

ENFOQUE INTEGRAL DE MANTENIMIENTO IMPLEMENTANDO CMD¹ EN LA
MAQUINA LASER TWIN HS DE LA PLANTA DE MANUALIDADES WASH S.A.S
LAVANDERIA INDUSTRIAL

JUAN CAMILO ORTIZ MEJIA

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

2015

1 CMD - Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

ENFOQUE INTEGRADO DE MANTENIMIENTO IMPLEMENTANDO CMD² EN LA
MAQUINA LASER TWIN HS DE LA PLANTA DE MANUALIDADES WASH S.A.S
LAVANDERIA INDUSTRIAL

JUAN CAMILO ORTIZ MEJIA
TRABAJO DE GRADO MAESTRÍA EN INGENIERÍA

ASESOR
PHD. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

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

2015

² CMD - Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

CONTENIDO

CONTENIDO.....	4
ILUSTRACIONES.....	6
ECUACIONES.....	8
0 PRÓLOGO.....	8
0.1 INTRODUCCIÓN.....	8
0.2 ANTECEDENTES.....	9
0.3 JUSTIFICACIÓN.....	9
0.4 OBJETIVOS.....	10
0.5 GENERAL.....	10
0.6 ESPECÍFICOS.....	10
0.6.1 Uno - Equipo.....	10
0.6.2 Dos - Cálculos CMD.....	10
0.6.3 Tres – Parametrización CMD.....	11
0.6.4 Cuatro - Plan Estratégico.....	11
0.6.5 Cinco - Conclusiones.....	11
0.7 ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	12
0.8 CONCLUSIONES DE CAPÍTULO 0.....	12
1 EQUIPO.....	13
1.1 OBJETIVO 1.....	13
1.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 1.....	13
1.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 1.....	14
1.3.1 Descripción de componentes.....	14
1.3.1.1 Unidad laser (A):.....	14
1.3.1.2 Unidad de control (B).....	16
1.3.1.3 TUBO LASER.....	16
1.3.1.4 Gas de purga.....	19
1.3.1.5 Caja Óptica.....	20
1.3.1.6 Beam expander.....	21
1.3.1.7 Conjunto diodo trazado.....	21
1.3.1.8 Lente de enfoque.....	22
1.3.1.9 Cabezal de marcación.....	23
1.3.1.10 Especificaciones Técnicas.....	24
1.3.1.11 Abertura.....	24
1.3.1.12 Unidad de Control.....	26
1.3.1.13 Cable RF.....	26
1.3.1.14 Unidad PC.....	26
1.3.1.15 Señales y alarmas.....	27
1.3.1.16 Puesta en marcha.....	28
1.3.1.17 Refrigeración.....	33
1.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1.....	36
2 EQUIPO.....	37
2.1 OBJETIVO 2.....	37
2.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 2.....	37
2.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 2.....	37
2.3.1 Niveles de mantenimiento.....	38
2.3.2 Generaciones de mantenimiento.....	39
2.3.3 Tipos de mantenimiento.....	41
2.3.4 Terotecnología.....	42

2.3.5	Indicadores CMD.	42
2.3.6	Curva de confiabilidad.	44
2.3.7	Disponibilidad alcanzada (AA).....	52
2.3.8	Distribución Weibull	56
2.4	Metodología para medición CMD	58
2.5	CONCLUSIONES DE CAPITULO 2	64
3	<i>PARAMETRIZACIÓN CMD</i>	3
3.1	OBJETIVO 3	3
3.2	INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 3	3
3.3	DESARROLLO DE CAPÍTULO 3	4
3.3.1	Análisis de Datos y selección de variables	4
3.3.1.1	Procesamiento de Datos.....	5
0.1	CONCLUSIONES DE CAPITULO 3	9
1	<i>ESTRATEGIA CMD.....</i>	11
1.1	OBJETIVO 4	11
1.2	INTRODUCCIÓN DE CAPITULO 4	11
1.3	DESARROLLO DE CAPITULO 4	11
1.3.1	Fundamentación	11
1.3.2	Validación.....	12
1.3.3	Resultados, estrategias y pronósticos	27
1.4	CONCLUSIONES DE CAPITULO 4	42
2	<i>CONCLUSIONES</i>	3
2.1	OBJETIVO 5	3
2.2	CONCLUSIONES generaLES	3
2.2.1	Estrategia	3
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		4
4	<i>EQUIPO.....</i>	3
4.1	OBJETIVO 4	3
4.2	INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 4	3
4.3	DESARROLLO DE CAPÍTULO 4	4

ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 - SECUENCIA LÓGICA DE OBJETIVOS Y CAPÍTULOS	11
ILUSTRACIÓN 2 - AVANCE DEL CAPÍTULO 1	13
ILUSTRACIÓN 3 - EL SISTEMA DE MARCAJE	14
ILUSTRACIÓN 4 - UNIDAD LASER	15
ILUSTRACIÓN 5 - UNIDAD DE CONTROL	16
ILUSTRACIÓN 6 - ESQUEMA DEL LÁSER SLAB REFRIGERADO POR DIFUSIÓN	17
ILUSTRACIÓN 7 - TUBO LÁSER	18
ILUSTRACIÓN 8 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TUBO	18
ILUSTRACIÓN 9 - CARACTERÍSTICAS DEL GAS DE PURGA	19
ILUSTRACIÓN 10 - CAJA ÓPTICA INTERIOR	20
ILUSTRACIÓN 11 - BEAM EXPANDER	21
ILUSTRACIÓN 12 - BEAM COMBINER	22
ILUSTRACIÓN 13 - UBICACIÓN DEL LENTE DE ENFOQUE	22
ILUSTRACIÓN 14 - ESPECIFICACIONES FOCALES	23
ILUSTRACIÓN 15 - CABEZALES DE MARCACIÓN	23
ILUSTRACIÓN 16 - DESVIACIÓN DE HAZ	24
ILUSTRACIÓN 17 - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	25
ILUSTRACIÓN 18 - RF ALIMENTACIÓN DE POTENCIA ¹	26
ILUSTRACIÓN 19 - CABLE POTENCIA RF	26
ILUSTRACIÓN 20 - ALIMENTACIÓN DE POTENCIA CONTINUA ¹	26
ILUSTRACIÓN 21 - UNIDAD PC	27
ILUSTRACIÓN 22 - MODULO CENTRAL DE PC	27
ILUSTRACIÓN 23 - CUADRO DE MANDO	28
ILUSTRACIÓN 24 - CONECTOR WEIDMULLER E INTERRUPTOR DE TENSIÓN DE RED	29
ILUSTRACIÓN 25 - LLAVES DE PASO DEL REFRIGERADOR EXTERNO	29
ILUSTRACIÓN 26 - INDICADOR DE TENSIÓN DE RED Y LLAVE DE SEGURIDAD EL OBTURADOR	30
ILUSTRACIÓN 27 - PANTALLA INICIO DE EASYTWIN	30
ILUSTRACIÓN 28 - LLAVE "LASER OK" DE SEGURIDAD	31
ILUSTRACIÓN 29 - ALARMA	31
ILUSTRACIÓN 30 - LLAVE DE SEGURIDAD DEL OBTURADOR	32
ILUSTRACIÓN 31 - PARO DE EMERGENCIA E INDICADORES DE PARO	33
ILUSTRACIÓN 32 - REQUISITOS TÉCNICOS DE SISTEMA REFRIGERACIÓN	33
ILUSTRACIÓN 33 - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ENFRIADOR	33
ILUSTRACIÓN 34 - CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN	34
ILUSTRACIÓN 35 - ESQUEMA REFRIGERADOR	34
ILUSTRACIÓN 36 - AVANCE DEL CAPÍTULO 1	37
ILUSTRACIÓN 37 - NIVELES DE MANTENIMIENTO	38
ILUSTRACIÓN 38 - GENERACIONES DEL MANTENIMIENTO	39
ILUSTRACIÓN 39 - GENERACIONES DE MANTENIMIENTO Y EXPECTATIVAS	40
ILUSTRACIÓN 40 - TIPOS DE MANTENIMIENTO	41
ILUSTRACIÓN 41 - TIEMPOS IMPORTANTES, SIGLAS Y DEMÁS CMD	43
ILUSTRACIÓN 42 - DOS CURVAS TÍPICAS DE CONFIABILIDAD	46
ILUSTRACIÓN 43 - <i>CURVA DE DAVIES, ACCIONES Y TÁCTICAS ADECUADAS, ACORDE AL VALOR DEL BETA</i>	47
ILUSTRACIÓN 44 - CURVA DE MANTENIBILIDAD TÍPICA	50
ILUSTRACIÓN 45 - TIPOS DE DISPONIBILIDAD	52
ILUSTRACIÓN 46 - MÉTODOS DE DISTRIBUCIÓN PARA ESTIMACIÓN CM	54

ILUSTRACIÓN 47 - COMPORTAMIENTO DE $\Lambda(T)$, $F(T)$ Y $F(T)$ DE ALGUNAS DISTRIBUCIONES 55
ILUSTRACIÓN 48 - NIVELES Y CATEGORÍAS DEL MANTENIMIENTO BAJO ENFOQUE SISTÉMICO 58
ILUSTRACIÓN 49 - NIVEL ESTRATÉGICO - CMD 59
ILUSTRACIÓN 50 - PROCESOS ESTÁNDAR DE CÁLCULO Y PREDICCIÓN CMD..... 61

ECUACIONES

ECUACIÓN 1 - PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE UN EVENTO (FALLA) Y CONFIABILIDAD	45
ECUACIÓN 2 - REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE LA FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD.....	45
ECUACIÓN 3 - REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE LA FUNCIÓN DE MANTENIBILIDAD	49
ECUACIÓN 4 - ECUACIÓN GENERAL DE DISPONIBILIDAD.....	51
ECUACIÓN 5 - DISPONIBILIDAD ALCANZADA (AA)	52
ECUACIÓN 6 - MEDIA DE TIEMPOS ÚTILES	53
ECUACIÓN 7 - MEDIA DE FALLAS O MANTENIMIENTOS	53
ECUACIÓN 8 - TRANSFORMACIÓN VALORES X E Y PARA LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	56
ECUACIÓN 9 - PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	57
ECUACIÓN 10 - DENSIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	57
ECUACIÓN 11 - CONFIABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	57
ECUACIÓN 12 - TASA DE FALLAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	57
ECUACIÓN 13 - CÁLCULOS INCREMENTO. NÚMERO DE ORDEN, DE DATOS CENSURADOS.....	¡ERROR!

MARCADOR NO DEFINIDO.

0 PRÓLOGO

0.1 INTRODUCCIÓN

La industria textil tiene importancia en la económica no sólo por el volumen de producción y la mano de obra empleada, sino también por ser pioneros en la industria que generalmente adquiere importancia en los procesos que generan desarrollo. Sus inicios se remontan después de la época de la Revolución Industrial, pues fue el abandono de la energía animal y la utilización de la hidráulica, las máquinas a vapor, la electricidad, las que dieron un fuerte impulso a esta industria (Tamayo, 2014).

El mantenimiento se puede comprender como el esquema de apoyo que sostiene a la producción y a su vez sirve de mecanismo logístico a todas las áreas para que puedan llevar a cabo su buen desempeño. Debido al avance técnico, tecnológico y científico; la integración en la gestión de mantenimiento que se erige hoy es mucho más especializada, analítica, práctica y rigurosa que la realizada años anteriores.

El mantenimiento a hoy tiene como finalidad conservar los edificios, plantas, equipos e instalaciones en general con un solo fin, cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la funcionalidad específica, para poder ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de producción y calidad de producto (mantenimiento–industrial@2002).

El mantenimiento al interior de una compañía representa una inversión que a mediano y largo plazo acarrea ganancias no sólo para el empresario quien con esta inversión obtiene mejoras en su producción, sino también el ahorro que representa tener trabajadores empoderados de su trabajo con índices de accidentalidad bajos (Mora, 2014).

La empresa, una vez se sitúa dentro de un marco lógico y conceptual de conocimientos y avanza en la consecución de cada una de las etapas que el mantenimiento pretende; llega un momento en el que, el desarrollo de habilidades y competencias, se consolida a través del sistema de información de mantenimiento y producción que a su vez permite implementar los índices e indicadores esenciales a la hora de evaluar los resultados obtenidos y la manera como éstos contribuyen a lograr los objetivos de la compañía.

0.2 ANTECEDENTES

La productividad alcanzada en cualquier sistema industrial, se ve reflejada en su máxima expresión cuando se cuenta con un proceso asertivo en la toma de registros, mediciones y evaluación de los índices básicos de la gestión del mantenimiento (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad) (INTERNAL@2006).

Las tendencias a nivel de gestión en mantenimiento clase mundial a través de sus indicadores y su impacto en la industria en la transformación de materias primas y/o servicios en aspectos gerenciales, tecnológicos, productivos, medioambientales, normativos y educativos, es cada vez mayor e impactante, y busca acceder a la más avanzada información en este campo.

El aumento o disminución de los rendimientos físicos o financieros originados a través de la variación de cualquiera de los factores que intervienen en la producción: trabajo, capital, técnica, etc., y que trae consigo beneficios económicos y sociales dentro y fuera de la compañía y que repercuten directamente en el desarrollo del país y en el estándar de vida de la sociedad se entienden como productividad al interior de una compañía (RAE@2006).

Es importante reseñar que WASH S.A.S en la planta de manualidades Laser, no presenta datos reportados ni una estrategia de mantenimiento para la estimación de los índices CMD, en las máquinas laser Twin Hs (Blanchard, 1995).

0.3 JUSTIFICACIÓN

La misión de mantenimiento es garantizar que el parque industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el cliente (interno o externo) o usuario, con la máxima confiabilidad y fiabilidad durante el tiempo solicitado para operar, con las velocidades requeridas de los equipos, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los compradores o usuarios; con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo y con los mayores índices de productividad y competitividad posibles, para optimizar su rentabilidad y generar ingresos, involucrar siempre el mejoramiento continuo en todas las facetas, al utilizar las mejores prácticas internacionales y científicas, centrado en el servicio al

cliente con la mayor oportunidad, por razón de la investigación y el desarrollo de la tecnología de mantenimiento con base en la ciencia, al establecer habilidades y competencias, con la administración de sistemas de costeo que permitan una facturación adecuada a precios más competitivos que los del medio y tener en cuenta la posibilidad de subcontratación en mantenimiento (Mora, 2014).

La propuesta de este proyecto surge de la necesidad de WASH S.A.S Lavandería Industrial de medir los indicadores CMD en la maquina Laser Twin HS de la planta de manualidades laser que es la encargada de realizar el desgaste en las prendas de índigo-Jeans, proceso principal de ingresos en esta área de la compañía; éste cálculo permite conocer su estado presente y futuro, y ayuda en la toma de decisiones al área de mantenimiento de la planta de acabados manuales (Halpern, 1978).

0.4 OBJETIVOS

La arquitectura de los objetivos utiliza como base la teoría de Bloom y Gagné³ 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

Determinar estrategias y acciones para el estado presente y futuro de la maquina laser Twin HS de la planta de manualidades WASH S.A.S; mediante los cálculos, predicciones, análisis e interpretación técnica de CMD⁴.

0.6 ESPECÍFICOS

0.6.1 Uno - Equipo

Fundamentar los conceptos técnicos del proceso en la máquina laser Twin HS para la aplicación del desgaste de las prendas de Jeans a las luz del mantenimiento - Nivel 1 - Conocer.

0.6.2 Dos - Cálculos CMD

Describir la metodología de medición, calculo, predicción y análisis de los tiempos útiles y de mantenimiento en la maquina laser Twin HS que influyen en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad - Nivel 2 - Comprender.

³ Benjamín Bloom, Robert Gagné, psicólogos norteamericanos destacados por sus publicaciones en el área de aprendizaje

⁴ CMD Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

0.6.3 Tres – Parametrización CMD

Medir los parámetros y algoritmos CMD en la maquina Laser Twin HS, con el fin de predecir su comportamiento en los estados presentes y futuros, calculando los valores de $MTBMc^5$, $MTBmp^6$, $MTTR^7$, y Mp^8 - Nivel 3 - Aplicar

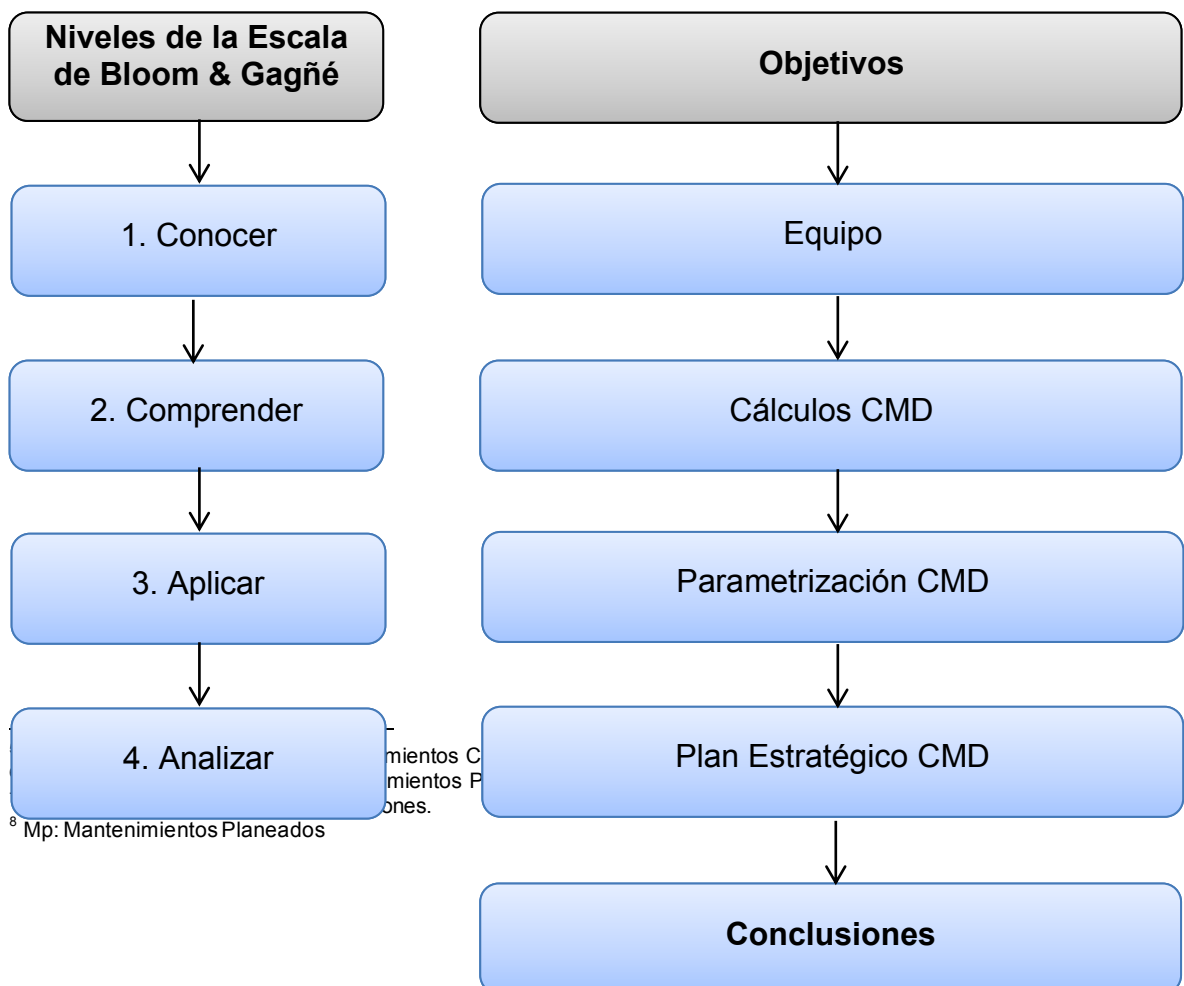
0.6.4 Cuatro - Plan Estratégico

Definir un plan de mejoras de mantenimiento en la maquina Laser Twin HS a partir de la interpretación y análisis de las curvas CMD de confiabilidad, densidad de fallas, mantenibilidad, *hazard*, etcétera; de valores históricos y futuros, derivados de los cálculos CMD - Nivel 4 - Análisis (Bloom@, 2014).

0.6.5 Cinco - Conclusiones

Presentar los principales resultados del proyecto.

Ilustración 1 - Secuencia lógica de objetivos y capítulos



⁵ mientos C
mientos P
ones.
⁸ Mp: Mantenimientos Planeados

(Bloom@, 2014).

0.7 ESTRUCTURA DEL PROYECTO.

El desarrollo se inicia con una fundamentación técnica sobre los elementos relevantes de la máquina en estudio, sus fallas, sus bondades, sus limitaciones, etcétera.

Luego en el segundo objetivo o capítulo se define y se deja clara la formulación y la metodología de cálculos CMD de la máquina.

El tercer capítulo parametriza y aplica los criterios de desarrollo y predicción CMD,. Para poder interpretar las diferentes curvas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, de riesgo, de fallas, etcétera, que permite elaborar en el último capítulo (4°) el Plan estratégico de mantenimiento a desarrollar de inmediato en la máquina laser Twin HS para la aplicación del desgaste de las prendas de Jeans.

0.8 CONCLUSIONES DE CAPÍTULO 0.

La sección aporta la organización y la estructura del proyecto en su desarrollo y realización.

1 EQUIPO

1.1 OBJETIVO 1

Fundamentar los conceptos técnicos del proceso en la máquina laser Twin HS para la aplicación del desgaste de las prendas de Jeans a las luz del mantenimiento - Nivel 1 - Conocer.

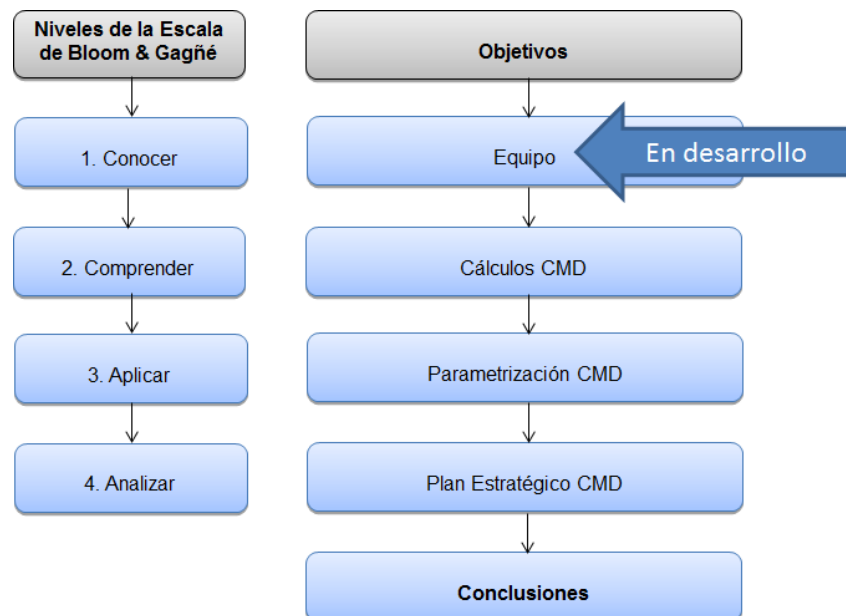
1.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 1

La Compañía de acabados en prendas de Jeans WASH S.A.S nace el 13 de septiembre de 1994, bajo un panorama de desarrollo prometedor si se tiene como referencia los inicios industriales del país para la época. WASH S.A.S., se establece inicialmente en el municipio de Sabaneta (Antioquia – Colombia).

Luego en 2003 se construye las instalaciones en el municipio de la Estrella con el firme propósito de imponer con calidad un sello de reconocimiento a nivel regional local e internacional, construyendo progreso a partir de los acabados en jeans (WASH SAS, 2015).

El siguiente capítulo pretende esquematizar los tiempos necesarios para hacer el cálculo de los índices CMD, y que deben ser analizados una vez se elija la disponibilidad a utilizar en la maquina laser Twin HS previendo las condiciones y descripciones generales de todos los componentes que afectan la disponibilidad y que conducen a fallas en el equipo laser Twin HS.

Ilustración 2 - Avance del Capítulo 1



1.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 1

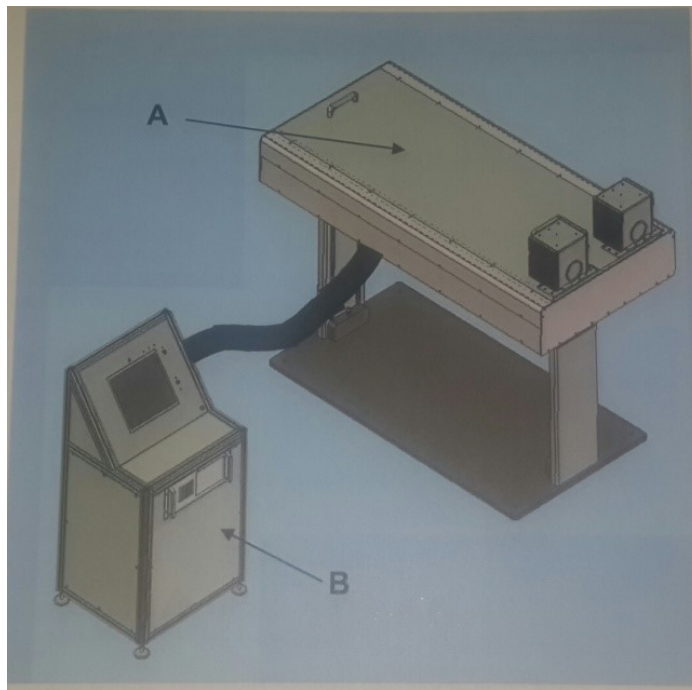
1.3.1 Descripción de componentes

La máquina laser Twin HS es un sistema laser de CO₂ excitado por alta frecuencia, diseñado para aplicaciones industriales como herramienta de cortar, soldar o grabar.

El sistema Twin HS consta de dos unidades una unidad laser (A) con un soporte articulado y el sistema laser y una unidad de control (B) que actúa como sistema de mando, ambos unidos mediante un tubo corrugado que amplía las posibilidades de ubicación del sistema.

Como la Ilustración muestra el sistema se puede dividir en diferentes partes.

Ilustración 3 - El sistema de marcaje



1.3.1.1 Unidad laser (A):

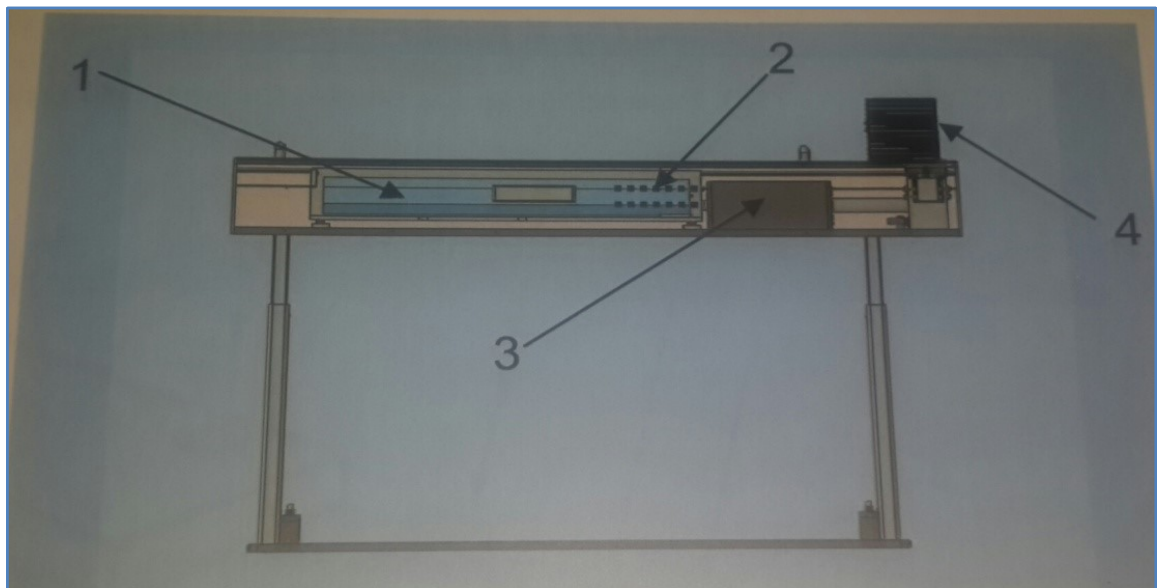
Consta de dos tubos laser cada uno de los cuales se compone a su vez, de un resonador laser (1) donde se encuentra el generador laser, que es el dispositivo que genera la radiación laser para conseguir la impresión. Para conseguir que el haz tenga las características óptimas desde el punto de vista óptico, se acopla un tubo óptico (2) de longitud variable, en función de las características intrínsecas del generador laser, a una distancia inferior a un metro. Todo este conjunto está protegido por un conjunto de tapas, que no deben ser retiradas bajo ningún

concepto, salvo por personal especializado de Easy laser, GFK o los técnicos que hayan realizado el curso de formación adecuado.

Todos los elementos ópticos de la maquina se alojan dentro de la caja óptica (3) que está protegida con una tapa de seguridad, antes de retirar la tapa para efectuar alguna operación, la maquina deberá estar con la llave de seguridad de obturador hacia la izquierda y verificar que el indicador de obturador este apagado.

