77	28.94	107.94	6.68	335.99	33.79
1.78	112.61	2.02	7.48	13.04	353.51	0.88	27.59	100.18	6.63	339.79	29.34
1.64	131.25	2.02	7.08	12.82	350.07	0.80	38.16	117.42	6.28	336.27	43.25
1.42	160.15	2.10	7.48	10.75	345.14	0.75	50.92	145.60	6.62	329.34	60.76
1.49	152.37	2.15	7.19	1.51	388.55	0.73	62.97	137.66	6.37	350.58	76.70
1.54	159.74	2.00	6.71	1.59	385.03	0.74	71.41	143.74	5.95	345.46	85.87
1.48	150.07	2.02	6.47	1.64	389.56	0.79	68.49	135.75	5.74	348.50	78.03
1.56	150.72	2.12	6.41	1.71	386.99	0.80	76.41	135.46	5.67	345.18	86.73
1.64	151.26	2.16	6.25	1.76	387.59	0.84	71.77	135.34	5.54	345.08	78.87
1.67	156.73	2.25	6.30	1.83	384.14	0.83	79.38	140.04	5.58	341.37	87.34
1.69	162.22	2.28	6.17	1.88	384.55	0.87	80.38	144.79	5.47	341.39	86.26
1.76	160.34	2.37	6.15	1.87	405.81	0.90	80.94	142.74	5.45	360.30	85.03
1.83	157.83	2.45	6.12	1.86	426.10	0.93	81.48	140.25	5.42	378.41	84.11
1.86	161.08	2.13	6.72	1.90	425.98	0.97	78.55	143.04	5.95	377.98	79.75
1.89	164.05	1.95	7.27	1.92	440.29	1.00	76.07	145.59	6.45	390.60	76.18
1.83	174.09	2.01	7.34	1.95	449.86	1.00	80.70	154.71	6.50	398.89	80.83
1.85	169.86	2.03	7.53	1.93	467.61	1.00	85.07	150.88	6.67	414.72	85.16
1.75	164.13	2.09	7.51	1.97	464.90	1.02	82.38	146.16	6.65	412.13	81.66
1.80	164.48	2.12	7.41	2.01	446.87	0.97	92.79	146.29	6.56	395.98	93.88
1.84	164.55	2.15	7.31	2.05	445.64	0.99	90.23	146.19	6.47	394.79	90.48
1.86	161.25	2.16	7.20	2.08	441.72	1.02	90.39	143.20	6.38	391.26	89.78
1.90	160.03	2.19	7.14	2.12	440.96	1.03	87.00	142.00	6.32	390.53	86.12
1.92	157.07	2.23	7.23	2.15	438.83	1.05	86.93	139.34	6.40	388.63	85.34
1.84	165.34	2.01	7.77	2.18	438.00	1.06	84.96	146.89	6.89	387.89	82.92
1.88	163.64	1.98	7.58	2.21	434.56	1.07	87.38	145.27	6.72	384.86	85.06
1.90	161.75	2.01	7.66	2.06	423.52	1.08	89.70	143.52	6.78	375.17	87.10
1.88	158.35	1.96	7.95	2.09	422.72	1.10	89.59	140.57	7.05	374.41	86.46
1.87	155.55	1.99	8.02	2.12	419.22	1.10	92.57	138.09	7.11	371.28	89.30
1.88	153.08	1.94	8.32	2.15	416.01	1.10	95.44	135.89	7.38	368.42	92.01

Pronósticos

Confiabilidad No Planeada		Mantenibilidad No Planeada		Confiabilidad Planeada		Mantenibilidad Planeada		Confiabilidad No Planeada	Mantenibilidad No Planeada	Confiabilidad Planeada	Mantenibilidad Planeada
Beta $MTBM_c$ de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBM_c$	Beta $MTTR$ de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTTR$	Beta $MTBM_p$ de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_p$	Beta M_p de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M_p	$MTBM_c$ Calculado	$MTTR$ Calculado	$MTBM_p$ Calculado	M_p Calculado
1.82	146.85	2.07	7.90	2.28	402.19	1.10	96.92	130.51	7.00	356.27	93.56
1.86	143.62	2.13	7.81	2.52	396.42	1.11	97.37	127.55	6.92	351.79	93.76
1.91	143.12	2.25	7.67	2.47	400.12	1.11	101.38	126.98	6.79	354.93	97.59
1.99	137.22	2.34	7.51	2.42	414.48	1.13	101.96	121.61	6.66	367.49	97.50
2.09	132.76	2.15	8.16	2.43	408.05	1.14	98.06	117.59	7.22	361.83	93.58
2.03	139.15	2.19	8.35	2.42	416.29	1.18	95.02	123.29	7.40	369.11	89.84
1.76	153.99	1.90	9.16	2.94	405.51	1.12	105.15	137.11	8.13	361.77	101.01
1.85	142.37	1.95	8.65	1.46	434.35	1.05	116.37	126.46	7.67	393.33	114.25
1.86	133.43	1.90	8.44	1.54	423.64	1.09	118.44	118.49	7.49	381.39	114.58
1.84	125.22	1.85	8.25	1.62	415.66	1.09	119.20	111.24	7.33	372.23	115.36
1.86	129.59	1.95	8.19	1.75	405.49	1.08	121.61	115.09	7.26	361.12	118.22
1.88	121.70	1.99	8.07	1.95	410.34	1.11	115.94	108.02	7.15	363.87	111.66

Ilustración 44 - Análisis betas No Planeados con historia y pronósticos

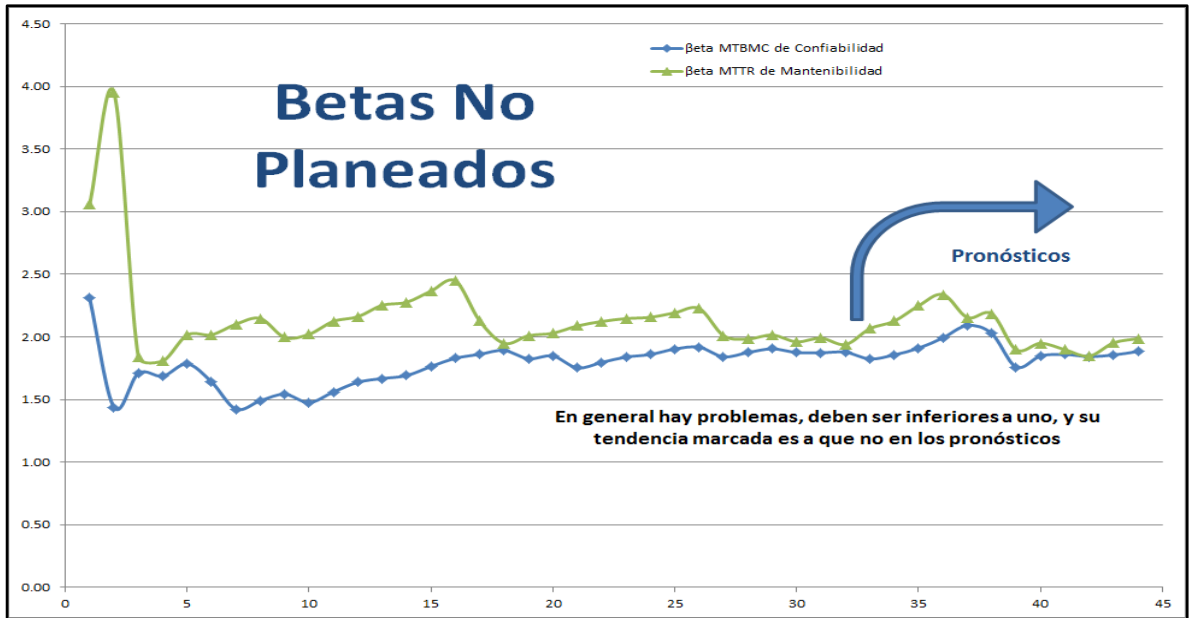
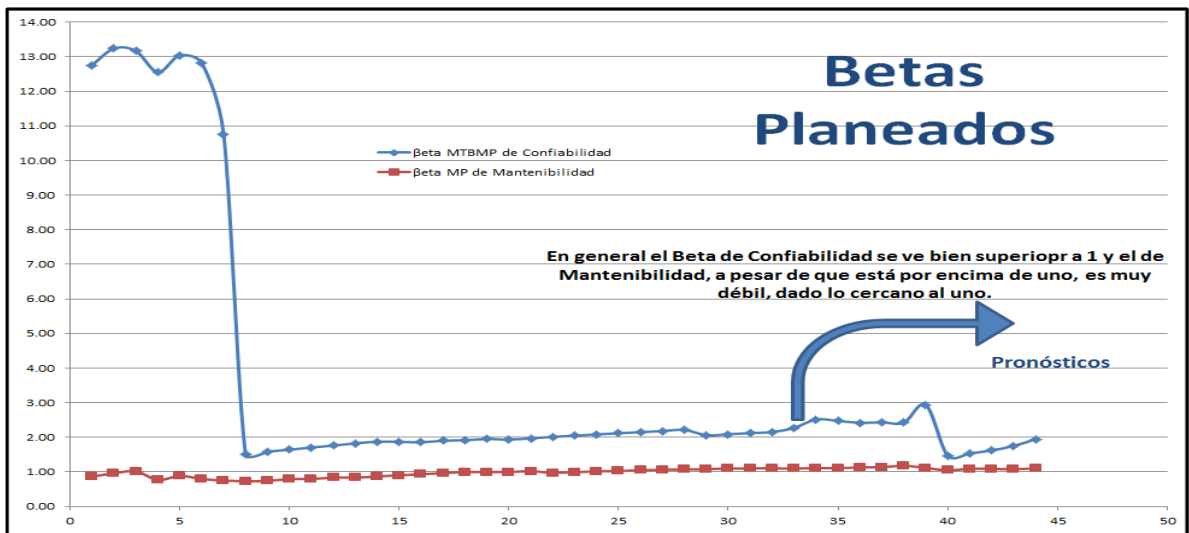


Ilustración 45 - Análisis betas Planeados con historia y pronósticos

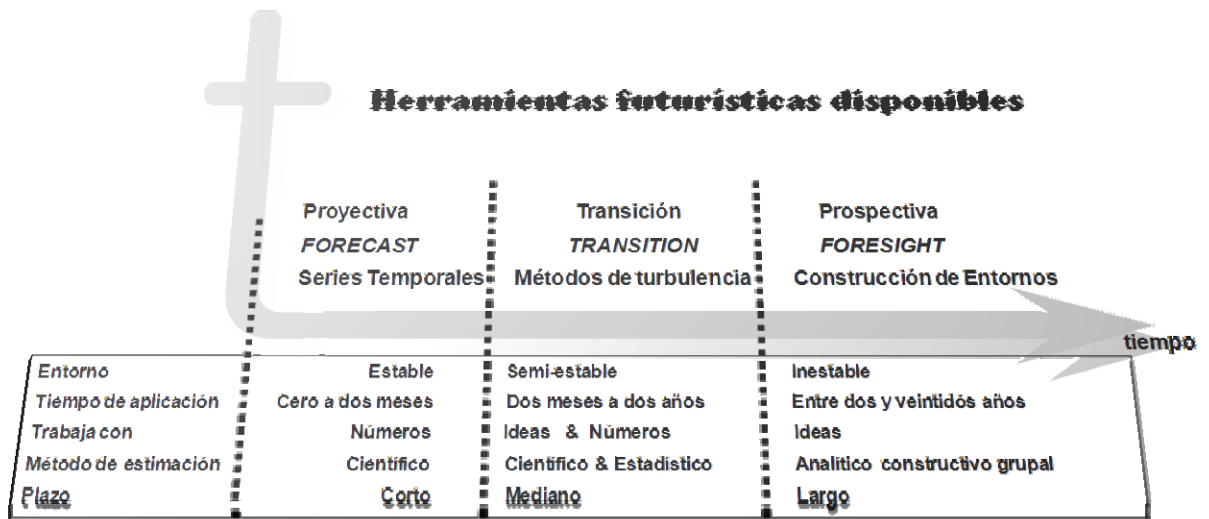


Inicialmente el análisis es sobre los factores de forma beta de los históricos, presentes y futuros.

Para pronosticar valores a corto plazo se utilizan métodos de series temporales, los cuales basan sus resultados en una extrapolación de los datos pasados hacia el futuro. Este tipo de metodologías reciben la denominación de estudios proyectivos, al igual que los modelos AR.I.M.A., aunque estos últimos no son necesariamente una extensión del pasado (Mora, 2012).

De acuerdo con la aplicación, además de los estudios proyectivos, existen los estudios de turbulencia o transición, que ofrecen pronósticos cuando hay un cambio en la estabilidad del entorno y los estudios prospectivos, que son una combinación de varios métodos y aplican para entornos inestables.

Ilustración 46 - Métodos futurísticos actuales



(Mora, 2012)

Los métodos proyectivos parten de la premisa de que el entorno sobre el cual se desarrolla la variable que se pronostica es estable e independiente, es decir, no se conocen las causas de su variación. Se asume que esta variación depende principalmente de circunstancias endógenas.

Normalmente, el pronóstico de las series temporales tiene mayor probabilidad de ocurrencia, ya que trabaja con números, mientras que en la prospectiva o en la turbulencia hay más incertidumbre.

Los modelos proyectivos multivariados se fundamentan en la no correlación entre las variables analizadas, por lo cual se condiciona su aplicación en este caso, aunque para los análisis de una sola variable son muy acertados.

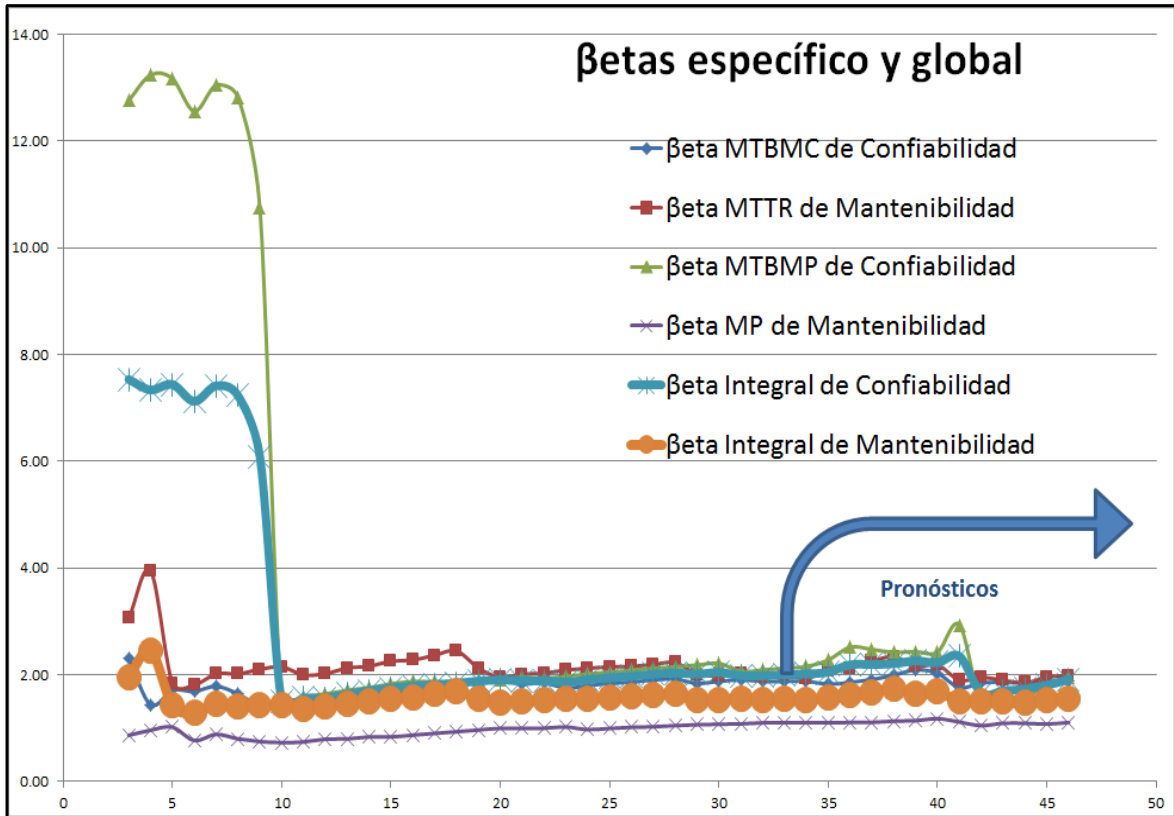
La metodología para pronosticar con series temporales se resume en los siguientes pasos:

Ilustración 47 - Metodología universal de pronósticos

METODOLOGÍA UNIVERSAL DE PRONÓSTICOS	MÉTODO CIENTÍFICO
<p>Paso 1- Análisis previo de la serie de demanda</p> <ul 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 <ul 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> <ul 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 período 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 período</p>	

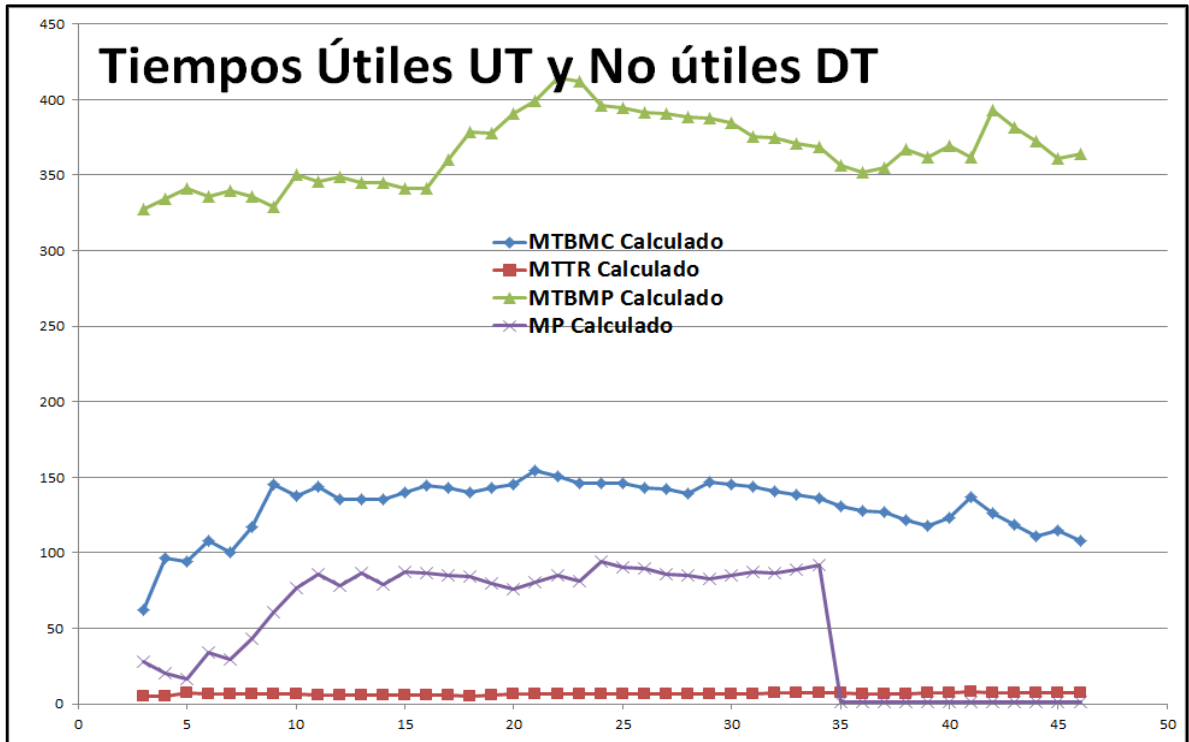
(Mora, 2012)

Ilustración 48 - Valores de los parámetros β .