El cabezal de marcación (4) es el encargado de modular el haz de láser para conseguir la impresión de la imagen que se haya preparado en el programa de diseño. Es un componente muy sensible y debe ser manipulado con cuidado. La salida del láser se produce a través de una ventana de protección, que es único elemento óptico al que se tiene acceso desde el exterior. Esta ventana deberá ser revisada periódicamente y en caso de que se detecte suciedad, se procederá a la limpieza, según se especifica en el apartado que hace referencia a la manipulación de componentes ópticos.

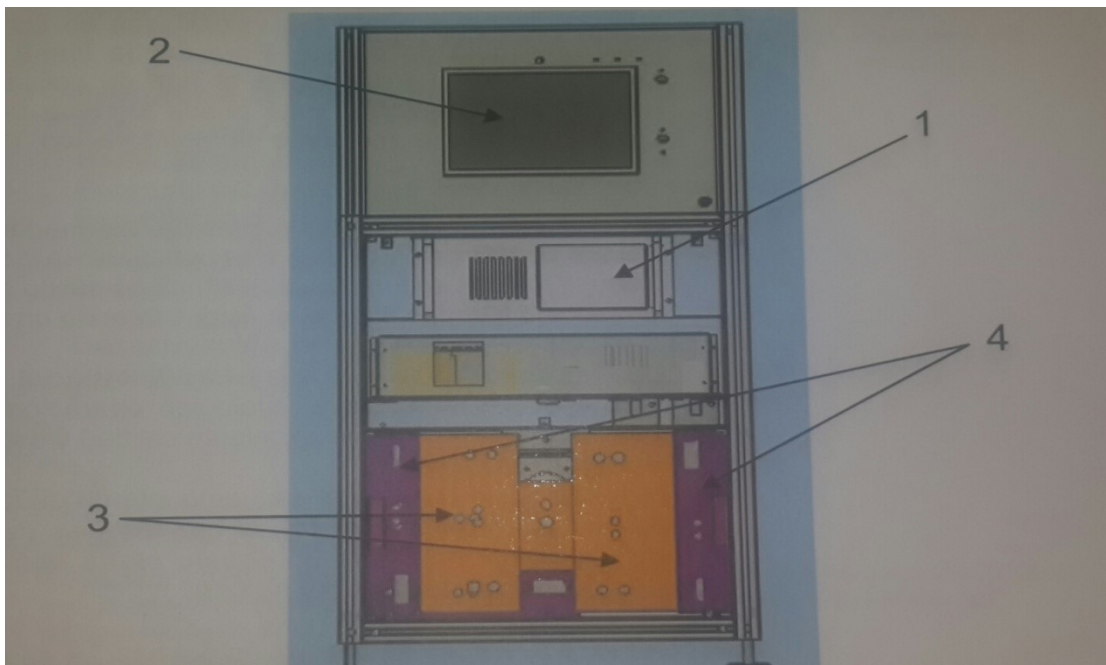
Ilustración 4 - Unidad Laser



1.3.1.2 Unidad de control (B)

Consta de una unidad PC (1) que realiza el control general de la marcación. Dispone de un monitor TFT 17" integrado (2) teclado, mouse y joystick, sobre una consola delante del monitor. Las dos fuentes de DC (3) y las dos fuentes de RF (4) se encuentran en la parte inferior del armario de control, en posición vertical. Las partes sensibles del PC están protegidas con una puerta con llave. Cuando se abre la puerta se tiene acceso a la disquetera, al cd rom, al botón de reset y a la puesta en marcha del ordenador.

Ilustración 5 - Unidad de control

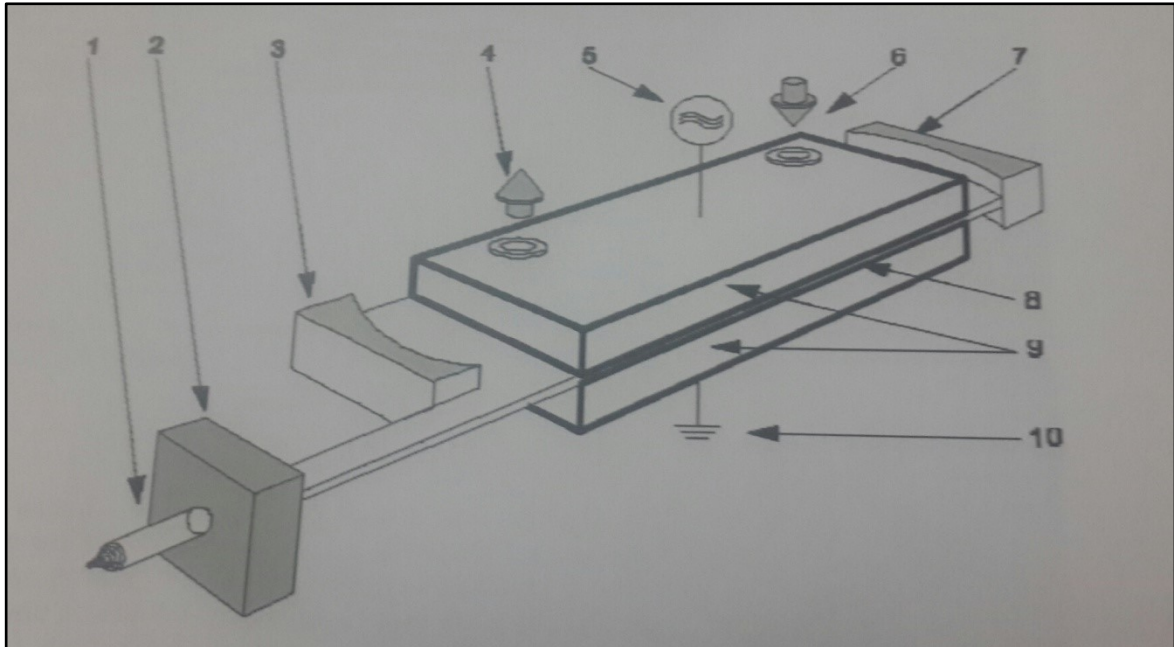


1.3.1.3 TUBO LASER

El láser es un láser de CO₂ excitado por alta frecuencia, refrigerado por difusión de CO₂, diseñado para aplicaciones industriales como herramienta de cortar, soldar o grabar.

La ilustración siguiente, muestra el principio de operación del láser. Se genera una descarga del gas láser (zona activa) (8) entre los electrodos guía de ondas (9) mediante voltaje de radiofrecuencia (5, 10). El espejo trasero (7) y el espejo de salida (3) forman el resonador óptico. Dentro del resonador se produce el haz láser (1), que es emitido por un orificio (2). Para refrigerar los electrodos se utiliza agua (4, 6).

Ilustración 6 - Esquema del láser slab refrigerado por difusión



Debido a la naturaleza de los electrodos en un láser, el haz láser emitido diverge a diferentes velocidades en las direcciones x (espacio libre) e y (guía de ondas). Para dar la forma redondeada al haz es necesario volver a dar forma al haz de salida por medio de ópticas reflectantes correctoras. Esto puede lograrse por medio de elementos ópticos simples o mediante lka combinación de ópticas cilíndricas y esféricas.

Dependiendo de la configuración del resonador, hay también muchos efectos de difracción debido a la óptica de salida del mismo. Ello puede producir lóbulos secundarios en el haz de salida principal, que han de ser raspados o filtrados. Ello se consigue usando un filtro espacial.

Tras la corrección del haz y la filtración espacial. La calidad del haz de un láser es ideal para cualquier operación de procesamiento de material que requiera una excelente calidad y estabilidad.

La ilustración a continuación muestra el esquema interno de la carcasa del láser. Tras abandonar el tubo laser (1), el haz laser es desviado 45 grados de su trayectoria por medio de un espejo plano deflector (2) y es dirigido al módulo de corrección del haz (3).

Dentro del módulo de corrección del haz, un segundo espejo plano dirige el haz laser hacia un elemento esférico reflector, que corrige la forma del haz redondeándola, al mismo tiempo que concentra el haz en el filtro espacial. El espejo esférico desvía luego el haz hacia un espejo plano, el cual dirige el haz

hacia el modulo del filtro espacial (4) que filtra todo lóbulos secundario del haz laser.

Cuando el haz laser abandona el modulo del filtro espacial (4), es dirigido al orificio final de salida (5). Dependiendo de las exigencias especificas del cliente, este elemento transmisor puede ser un orificio simple o una lente.

Ilustración 7 - Tubo láser

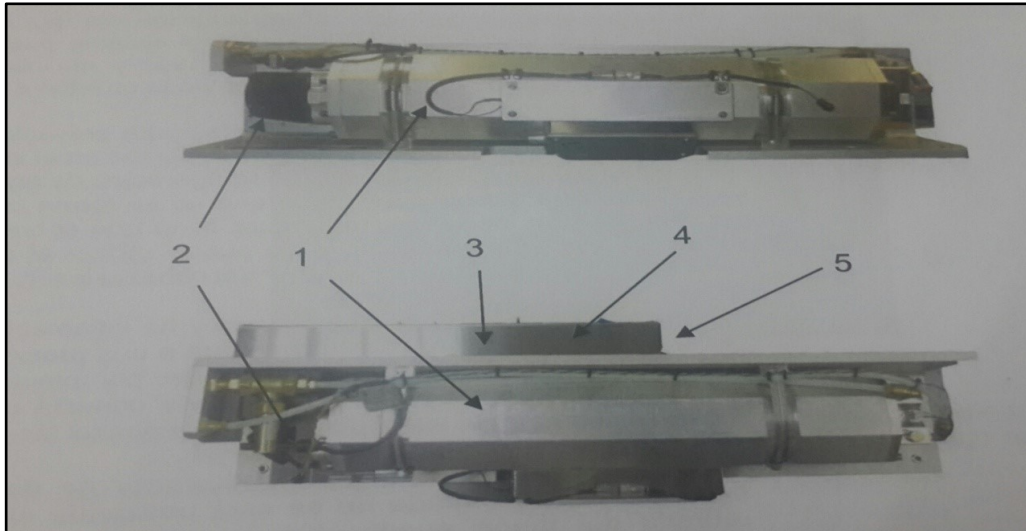


Ilustración 8 - Características técnicas del tubo

Tubo Láser	Cavidad estanca, excitado por RF, refrigerado Por difusión, laser slab de dióxido de carbono
Frecuencia de excitación:	81 MHz
Potencia de salida:	200 vatios [1]
Gama de potencia:	5 – 200 Vatios
Potencia máxima:	100 – 480 Vatios
Estabilidad de potencia:	± 7 %
Frecuencia de pulsos:	hasta 10 KHz [2]
Energía de pulsos:	2,5 – 190 mJ
Tiempo de activación/	
Desactivación de pulsos:	< 45 µs
Dimensiones ext. (mm):	956.0 (L) x 170.7 (A) x 223.6 (A)
Peso:	43,5 kg

1.3.1.4 Gas de purga

El tubo de laser está aislado con material obturador de goma entre la estructura principal y las cubiertas del sistema interior y exterior. En entornos relativamente limpios, estas obturaciones previenen contra las partículas y el ensuciamiento por sedimentaciones en las ópticas y otras partes dentro del cabezal laser.

Los humos, vapor de agua o partículas que contaminen las salidas interna o externa del haz absorberán energía del láser y provocarán fluctuaciones en la potencia y la orientación del haz laser. En lugares donde haya peligro de contaminación, el sistema puede necesitar una alimentación de de gas de purga limpio, seco y no inflamable para una ligera presurización en el cabezal laser y/o la emisión del haz externa.

El gas de purga también puede utilizarse para prevenir condensación en las ópticas refrigeradas por agua y otras piezas en el interior del cabezal. Tenga en cuenta que al utilizar una refrigeración de agua, la temperatura del agua debe ajustarse de modo que no se forme condensación en la tubería, etc., es decir, la temperatura tiene que sobrepasar el punto de rocío. Si esto no fuera posible, se puede utilizar el gas de purga para prevenir condensación en el interior del cabezal laser.

El gas de purga debe de ser limpio, seco y no inflamable, por ejemplo: nitrógeno, aire, etc. El gas de purga se suministrara a una presión aproximada de 2 psi, y una velocidad aproximada de 1 litro por minuto, utilizando tubería de polietileno de 6mm (o ¼”).

La tubería conecta directamente con la conexión rápida en el panel delantero del cabezal laser.

Tenga en cuenta que el tapón obturador no debe retirarse de la conexión rápida cuando no se está utilizando el aire de purga. La retirada del tapón puede abrir una vía de contaminación en el cabezal laser.

La entrada de cualquier sistema compresor de aire debe mantenerse alejada de toda fuente de humos o contaminación por partículas, como puede ser la zona de procesado laser o la boca de escape de cualquier unidad de extracción de gas o partículas de proceso.

Ilustración 9 - Características del Gas de purga

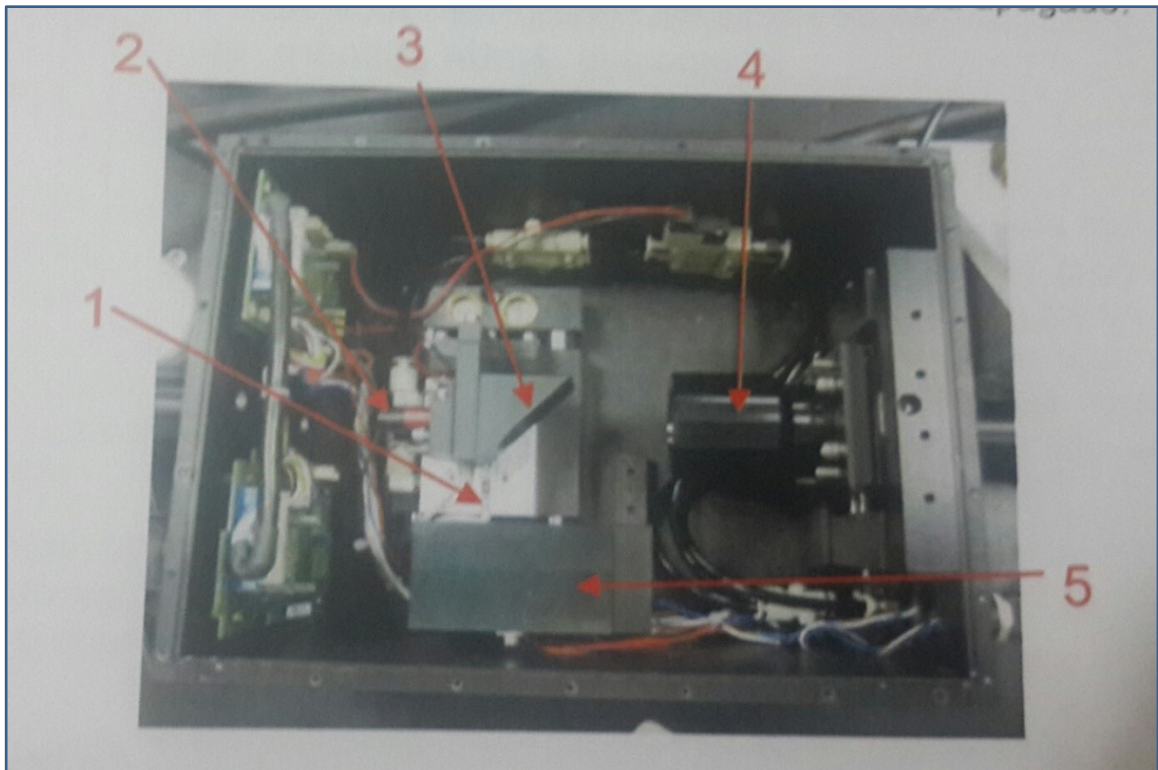
Especificaciones gas de purga:	Nitrógeno:
Pureza:	≤ 4.7
Presión:	1 a 3 psig (0.07 a 0.21 bar)
Caudal:	1 a 2 l/min

Especificaciones gas de purga:	Aire comprimido:
Aceite:	$\leq 0.005 \text{ mg/m}^4$
Agua:	$\leq 0.05 \text{ g/m}^4$
Partículas:	$\leq 0.05 \text{ m}$
Presión:	1 a 3 psig (0.07 a 0.21 bar)
Caudal:	a 2 l/min

1.3.1.5 Caja Óptica

Todos los elementos ópticos de la maquina se encuentran dentro de la caja óptica, que está protegida con una tapa de seguridad. Antes de quitar la tapa para proceder a cualquier operación dentro de la misma, la maquina deberá estar con la llave de seguridad de obturador hacia la izquierda, y verificar que el indicador del obturador está apagado.

Ilustración 10 - Caja óptica interior

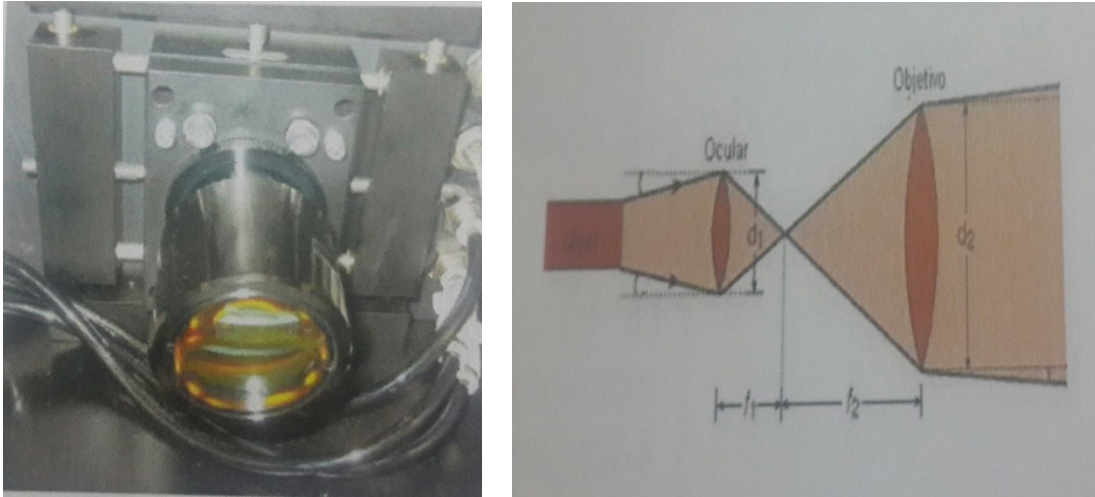


Los elementos que se integran dentro la caja óptica son: el cilindro para diodo trazador (1), el diodo trazador 632 nm (2), el espejo reflector (3), el beam expander (4) y un medidor de potencia (5).

1.3.1.6 Beam expander

El beam expander es el elemento que amplifica el diámetro de haz de salida del láser y así ampliar el grado de focalización del mismo y conseguir que el tamaño a la entrada del cabezal de marcaje tenga 20 milímetros de diámetro. Bajo ningún concepto deberá ser manipulado ni alterado, ya que cualquier pequeño reajuste provocaría la pérdida de las especificaciones de la máquina.

Ilustración 11 - Beam Expander



El Beam Expander se deriva del telescopio desarrollado por Kepler en el siglo XVII y está formado por dos lentes positivas según lo demostrado en la ilustración respectiva.

La primera lente positiva tiene una distancia focal corta y un pequeño diámetro, mientras que la segunda lente positiva tiene una distancia focal larga y un diámetro grande.

En caso de cualquier incidencia sólo puede ser manipulado por personal de GFK.

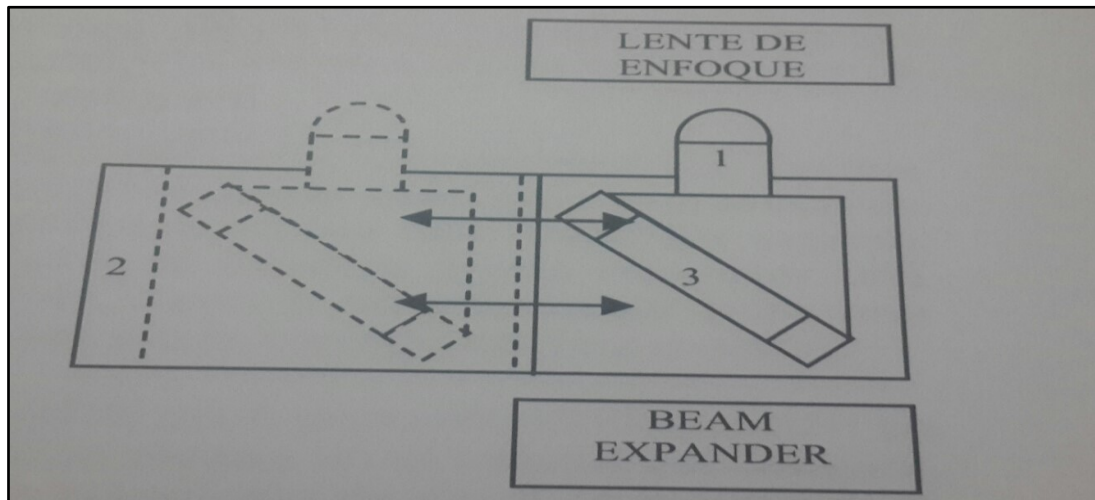
1.3.1.7 Conjunto diodo trazado

El conjunto diodo trazador está formado, por tres elementos concretos:

1. Un diodo laser de luz roja de 632 nm, con un sistema óptico de focalización incorporado
2. Un cilindro de desplazamiento de 40 milímetro, que lleva asociado un espejo. Este cilindro desplaza el espejo y permite que el diodo indique con un punto, un rectángulo, o con una silueta donde se realizara la marcación laser.
3. Un espejo de alta reflexión en el espectro visible.

Estos elementos están ajustados de fábrica y no se necesitan ningún ajuste posterior después de la instalación. La limpieza del espejo debe ser realizado por personal especializado o de GFK.

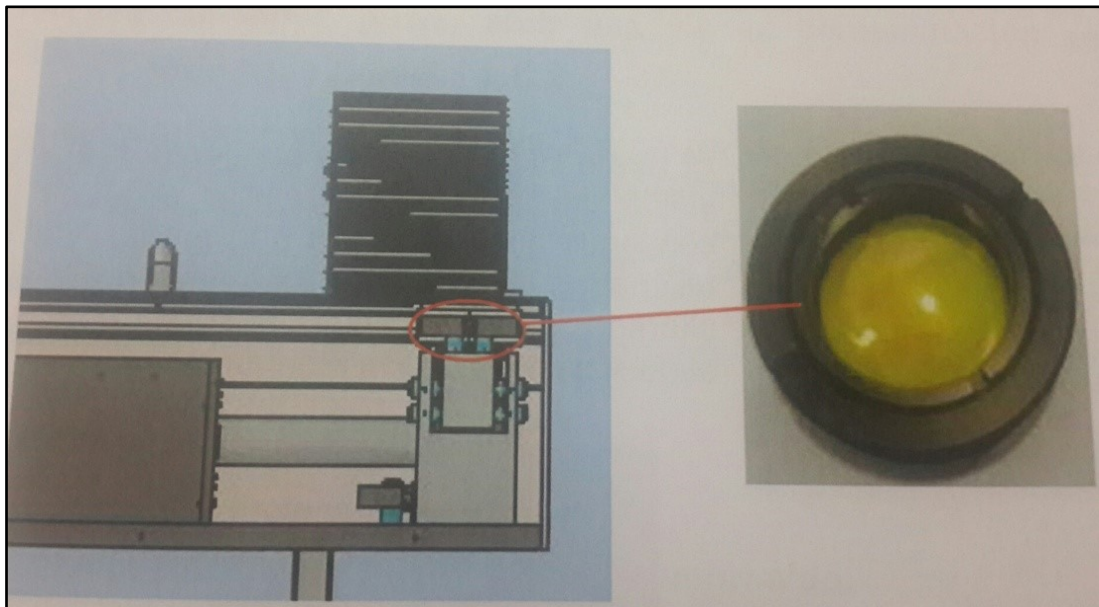
Ilustración 12 - Beam Combiner



1.3.1.8 Lente de enfoque

La lente de enfoque, es el elemento que define el campo de trabajo de la maquina, y que puede ser cambiado según las necesidades de trabajo requeridas. Está situada justo antes de entrar en el cabezal como puede verse en la figura.

Ilustración 13 - Ubicación del lente de enfoque



La manipulación de este elemento se realizara siguiendo las recomendaciones de limpieza y el cambio de lente siguiendo en la parte 4 - Mantenimiento de este manual.

Las lentes estándar, integradas en el Marcatex 500 TWIN, permiten un área de la marcación de 1200 mm x 1200 mm. La ilustración 9 muestra otras lentes y sus especificaciones focales con un haz de entrada de 20 mm de diámetro.

Ilustración 14 - Especificaciones focales

AREA DE MARCACION	DISTANCIA FOCAL	DIAMETRO DEL HAZ
mm	Mm (Aproximada)	mm
800 x 800	1000	0,8
1200 x 1200	1600	1,2 x 1,3

1.3.1.9 Cabezal de marcación

Este elemento es el encargado de modular el haz para conseguir la impresión de la imagen que se haya preparado en el programa de diseño. El método usado por este sistema de marcación es un sistema óptico de escáneres galvanométricos. Puesto que el haz láser no tiene ninguna masa práctica, las limitaciones potenciales en velocidad y exactitud dependen solamente del método usado para mover el haz láser.

Ilustración 15 - Cabezales de marcación

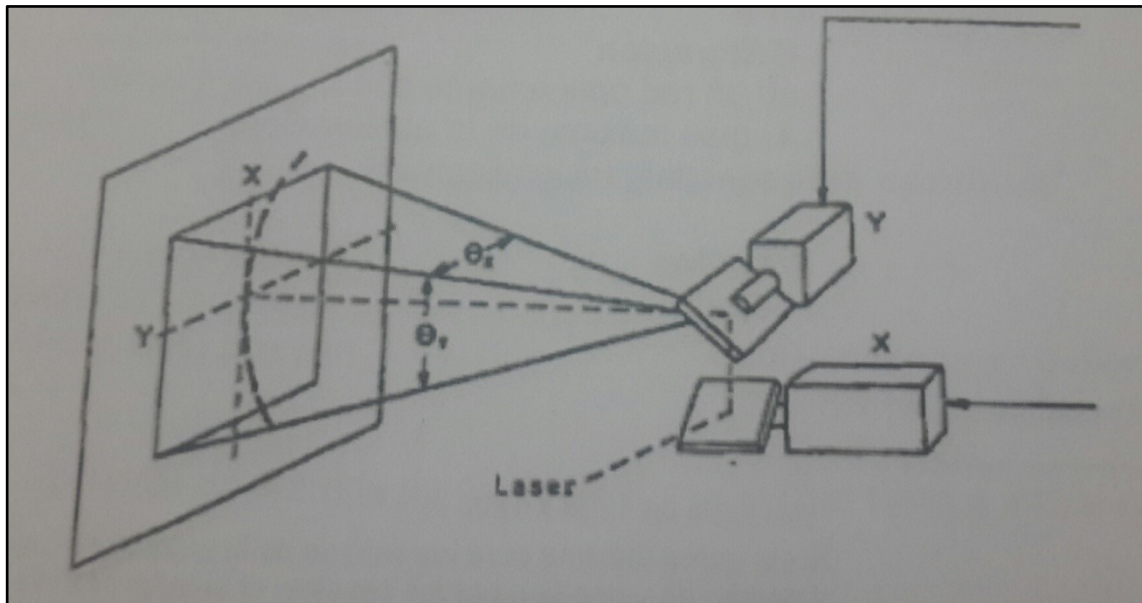


El control del láser se logra usando dos espejos pequeños, ligeros unidos a dos escáneres galvanométricos controlados por computadora. Esto proporciona un

método simple pero eficaz de colocar un haz de laser enfocado en un plano x-y. Cada escáner corresponde a uno del eje (X ó Y) y a las coordenadas de X/Y de cada de los puntos de edición.

Estos escáneres incorporan los espejos cuya función es reflejar el haz de laser hacia la superficie de marcación. Estos espejos tienen alta reflectividad a la longitud de onda del láser para conseguir la energía máxima del haz laser reflejado.

Ilustración 16 - Desviación de haz



La colocación de los escáneres está controlada vía un zócalo de 10 pernos, situado dentro del cabezal de marcación.

El cabezal es un componente muy sensible y debe ser manipulado con cuidado. La salida del laser se produce a través de una ventana de protección, que es el único elemento óptico que se tiene acceso desde el exterior. Esta ventana deberá ser revisada periódicamente y en caso de que se detecte suciedad, se procederá a la limpieza, según se especifica en el apartado que hace referencia a la manipulación de componentes ópticos.

1.3.1.10 Especificaciones Técnicas

1.3.1.11 Abertura

Diámetro máximo del haz laser dentro del cabezal de exploración 20 milímetros.