Desde esta gráfica aparece el único evento especial, el cual es que los valores de β para los dos parámetros No Planeados, debería ser inferior a uno, por la escala de la Curva de Davies o Bañera, esto parece tener su causa en la no realización y por ende eliminación activa de las causas raíces de las fallas, se manifiesta también, de manera demasiado evidente, unos tiempos muy bajos en la funcionalidad entre eventos correctivos o sea en el $MTBMC$, lo cual refleja la aparición súbita (en tiempos muy inferiores a la media y de los valores de la tabulación de los tiempos de funcionalidad planeados $MTBMP$), también es importante señalar que los valores de Beta para el $MTBMP$ está bien, por encima de uno, pero no así en el M_P donde el deber ser señala que debe ser superior a uno, y esto no es claro, es decir, sus valores históricos y futuros son casi uno o levemente superior, pero no de forma contundente.

Ilustración 49 - Tiempos Útiles

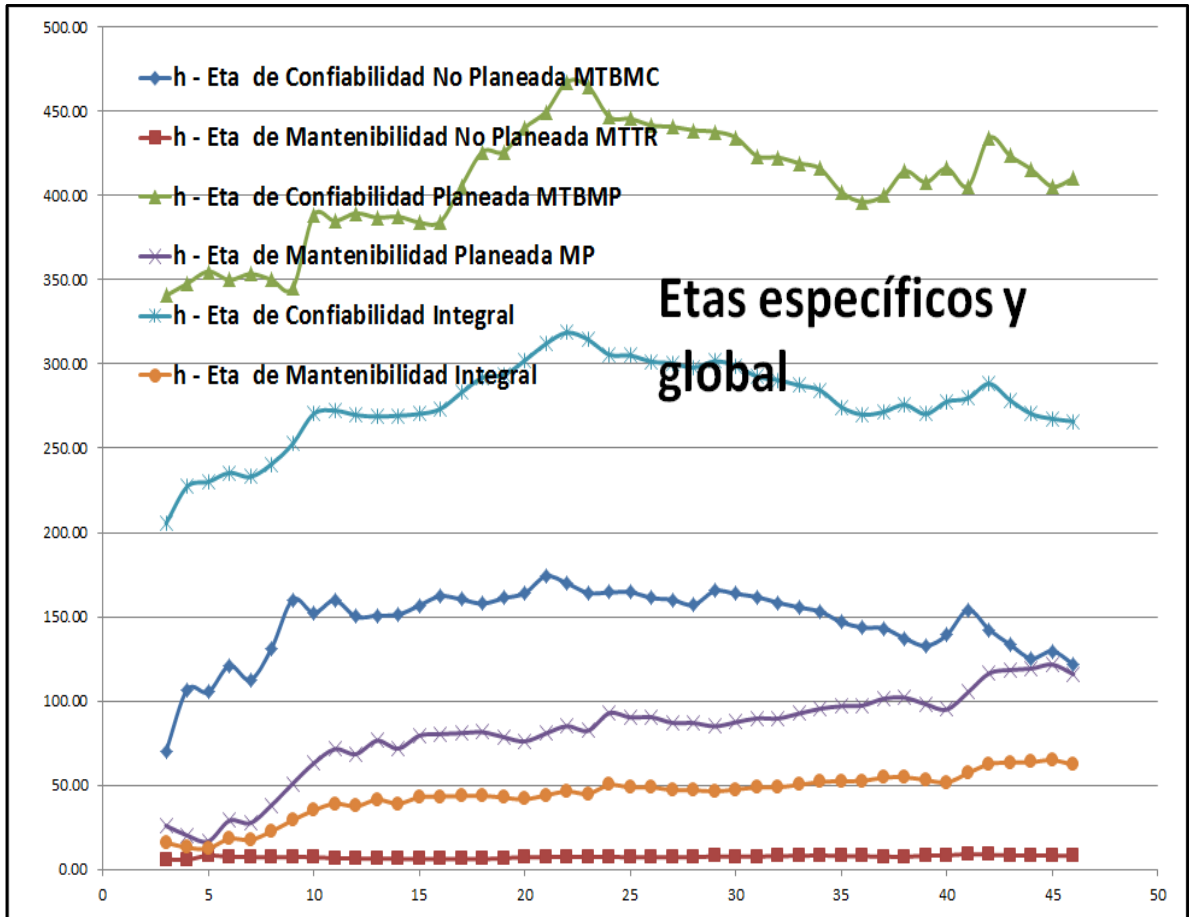


Se aprecia de manera clara la gran diferencia entre los tiempos de funcionalidad entre actividades predictivas y/o preventivas cercano a 355 horas, frente a los tiempos de funcionamiento entre correctivos de aproximadamente de 130, la causa de esta parece ser solo una, un falta de control entre las causas de fallas correctivas, las cuales tienen una frecuencia muy alta de aparición y en especial la no aplicación de análisis de búsqueda de la cusa raíz parta su erradicación parcial y total, sostenible en el tiempo.

Al igual el β bajo en la mantenibilidad planeada, estriba en la razón de que cuando se demostró que los eventos de mantenimiento en los camiones Caterpillar son no correlacionados e independientes entre sí, parece ser que la causa en una no programación y planeación del mantenimiento de forma integral, es decir que al no haber cauda raíz probablemente muchos de los preventivos y/o predictivos, no aminoran las paradas imprevistas, es decir el deber ser es trabajar análisis de fallas en las fallas imprevistas, de manera integral con el mantenimiento planeado, con mediciones y verificación de haber eliminado las fallas derivadas del análisis FMECA.

En conclusión en los Betas solo se aprecia especialmente la ausencia de un sistema análisis de falla estructurado y sostenido en el tiempo, con los mantenimientos planeados, debe manejarse integralmente ambos mantenimientos.

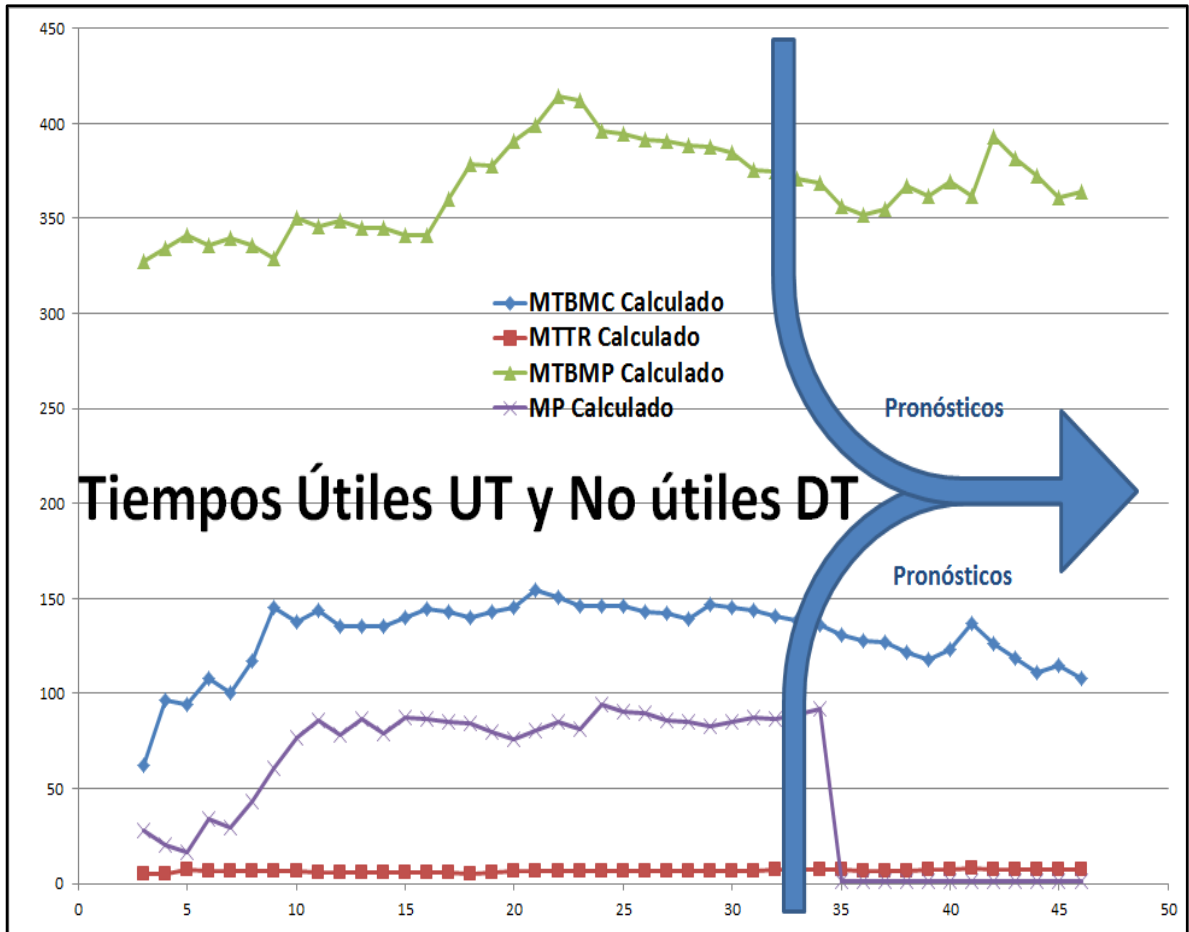
Ilustración 50 - Valores de los η Etas Factor de Escala



Es relevante resaltar que el factor de escala, es mayor en los tiempos entre planeados, más no así entre los tiempos no planeados, al igual en los mantenimientos es bajo; todo conlleva a lo mismo, el gran problema de los camiones está en un correctivo sin análisis sólido de análisis de falla y actividades de mantenimiento planeados no integrales con lo correctivo.

Lo relevante en los η Etas, es un efecto de la estrategia de análisis de fallas recomendada, anteriormente para eliminar los tiempos correctivos, causados por pérdidas de funcionalidad entre no planeados, de manera intempestiva, los valores de Etas refuerzan dicha situación y falta de control en lo correctivo.

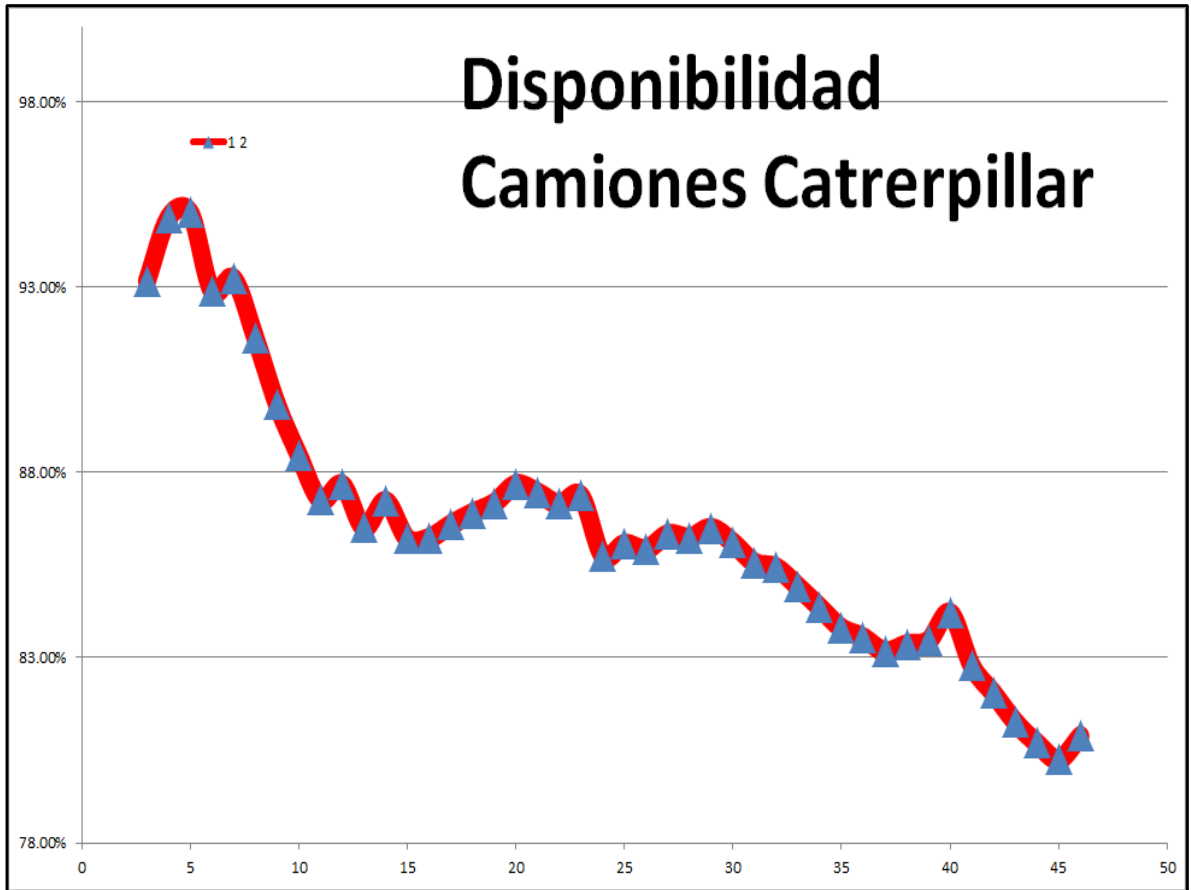
Ilustración 51 - Tiempos útiles de Funcionalidad o de Mantenimiento



Resalta nuevamente los pequeños tiempos $MTBMC$ frente a los normales $MTBMP$.

En síntesis la principal y única estrategia a implementar, sosteniendo lo preventivo & predictivo, que ya se realiza; es fortalecer el análisis de fallas de causa raíz y hacer un plan sostenido y sostenible para su pronta erradicación, lo que incide inmediata y notablemente en el aumento de los tiempos de funcionalidad entre correctivos, mejora los tiempos de acciones de reparación y lleva los valores de β en los no planeados de Confiabilidad y Mantenibilidad, a valores normales, inferiores a uno en Weibull; aunque es obligatorio en el caso de los Camiones integrar ambos análisis con lo del mantenimiento planeado, pues lo que se aprecia es que están desconectados, al igual se debe enfatizar más en lo predictivo, más que en lo preventivo, para que el Beta del Mp crezca a valores siquiera cercanos al 3, actual en el 1.

Ilustración 52 - Disponibilidad histórica y futura

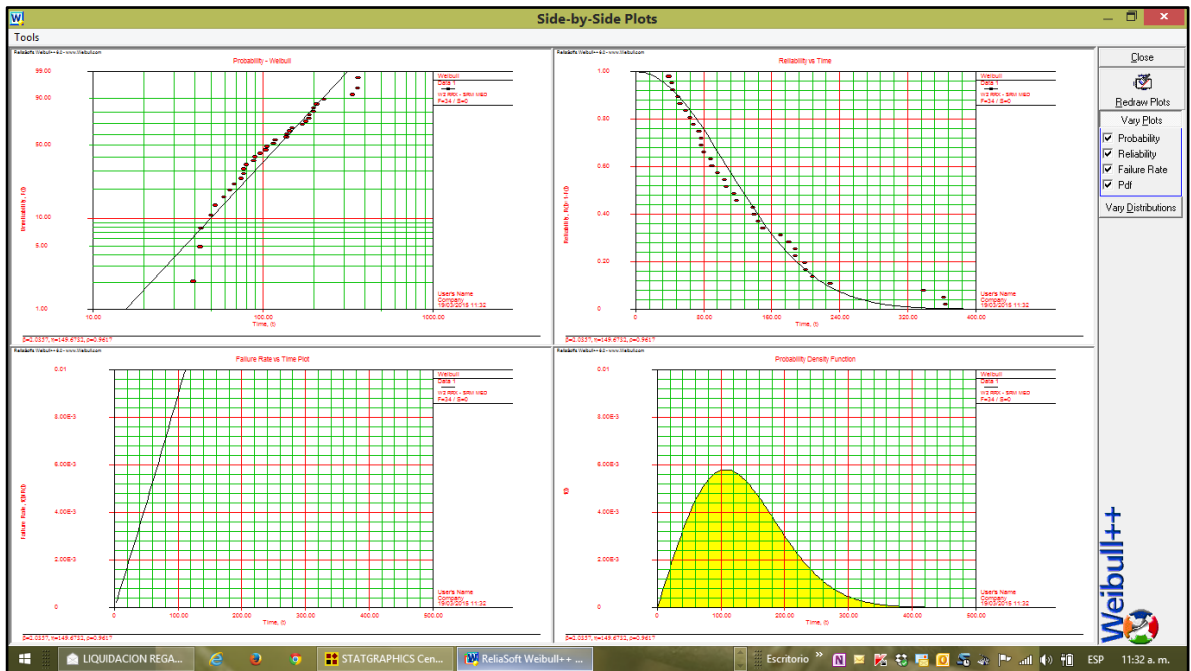


La disponibilidad, se mantiene en niveles meramente aceptables, al mejorar los tiempos útiles entre correctivos, o al desaparecer estos, indudablemente sube sustancialmente, mejorando todos los indicadores de costos y de desempeño CMD de los Caterpillar.