Ilustración 17 - Especificaciones Técnicas

Desplazamiento del haz:	25,74 mm
Velocidad de marcaje 1:	200 < vel.M < 2000 bits/ms
Velocidad de salto 1:	400 < vel.S < 4000 bits/ms
Respuesta de paso	(Colocando a 1/1000 a gama completa)
1% del gama completa	1,8 ms
10% del gama completa	3,5 ms
Funcionamiento óptico	Funcionamiento óptico
Error de ganancia:	< 5 mrad
Offset:	< 5 mrad
Posición oblicua:	< 1,5 mrad
No linealidad:	< 2,1 mrad
Funcionamiento dinámico	Funcionamiento dinámico
Error que sigue en 5 rad/s:	< 3 mrad
Capacidad de repetición	< 22 μ rad
	Deriva a largo plazo sobre 8 horas
(Después de calentamiento)	< 0.6 mrad
Conexiones Eléctricas	Conexiones Eléctricas
Señales de la entrada y de salida:	Estándar XY2 – 101
Gama máxima para el control 2:	0 a 65535 pedacitos
Requisitos de potencia:	$\pm(15+1.5) V C.C.$, máximo 3 ^a
Calibración	Calibración
± 0.38 rad ópticamente con	32768 ± 31457 }
Angulo máximo de la exploración:	± 0.37 rad
	(vignetting insignificante)
	Espejos
Capa:	Capa metálica realzada di-eléctricamente
Longitud de onda de operación: 9300 nm a 10.6 μ m	Longitud de onda de operación: 9300 nm a 10.6 μ m
Reflectividad:	10,6 μm más de 99.5% por espejo, sobre la gama completa de ángulos
Densidad de potencia máxima del laser:	
• Onda continua:	300 W/cm ³
• Pulsado (longitudes del pulso 50 ns)	100 W/cm ³
Potencia máxima del laser:	400 W
Condiciones del funcionamiento y de almacenaje	Condiciones del funcionamiento y de almacenaje
Temperatura de funcionamiento:	25 °C \pm 10 °C
	Para el almacenaje, cerciórese de quitar toda el agua de las piezas refrigeradas por agua.
Temperatura del almacenaje:	35 °C a + 60 °C
Condiciones ambientales	de no condensación, anticorrosivo.
	2 Con lente de 1200 x 1200 mm
2 Esta gama máxima para los valores de la entrada se debe mirar como gama teórica debido al peligro de vignetting por los espejos, al ángulo máximo especificado de la exploración debe nunca ser excedido.	3 Esta gama máxima para los valores de la entrada se debe mirar como gama teórica debido al peligro de vignetting por los espejos, al ángulo máximo especificado de la exploración debe nunca ser excedido.

1.3.1.12 Unidad de Control

Dentro el armario de control hay 6 componentes importantes. Los 2 **amplificadores de RF**, para excitar el medio activo del CO2 dentro de cada tubo del laser, las 2 **fuentes de potencia DC**, la **unidad PC** y la **placa de control**.

Ilustración 18 - RF alimentación de potencia ¹

Frecuencia de salida:	81 MHz
Potencia de salida:	2,4 kW normal (4 kW máx.)
Voltaje de entrada:	48 V cc ± 1 %
Corriente de entrada:	90 amps (corriente eficaz máx.)

1.3.1.13 Cable RF

Conecta el modulo del cabezal laser y la alimentación de potencia RF ¹

Ilustración 19 - Cable Potencia RF

Tipo de cable:	T – COM 600
Diámetro sección transversal:	15 mm
Radio estático mínimo de giro:	152 mm – para cable estático
Radio dinámico de giro:	400 mm – para cable dinámico
Par apriete conector RF:	4 Nm (2.95 ft – lb)
Longitud estándar:	2m

Ilustración 20 - Alimentación de potencia continua ¹

Voltaje de salida:	48 V cc ± 1 %
Salida VA (máx.):	5,6 kW
Voltaje de entrada:	200 – 240 V ca ± 10 monofásica o bifásica (debe estar conectada al suelo (tierra)).
Corriente de entrada media (máx):	< 25 A RMS a 230 V ca
Corriente máxima de entrada:	32 A
Consumo normal de potencia:	4,5 kW a 230 V CA
(400s ancho de pulso y con factor de trabajo del 50%)	
Factor de potencia:	> 0.9
Dimensiones externas (mm):	370,0 (L) x 452,0 (A) x 176,0 (A)
Peso:	25,0 kg

1.3.1.14 Unidad PC

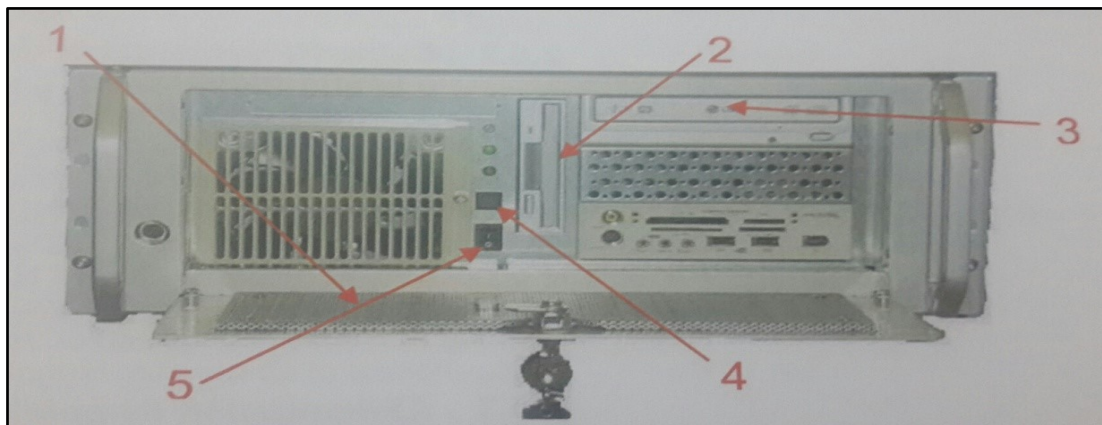
La unidad PC es la que realiza el control general de la marcación, que dispone de un monitor TFT de 17" integrado (1), teclado (2), ratón (3) y un joystick (4), sobre una consola delante del monitor.

Ilustración 21 - Unidad PC



El modulo central PC se encuentra la parte central del armario de control, las partes sensibles del PC están protegidas con una puerta con llave (1). Cuando se abre la puerta se tiene acceso a la disquetera (2), el cd rom (3), el botón de reset (4) y el de puesta en marcha del ordenador (5).

Ilustración 22 - Modulo central de PC



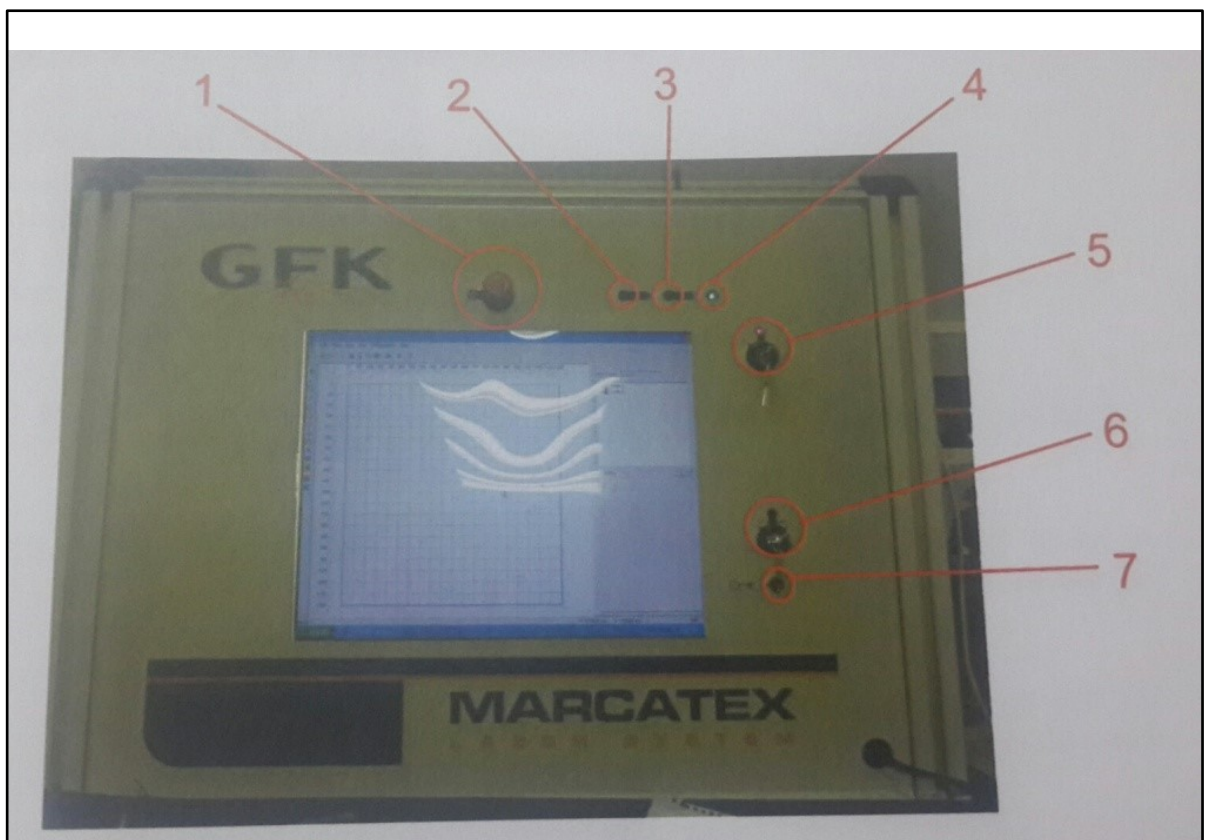
1.3.1.15 Señales y alarmas

La máquina Marcatex 500 TWIN, dispone de un cuadro eléctrico específico integrado con la pantalla plana que controla la puesta en marcha de la maquinay algunas de las alarmas mas importantes (el resto de alarmas se controlan a través del software Easy Twin). La puesta en servicio de la maquina se realiza desde el

panel de control del armario. En este panel podemos encontrar los siguientes mandos y indicadores:

- PARO DE EMERGENCIA (1)
- Indicador de "PARO DE EMERGENCIA" (3)
- Indicador de "PARO DE INTERLOCK" (2)
- Indicador de tensión de red (4)
- Llave "LASER OK" de seguridad (5)
- Llave de SEGURIDAD del obturador (6)
- Indicador "EMISION LASER ACTIVADA" (7)

Ilustración 23 - Cuadro de mando

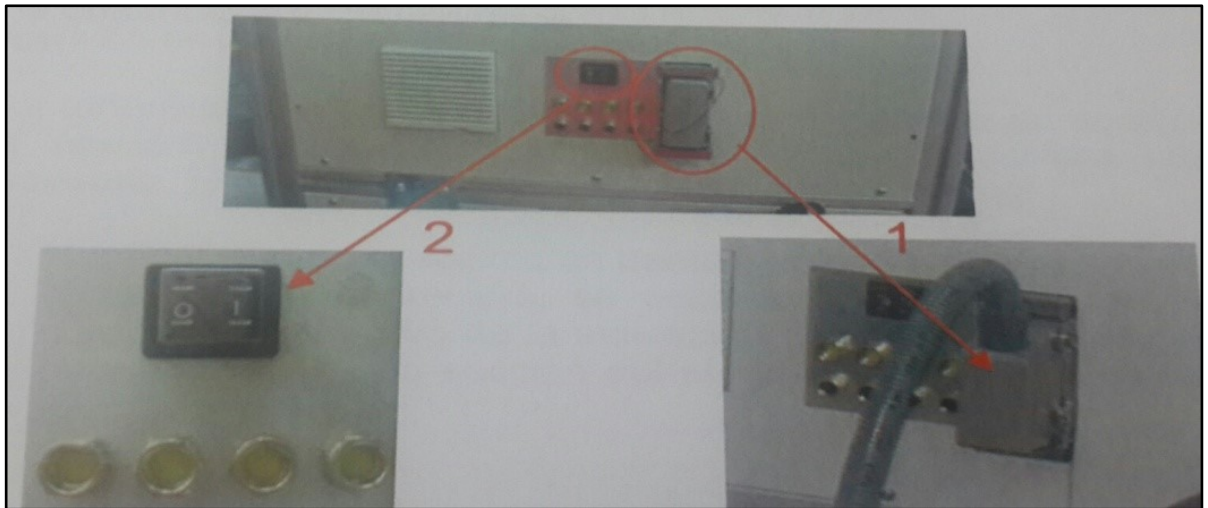


1.3.1.16 Puesta en marcha

Para poner en marcha la máquina se deberá seguir el procedimiento de activación que es el siguiente:

- Conectar el **conector weidmuller (1)** del maniquí a la entrada situada en el la parte trasera del armario de control.

Ilustración 24 - Conector Weidmuller e interruptor de tensión de red



- Conectar el **interruptor de tensión de red (2)** situado en la cara trasera de la unidad de control.
- Abrir las **llaves de paso** de entrada y salida de refrigerante de la unidad de refrigeración exterior y conectarla.

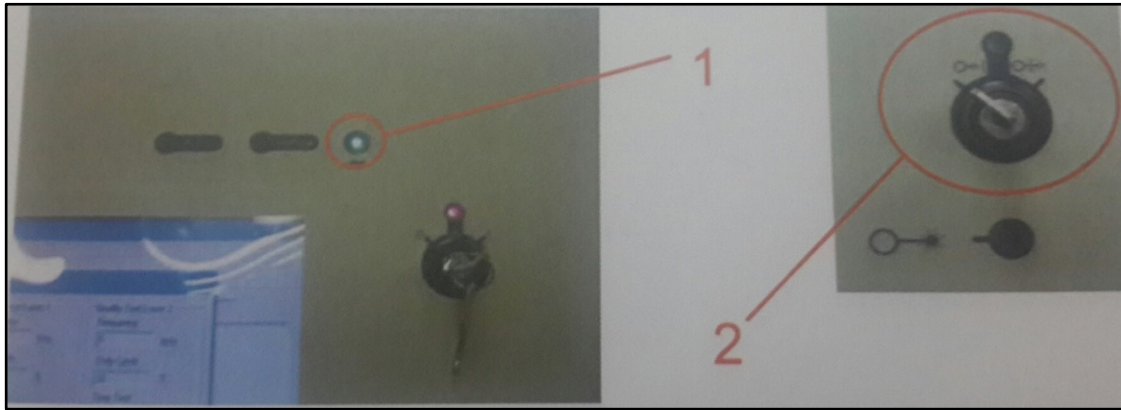
Ilustración 25 - Llaves de paso del refrigerador externo



- Comprobar que el **indicador de tensión de red (1)** está encendido, en caso de que la luz verde no esté activa, es que la máquina no ha sido conectada a la red, o que no hay

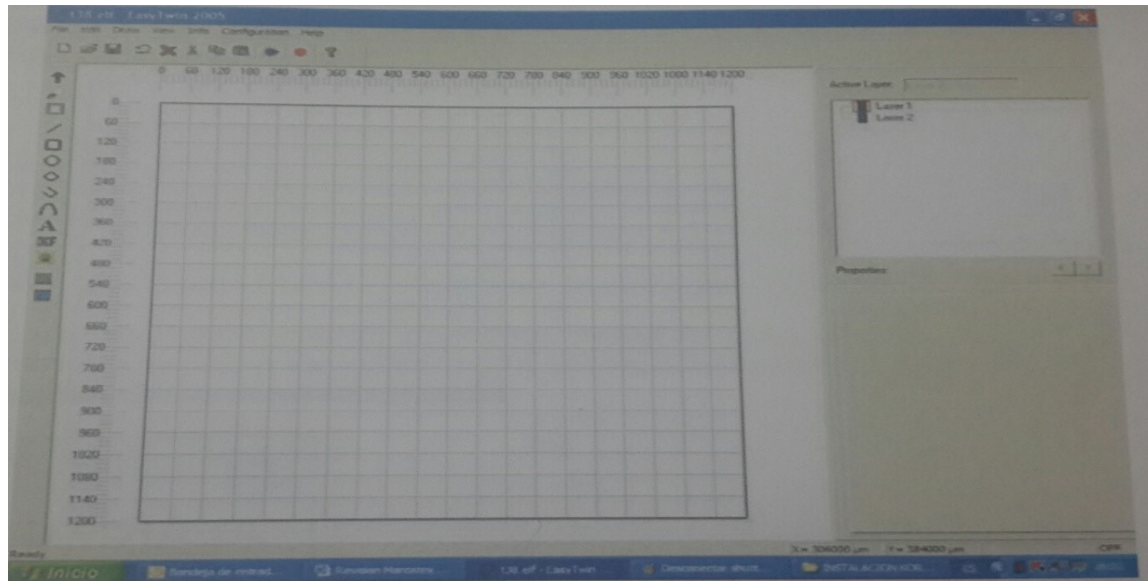
tensión de alimentación. Como medida de precaución, cerciorarse de que la **llave de seguridad del obturador (2)** esta girada hacia la izquierda y de que la luz indicadora está apagada, para garantizar que l obturador no esté abierto ni pueda abrirse por accidente.

Ilustración 26 - Indicador de tensión de red y llave de seguridad el obturador



- El ordenador se activara de forma automática junto con el sistema operativo Windows XP, el monitor, el mouse y el teclado inalámbrico. Después activaremos el icono del software de impresión Easy Twin - NOTA: si no se activara en este momento el ordenador procederemos a encenderlo manualmente abriendo con la llave, la puerta de acceso al PC y accionando el pulsador de puesta en marcha.

Ilustración 27 - Pantalla inicio de EasyTwin



- Girar la llave “LASER OK” de seguridad (1) del sistema hacia la derecha. Cuando se realice esta maniobra, la luz fucsia del indicador de puesta en marcha se debe encender. Nota:

durante los primeros 5 segundos el sistema realiza un test de lámparas. Cerciorarse que todas las lámparas se enciendan durante el test.

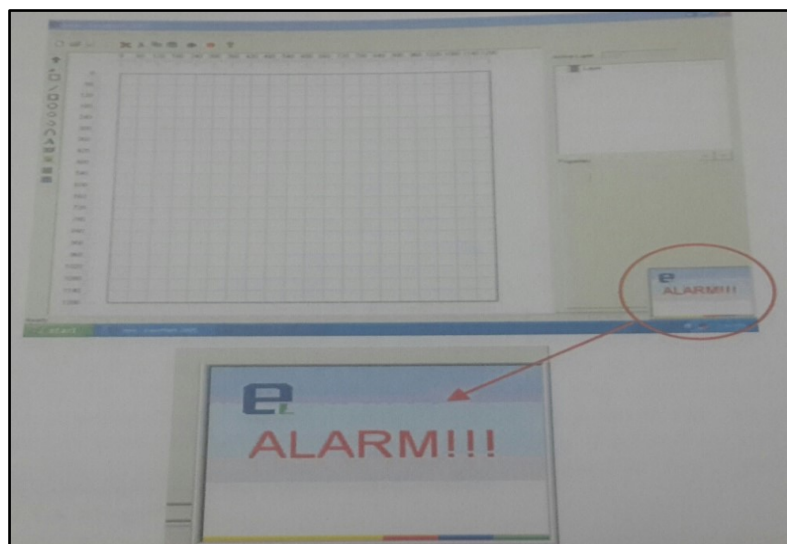
Llave “Laser OK” de seguridad

Ilustración 28 - Llave “Laser OK” de seguridad



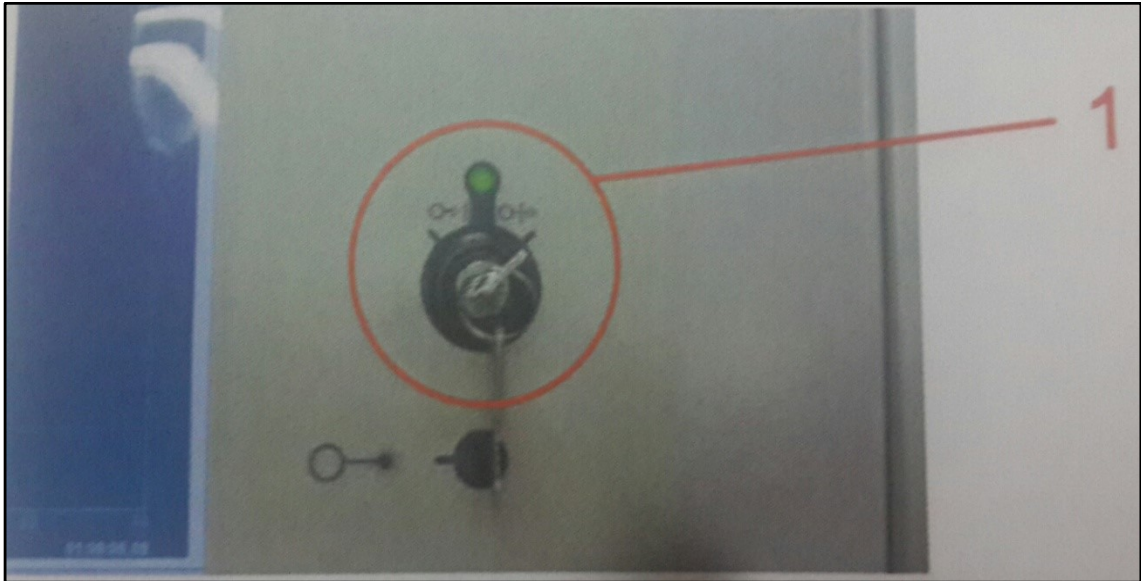
- Ya tenemos el sistema activado, por tanto estamos en condiciones de marcar. Sin embargo antes de marcar por primera vez, es necesario, tener en consideración los siguientes puntos:
- Verificar que no aparezca en pantalla ningún mensaje alarma. En caso de que apareciera, se debe abrir la ventana de “Test”, comprobar el motivo de la activación de la alarma y solucionar la causa (consultar la sección del manual del software de marcaje EasyTwin).

Ilustración 29 - Alarma



- Verificar que el PARO DE EMERGENCIA no esté activado. Si es así liberar el botón de paro de emergencia girándolo a la derecha y rearmar la maquina mediante la Llave “LASER OK”.
- Verificar que el PARO DE INTERLOCK no está activado.
- Girar la Llave de seguridad del obturador (1) hacia la derecha. Cuando el software entre en el menú de impresión y la llave de seguridad del obturador este en la posición derecha, se encenderá el indicador del obturador activo.

Ilustración 30 - Llave de seguridad del obturador

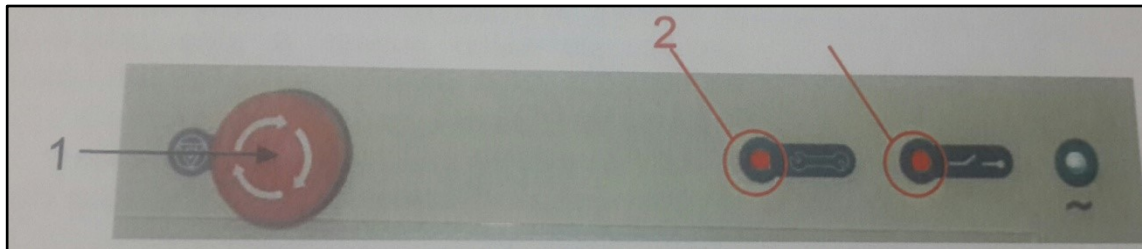


En caso de tener alguna situación anómala o de urgencia se debe pulsar el PARO DE EMERGENCIA (1) situado en la unidad de control justo encima de la pantalla. Cuando se acciona este pulsador, se detiene cualquier actividad que esté llevando a cabo la maquina y se enciende el indicador de “PARO DE EMERGENCIA” (3) y el del “PARO DE INTERLOCK” (4). Para desactivarlo basta con un pequeño giro para que el pulsador rojo salga hacia afuera.

Para volver al estado normal de funcionamiento será necesario rearmar el sistema accionando la Llave de “LASER OK” (5) primero hacia la posición de apagado y tras unos segundos, volver a la posición de marcha.

Cuando se produce algún tipo de fallo interno que obligue al sistema a detenerse sin necesidad de pulsar el PARO DE EMERGENCIA (1), se encenderá el indicador de “PARO DE INTERLOCK” (4). En ese caso será necesario determinar la causa del mismo, solventarlo y a continuación rearmar el sistema.

Ilustración 31 - Paro de emergencia e indicadores de paro



Mas informaciones acerca de cómo poner la maquina en marcha y/o rearmarla se pueden encontrar en la sección 3 – instalación y operación.

1.3.1.17 Refrigeración

El sistema de enfriamiento realiza la función de refrescar las piezas del circuito que están sujetas a altas temperaturas. Los elementos expuestos a estas altas temperaturas son básicamente la fuente de RF, la fuente de DC y el tubo del laser.

Ilustración 32 - Requisitos técnicos de sistema refrigeración

Carga de calor:	5000 W máx.
Flujo de refrigerante:	5 litros/min (minimo)
Temperatura refrigerante:	19 – 25 o C (± 1 o C del ajuste)
Presión refrigerante:	> 3,0 bar (32 psi)
	> 6,0 bares (88 psi)
Filtro en línea:	100 µm
Conexiones:	tubería de 22 mm de diámetro

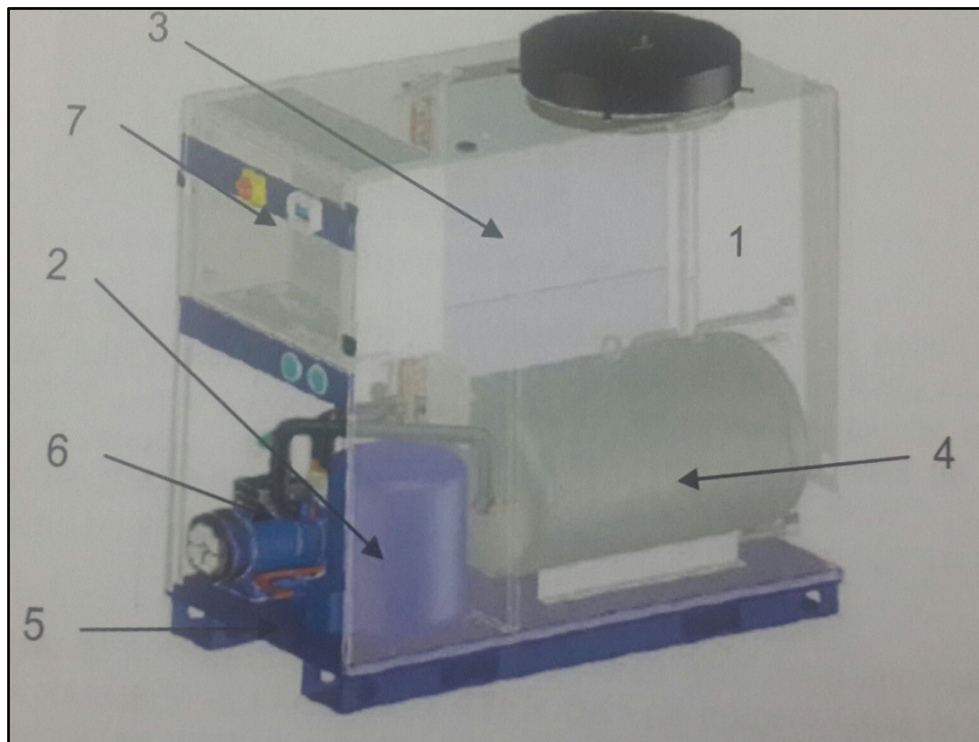
Ilustración 33 - Especificaciones técnicas enfriador

Tipo:	TAE – evo 051 P5 R407C
Tensión/Fases/Frecuencia:	400 V/1/50Hz
AMP. Max absorbidos:	14 A
Potencia instalada:	7,9 KW
Grado de protección:	EN 60529

Ilustración 34 - Circuito de refrigeración

Refrigerante:	R407C
Capacidad del depósito:	115 l
Presión max. Refrigerante:	26,0 Bar
Temperatura max:	65 °C
Presión max de trabajo:	0,0 Bar
Nivel de presión acústica:	50
Temperatura ambiental:	min 5 °C, max 40 °C
Dimensión:	(A) 66,0 cm x (A) 130,4 cm x (H)
	128,0 cm
Peso:	220 kg

Ilustración 35 - Esquema refrigerador



La caja (1) que contiene los componentes se ha diseñado con paneles del acero al carbono, se ha aplicado tratamientos especiales tales como galvanización, fosforización y se ha cubierto con una capa de pólvora y poliéster.

Compresor (2) de tipo hermético de, refrescado por el fluido frío gónico aspirado y protegido por un relé térmico. Se monta su soporte de goma anti vibraciones y el nivel del ruido es muy reducido.

Condensador (3) refrigerado por aire (TAE): se constituye de uno o más paquetes de baterías aleteadas con tubos en rama y aletas en aluminio de uno o más ventiladores.

Tanque (4): del acero al carbono y construido para resistir hasta 6 bares de presión y por lo tanto adaptado para ser conectada con los circuitos bajo presión. Por requerimiento puede ser construida también acero inoxidable para los modelos con la posibilidad de conexión solamente a los circuitos hidráulicos que funcionan a la presión atmosférica.

Circuito frigorífico (5) incluye: tubos capilares, válvula termostática, el indicador del flujo, rehidratador mecánico del filtro, presóstato de alta y baja presión y manómetro de baja/alta la presión

Circuito del agua (6) consiste en el cambiador de calor y la bomba de circulación.

El display de control y monitorización (7) viene montado en una placa de control con microprocesador.

Más informaciones, considerando la instalación, operación y mantenimiento, se pueden obtener del manual adjunto del enfriador (WASH SAS, 2015).

1.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

La sección inicial, presenta todas las características esenciales de la máquina Láser y sus problemas y elementos vitales y críticos, describiendo con suficiencia en cada caso sus principales puntos de mantenimiento y operatividad a tener en cuenta.

2 EQUIPO

2.1 OBJETIVO 2

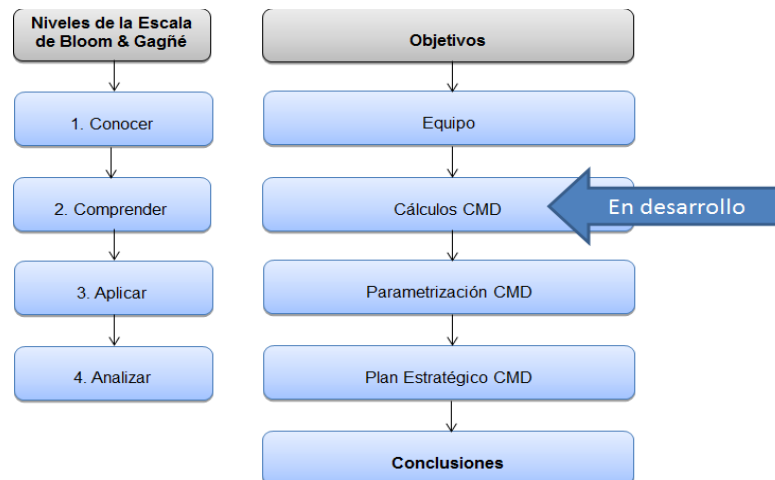
Describir la metodología de medición, cálculo, predicción y análisis de los tiempos útiles y de mantenimiento en la maquina laser Twin HS que influyen en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad - Nivel 2 - Comprender.

2.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 2

Las organizaciones industriales existen para generar un beneficio, usan equipos y mano de obra para transformar materias primas en productos acabados de mayor valor. El mantenimiento está relacionado con la rentabilidad a través de la productividad de los equipos y el gasto de explotación. Los trabajos de mantenimiento elevan el nivel de rendimiento de los equipos y su disponibilidad. El objetivo de un departamento de mantenimiento industrial debe ser la consecución del equilibrio óptimo entre estos factores, para lograr un balance que maximice la contribución del departamento a la rentabilidad (Kelly y otro, 1998, 26).

El mantenimiento se puede considerar como una estructura de acciones llevadas a cabo para sustituir, reparar, mantener o modificar los elementos de una instalación para que continúe operando con la disponibilidad establecida durante un periodo de tiempo determinado.

Ilustración 36 - Avance del Capítulo 2



2.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 2

El capítulo desarrolla todos los tópicos y la fundamentación técnica necesaria para medir y calcular los parámetros y valores CMD, en su proceso de método puntual y por distribuciones, en especial Weibull.

2.3.1 Niveles de mantenimiento.

El enfoque sistémico kantiano de mantenimiento explica que la gestión de mantenimiento de quinta generación terotecnológica⁷ implica el desarrollo secuencial de cuatro niveles: instrumental, operacional, táctico y estratégico.

Ilustración 37 - Niveles de mantenimiento

NIVEL	NOMBRE	CARACTERISTICAS
1	Instrumental	Es de orden real, se estudian y optimizan en tiempo real los tres elementos fundamentales del mantenimiento: recursos humanos y físicos, el entorno fabril y el parque industrial donde se aplica. Procura el manejo sistémico de toda la información (Mora, 2003,25)
2	Operacional	Es de orden mental, involucra todas las acciones mentales que el hombre pueda desarrollar sobre la máquina, pues sólo el hombre es el que diferencia los tipos de tareas (de mejora, correctiva o preventiva) (Mora,2006,259)
3	Táctico	Es de orden real, es donde se diferencian notoriamente las tácticas entre sí, son las diferentes formas de organización que adoptan las empresas para manejar y operar el Mantenimiento.
4	Estratégico	Es de orden mental, ya que las situaciones que maneja son indicadores o cifras; permiten medir el grado de éxito alcanzado de todo lo realizado en los tres niveles previos y valorar el grado de gestión y operación integral de mantenimiento en una empresa (Mora, 2006,286)

(Mora, 2014)

La anterior figura muestra como el mantenimiento requiere cada vez más del desarrollo de índices y costos, rendimientos e indicadores de gestión que permitan medir el caso específico con otros de diferentes industrias bien sea locales,

nacionales o internacionales. Fundamentalmente se apoya en la medición de estándares internacionales de CMD (RAM⁹), FMECA, RPN y costos terotecnológicos que permitan comparar el éxito alcanzado, en términos de competitividad y de costos, con otras empresas a nivel mundial (Mora y otros, 2001, 6).

2.3.2 Generaciones de mantenimiento.

La definición de mantenimiento dada en la introducción del capítulo, se retoma con el fin de partir de la idea que mantenimiento son todas aquellas acciones enfocadas a prolongar el funcionamiento de los equipos, reducir los costos de producción, evitar las pérdidas y aumentar la productividad con condiciones de calidad exigibles; evitando el deterioro del medio ambiente e incrementando el nivel de seguridad (Navarro y Otros, 1997, 30).

La historia del mantenimiento, si se tiene en cuenta la definición anterior, se basa en la evolución de cinco generaciones (ver Tabla 2); cuyas limitantes se identifican primordialmente en: la época y las diferentes necesidades, en el nivel de industrialización y en los conocimientos.

Ilustración 38 - Generaciones del mantenimiento

GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO (Época Histórica)	ENFOQUE
Primera generación (1930-1950)	Hacia la máquina
Segunda generación (1950-1960)	Hacia la producción
Tercera generación (1960-1980)	Hacia la productividad
Cuarta generación (1980-1999)	Hacia la competitividad
Quinta generación (2000-Actualidad)	Hacia la organización industrial e innovación tecnológica (terotecnología)

Mora, 2003, 10.

Las generaciones citadas en la Tabla 2, trajeron consigo diferentes tipos de mantenimiento que se implementaron con el fin de conseguir los objetivos que cada uno se propone y alcanzar las expectativas que para la época y el proceso industrial se esperan (Ver Tabla 3).

⁹ RAM - *Reliability Availability Maintainability*

Ilustración 39 - Generaciones de Mantenimiento y expectativas

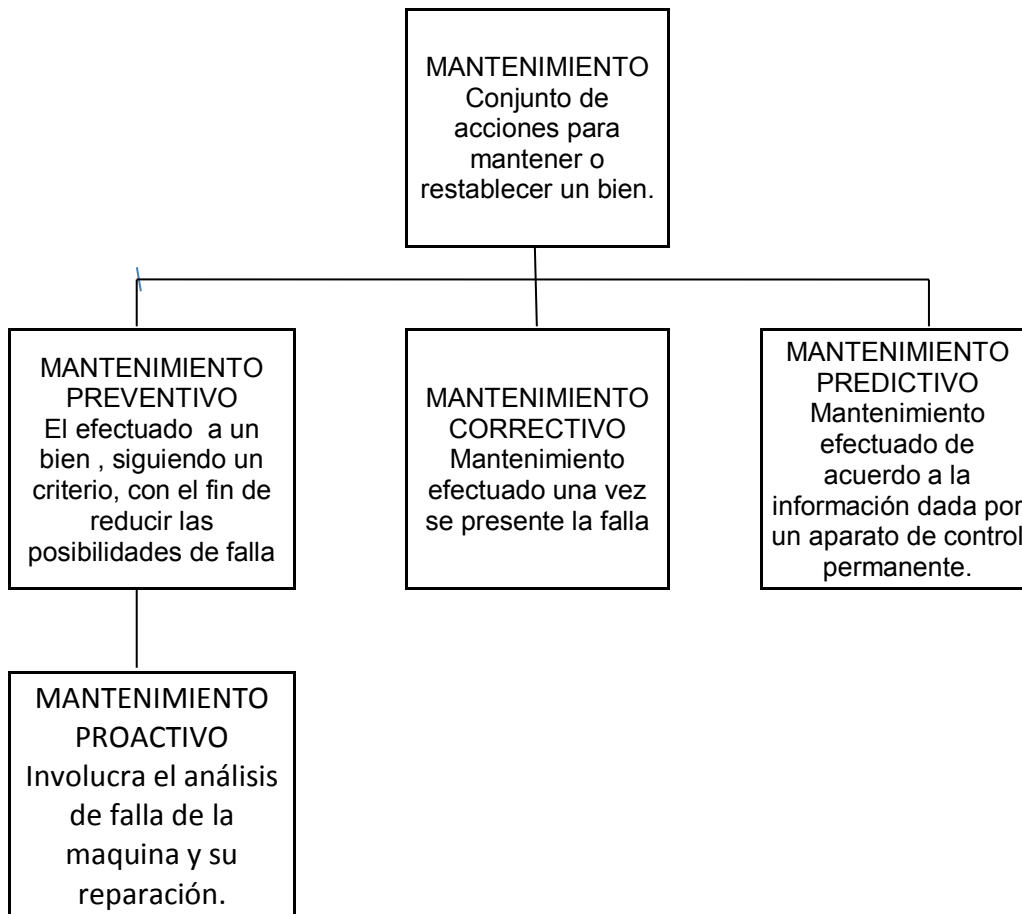
Generación de mantenimiento	Tipos de Mantenimiento	Expectativas
Primera generación (1930-1950)	Correctivo	Corrección momentánea o definitiva. Reparar en caso de avería.
Segunda generación (1950-1960)	Preventivo Predictivo Modificativo	Planificación de mantenimiento Mayor duración de los equipos Prevención de fallas
Tercera generación (1960-1980)	Mantenimiento Productivo Total (TPM) Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) Mantenimiento combinado (TPM+RCM) Mantenimiento Reactivo Mantenimiento orientado a resultados	Integración entre producción y mantenimiento (Cliente-Oferente). Mayor disponibilidad en la maquinaria. Costos mas bajos Aumentar la productividad Reducir tiempos muertos
Cuarta generación (1980-1999)	Mantenimiento centrado en las habilidades y Competencias Mantenimiento centrado en el servicio y Cliente demandante Mantenimiento proactivo "Word Class".	Relacionar a mantenimiento con el mundo exterior a la empresa. Mayor disponibilidad y confiabilidad, mayor seguridad y calidad en el producto No deteriorar el medio ambiente y velar por la duración de los equipo
Quinta generación (2000-20XX)	Mantenimiento terotecnológico (tecnología integral – logístico)	Obtener estrategias integrales hacia el éxito y a rentabilidad. Mantenimiento en todas las fases de elemento integral logístico.

(Mora, 2011)

2.3.3 Tipos de mantenimiento.

Los programas de mantenimiento modernos establecen cuatro tipos o clases de mantenimiento como se muestra en la Figura 1; se diferencian el uno del otro por su periodicidad y objetivo de su uso (Nachlas, 1995)

Ilustración 40 - Tipos de Mantenimiento



Adaptación EIE@, 2006.

- ✓ **Mantenimiento correctivo:** El mantenimiento contra avería; se realiza sólo cuando una falla viene a interrumpir el servicio, el equipo o la máquina. La forma dominante de mantenimiento de las plantas, se conoce como correctivo - avería, pero sus costos resultan relativamente elevados, debido a los tiempos de paro no programados, maquinaria dañada y generación de gastos de tiempo extra del personal.

- ✓ Mantenimiento preventivo (o asintomático). El mantenimiento asintomático, analiza cada máquina y se programan tareas periódicas antes de que ocurran alguna avería, es decir, en tiempos inferiores a los que estadísticamente podrían fallar.
- ✓ Mantenimiento predictivo (o sintomático). La tecnología de mantenimiento tuvo como siguiente avance la llegada del mantenimiento predictivo, basado en un análisis detallado del estado o condición de operación de las máquinas monitoreadas. El estado de la máquina puede obtenerse mediante varias pruebas no destructivas.
- ✓ Mantenimiento Proactivo. El mantenimiento predictivo tuvo como última innovación el mantenimiento proactivo, que usa gran cantidad de técnicas para alargar la disponibilidad de las máquinas. La idea principal de un mantenimiento proactivo es el análisis de las causas fundamentales de las fallas en las máquinas.

2.3.4 Terotecnología.

El planteamiento general de la terotecnología (palabra proveniente de las raíces griegas: *thero*: cuidado; *techno*: técnica y *logos*: tratado) se resume en el cuidado integral de la tecnología y su propósito es plantear las bases y reglas para la creación de un modelo de la gestión y operación de mantenimiento orientada por la técnica y la logística integral de los equipos (Rey, 1996).

La terotecnología es la tecnología de instalación, puesta en marcha, mantenimiento, sustitución y remoción de maquinaria y equipos, de la retroalimentación de esas actividades sobre el diseño de equipos y sobre las operaciones de producción y otros tópicos y prácticas relacionadas (Knezevic, 1996).

2.3.5 Indicadores CMD.

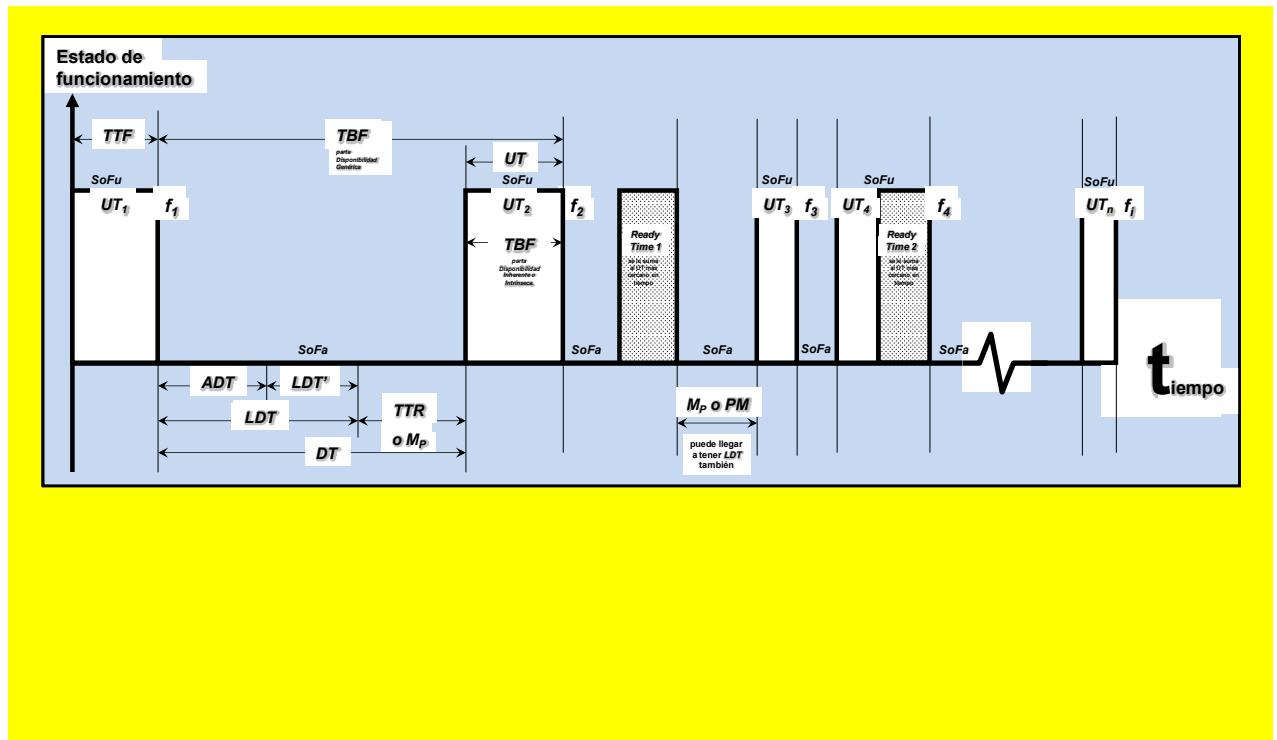
Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a la labor de mantenimiento (Barringer, 1996).

- ✓ Confiabilidad (fallas). La frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo, se conoce como confiabilidad. Si no hay fallas, el equipo es ciento

por ciento (100%) confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca; sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos no eliminan completamente las fallas (Bazovsky,2004, 54).

- ✓ La probabilidad que un equipo tiene que desempeñar satisfactoriamente las funciones para las cuales es diseñado, durante un período de tiempo específico y bajo las condiciones de operación, ambientales y de entorno adecuadas se conoce como confiabilidad (Mora, 2006, 69) (Rodríguez y otros,2004, 10) (Ebeling, 2005) (Dounce,1998,136).
- Indicadores de Confiabilidad. Los indicadores de confiabilidad deben reflejar las propiedades esenciales de operación del sistema, deben ser entendibles desde el punto de vista físico (científico), simples de calcular desde el diseño y simples de utilizar (Mora, 2006).

Ilustración 41 - Tiempos importantes, siglas y demás CMD



<p>Donde</p> <p>TTF = Time To Failure = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables)</p> <p>f_i = Falla i-ésima</p> <p>n = número de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde f_1 hasta f_n</p> <p>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</p> <p>MTTR = Mean Time To Repair = Tiempo Medio para Reparar = $\sum TTR / n$</p> <p>TBF = Time Between Failures = Tiempo entre Fallas</p> <p>m = número de eventos de tiempos útiles que ocurren durante el tiempo que se evalúa</p> <p>MTBF = Mean Time Between Failures = Tiempo Medio entre Fallas = $\sum TBF / m$</p> <p>UT = Up Time = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.</p> <p>MUT = Mean Up Time = Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallas = $\sum UT / m$</p> <p>DT = Down Time = Tiempo no operativo</p> <p>MDT = Mean Down Time = Tiempo Medio de Indisponibilidad o no funcionamiento entre Fallas = $\sum DT / n$</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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</p> <p>MLDT = Mean Logistics Down Time = Tiempo Medio de Tiempos Logísticos de demora</p> <p>SoFa = State of Failure = Estado de Falla, el equipo no funciona correctamente</p> <p>SoFu = State of Functioning = Estado de Funcionamiento correcto</p> <p>M_p = PM = Planned Maintenances = Mantenimientos Planeados, pueden ser preventivos o predictivos.</p> <p>Ready Time = Tiempo de Alistamiento = el equipo o sistema está disponible, opera pero no produce, no está en carga operativa; funciona mas no produce</p>
--

(Mora, 2007a)

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

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

2.3.6 Curva de confiabilidad.

La representación gráfica del funcionamiento después de transcurrido un tiempo t en un período T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de transcurrido un determinado tiempo t (usada en ítems reparables); la otra forma de interpretarla es cuando se están analizando varios o múltiples elementos no reparables, (normalmente similares) que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t (Vallejo, 2004, 32).

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática. La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión siguiente.

Ecuación 1 - Probabilidades de ocurrencia de un evento (falla) y confiabilidad

$$P_f = \binom{n}{N}$$
$$P_{f=\lim_{n \rightarrow \infty}} \binom{n}{N}$$
$$R_{S=1} - P_f$$

Mora, 2006, 70.

Donde:

n: Número de eventos de falla (en confiabilidad) a estudiar.

N: Es el número total de eventos posibles.

P_f : Es la probabilidad de falla.

R_s : Como la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia en un tiempo a , siendo P_f la probabilidad de falla en ese mismo tiempo a .

La ecuación o representación matemática de la función de confiabilidad viene dada por la ecuación siguiente y tiene dos curvas típicas que se pueden apreciar en la Figura 26.

Ecuación 2 - Representación matemática de la función de confiabilidad.

$$R(t) = P[T \geq t]$$

Leemis, 1995, 46; Ebeling, 1997, 23.

Donde:

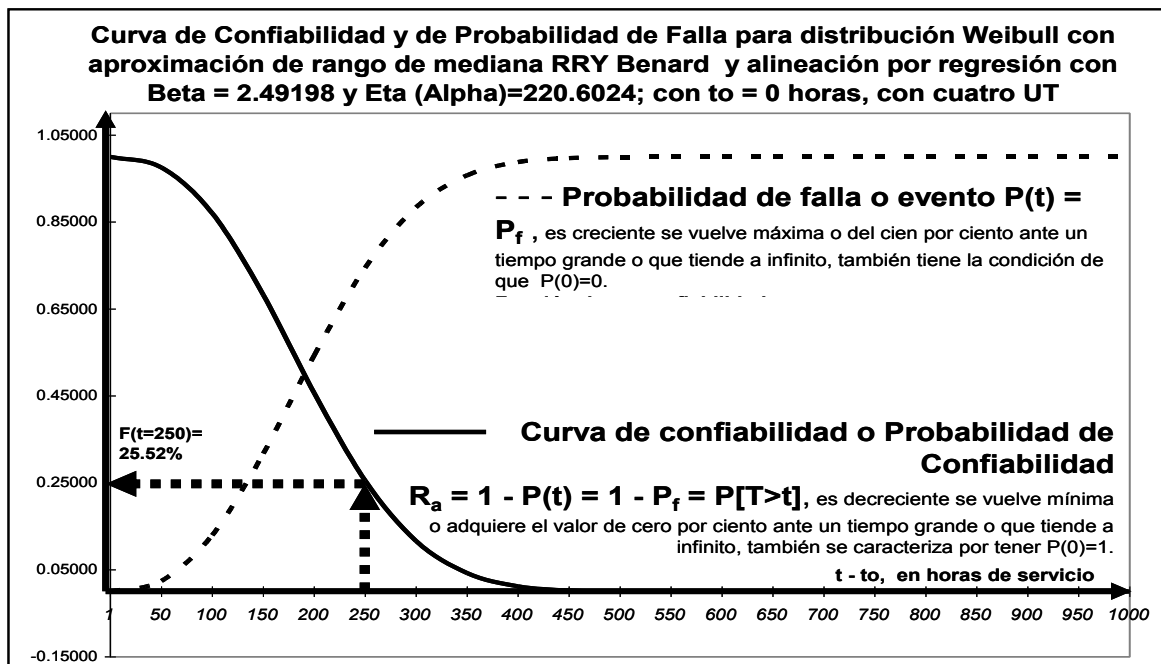
$R(t)$ Es una función decreciente de confiabilidad o supervivencia; que decrece a medida que incrementa el tiempo.

$R(0) = 1$, Todo elemento antes de iniciar su funcionamiento tiene una confiabilidad máxima, del cien por ciento (100%).

$t \geq 0$, t Es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento de la máquina o equipo.

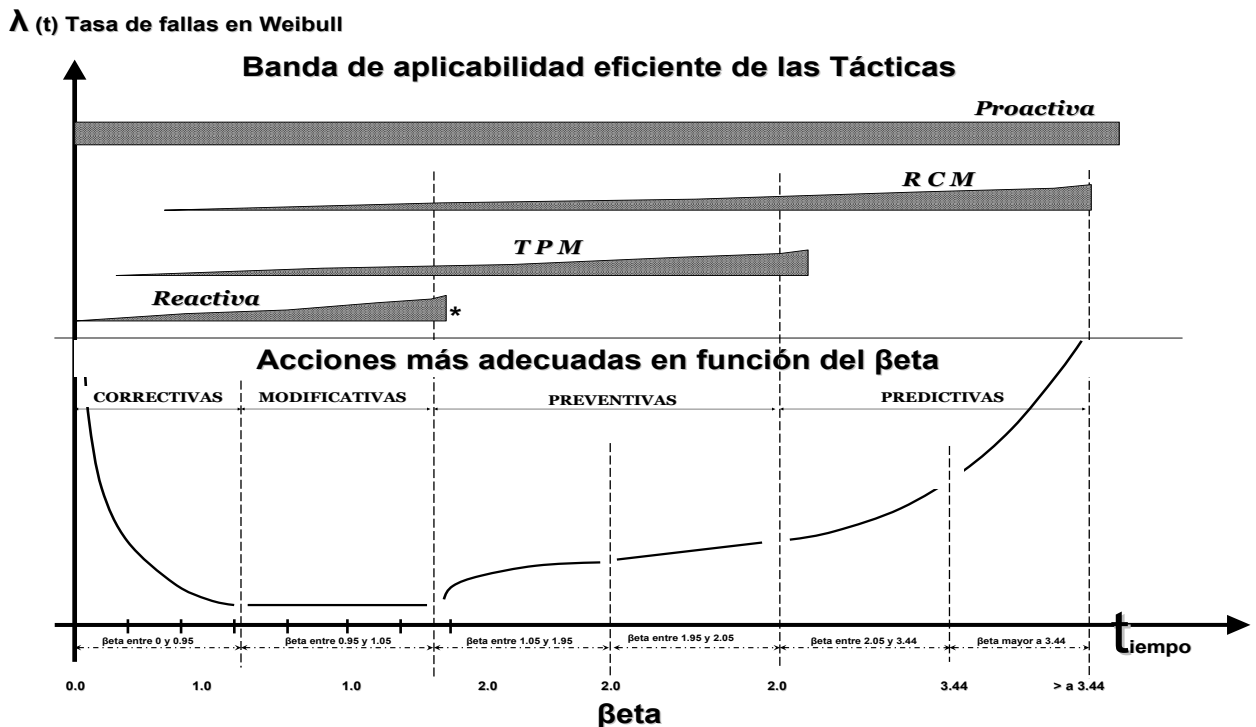
$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$, Expresa que cualquier elemento o máquina siempre entra en estado de falla así sea en un tiempo grande o infinito.

Ilustración 42 - Dos curvas típicas de confiabilidad.



(Leemis, 1995, 47) (Mora, 2012)

Ilustración 43 - Curva de Davies, acciones y tácticas adecuadas, acorde al valor del β



* 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.

- Curva de Davies o de la bañera. La curva de la bañera, es una curva que permite analizar los fallos durante el período de vida útil de un equipo (aparato o máquina). Tiene forma de bañera debido a que la vida útil de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas.

La confiabilidad distingue tres tipos característicos de fallas (excluyendo daños por manejo inadecuado, almacenado u operación inapropiada de los usuarios), que son inherentes al equipo, que ocurren sin ninguna falla por parte del operador y están relacionadas con cada una de las regiones de vida del elemento y el tipo de falla que en ella ocurren; estas fallas son las tempranas, las aleatorias y las de envejecimiento como se muestra en la Ilustración 27.

- Distribuciones utilizadas en el cálculo de confiabilidad. Los valores de la probabilidad de falla, la probabilidad de éxito o confiabilidad, la vida media, los parámetros de una distribución o cualquier otro parámetro aplicable, constituyen los grandes interrogantes a partir de los cuales se establece el estudio de la confiabilidad (RELIASOFT@2000):

- Distribución Exponencial.
 - Distribución de Weibull.
 - Estimación de la desconfiabilidad (por métodos gráficos y mínimos cuadrados).
 - Pruebas de bondad de ajuste (J^2 , Kolmogórov - Smirnov y Anderson Darling).
- La competitividad es cada vez más crítica y debatida en todos los países del mundo; por tal motivo el reto de los países no es solo realizar grandes inversiones o rediseñar para mejorar, sino hacer buenas rutinas de mantenimiento y fabricar productos cada vez más confiables (Lyu, 1996, 51).
- Mantenibilidad (reparaciones). Es la probabilidad para que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción (Mora, 2006, 76).

La rapidez con la cual las fallas o el funcionamiento defectuoso en los equipos son diagnosticados y corregidos, se entiende como mantenibilidad; o cuándo el mantenimiento programado es ejecutado con éxito, se puede decir que una máquina o equipo es mantenible cuando es fácil de reparar, en el buen sentido de la palabra: cantidad y disponibilidad de los repuestos, cantidad de mano de obra, complejidad de la tarea a realizar, seguridad de recuperación, facilidad de prueba y localización física del elemento, herramientas y personal calificado, etc. (Dounce, 1998, 135) (Knezevic, 1996, 51).

- La ingeniería de mantenibilidad se crea cuando los diseñadores y fabricantes comprenden la carencia de medidas técnicas y disciplinas científicas en el mantenimiento. Por esto es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el usuario para conservar la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora (Toro y Otro, 2003, 18).

La mantenibilidad se mide de forma clara en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad (Mora, 2006, 75).

- Curva de mantenibilidad. El tratamiento de la curva de mantenibilidad es similar al de la curva de confiabilidad como se muestra en la Figura 5; esta función se representa por $M(t)$ e indica la probabilidad de que la función del sistema sea recuperada y el equipo sea reparado dentro de un tiempo definido t antes de un tiempo especificado total T (Rodríguez y otros, 2004, 16).

Ecuación 3 - Representación matemática de la función de Mantenibilidad

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

Mora, 2006, 78.

Donde:

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

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

T : Es el tiempo máximo o límite superior total.