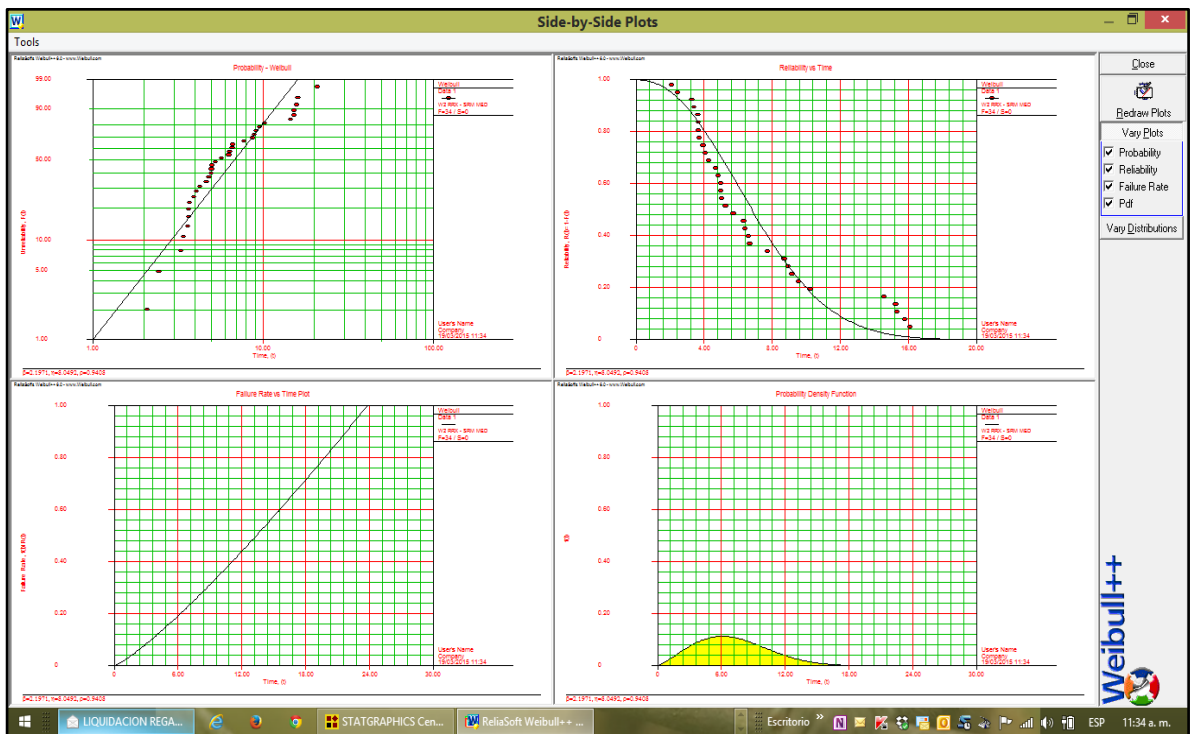
Otras valoraciones, permiten cuantificar y verificar que los análisis anteriores con Weibull cumplen a cabalidad y con demasía las expectativas esperadas y la estrategia recomendada única.

Ilustración 53 - Curvas Alineación, $f(t)$, $F(t)$, Hazard, Mantenibilidad de Reliasoft