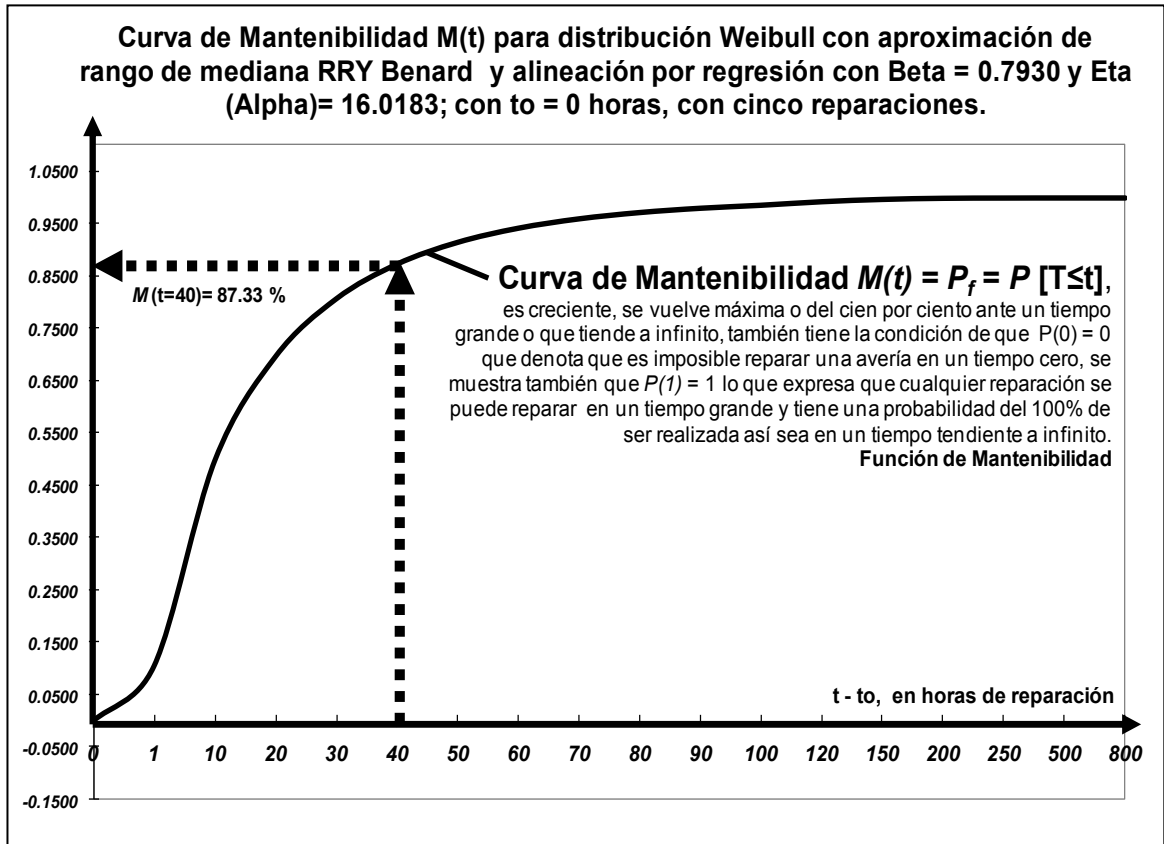
t : Es el tiempo determinado para realizar la acción de mantenimiento.

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

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$$

Expresado como $M(t) = 1$, denota que cualquier elemento tiene una probabilidad Tendiente al 100% de ser bien reparado así sea en un tiempo infinito.

Ilustración 44 - Curva de Mantenibilidad típica



(Mora, 2009)

- Indicadores de mantenibilidad. Los indicadores de mantenibilidad se aplican tanto para mantenimientos planeados como no planeados.

El mantenimiento planeado cuyo principal propósito es el establecimiento de sistemas de control del mantenimiento de los equipos para la eliminación de los problemas, buscando siempre el mejoramiento continuo, aplicando las mejores técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo pasando siempre por las fases de inspección y diagnóstico, planeación, programación, ejecución, control y retroalimentación, capacitación, análisis de fallas, etc., que busquen prolongar la vida útil del componente, disminuir el número de fallas e incrementar el MTBF del sistema (INGENIERIAYMANTENIMIENTO@2006).

El mantenimiento no planeado o correctivo, consiste en la reparación de las averías o fallas, cuando éstas se presentan por acciones extrañas o imprevistas y no programadas como ocurría en el caso del mantenimiento

planeado. Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc. El ejemplo de este tipo de mantenimiento es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener máquina o equipo dañado (SOLOMANTENIMIENTO@2006).

- Disponibilidad. La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación y se usa bajo condiciones estables; el tiempo total considerado puede incluir el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo, tiempo administrativo y tiempo logístico de acuerdo con el tipo de disponibilidad seleccionada (Blanchard y otro, 1995; 127) (Rodríguez y otros, 2004, 21) (Vallejo, 2004, 44) (Céspedes y otro, 2003, 57).
- La disponibilidad es una consideración importante en sistemas relativamente complejos, como plantas de energía, satélites, plantas químicas y estaciones de radar. En dichos sistemas, una alta confiabilidad no es suficiente por sí misma para asegurar que el sistema estará disponible cuando se necesite (O'Connor, 1989, 134).

La disponibilidad es una medida importante 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, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad (Toro y otro, 2003, 21)

Ecuación 4 - Ecuación general de disponibilidad

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

(Mendehall, 1997)

Donde:

UT: Tiempo de funcionamiento.

DT: Tiempo de parada.

- Indicadores de disponibilidad. Los diferentes tipos de disponibilidad, su elección y aplicación, vienen dadas a través de los datos registrados con respecto a la máquina; en últimas, es la información u hoja de vida de la máquina durante todo su vida de producción la que determina la disponibilidad a calcular (ver Ilustración 29).

Ilustración 45 - Tipos de disponibilidad

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

(Mora, 2014)

2.3.7 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 5 - Disponibilidad alcanzada (AA)

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

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

Ecuación 6 - Media de tiempos útiles

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

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:

Ecuación 7 - Media de fallas o mantenimientos

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

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)

2.4 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).

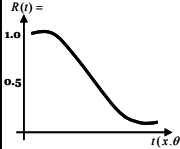
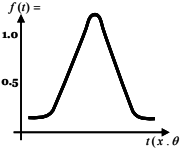
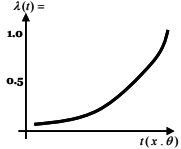
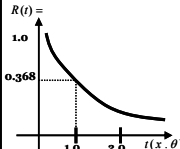
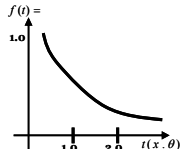
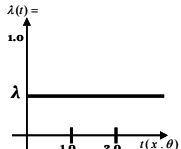
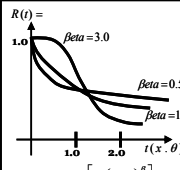
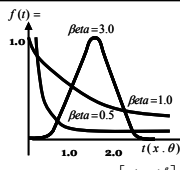
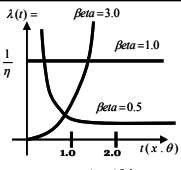
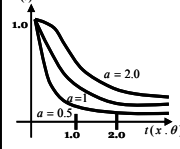
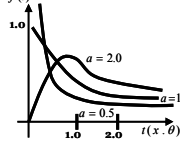
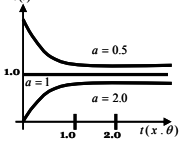
Los datos que se analizan mediante las distribuciones, pueden responder a diferentes características, de acuerdo con el tipo y evento de estudio, como por ejemplo el tiempo de funcionamiento del equipo (MTTF), el tiempo de operación del sistema (MTBF) o el tiempo que tarda en repararse un equipo después 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 46 - 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 47 - 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	 $R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	 $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	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 $\gamma = 0.0$	 $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	 $f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t-\gamma)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	 $\lambda(t) = \frac{\beta(t-\gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta}$	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: $\Gamma(a) = (a-1)!$	 $R(t) = \frac{\lambda^a}{\Gamma(a)} \int_t^{\infty} t^{a-1} \exp(-\tau t) dt$	 $f(t) = \frac{\tau}{\Gamma(a)} (\tau t)^{a-1} \exp(-\lambda t)$	 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	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)

2.3.8 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 8 - Transformación valores X e Y para la distribución de Weibull

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

(Reliasoft@, 2000) (Mora, 2014)

Dónde:

RMi: Estimado de la confiabilidad y Ti: tiempo de falla

Ecuación 9 - Parámetros de la distribución de Weibull

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

(Mora, 2007a)

Donde:

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

Ecuación 10 - Densidad de la distribución de Weibull

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

Ecuación 11 - Confiabilidad de la distribución de Weibull

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

Ecuación 12 - 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.

(Mora, 2014)

2.4 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 48 - 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).

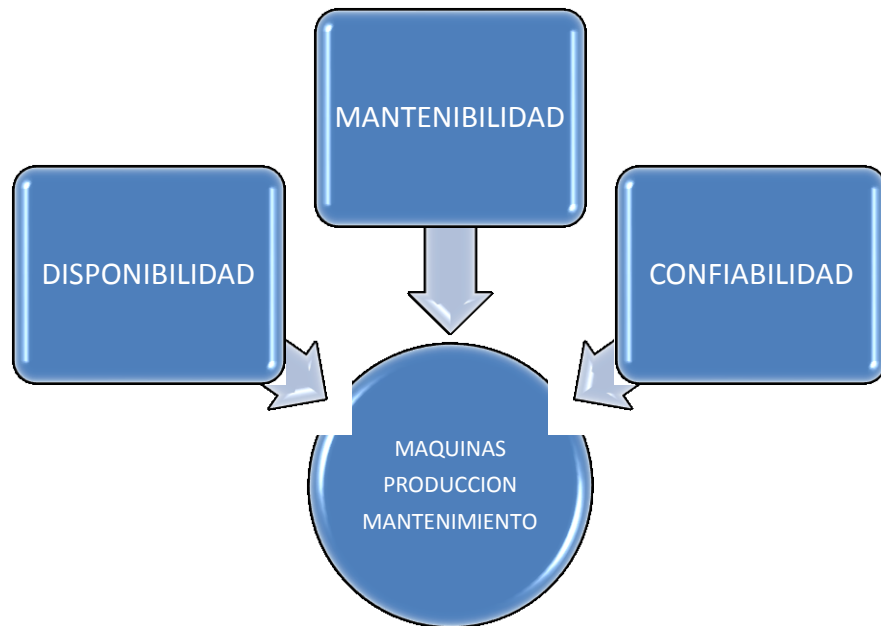
El nivel operacional comprende todas las posibles acciones por realizar en el mantenimiento de equipos por parte del oferente, a partir de las necesidades y los

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 49 - Nivel Estratégico - CMD



(Mora, 2006)

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.

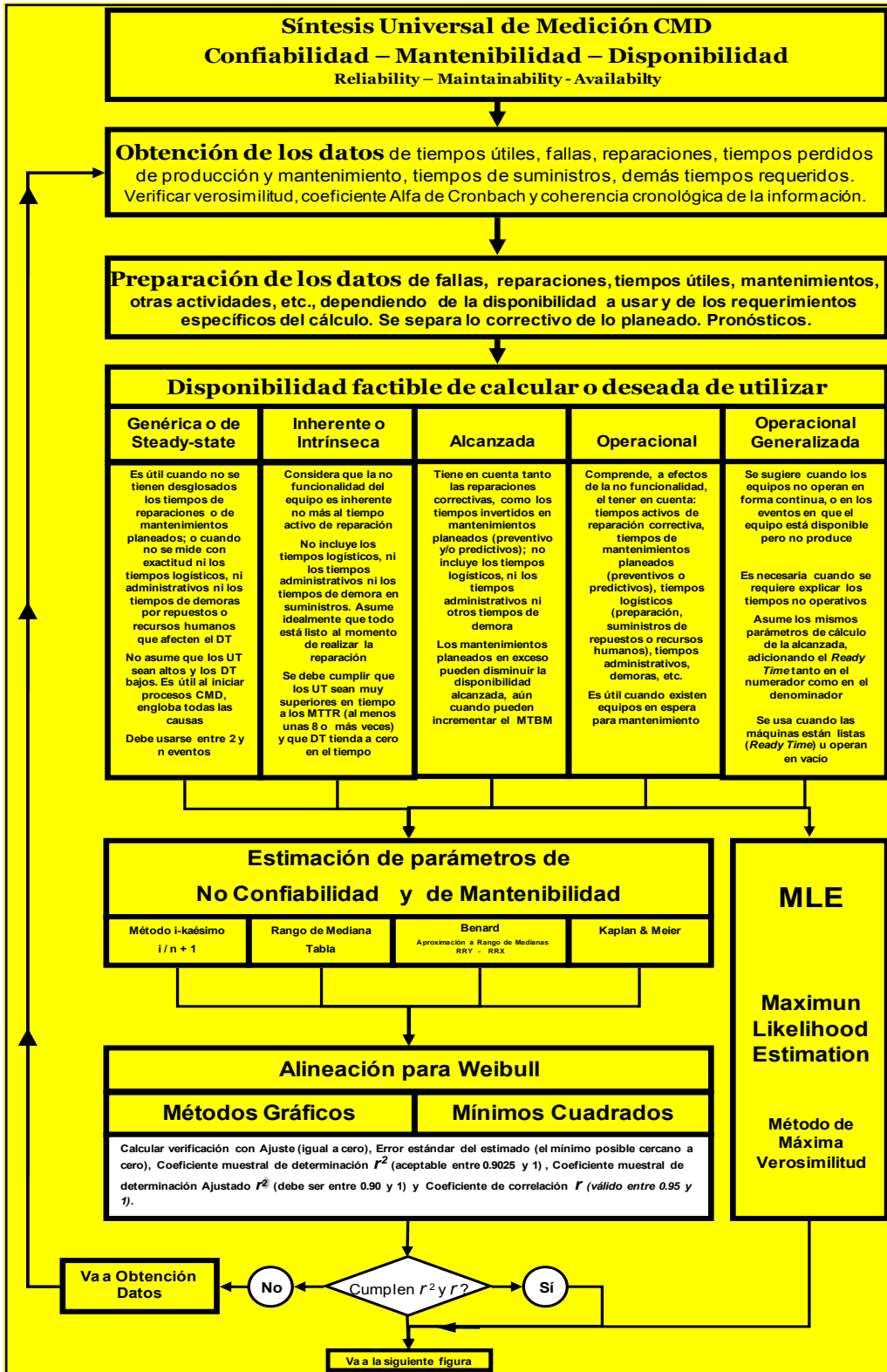
La forma en que se realiza la estimación de cada uno de los indicadores relacionales del sistema de mantenimiento y producción, como son la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad es amplia y diversa; la literatura universal sobre el tema provee diversas formas y métodos, en la cual se encuentran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

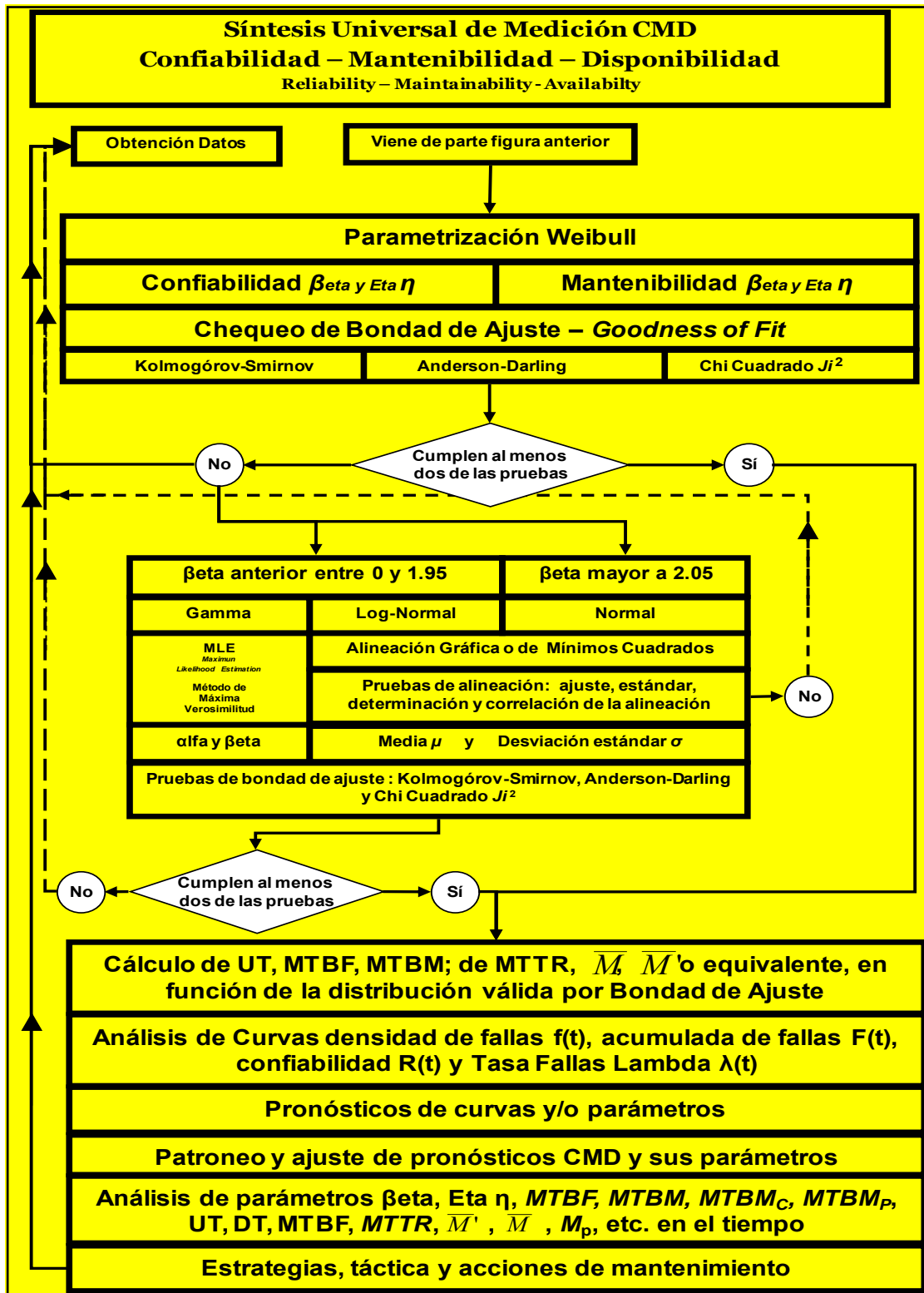
La decisión del tipo de CMD a usar, más que basarse en el deseo de los empresarios, depende del tipo y sistema de información que se posee, por ejemplo las más usadas, son Genérica y la Inherente, algo la Alcanzada y muy poco la Operacional y la Generalizada, por los altos costos que implica la recolección 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 50 - Procesos estándar de cálculo y predicción CMD





(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).

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 Neuronales¹⁰ + Series Temporales¹¹ + CMD (Errores 0.5%)

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

¹⁰ Las redes neuronales artificiales (RNA) son modelos de computación para el procesamiento de información e identificación de patrones.

¹¹ Permite predecir con errores mínimos el comportamiento de variables en el corto plazo.

2.5 CONCLUSIONES DE CAPITULO 2

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).

Los índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CMD), juegan un papel decisivo no sólo para la toma de decisiones, sino también en el éxito de los negocios; son una herramienta eficaz a la hora de evaluar la eficiencia y productividad del personal y del activo.

La productividad y competencia son características de los ambientes donde se desempeñan las industrias dentro de un mundo globalizado que exige maximizar las capacidades productivas y minimizar costos, esto no sería posible sin un análisis previo de los sistemas y de los departamentos que permitan evaluar la gestión de la planta en pro de los objetivos y las unidades estratégicas de negocio de una empresa.

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.

3 PARAMETRIZACIÓN CMD

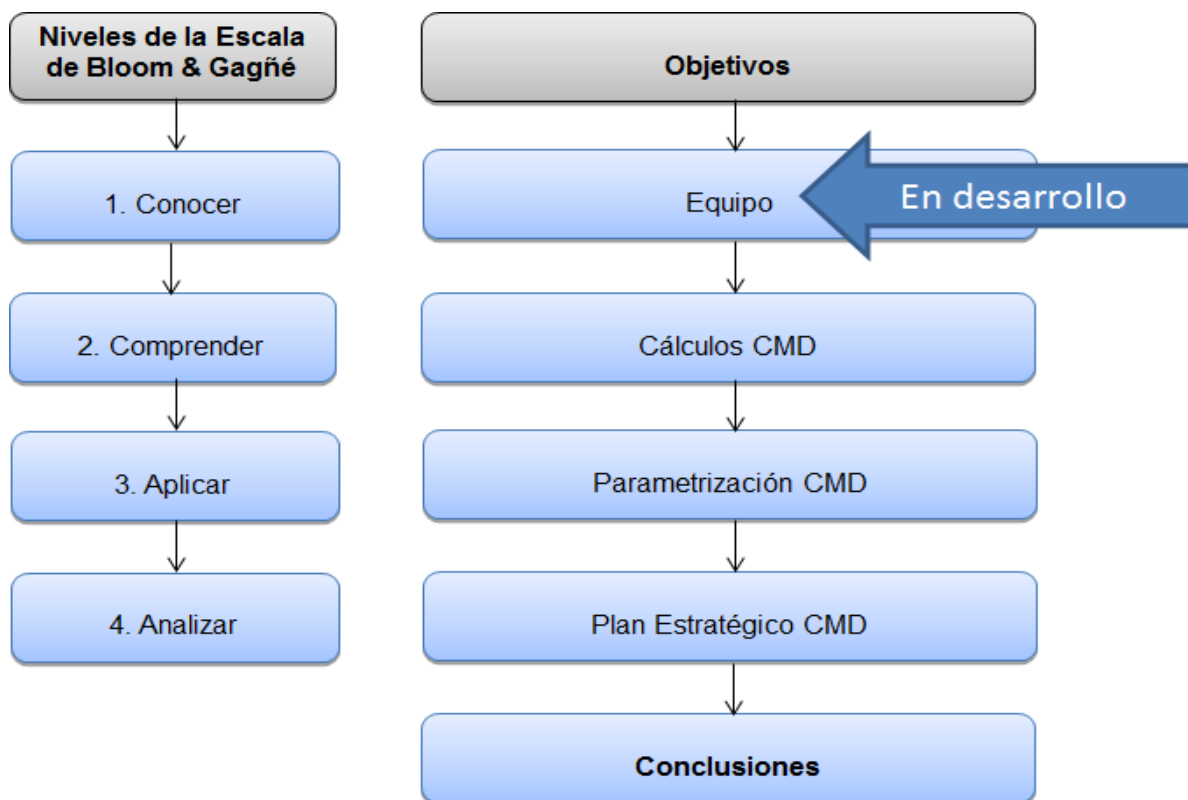
3.1 OBJETIVO 3

Medir los parámetros y algoritmos CMD en la maquina Laser Twin HS, con el fin de predecir su comportamiento en los estados presentes y futuros, calculando los valores de $MTBMc$ ¹², $MTBMp$ ¹³, $MTTR$ ¹⁴, y Mp ¹⁵ de la Disponibilidad Operacional - Nivel 3 - Aplicar

3.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 3

Esta es la sección donde se lleva a cabo la esencia del proceso de cálculos, algoritmización, descubrimientos y valores CMD juntos con sus graficas e instrumentos de orden técnico.

Ilustración 51 - Avance del Capítulo 3



¹² MTBMc: Tiempo Medio entre Mantenimientos Correctivos

¹³ MTBMp: Tiempo Medio entre Mantenimientos Programados.

¹⁴ MTTR: Tiempo Medio entre Reparaciones.

¹⁵ Mp: Mantenimientos Planeados

3.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 3

El capítulo desarrolla todos los tópicos y la fundamentación técnica necesaria para medir y calcular los parámetros y valores CMD, en su proceso de método puntual y por distribuciones, en especial Weibull.

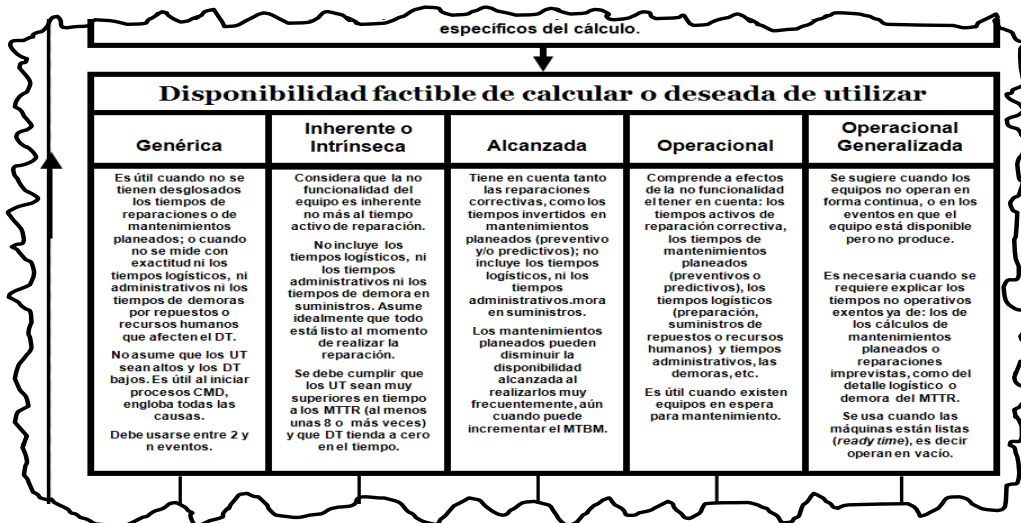
El primer paso, es llegar donde los datos se organizan de tal manera que los eventos de falla queden en orden cíclicos para posterior análisis.

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.

Los distintos valores de los cuatro datos de disponibilidad operacional requeridos, se procesan a continuación.

Ilustración 52 - Selección de disponibilidad



(Mora, 2009)

3.3.1 Análisis de Datos y selección de variables

El procesamiento se realiza con base en la tabulación de los datos, para establecer los juicios y para seleccionar debidamente la disponibilidad.

En síntesis, lo importante es tabular los datos, para luego realizar una esquema gráfico de los tiempos de funcionalidad y de no operación.

En el caso particular al existir demoras, indudablemente la disponibilidad a seleccionar es la Operacional, la cual es la indicada para este caso.

3.3.1.1 Procesamiento de Datos

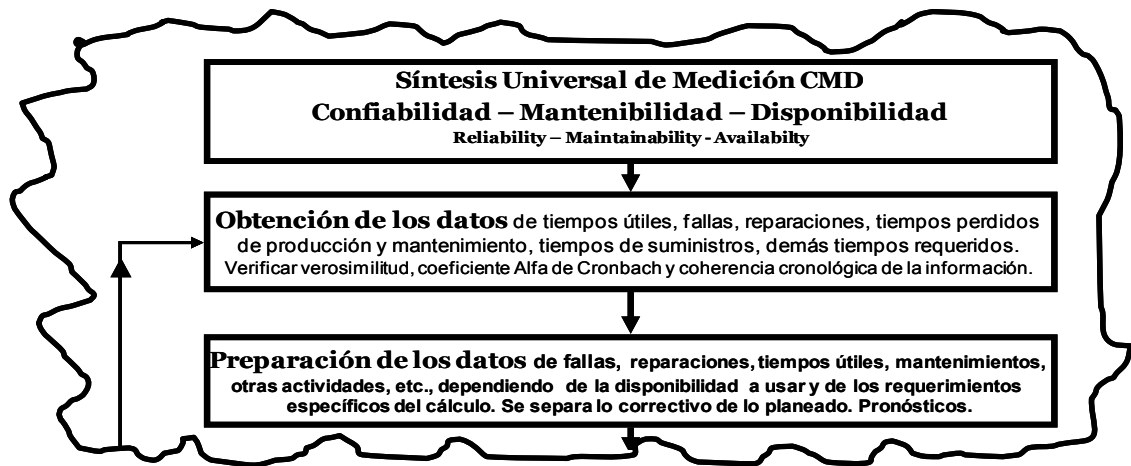
La primera fase es ordenar los datos de tiempos útiles y de fallas, luego el paso posterior consiste en revisar los datos pertinentes a tiempos operacionales o no, de las variables $MTBM_C$, $MTBM_P$, $MTTR$ y M_P , en la operacional.

Al igual se continúa por definir los valores promedio por mes, para tener una base coherente de cálculo, donde se disponen los datos por eventos continuos en el tiempos, clasificados por mes.

Ilustración 53 - Selección de variables de Disponibilidad Operacional

- $MTBM_C$ - Tiempos útiles entre correctivos
- $MTTR$ - Tiempos medios de trabajos correctivos
- $MTBM_P$ - Tiempos útiles entre planeados
- M_P - Tiempos medios de trabajos planeados

Ilustración 54 - Primera etapa de datos para la predicción CMD



(Mora, 2009)

A continuación se presenta la integralidad de los datos respectivamente en su orden $MTBM_C$, $MTTR$, $MTBM_P$ y M_P .

Ilustración 55 - Historial de Orden Cíclicos

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
Mes 1	0.8	1.9	0.8	5.7
Mes 2	1.5	2.2	1.5	356.1
Mes 3	0.9	1.5	0.9	14.0
Mes 4	0.8	2.0	0.8	9.1
Mes 5	0.9	1.7	0.9	65.4
Mes 6	1.6	1.8	1.6	11.8
Mes 7	0.8	1.0	0.8	8.1
Mes 8	0.6	1.2	0.6	2.6
Mes 9	0.7	1.1	0.7	5.1
Mes 10	0.8	1.0	0.8	5.5
Mes 11	0.9	1.3	1.2	9.3
Mes 12	0.8	1.2	0.8	9.1
Mes 13	1.0	1.9	1.0	53.2
Mes 14	1.0	1.1	1.0	48.4
Mes 15	0.9	0.9	0.9	124.2
Mes 16	1.0	2.9	1.0	98.1
Mes 17	1.1	2.5	1.1	88.6
Mes 18	2.2	2.8	2.2	134.7
Mes 19	1.9	1.6	1.9	45.2
Mes 20	1.8	2.5	1.8	89.6
Mes 21	1.7	1.5	1.7	441.2
Mes 22	1.1	2.1	1.1	160.5
Mes 23	1.6	3.7	1.6	407.6
Mes 24	2.2	2.4	2.2	221.6
Mes 25	1.1	3.3	1.1	244.7
Mes 26	1.0	2.7	1.0	148.5
Mes 27	1.0	2.2	1.0	151.7
Mes 28	1.0	3.1	1.0	53.4
Mes 29	0.9	3.0	0.9	62.9
Mes 30	1.8	8.0	1.8	141.7
Mes 31	0.7	2.6	0.7	8.0
Mes 32	1.3	1.9	1.3	347.2
Mes 33	1.1	4.9	1.1	215.6
Mes 34	0.7	2.8	0.7	30.5
Mes 35	0.9	3.8	0.9	55.8
Mes 36	1.1	2.6	1.1	246.3
Mes 37	1.5	3.6	1.5	374.8
Mes 38	1.0	2.1	1.0	147.1
Mes 39	1.4	2.5	1.4	77.6
Mes 40	1.4	2.6	1.4	150.1
Mes 41	0.6	2.2	0.6	44.1
Mes 42	3.1	3.6	3.1	126.8
Mes 43	2.1	3.4	2.1	139.2
Mes 44	2.1	2.7	2.1	273.3
Mes 45	2.2	3.8	2.2	63.6

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
Mes 45	2.2	3.8	2.2	63.6
Mes 46	1.0	3.2	1.0	29.8
Mes 47	1.6	3.7	1.6	116.3
Mes 48	1.6	3.6	1.6	61.2
Mes 49	1.0	2.8	1.0	114.2
Mes 50	1.2	7.9	1.2	84.7
Mes 51	1.0	6.0	1.0	170.5
Mes 52	0.8	3.1	0.8	58.4
Mes 53	0.9	3.7	0.9	114.4
Mes 54	0.8	3.0	0.8	62.8
Mes 55	0.6	2.2	0.6	33.2

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) (Mora, 2012); 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).

Los datos individuales de $MTTR$, $MTBMc$, MP y $MTBmP$; están resumidos tal como se muestran en la plantilla de análisis. Los datos comprenden prácticamente cinco (5) años de análisis, para un total de 55 datos mensuales.

Los eventos son 37979 para $MTBM_C$, 2705 de $MTTR$, 37979 para $MTBM_P$ y 977 para M_P . Dichos datos se encuentran en el siguiente archivo adjunto en Excel.

Ilustración 56 - Archivo Excel de eventos



EVENTOS $MTBMc$
 $MTTR$ $MTBmP$ MP DA

El procedimiento consiste en evaluar los parámetros Beta, Eta, Valores de $MTBM_C$, $MTTR$, $MTBM_P$ y M_P , cada vez que haya un evento, de esta forma se obtienen con los softwares los valores de los parámetros enunciados.

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.

En total se cuenta con 55 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 por ahora se observa que los tiempos útiles entre correctivos y entre preventivos predictivos, son supremamente pequeños frente a los inmensos valores promedios de mantenimientos planeados.

0.1 CONCLUSIONES DE CAPITULO 3

Es muy importante contar con un volumen suficiente de datos para poder obtener con claridad los pronósticos y los análisis CMD ulteriores.

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

Los datos y la información de operatividad y mantenimiento organizada de forma estándar permiten dejar abierto el inicio del análisis CMD para la máquina analizada.

La disponibilidad operacional es la más adecuada para el análisis CMD, en particular, ya que incluye operación, downs y demoras, de esta máquina.

La obtención, la manipulación y el registro preciso, exacto, adecuado y confiable de la información (calidad de información) de un camión, asegura que los pronósticos del análisis CMD tengan completa utilidad.

1 ESTRATEGIA CMD

1.1 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

1.2 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.

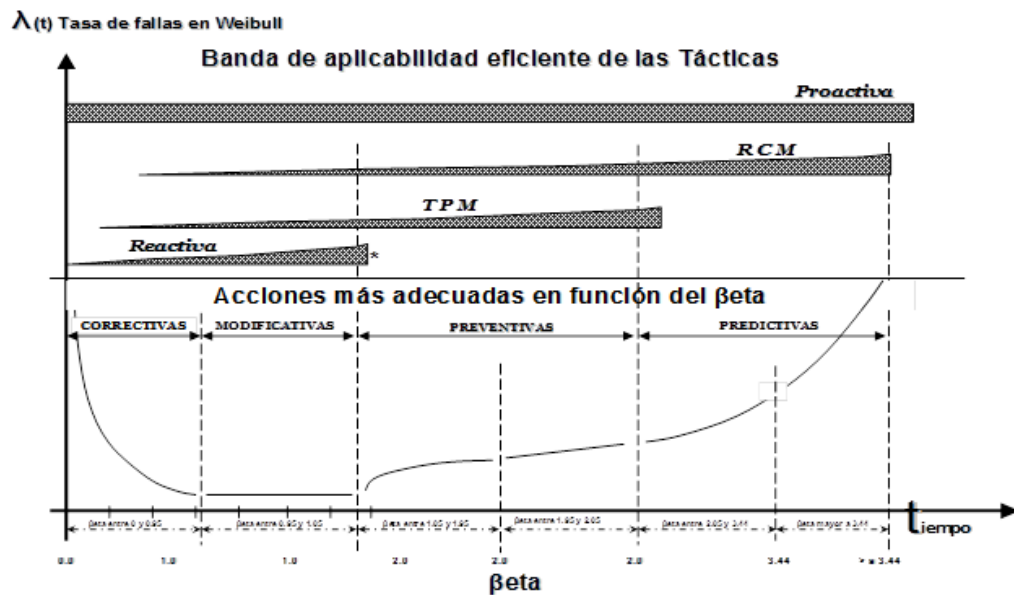
1.3 DESARROLLO DE CAPITULO 4

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.

1.3.1 Fundamentación

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

Ilustración 57 - Curva de Weibull - Davies



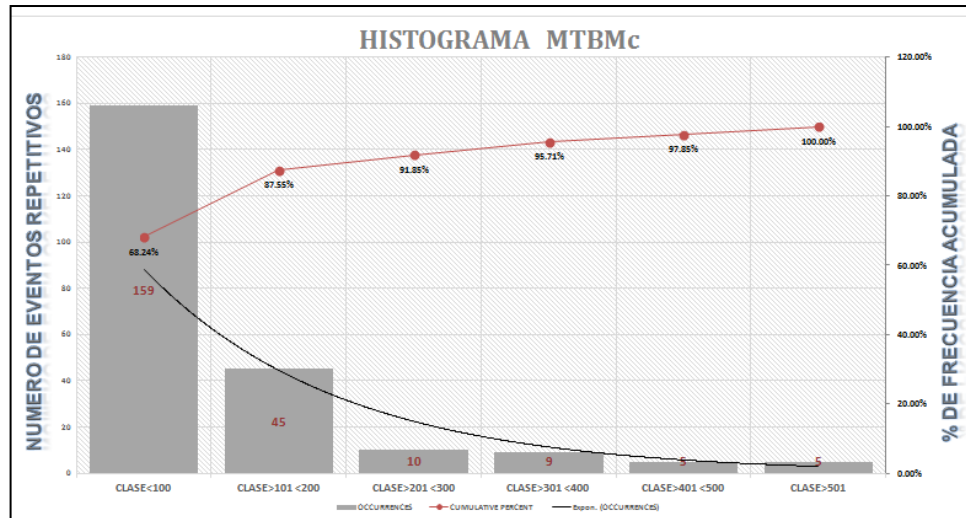
1.3.2 Validación

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 58 - Datos de MTBMP MP, MTBMc, MTTR

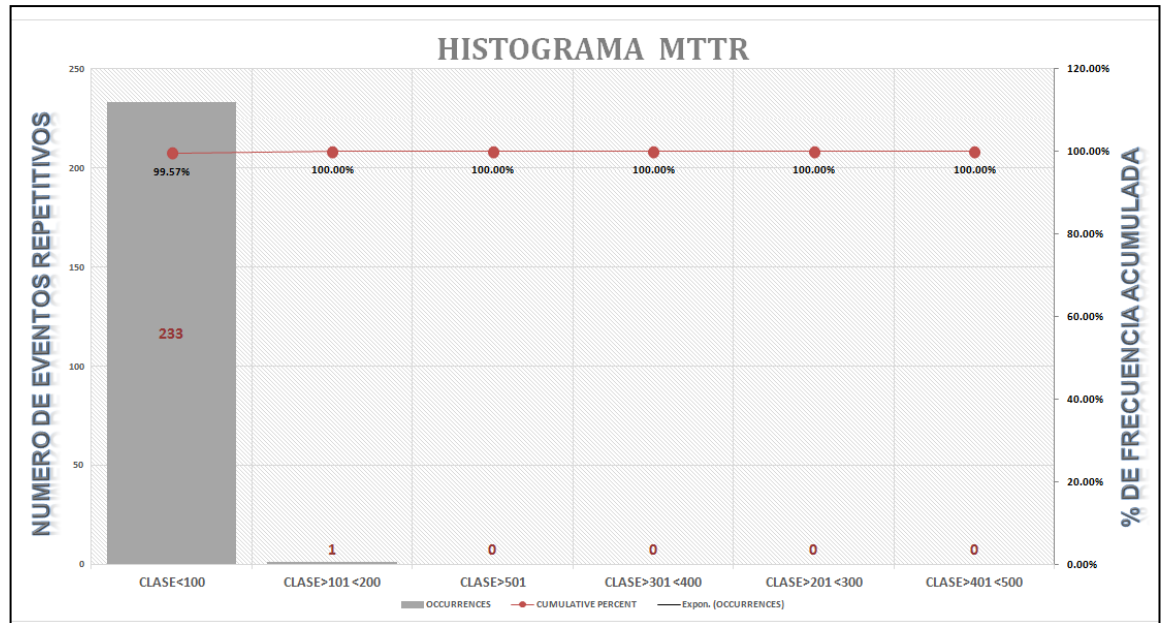
Años	Dato de	MTBMc	Horas Promedio Mensual	Dato de	MTTR	Horas Promedio Mensual	Dato de	MTBMP	Horas Promedio Mensual	Dato de	MP	Horas Promedio Mensual	Años
2012	Mes 1 Año 1	1	79.3614	Mes 1 Año 1	1	1.0167	Mes 1 Año 1	1	406.5583	Mes 1 Año 1	1	26.0667	2012
2012	Mes 2 Año 1	2	68.2833	Mes 2 Año 1	2	0.9932	Mes 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	0.8993	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 59 - Histograma de frecuencia MTBMc



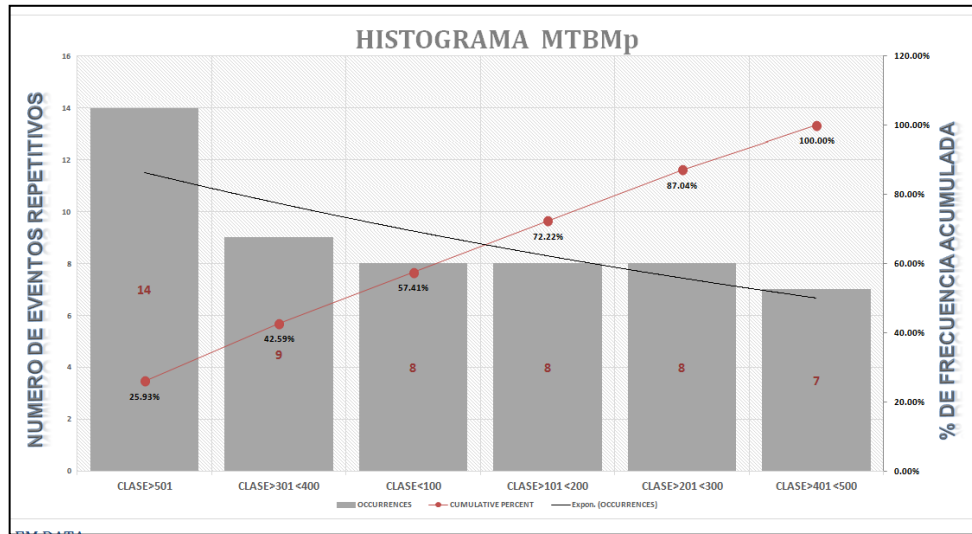
PROBLEM DATA			
EVENTOS	OCCURRENCES	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENT
CLASE < 100	159	68.24%	68.24%
CLASE > 101 < 200	45	19.31%	87.55%
CLASE > 201 < 300	10	4.29%	91.85%
CLASE > 301 < 400	9	3.86%	95.71%
CLASE > 401 < 500	5	2.15%	97.85%
CLASE > 501	5	2.15%	100.00%
	233	100.00%	

Ilustración 60 - 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%	

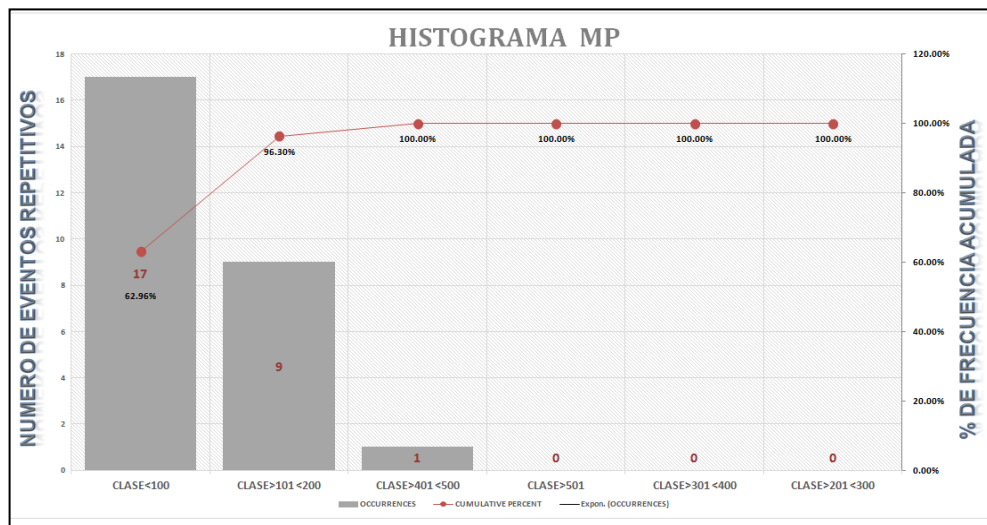
Ilustración 61 - Histograma de frecuencia MTBMp



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%
Total	54	100.00%	

Ilustración 62 - 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 63 - 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

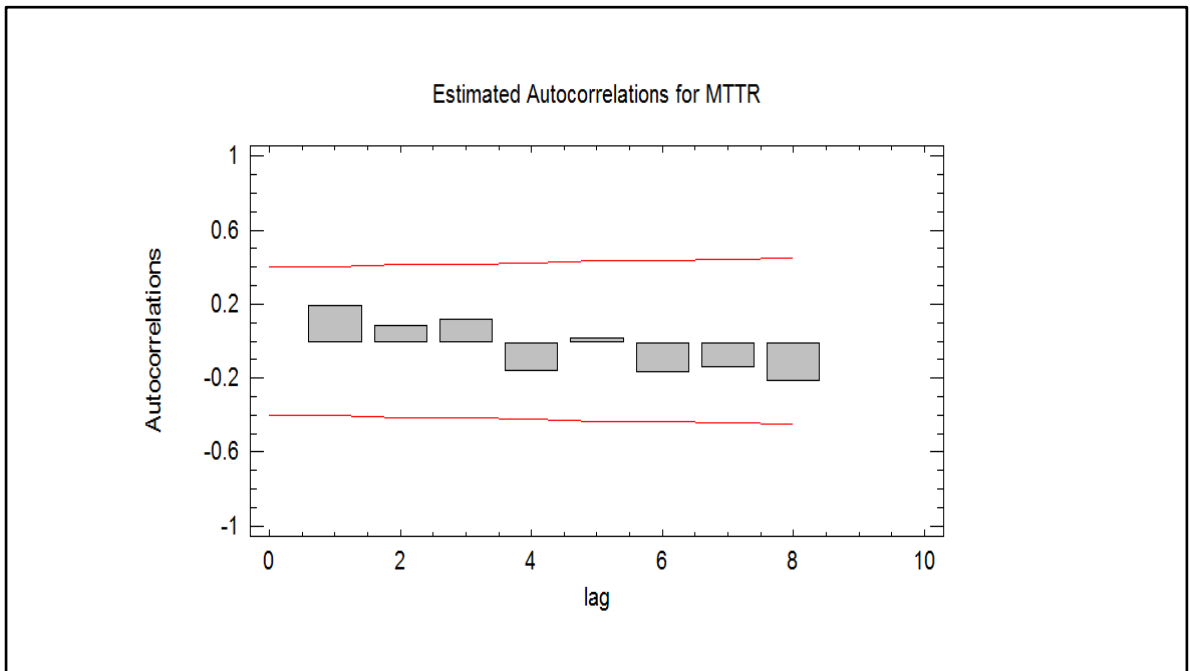
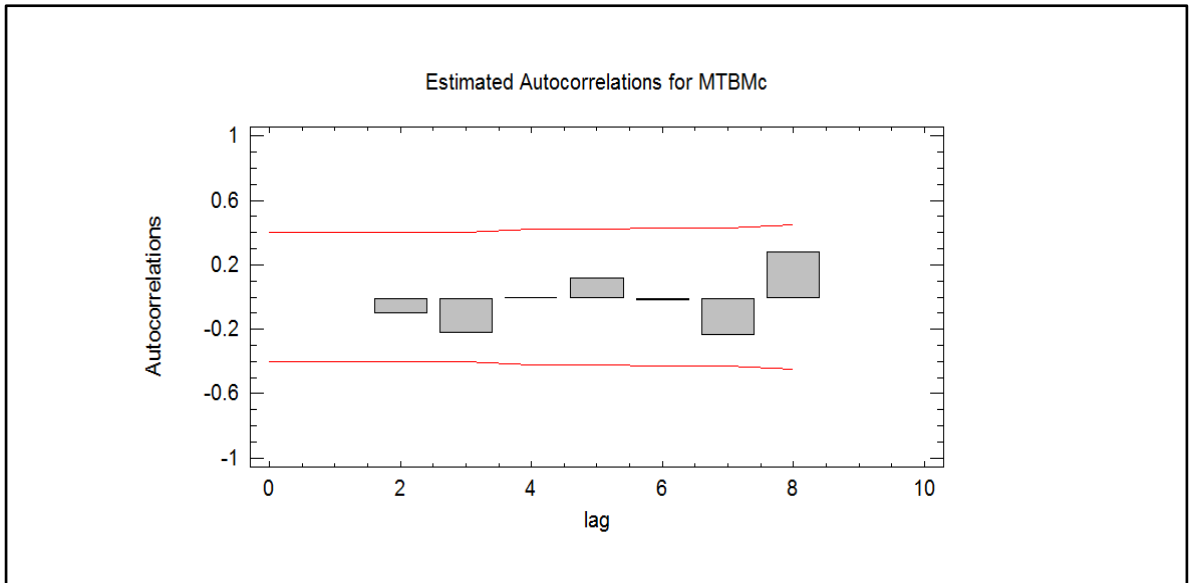
Enviar resultados a: Portapapeles Impresora Fichero

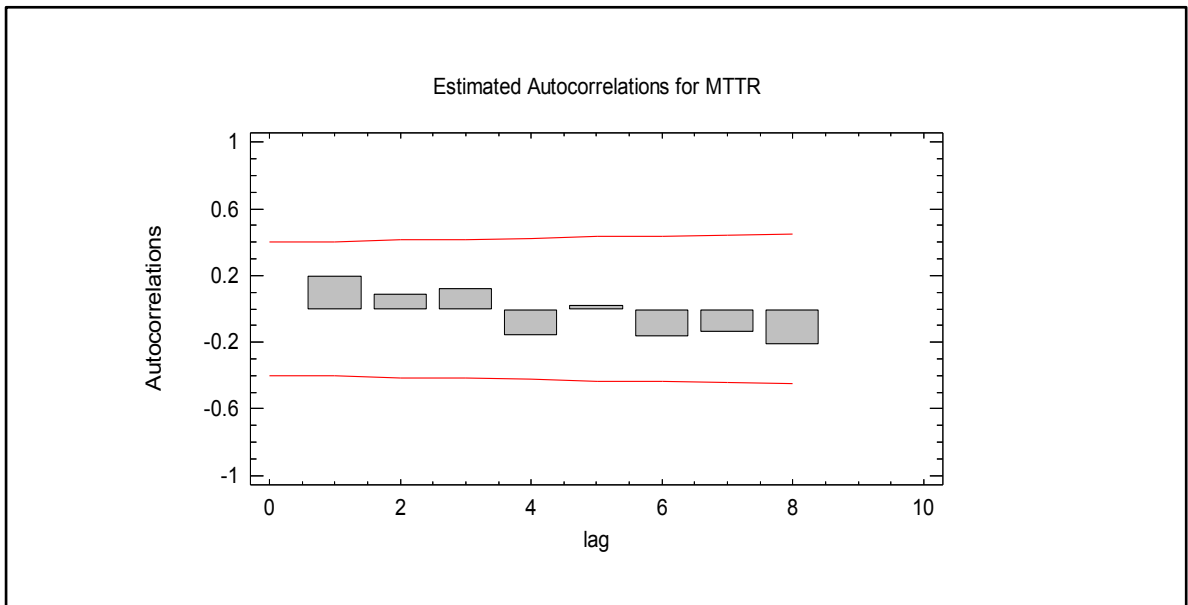
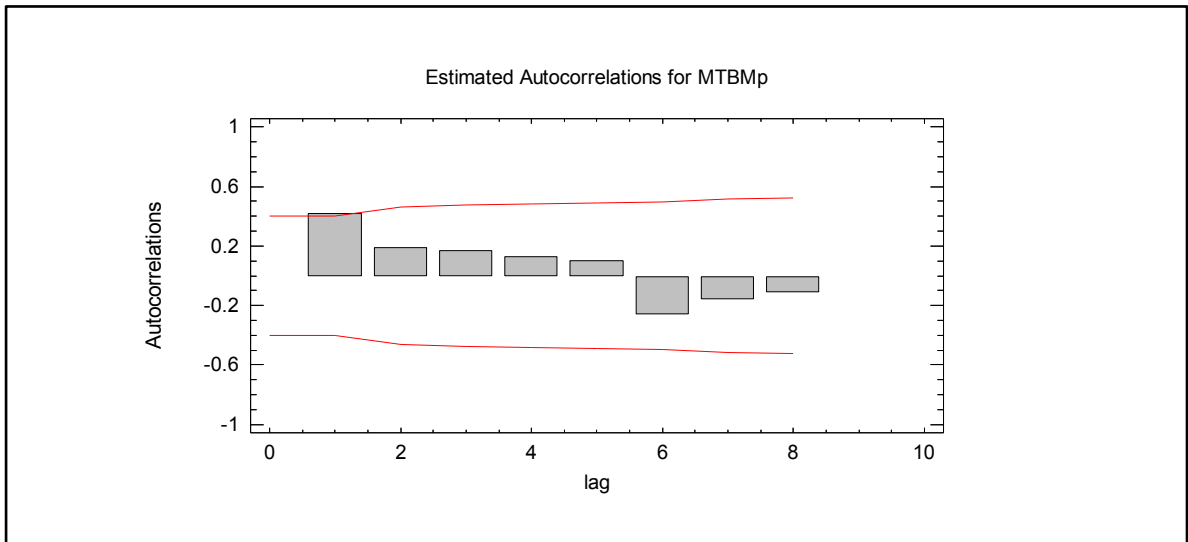
Tamaño de fuente: 10 Ajuste de línea: SI No

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

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

Ilustración 64 - Pruebas de ACF

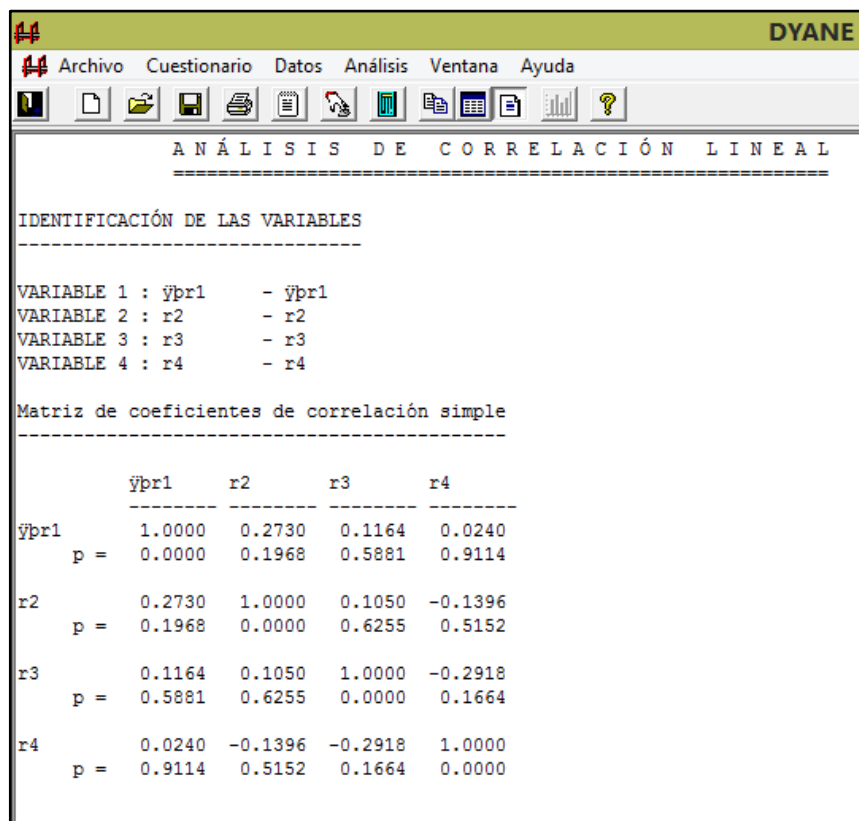




En general la prueba del ACF, no la cumple ninguna de las cuatro variables, quiere decir que su comportamiento futuro es netamente una prolongación del pasado, el hecho de que no se cumpla el ACF, denota varias cosas, que su tendencia es plana y tendrán a futuro valores similares al pasado, son de corte 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 ACF¹⁶, 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 65 - 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.

¹⁶ ACF Función de Auto Correlación.