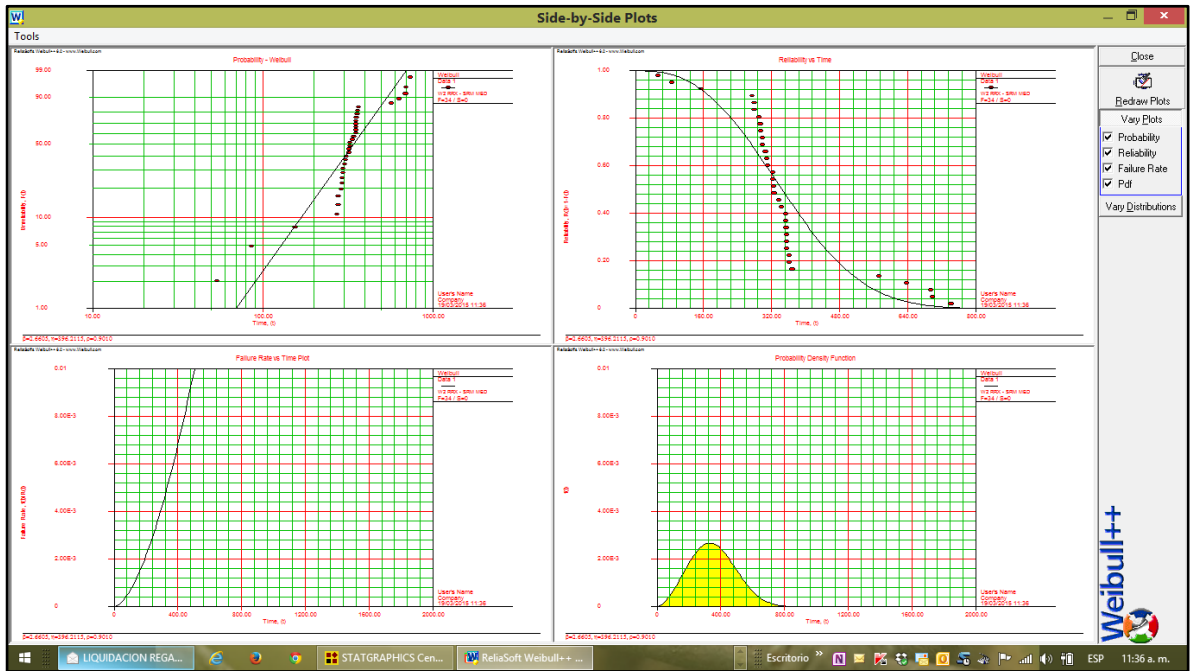
MTBM_C



MTTR



MTBM_p



M_p

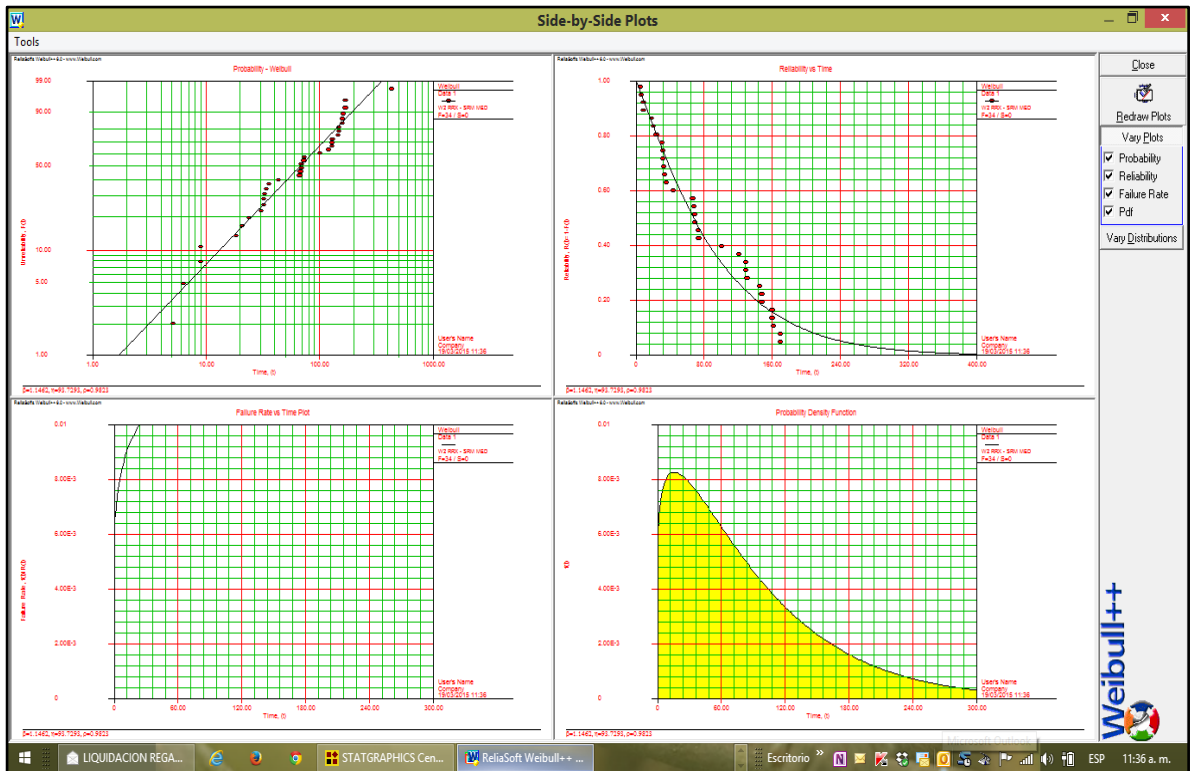
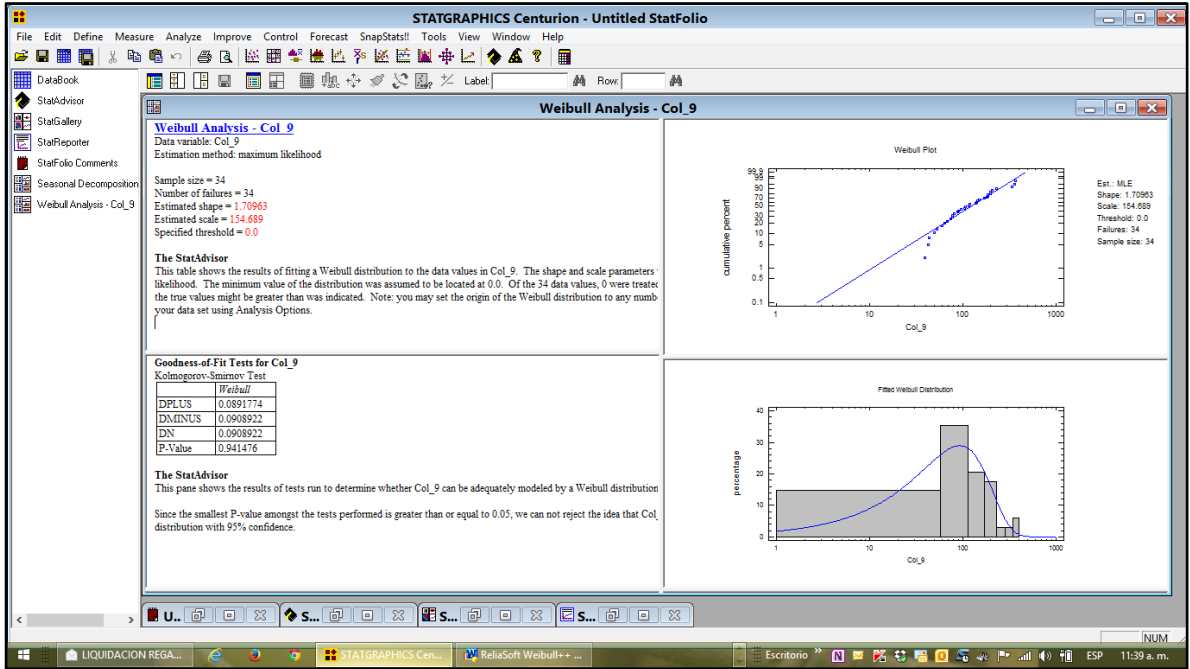
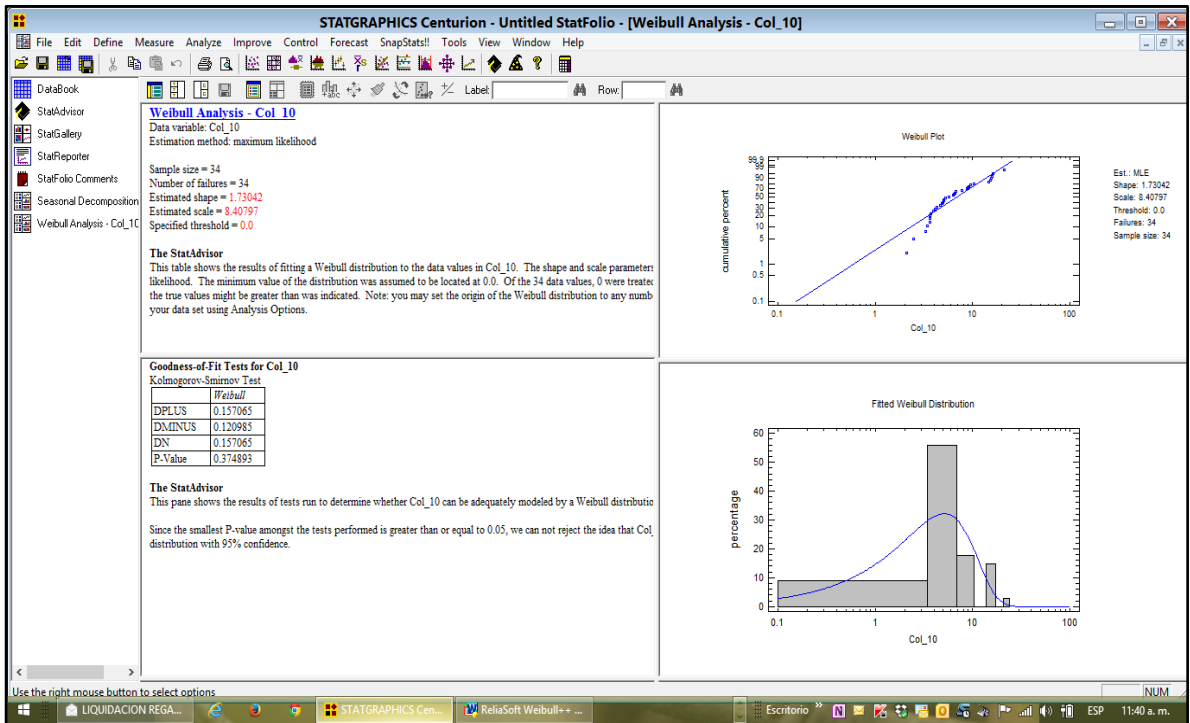


Ilustración 54 - Cálculos CMD con software Statgraphics Centurion

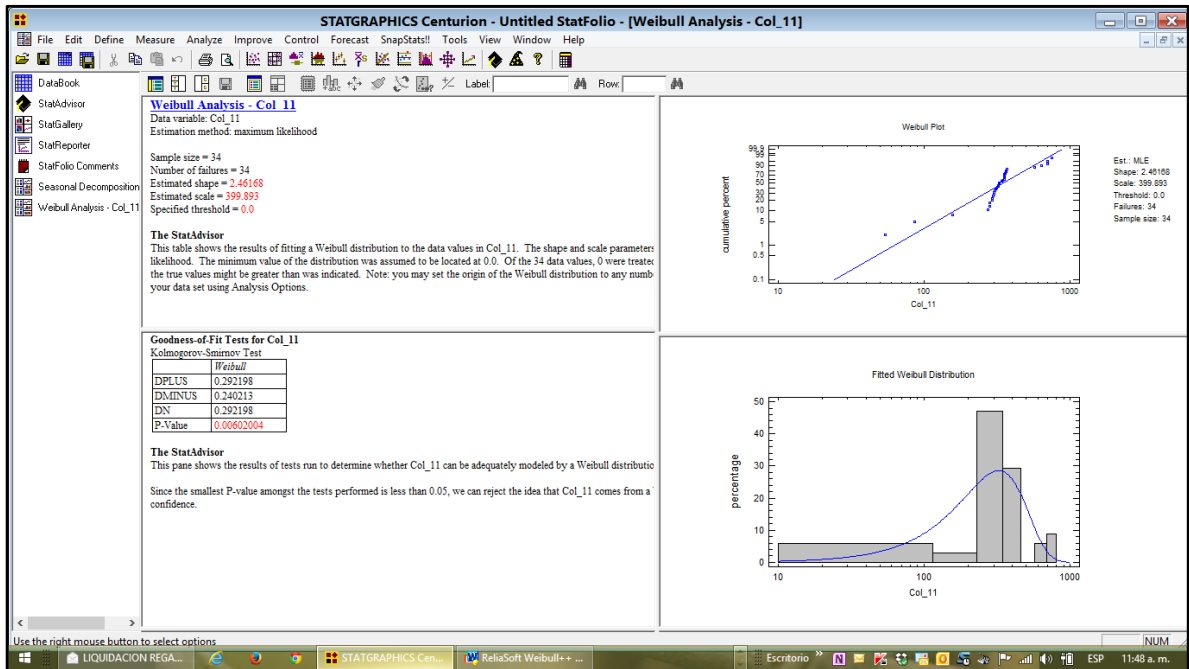
MTBM_C



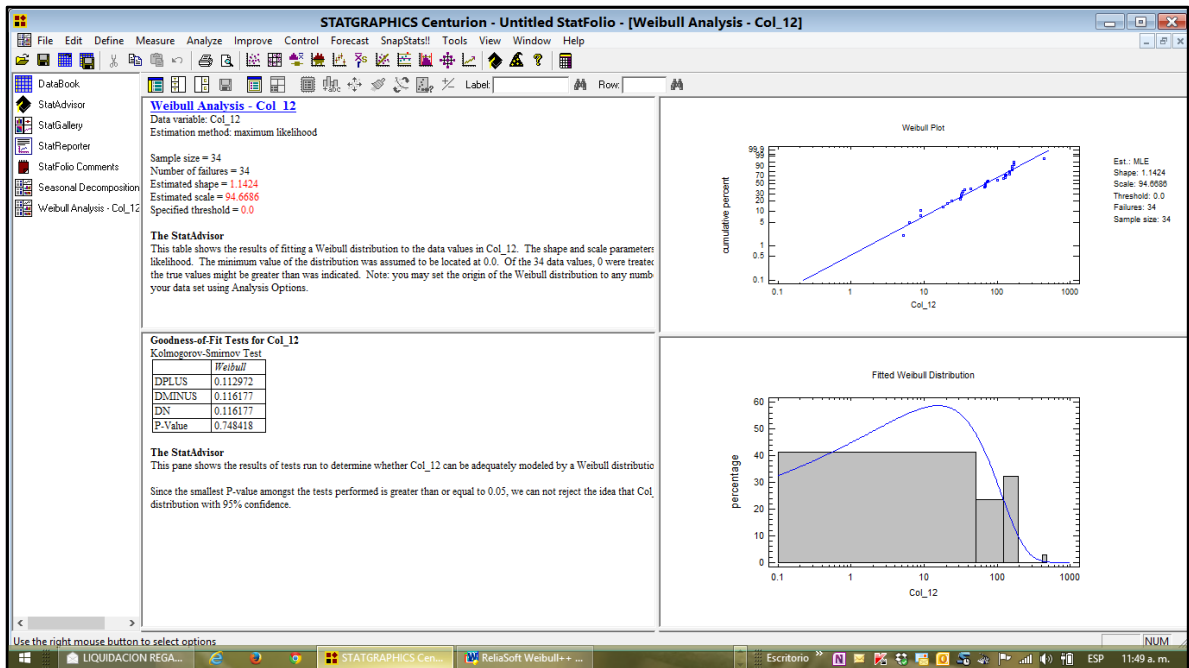
MTTR



MTBM_P



M_P



Nuevamente se reafirman, en la cercanía los valores estimados de Beta y Eta, para cada uno de los cuatro parámetros $MTBM_C$, $MTTR$, $MTBM_P$ y M_P , en los programas Excel, Reliasoft y este último Centurion de Statgraphics, con lo cual se consolidan los análisis, los pronósticos y la estrategia única recomendada.

El análisis de los tiempos de utilidad del equipo, como los tiempos de actividades de reparación o de mantenimiento, tanto en el mapa planeado como en el no planeado; entrega información muy clara y útil sobre la concentración de esfuerzos a realizar en cada uno de los cuatro tiempos.

4.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO 4

Los diferentes desarrollos, análisis y estudios propuestos en el objetivo se cumplen en cantidad y calidad, de ellos derivan una estrategia única y vital, la cual consiste en aplicar y fortalecer el análisis de falla para encontrar la causa raíz de las paradas imprevistas y poder de esta forma mejorar los tiempos de funcionalidad entre correctivos, en conjunto integrado con los planeado, cambiando todo lo preventivo, por predictivo, e intensificando este; que son la principal razón de la pérdida de Disponibilidad general del sistema Camión Caterpillar.

Los conceptos de CMD permiten entender las recomendaciones generales dadas en lo general y en lo específico en cada uno de los análisis que se presentan en la sección de este capítulo final.

5 CONCLUSIONES

5.1 OBJETIVO 5

Presentar los principales resultados.

5.2 CONCLUSIONES GENERALES

El análisis exhaustivo, profundo, serio, matemático, estadístico, riguroso y con pronósticos de los parámetros e indicadores CMD, permite tomar decisiones confiables y certeras a future, en el caso particular, lo más resaltante es la independencia de las cuatro variables encontradas en confiabilidad y mantenibilidad, al igual los valores altos de los dos Betas No planeados y el valor Beta bajo de la Mantenibilidad Planeada, conlleva a una sola estrategia única y contundente.

5.2.1 Estrategia

Realizar un proceso serio y sostenido de análisis de causa raíz, para eliminar rotundamente todas las fallas imprevistas en el corto plazo, realizando este proceso de planeación y programación del mantenimiento, en forma conjunta y analítica con el mantenimiento preventivo y predictivo, intensificando profundamente este último y realizando un proceso integral en la mantenibilidad planeada y no paleada.

BIBLIOGRAFÍA

Aven, T. 1999. *Availability Formula for Stand by Systems of Similar Units That Are Prevently Maintained.* s.l. : IEEE Transactions and Reliability, 1999. Vol. 39.

Azoff, E. 1994. *Neural Network Time Series Forecasting of Financial Markets.* s.l. : John Wiley & Sons, 1994.

Barlow, Richard E., Proschan, Frank y Hunter, Larry C. 1995. *Mathematical Theory of Reliability.* New York : John Wiley & Sons, Inc, 1995. 9780520270251 .

Barringer, H. Paul. 1996. *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability.* Humble : Barringer & Associates, Inc, 1996.

Bazovsky, Igor. 1961. *Reliability Theory and Practice.* New Jersey : Prentice-Hall, 1961. 9780486438672.

Billington, Roy y Allan, Ronald. 1983. *Reliability Evaluation of Engineering Systems.* London : Pitman Advanced Publishing Program, 1983. 9780306412967.

Blanchard, Benjamín S, Verma, Dinesh y Peterson, Elmer. 1994. *Series Nuevas dimensiones en Ingeniería - Mantenibilidad: a key to effective serviceability and maintenance management.* s.l. : Edit. Wiley Interscience - Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. pág. 560. ISBN: 0486438678.

Blanchard, Benjamín S. 1995. *Ingeniería Logística – Traducido de Logistics Engineering and Maintenance – ISDEFE.* Madrid : ISDEFE© - Monografías.com, 1995. pág. 153. ISBN: 84-89338-06X.

Blanchard, Benjamin S., Verma, Dinesh y Peterson, Elmer L. 1995. *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management.* New York : John Wiley & Sons, Inc, 1995. 978-0471591320.

Bloom@, Benjamin. 2014. Clasificación de Bloom. *Taxonomía de los objetivos educacionales.* [En línea]
http://cmaps.conectate.gob.pa/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1189491719498_981864839_519162&partName=htmltext, 17 de Febrero de 2014. [Citado el: 21 de Septiembre de 2008.] Se conoce como la escala de niveles de objetivos de Bloom, Barret y Gagné.
<http://www.cyta.com.ar/elearn/wq/bloom.htm>.

Carrion, Andres - Garcia. 1999. *Pronosticos con series temporales - Memorias, ensayos y documentos publicados por la Universidad Politecnica de Valencia.* Valencia : Universidad Politecnica de Valencia, 1999.

- Chinrungrueng, C. 1988.** *Analysis of simple neural networks. Master's Report.* Berkeley : University of California, 1988.
- Chou, Ya-Lun. 1977.** *Análisis Estadístico.* México : Editorial Interamericana, 1977. 968-25-0208-X.
- Collantes Duarte, Joanna Veronica . 2001.** *Prediccion con redes neuronales - Comparacion con las metodologias de Box y Jenkins.* Merida : Universidad de los Andes, 2001.
- Díaz, Ángel - Matalobos. 1992.** *Confiabilidad en Mantenimiento.* Caracas : Ediciones IESA, 1992. 978-980-217-068-5.
- Díaz, Matalobos - Ángel. 1992.** *Confiabilidad en mantenimiento.* Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.
- Duffuaa, Salih O., Raouf, A. y Campbell, John Dixon. 2000.** *Sistemas de Mantenimiento. Planeacion y control.* Mexico : Editorial Limusa, 2000. 968-18-5918-9.
- Ebeling, Charles. 1997.** *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.* New York : McGraw-Hill, 1997. 0-07-0188521.
- Ebeling, Charles E. 2005.** *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.* [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.
- Escobar R., Luis, Valdes H., Julio y Zapata C., Santiago.** *Redes Neuronales Artificiales en predicción de Series de Tiempo. Una aplicación a la Industria.* Buenos Aires : Universidad de Palermo.
- ESReDA. 2001.** *Handbook on Maintenance Management.* Hovik : Det Norske Veritas, 2001. 8251502705.
- Fernandez Redondo, Mercedes. 2001.** *Hacia un diseño optimo de la arquitectura de multilayer feedforward.* s.l. : Universidad Jaume I, 2001.
- Forcadas, Jorge. 1983.** *Estadística aplicada a los sistemas & Confiabilidad en los sistemas.* Medellín : Revista Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos, 1983. Vol. 1.
- Fritsch, J. 1996.** *Modular Neural Networks for Speech Recognition. Master's Thesis.* Pittsburgh : Carnegie Mellon University, 1996.
- Garcia, Ana - Sipols y Simón, Clara - De Blas. 2007.** *Manual de estadística.* Madrid : Dykinson, S.L., 2007. 978-84-9849-139-5.
- Gnedenko, Boris y Ushakov, Igor. 1995.** *Probabilistic Reliability Engineering.* New York : John Wiley & Sons, Inc, 1995. 978-0471305026.

González, Francisco Javier - Fernández. 2004. *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión.* [ed.] S.A. ARTEGRAF. Primera. Madrid : Fundación CONFEMETAL, 2004. pág. 260. ISBN: 84-96169-36-7.

Halpern, Siegmund. 1978. *The Assurance Sciences: An Introduction to Quality Control and Reliability.* New Jersey City : Editorial Prentice Hall, Inc Professional Technical, 1978. ISBN: 0130496014.

Hanke, John E. y Reitsh, Arthur G. 1996. *Pronósticos en los Negocios.* México : Prentice Hall, 1996. 9702607590.

Haykin, Simon. 1999. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation.* Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999. 81-7808-300-0.

Isasi, Pedro - Viñuela y Galvan, Ines M. - Leon. 2004. *Redes de Neuronas Artificiales Un enfoque practico.* Madrid : Pearson Educacion, S.A., 2004. 84-805-4025-0.

Kaastra, L y Boyd, M. 1996. *Designing a Neural Network for forecasting Financial and Economic Time Series.* s.l. : Neurocomputing, 1996.

Kapur, Kailash C. y Lamberson, Leonard R. 1977. *Reliability in engineering design.* [ed.] Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research Wayne State Univ. Primera. Detroit USA : John Wiley and Sons, Inc., New York, 1977. pág. 606. Org Wayne State Univ., Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research. ISBN-13: 978-0-471-51191-5.

Kececioglu, Dimitri. 1995. *Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering.* New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.

Kelly, Anthony y - Harris, M. J. 1998. *Gestión del mantenimiento industrial.* Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar, 1998. 84-923506-0-1.

Kelly, Anthony y Harris, M. J. 1998. *Gestión del Mantenimiento Industrial.* [ed.] S.A. Gráficas Mar-Car. Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. pág. 218. ISBN: 84-923506-0-1 – T.

Knezevic, Jezdimir. 1996. *Mantenibilidad.* Madrid : Editorial ISDEFE, 1996. ISBN: 84-89338-08-6.

—. **1996.** *Mantenimiento.* Madrid : Isdefe, 1996. 9788489338098.