Ilustración 66 - 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 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 - Planned (Preventive and/or Predictive)									
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

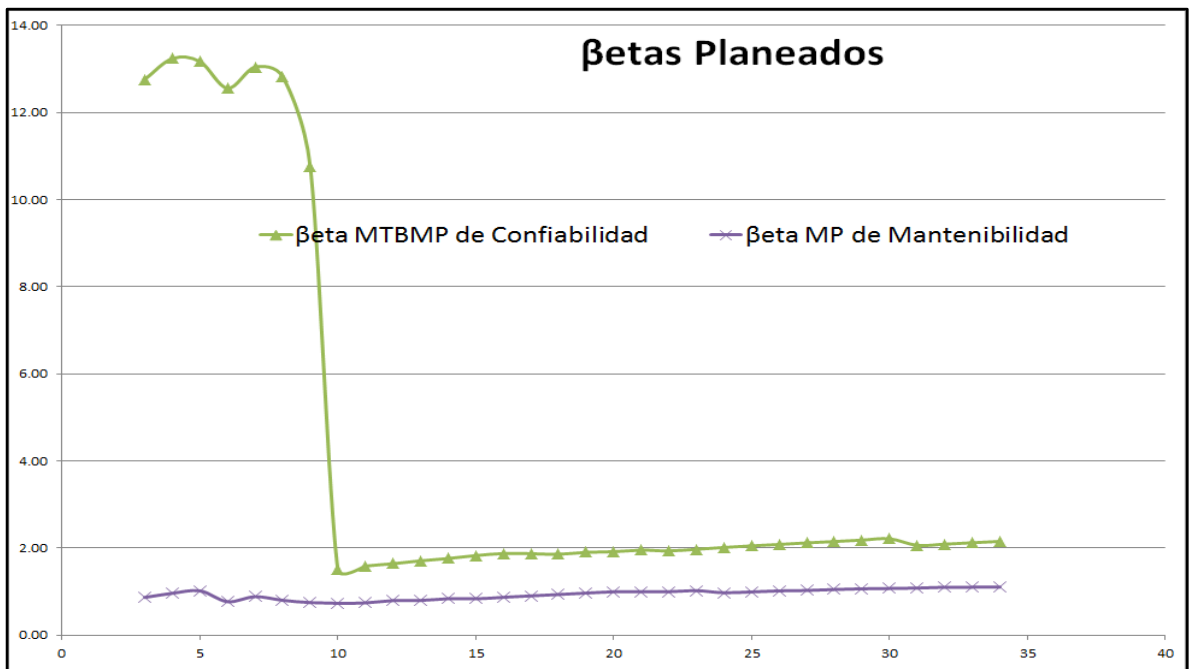
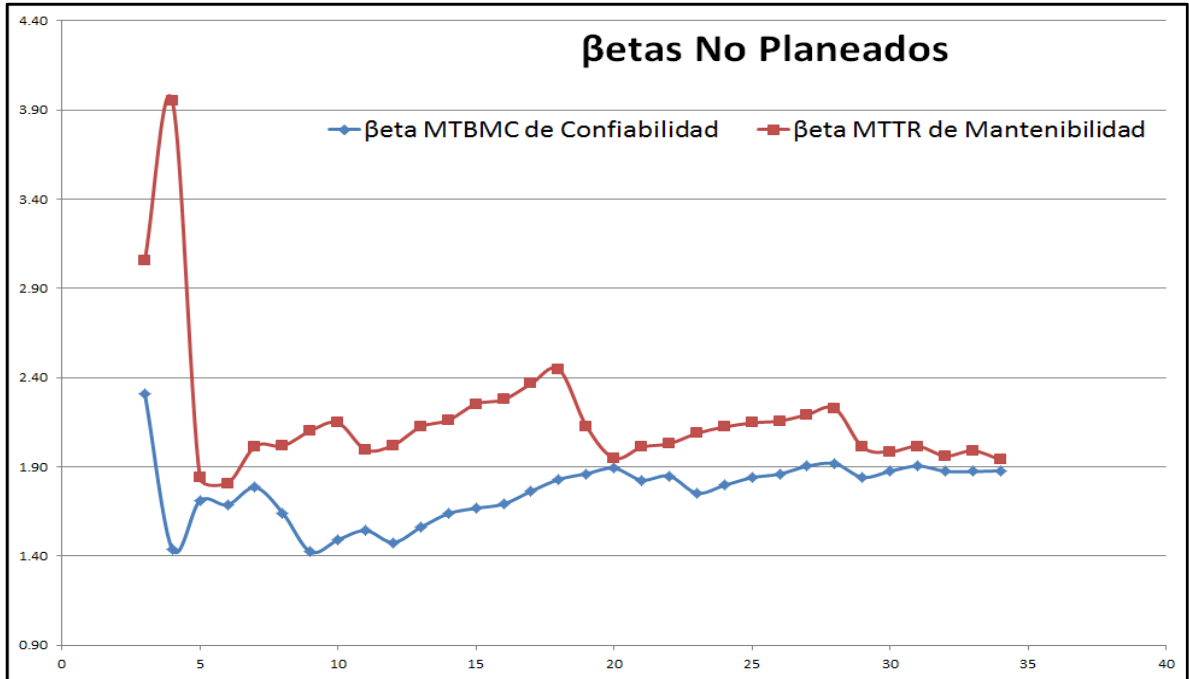
M_p

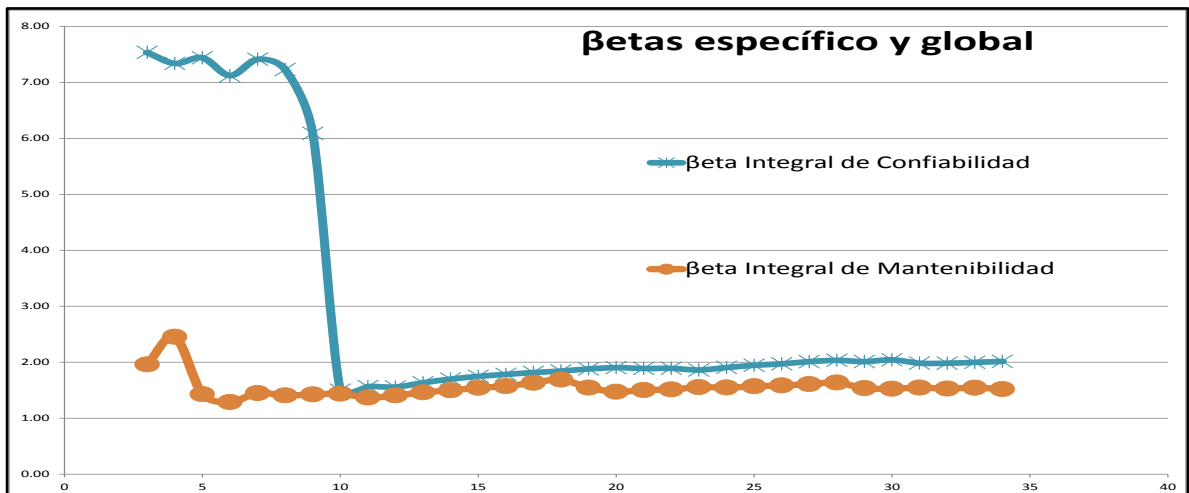
Mantenibilidad - Planeada (Preventiva y/o Correctiva)									
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	beta M_p de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M_p	Alineación	Goodness of Fit	Cumple una Bonda de Ajuste - Goodness of Fit	M_p Calculado	Tiempo Mantenibilidad Calculado M_p
1		9.00			Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	22.0255294	22.0255294
2		9.00	0.57	25.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	20.5807225	20.5807225
3	Weibull	43.97	0.96	20.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	16.5807225	16.5807225
4	Weibull	6.35	1.02	16.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	16.7100017	16.7100017
5	Weibull	5.17	0.77	28.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	20.8807225	20.8807225
6	Weibull	101.00	0.88	27.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	40.2607225	40.2607225
7	Weibull	18.42	0.80	38.16	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	60.7807225	60.7807225
8	Weibull	121.00	0.75	50.92	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	76.0007225	76.0007225
9	Weibull	169.80	0.73	62.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	85.0207225	85.0207225
10	Weibull	169.80	0.74	71.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	86.7207225	86.7207225
11	Weibull	131.00	0.79	68.49	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	78.8207225	78.8207225
12	Weibull	35.80	0.80	76.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	87.9407225	87.9407225
13	Weibull	145.85	0.84	71.77	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	86.0207225	86.0207225
14	Weibull	24.17	0.84	79.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
15	Weibull	162.00	0.83	80.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
16	Weibull	74.00	0.87	80.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
17	Weibull	69.50	0.90	81.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
18	Weibull	69.50	0.93	78.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
19	Weibull	32.25	0.97	76.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
20	Weibull	32.25	1.00	80.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
21	Weibull	148.13	1.00	85.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
22	Weibull	148.13	1.02	82.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
23	Weibull	30.92	1.02	92.79	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
24	Weibull	432.25	0.99	90.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
25	Weibull	34.22	1.02	90.39	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
26	Weibull	73.42	1.03	87.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
27	Weibull	20.83	1.05	86.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
28	Weibull	67.00	1.05	84.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
29	Weibull	33.00	1.06	87.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
30	Weibull	129.50	1.07	89.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
31	Weibull	129.50	1.08	88.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
32	Weibull	68.42	1.10	92.57	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
33	Weibull	100.23	1.10	95.24	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225
34	Weibull	160.22	1.10		Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	94.1007225	94.1007225

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 67 - betas



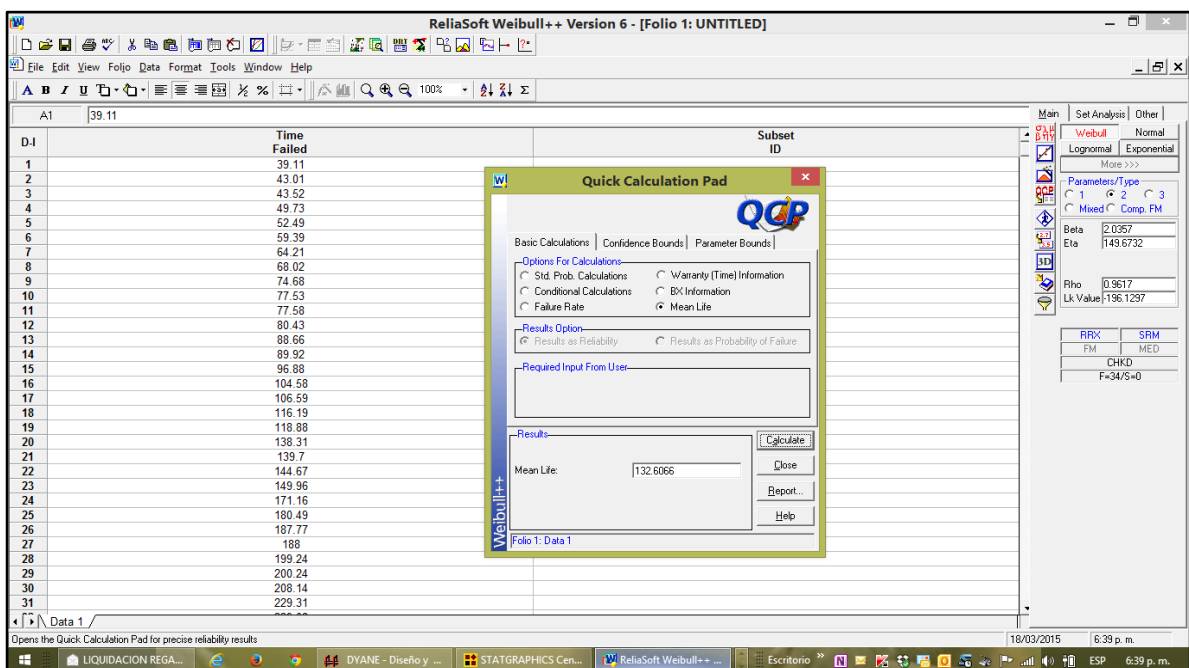


Para el caso de lo planeado, tanto $MTBM_P$ como M_P ; cumplen en todos los eventos individuales y acumulados con la prueba Kolmogórov-Smirnov, lo que permite asegurar que los cálculos CMD y los pronósticos pertinentes cumplen la expectativa de certeza estadística, que generan, por lo cual se procede 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 68 - 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++ software 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' dialog box is open, showing the 'Basic Calculations' tab. The 'Options For Calculations' section includes:

- Std. Prob. Calculations
- Conditional Calculations
- Failure Rate
- Warranty (Time) Information
- BX Information
- Mean Life

 The 'Results Option' section includes:

- Results as Reliability
- Results as Probability of Failure

 The 'Required Input From User' section is empty. The 'Results' section shows 'Mean Life: 7.1285'. The 'Calculate' button is highlighted.

The right sidebar shows the following parameters:

- Beta: 2.1971
- Eta: 8.0492
- Rho: 0.9408
- Lk Value: 98.3466

 The bottom status bar shows the date 18/03/2015 and time 6:43 p. m.

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

The screenshot displays the ReliaSoft Weibull++ interface. The main window shows a spreadsheet with 'Time Failed' data. A 'Quick Calculation Pad' (QCP) dialog box is open, showing the 'Basic Calculations' tab. The 'Results' section indicates a 'Mean Life' of 352.1707. On the right, the 'Parameters/Type' table is visible:

Parameter	Value
Beta	2.6505
Eta	396.2115
Rho	0.9010
Lk Value	218.1955

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

The screenshot displays the ReliaSoft Weibull++ interface. The main window shows a spreadsheet with 'Time Failed' data. A 'Quick Calculation Pad' (QCP) dialog box is open, showing the 'Basic Calculations' tab. The 'Results' section indicates a 'Mean Life' of 89.2876. On the right, the 'Parameters/Type' table is visible:

Parameter	Value
Beta	1.1462
Eta	83.7293
Rho	0.9823
Lk Value	186.5875

Para el MP, se presentan en β eta y Eta 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 (Beta β y Eta η), que no ofrece el cálculo puntual (Billington, y otros, 1983) (Makridakis, y otros, 1998) (Mora, 2009).

Ilustración 69 - Resumen y comparación de resultados

	Weibull		Reliasof W6++		Puntual	
	β eta	η Eta	β eta	η Eta	β eta	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

1.3.3 Resultados, estrategias y pronósticos

Una vez se procede a obtener los pronósticos con la metodología de series temporales, para los valores de Eta y β eta 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 70 - 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 71 - Análisis betas No Planeados con historia y pronósticos

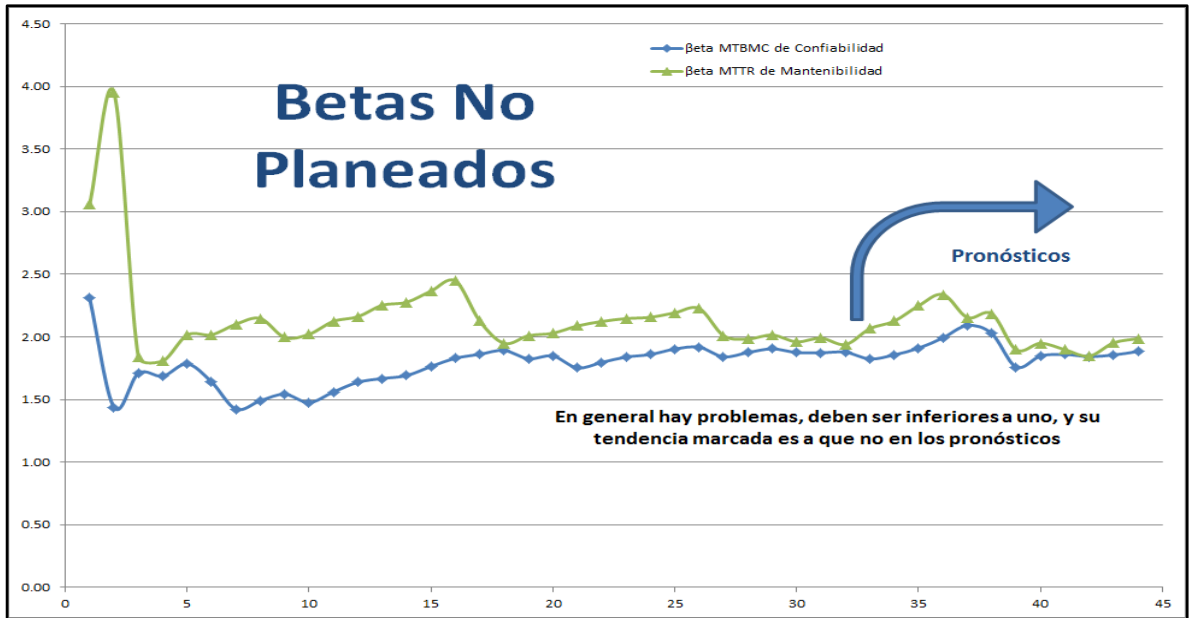
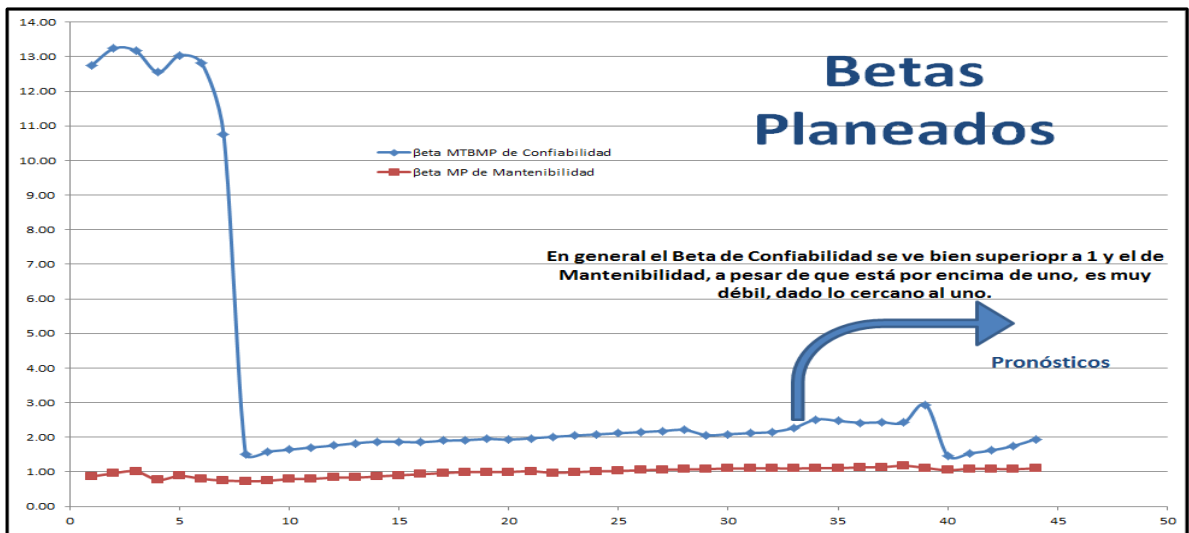


Ilustración 72 - Análisis betas Planeados con historia y pronósticos



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 73 - 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.

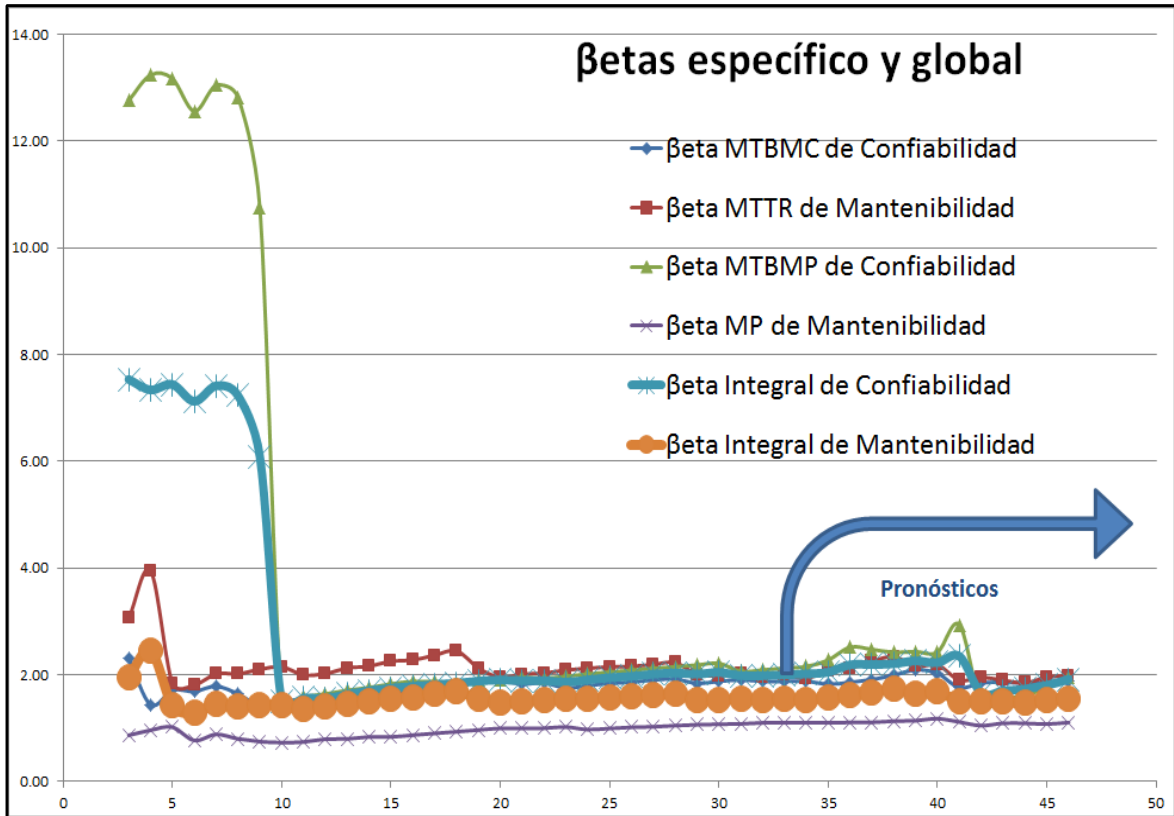
La metodología para pronosticar con series temporales se resume en los siguientes pasos:

Ilustración 74 - 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>	

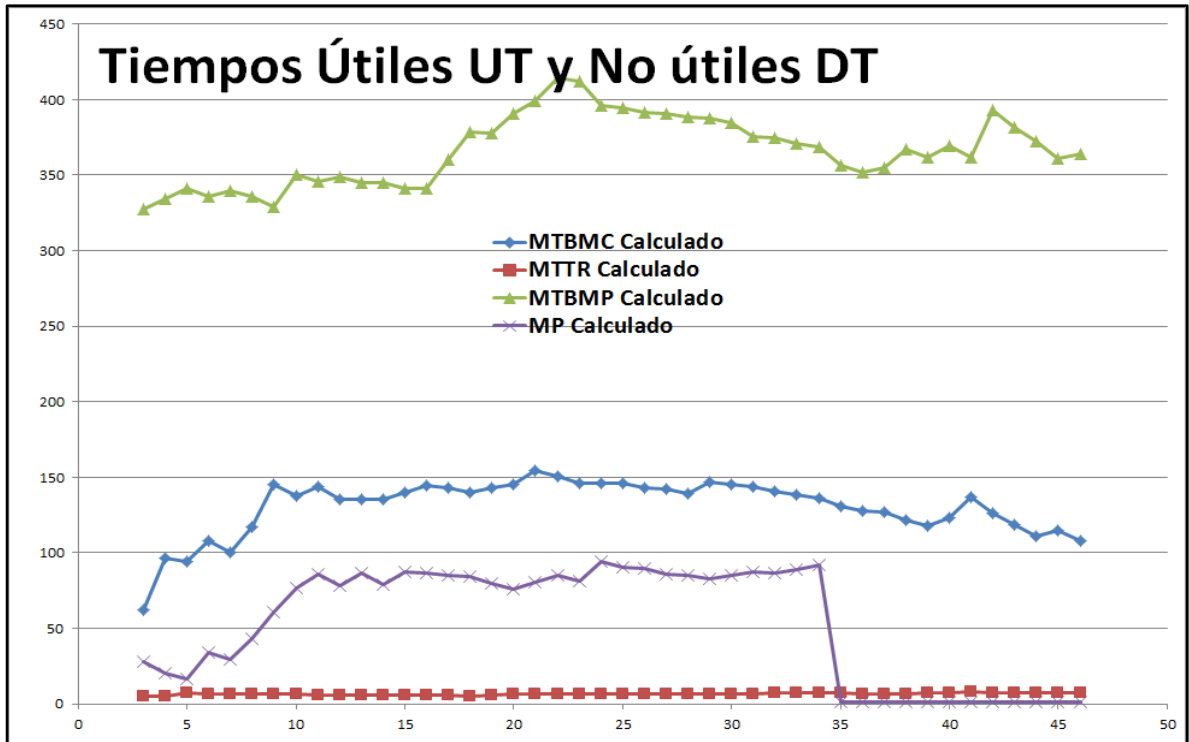
(Mora, 2012)

Ilustración 75 - 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 76 - Tiempos Útiles

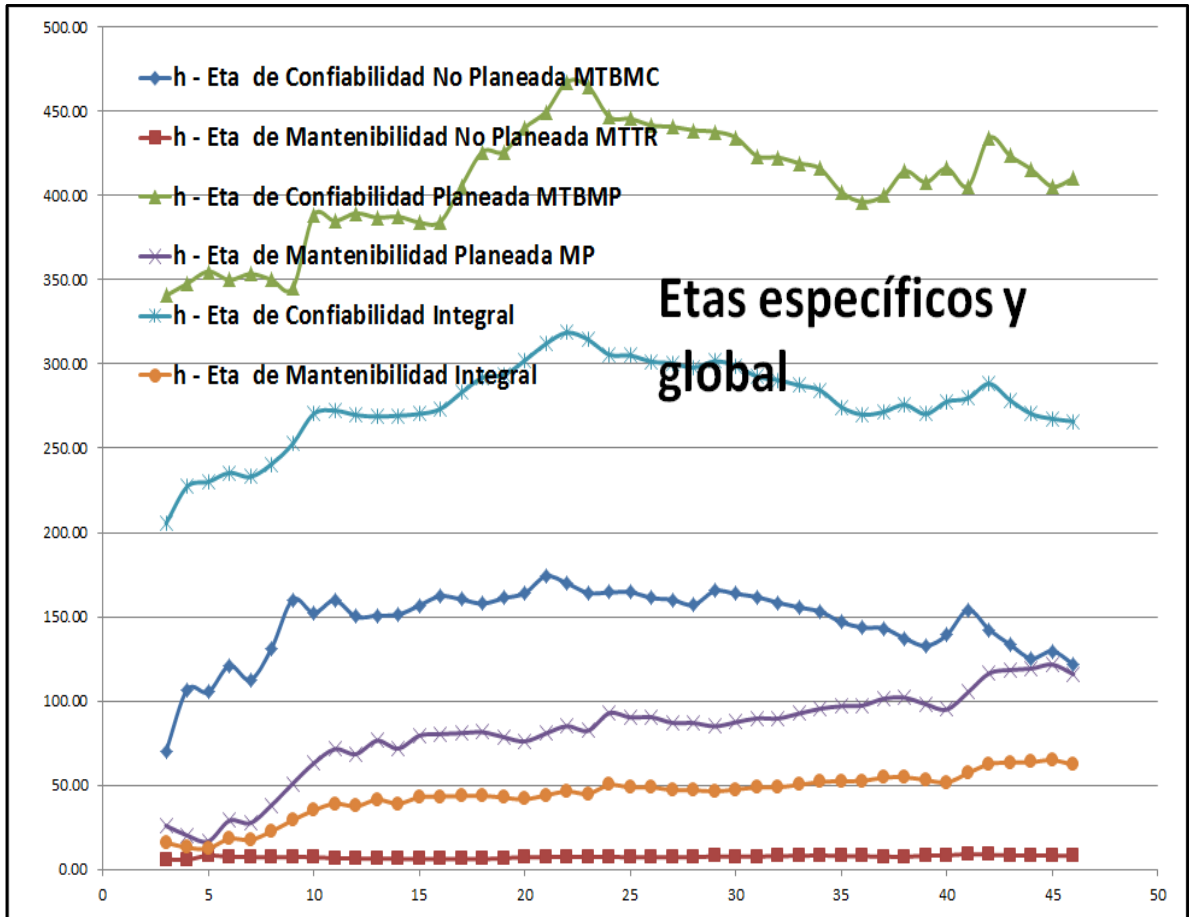


Se aprecia de manera clara la gran diferencia entre los tiempos de funcionalidad entre actividades predictivas y/o preventivas cercano a 355 horas, frente a los tiempos de funcionamiento entre correctivos de aproximadamente de 130, la causa de esta parece ser solo una, un falta de control entre las causas 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.

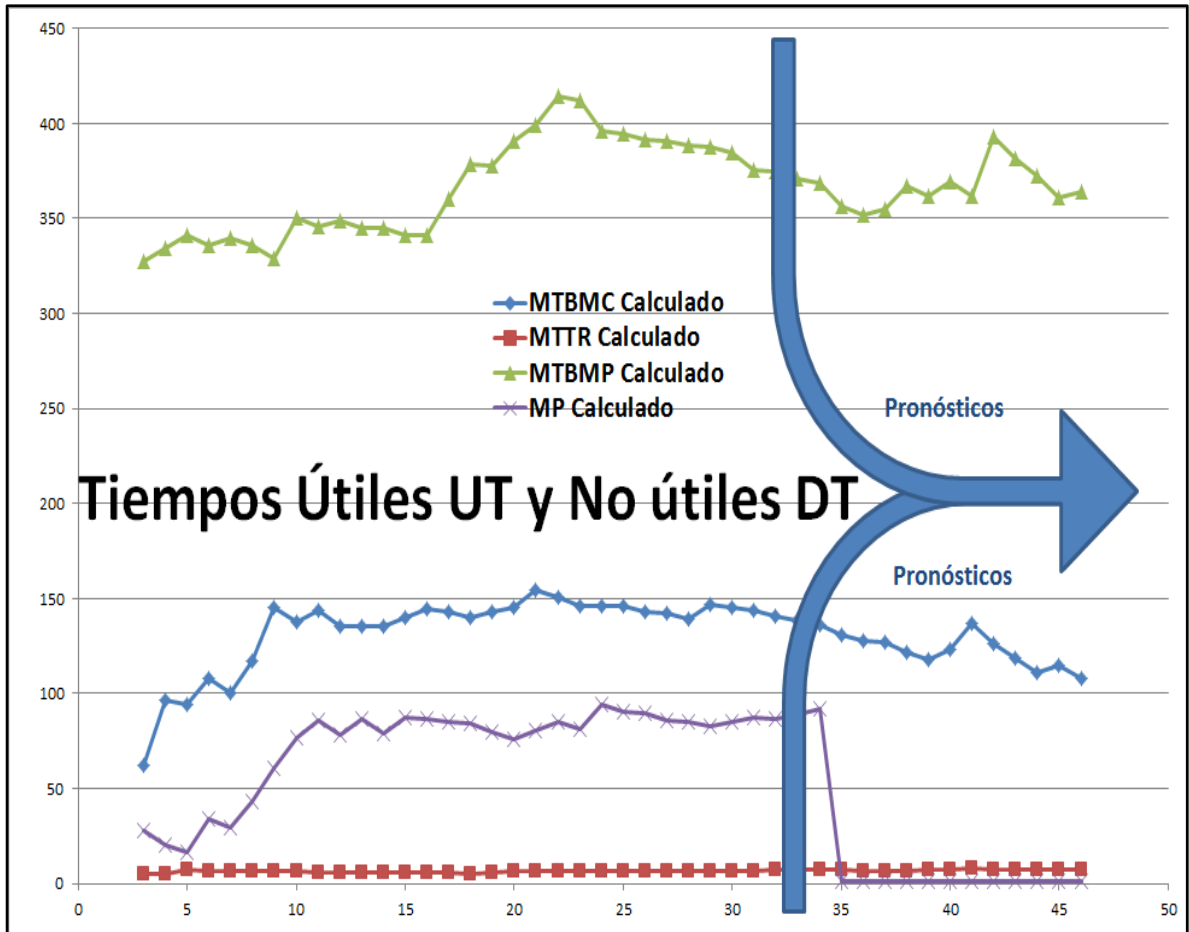
Ilustración 77 - Valores de los η Etas Factor de Escala



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.

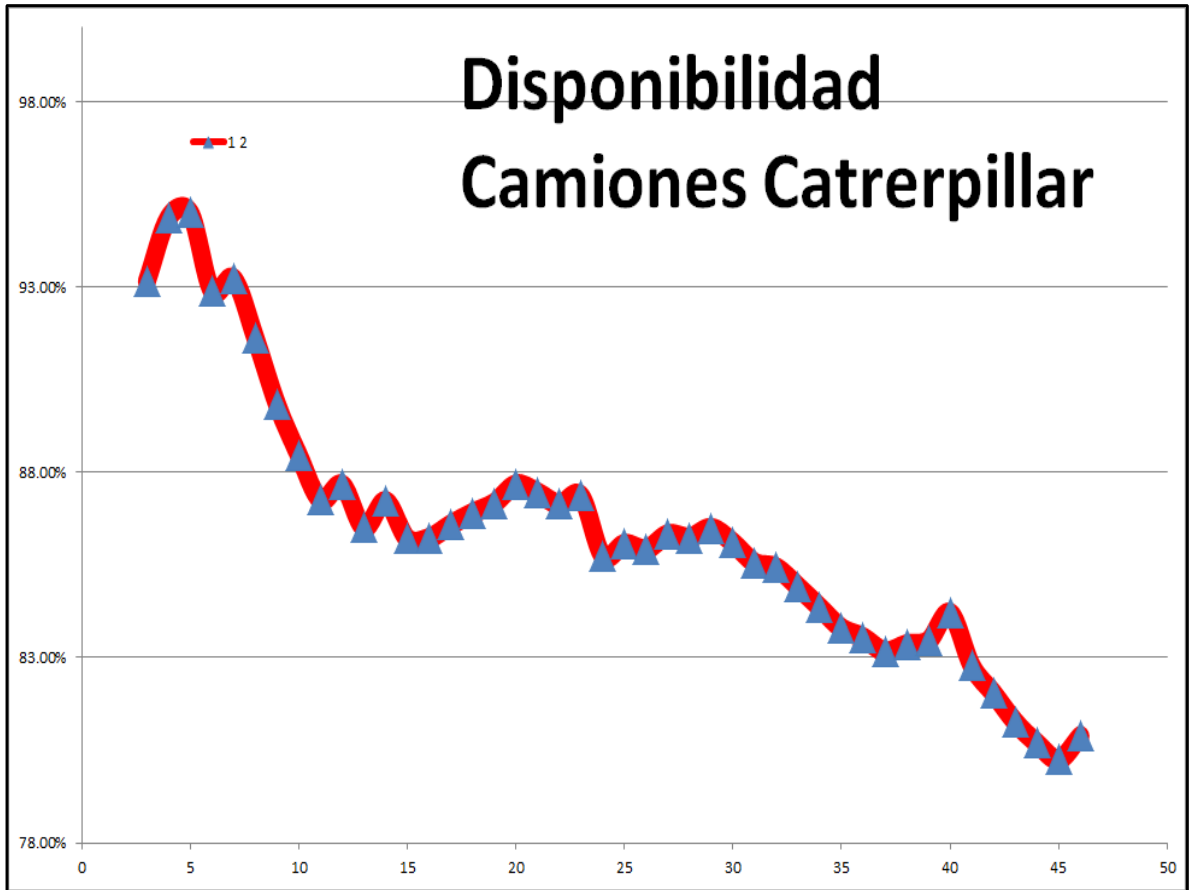
Ilustración 78 - Tiempos útiles de Funcionalidad o de Mantenimiento



Resalta nuevamente los pequeños tiempos $MTBM_C$ frente a los normales $MTBM_P$.

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 M_p crezca a valores siquiera cercanos al 3, actual en el 1.

Ilustración 79 - Disponibilidad histórica y futura

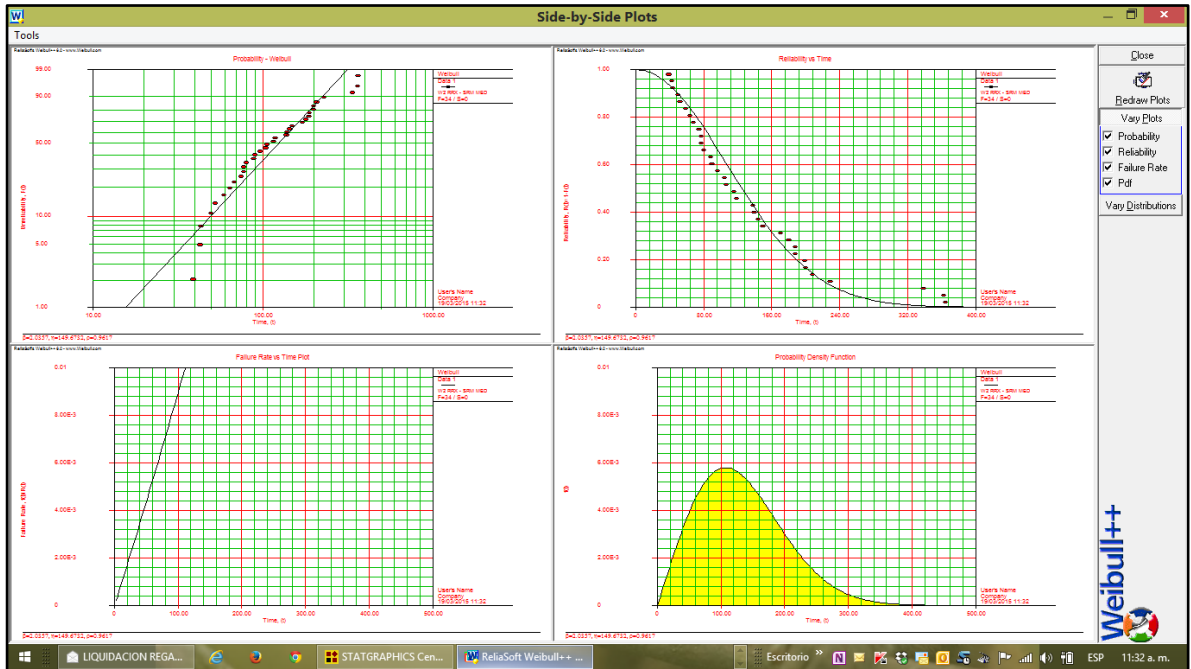


La disponibilidad, se mantiene en niveles meramente aceptables, al mejorar los tiempos útiles entre correctivos, o al desaparecer estos, indudablemente sube sustancialmente, mejorando todos los indicadores de costos y de desempeño CMD de los Caterpillar.

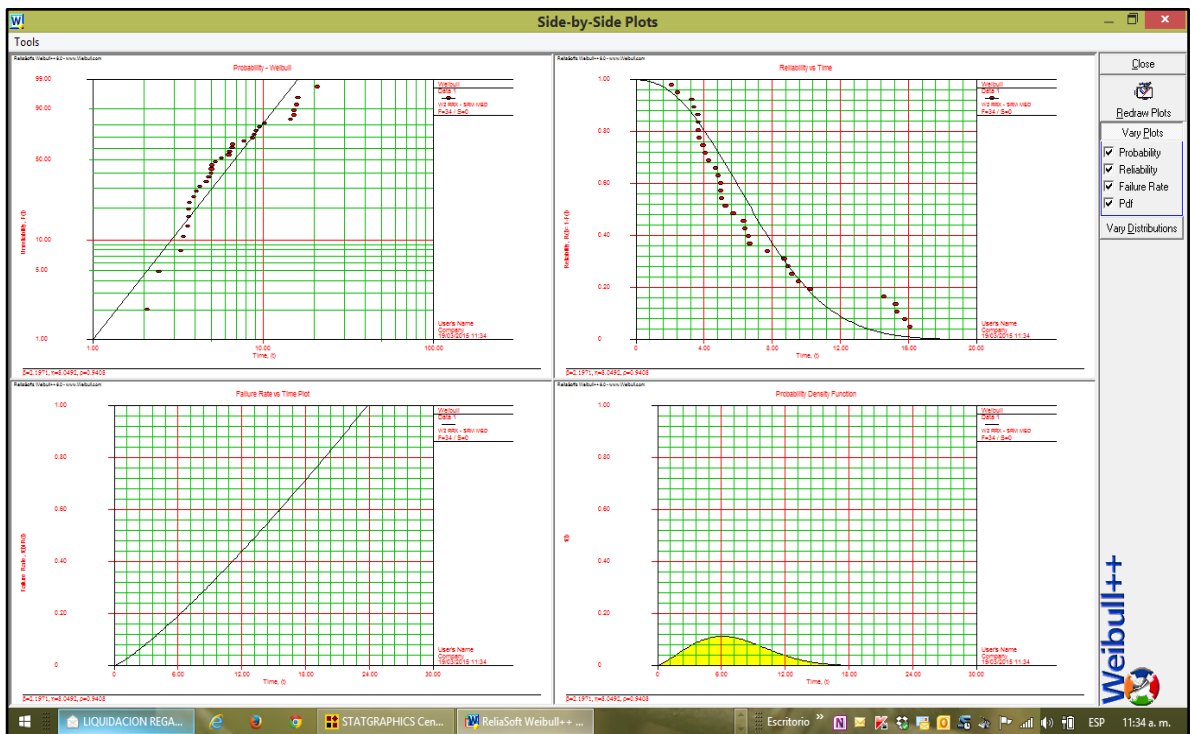
Otras valoraciones, permiten cuantificar y verificar que los análisis anteriores con Weibull cumplen a cabalidad y con demasía las expectativas esperadas y la estrategia recomendada única.

Ilustración 80 - Curvas Alineación, $f(t)$, $F(t)$, Hazard, Mantenibilidad de Reliasoft

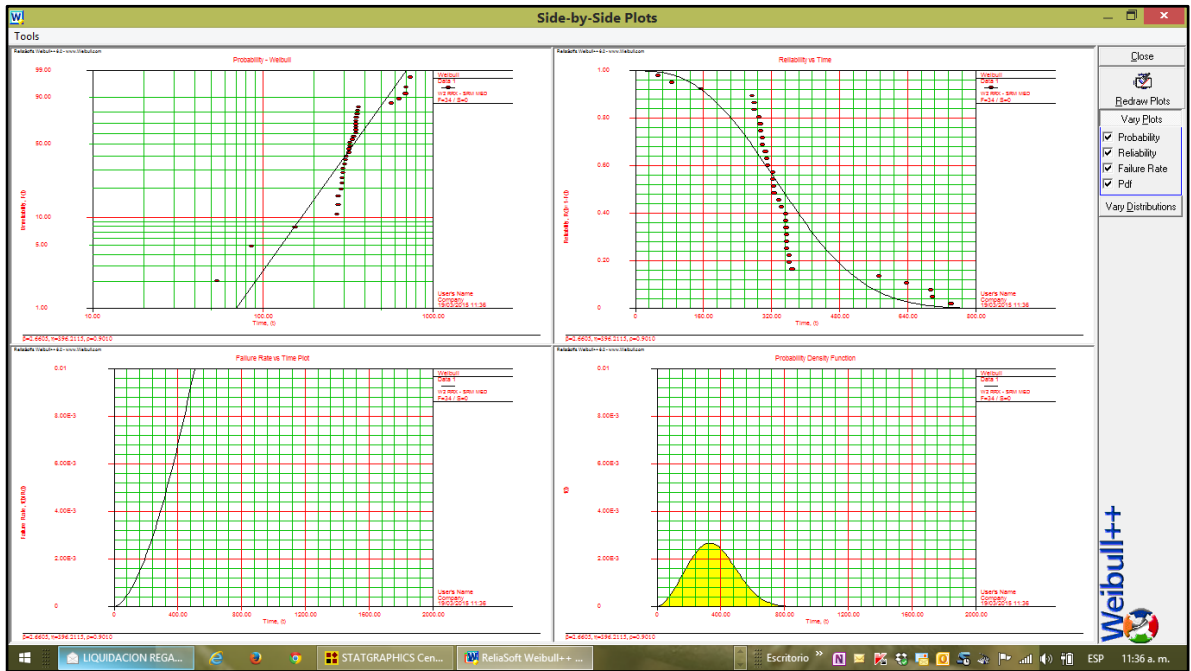
MTBM_C



MTTR



MTBM_p



M_p

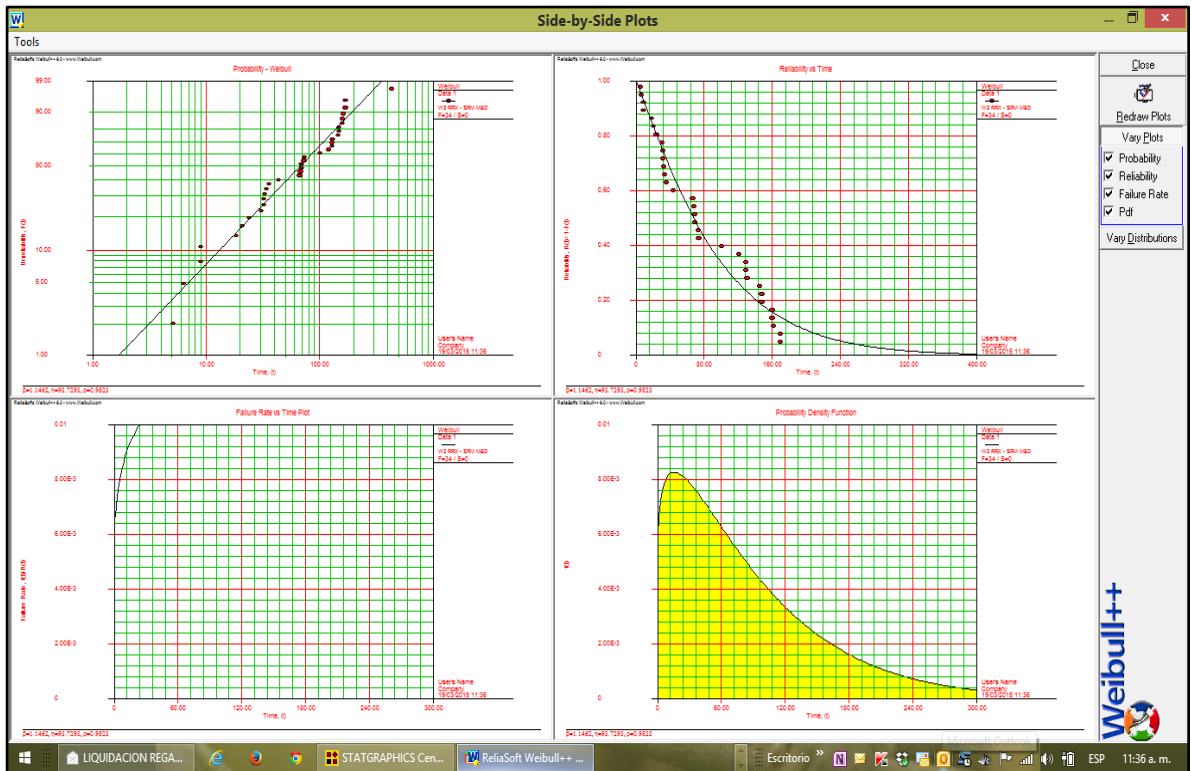
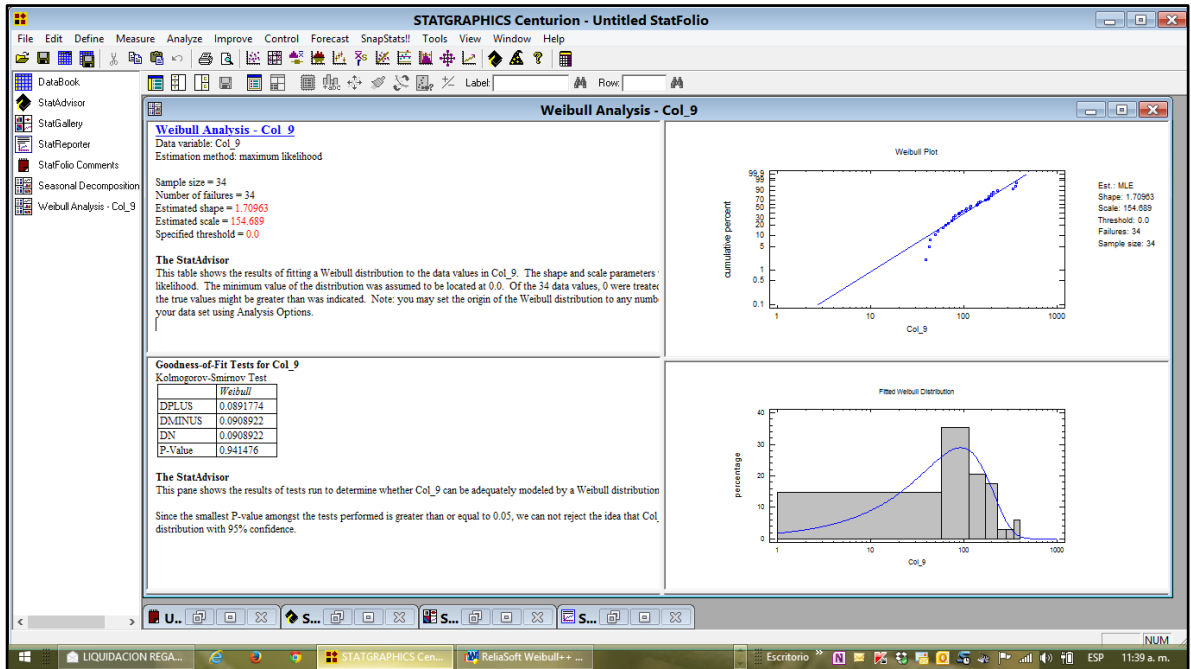
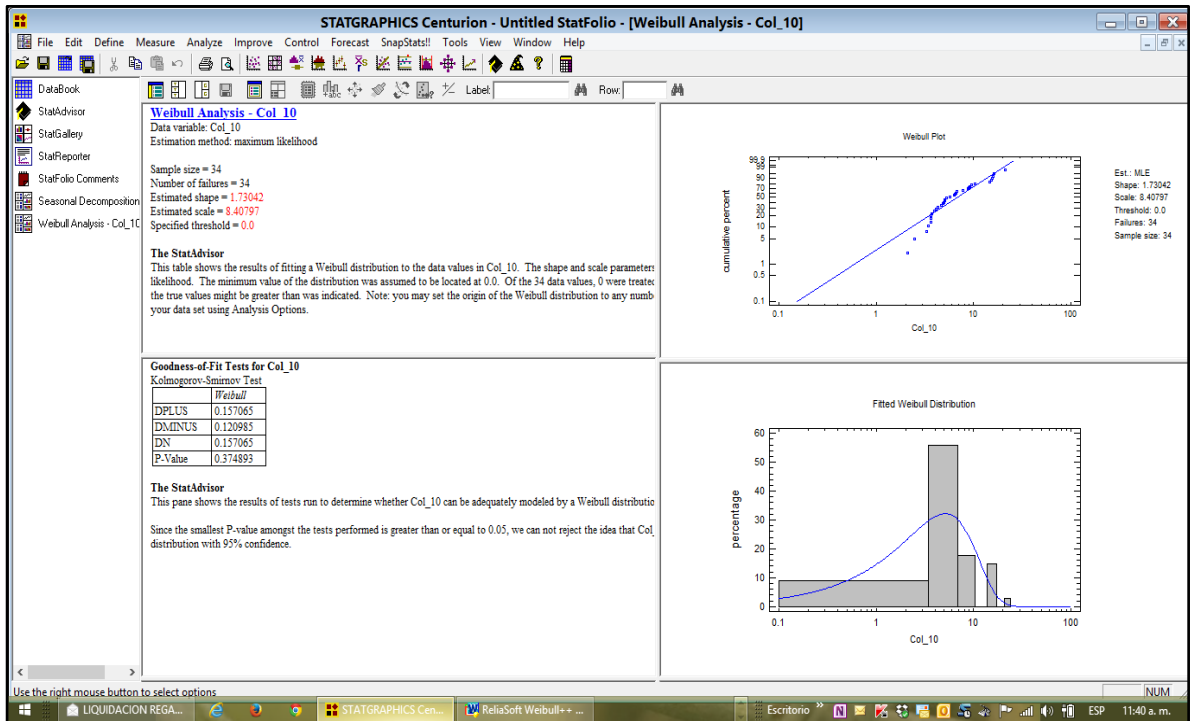


Ilustración 81 - Cálculos CMD con software Statgraphics Centurion

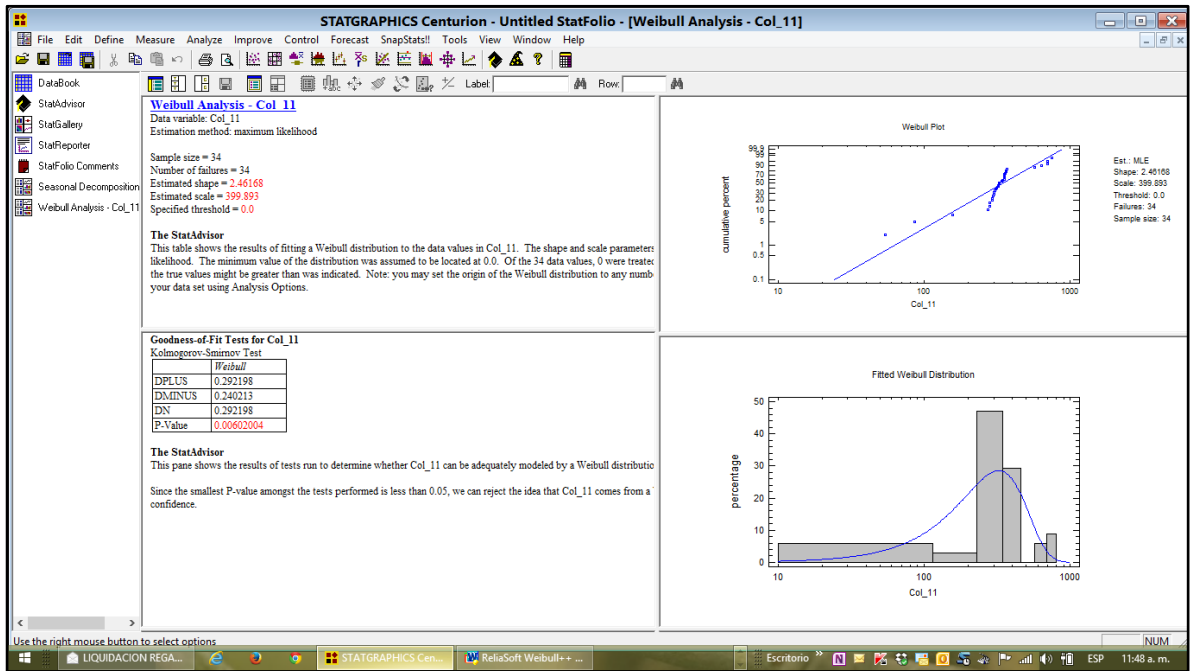
MTBM_C



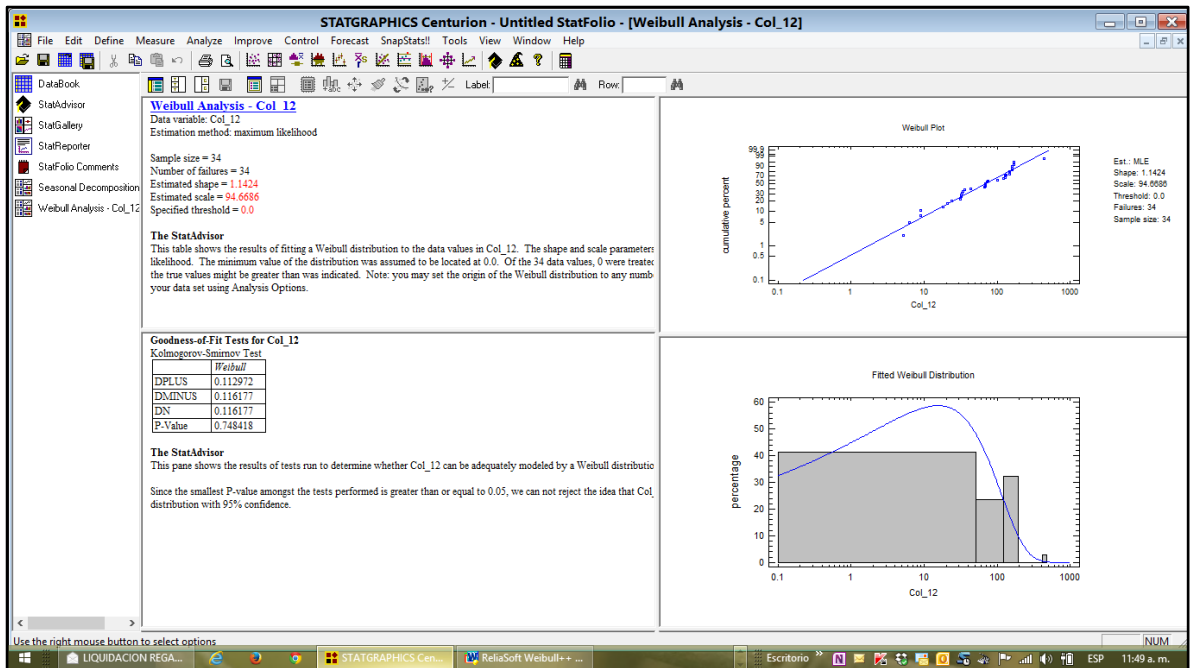
MTTR



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.

1.4 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.

2 CONCLUSIONES

2.1 OBJETIVO 5

Presentar los principales resultados.

2.2 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.

2.2.1 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 Mantenimientolindustrial.* [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 Acedemia Española. *Real Acedemia 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.

4 EQUIPO

4.1 OBJETIVO 4

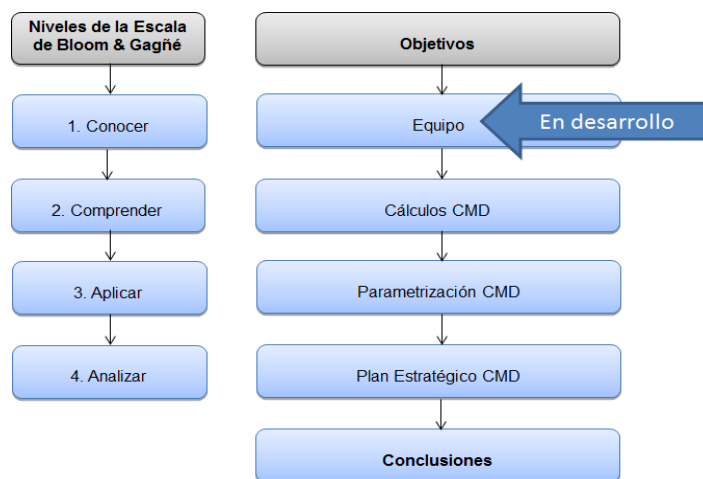
Definir un plan de mejoras de mantenimiento en la maquina Laser Twin HS a partir de la interpretación y análisis de las curvas CMD de confiabilidad, densidad de fallas, mantenibilidad, *hazard*, etcétera; de valores históricos y futuros, derivados de los cálculos CMD - Nivel 4 - Análisis (Bloom@, 2014).

4.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 4

Las organizaciones industriales existen para generar un beneficio, usan equipos y mano de obra para transformar materias primas en productos acabados de mayor valor. El mantenimiento está relacionado con la rentabilidad a través de la productividad de los equipos y el gasto de explotación. Los trabajos de mantenimiento elevan el nivel de rendimiento de los equipos y su disponibilidad. El objetivo de un departamento de mantenimiento industrial debe ser la consecución del equilibrio óptimo entre estos factores, para lograr un balance que maximice la contribución del departamento a la rentabilidad (Kelly y otro, 1998, 26).

El mantenimiento se puede considerar como una estructura de acciones llevadas a cabo para sustituir, reparar, mantener o modificar los elementos de una instalación para que continúe operando con la disponibilidad establecida durante un periodo de tiempo determinado.

Ilustración 82 - Avance del Capítulo 4



4.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 4

El capítulo desarrolla todos los tópicos y la fundamentación técnica necesaria para medir y calcular los parámetros y valores CMD, en su proceso de método puntual y por distribuciones, en especial Weibull.