Leemis, Lawrence M. 1995. *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods.* New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.

Leemis, Lawrence M. 1995. *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey : Prentice Hall, 1995. 9780137205172.

Levin, Richard. 1997. *Estadística para administradores*. New Jersey : Editorial Prentice-Hall, 1997. 9688806757.

—. **1988.** *Estadística para Administradores*. México : Prentice Hall, 1988. 968-880-152-6.

Levin, Richard y Rubin, David. 2004. *Estadística para administración y economía*. Ciudad de México : Pearson Educación, 2004. 970-26-0497-4.

Lewis, Elmer E. 1987. *Introduction to Reliability Engineering*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1987. 9780471811992.

Makridakis, Spyros y Wheelwright, Steven C. 1998. *Métodos de Pronósticos*. México : Limusa Noriega Editores, 1998. 9681848799.

Makridakis, Spyros y Whellwright, Steven. 1978. *Forecasting Methods and applications*. New York : Jhon Wiley & Sons, 1978. 0471937703.

Maquinariaspesadas@. 2014. www.maquinariaspesadas.org. www.maquinariaspesadas.org. [En línea] 2014. www.maquinariaspesadas.org.

Martin, Bonifacio - del Brio y Sanz Molina, Alfredo. 2007. *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*. Mexico : Alfaomega, 2007. 978-970-15-1250-0.

Mehrotra, Kishan, Mohan, Chilukuri K. y Ranka, Sanjay. 1996. *Elements of Artificial Neural Networks*. s.l. : A Bradford Book, 1996. 978-0262133289.

Mendehall, William. 1997. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencia*. 13a ed. Mexico : Prentice Hall, 1997, 1997. pág. 744. 0-02380581-1..

Methodologica. **Ladiray, Dominique y Quenneville, Benoît. 2000.** [ed.] Laboratoire de Méthodologie du Traitement des Données - UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES. 200 - 2001 - Nos. 8 - 9, Bruxelles - Belgique : REVUE DES TECHNIQUES, MÉTHODES ET INSTRUMENTS, Abril de 2000, REVUE DES TECHNIQUES, MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE RECHERCHE EN SCIENCES HUMAINES, pág. 236. Traducción al castellano: Eduardo CRIVISQUI - Véase sección 2.2. ISSN: 0778-7553.

Miklos, Tomás y Telo, María Elena. 1997. *Planeación Prospectiva: Una estrategia para el desarrollo del futuro*. Ciudad de México : Editorial Limusa, 1997. 968-18-3848-3.

MiningCat@. 2014. *Camiones*. *Camiones*. [En línea] 2014. Mining.cat.com.

Modarres, Mohammed. 1993. *What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis*. New York City : Editorial Marcel Dekker, 1993. pág. 351. ISBN: 082478958X.

Mora, Alberto - Gutiérrez. 2011. *Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control*. Bogotá : AlfaOmega editores Internacional, 2011. pág. 678. Sexta Edición. ISBN 978-958-682-769-0.

— **2007b.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial*. Primera. Medellín : Fondo Editorial FONEFIT, 2007b. pág. 345. ISBN 978-958-8281-46-9.

— **2006.** *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*. Envigado : AMG, 2006. ISBN 978-958-44-0233-2.

— **2009.** *Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios*. Envigado : AMG, 2009. pág. 305.

— **2012.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. 2. Medellín : Coldi, 2012.

— **2014.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Tercera. Medellín : COLDI Limitada, 2014. pág. 348. ISBN 978-958-98902-0-2.

— **2007.** *Pronósticos de demanda e inventarios*. Envigado : AMG, 2007. ISBN 978-958-44-0233-2.

— **2007c.** *Pronósticos de demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos*. [ed.] Ultragráficas Ediciones. Medellín : AMG, 2007c. ISBN: 978-958-44-0233-2.

Mora, Luis Alberto - Gutiérrez. 2006. *Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios*. Envigado, Colombia : Editorial AMG, 2006. 958-33-8218-3.

Mora, Luis Alberto - Gutierrez. 2012. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Envigado : Coldi Ltda, 2012. 978-958-98902-0-2.

— **2009.** *Pronósticos de Demanda e Inventarios*. Envigado, Colombia : Editorial AMG, 2009. 978-958-44-0233-2.

Mora, Luis Alberto - Gutiérrez. 2009. *Pronósticos de Demanda e Inventarios*. Envigado, Colombia : Editorial AMG, 2009. 978-958-44-0233-2.

Mora, Luis Alberto - Gutierrez. 2012. *Pronósticos de demandas e inventarios. Metodos futurísticos*. Envigado : AMG, 2012. 978-958-44-0233-2.

Mora, Luis Alberto. 2009. *Mantenimiento Planeación, ejecución y control*. Ciudad de México : Alfaomega, 2009. pág. 528. ISBN: 978-958-682-769-0.

Nachlas, Joel. 1995. *Fiabilidad*. Madrid : Isdefe, 1995. 8489338078.

— **1995.** *Fiabilidad*. Madrid : ISDEFE, 1995. ISBN: 84-89338-07-8.

Navarro, Luis - Elola, Pastor, Ana Clara - Tejedor y Mugaburu, Jaime Miguel - Lacabrera. 1997. *Gestión integral de mantenimiento.* [ed.] Marcombo Boixareu Editores. Barcelona : Marcombo Boixareu Editores, 1997. pág. 112. ISBN 84-267-1121-9.

O'Connor, Patrick D.T. 2002. *Practical Reliability Engineering.* Cuarta. Stevenage : Wiley - Jhon Wiley & Son, 2002. pág. 540. ISBN: 0-470-84463-9.

O'Connor, Patrick D.T. 1985. *Practical Reliability Engineering.* New York : John Wiley & Son Ltd, 1985.

Pérez, Fredy - Ramírez. 2007. *Introducción a las series temporales.* Medellín : Sello editorial universidad de Medellín, 2007. 978-958-98010-7-9.

RAE@. 2008. Real Academia Española. *Real Academia Española.* [En línea] 2008. www.rae.es.

Ramakumar, Ramachandra. 1993. *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications.* New Jersey : Prentice-Hall, 1993. 9780132767590.

—. **1996.** *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications.* New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1996. pág. 482. ISBN: 0132767597.

Reliasoft@. 2008. <http://www.Reliasoft@.es>. <http://www.Reliasoft@.es>. [En línea] 2008. <http://www.Reliasoft@.es>.

—. **2000.** <http://www.Reliasoft@.es>. <http://www.Reliasoft@.es>. [En línea] 2000. <http://www.Reliasoft@.es>.

Repuestos & Mantenimiento. **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2012.** Montevideo : s.n., 2012. Presentada también Congreso UPADI La Habana Julio 2013 - ISBN 978 – 959 – 247 – 094 – 1. ISBN 978 – 959 – 247 – 094 – 1.

Repuestos@, Criticos. 2006. Mantenimiento planificado. *Repuestos críticos.* [En línea] 23 de Octubre de 2006. [Citado el: 18 de Enero de 2011.] www.repuestoscriticos.com.ar.

Revista Dinero. 2014. Mineros Buscan Apoyo Institucional Para Ser Competitivos. [ed.] Angel Urdinola. 17 de 9 de 2014.

Rey, Sacristán Francisco. 1996. *Hacia la excelencia en Mantenimiento.* [ed.] S.L. Tgp Hoshin. Madrid : Tgp Hoshin, S.L., 1996. pág. 411. ISBN 84-87022-21-9.

Russel, Stuart J. y Norvig, Peter. 2003. *Artificial Intelligence. A Modern Approach.* New Jersey : Prentice Hall, 2003. 0131038052.

Samarasinghe, Sandhya. 2007. *Neural Networks for Applied Sciences and Engineering.* Boca Raton : Auerbach Publications, 2007. 13:978-0-8493-3375-X.

Sánchez, Paola y Velásquez, Juan D. 2010. *Problemas de investigación en la predicción de series de tiempo con redes neuronales artificiales.* Medellín : Avances en Sistemas e Informática, 2010. 16577663.

Sanger, T. 1989. *Optimal Unsupervised Learning in Feedforward neural.* Massachusetts : Massachusetts Insitute of Technology, 1989.

Santesmases, Miguel - Mestre. 2003. *DYANE 2 Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados.* Madrid – España : Ediciones Pirámide – Grupo Editorial Anaya, 2003. pág. 29. ISBN: 84-368-1557-2.

Shih, Y. 1994. *Neural User's Guide.* s.l. : Cheshire Engineering Corporation, 1994.

Smith, Charles O. 1983. *Introduction to Reliability in Design.* Malabar : Robert E. Krieger Publishing Company Krieger Publishing Company, 1983. ISBN: 0898745535.

StatPoint. 2007. *Manual de Usuario Statgraphics.* s.l. : StatPoint, Inc., 2007.

Todocamiones@. 2014. www.todocamiones.com. *www.todocamiones.com*. [En línea] 2014. www.todocamiones.com.

Viarural@. 2012. www.viarural.com. *www.viarural.com*. [En línea] 2012. www.viarural.com.

Warkerly, Dennis, Scheaffer, Richard y Mendenhall, William. 1986. *Estadística Matemática con Aplicaciones.* Ciudad de México : Grupo Editorial Latinoamericano, 1986. 968-7270-17-9.

Zhang, G. Peter. 2004. *Neural Networks in Business Forecasting.* Hershey : Idea Group Publishing, 2004. ISBN 1-59140-176-3.