

INDICADORES DE MANTENIMIENTO AVANZADOS EN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA DE LA GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA GRB SG2401

FREDY ALDEMAR TORRES FERREIRA

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
MEDELLÍN - COLOMBIA

2016



INDICADORES DE MANTENIMIENTO AVANZADOS EN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA DE LA GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA GRB SG2401

FREDY ALDEMAR TORRES FERREIRA

TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA

DIRECTOR

PH.D. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
MEDELLÍN - COLOMBIA

2016

## CONTENIDO

	<b>CONTENIDO</b> .....	4
	<b>ILUSTRACIONES</b> .....	7
	<b>ECUACIONES</b> .....	9
<b>0</b>	<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>10</b>
0.1	INTRODUCCIÓN.....	10
0.2	JUSTIFICACIÓN .....	10
0.3	ANTECEDENTES .....	11
0.4	OBJETIVOS.....	12
0.4.1	General .....	12
0.4.2	Específicos.....	12
0.4.2.1	CMD.....	12
0.4.2.2	SG2401 .....	12
0.4.2.3	Datos .....	12
0.4.2.4	Planes CMD .....	12
0.4.2.5	Conclusiones .....	12
0.5	DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS – CAPÍTULOS .....	14
<b>1</b>	<b>CONFIABILIDAD MANTENIBILIDAD DISPONIBILIDAD CMD</b> .....	<b>15</b>
1.1	OBJETIVO .....	15
1.1	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 1 .....	15
1.2	DESARROLLO .....	15
1.3	ESTRUCTURA DE MANTENIMIENTO EN UN ENFOQUE KANTIANO.....	15
1.3.1	Información de fallos.....	16
1.3.2	Distribuciones .....	18
1.3.2.1	Distribución Exponencial .....	18
1.3.2.2	Distribución Normal.....	19
1.3.2.3	Distribución de Weibull .....	19
1.3.3	Función de no Confiabilidad .....	20
1.3.4	Confiabilidad .....	20
1.3.5	Curva de Davies o de la Bañera.....	21
1.3.5.1	Tasa de fallos.....	22
1.3.5.2	Curva de Davies ajustada por factor de forma $\beta$ .....	22
1.3.6	Mantenibilidad .....	24
1.3.7	Disponibilidad .....	24
1.3.7.1	Disponibilidad Alcanzada .....	24
1.3.7.2	Esquemas de tiempo .....	25
1.3.8	Métodos de predicción CMD .....	26
1.3.9	Modelo universal para pronosticar CMD .....	27
1.3.10	Conclusiones del capítulo uno .....	30
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SG2401</b> .....	<b>31</b>
2.1	OBJETIVO .....	31
2.2	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO DOS .....	31
2.3	DESARROLLO .....	31
2.3.1	Descripción del sistema .....	31
2.3.2	Partes del sistema .....	33
2.3.2.1	Partes de la Turbina.....	33
2.3.2.1.1	La carcasa:.....	33
2.3.2.1.2	El rotor: .....	33
2.3.2.1.3	Álabes:.....	33

2.3.2.1.4	Válvula de flujo: .....	33
2.3.2.1.5	Cojinetes: .....	33
2.3.2.1.6	Sistema de lubricación: .....	33
2.3.2.1.7	Sistema de sellado: .....	34
2.3.2.2	Partes del Generador.....	34
2.3.2.2.1	Estator:.....	34
2.3.2.2.2	Rotor: .....	34
2.3.2.2.3	Regulador de Velocidad: .....	35
2.3.2.2.4	Regulador de Tensión (AVR): .....	36
2.3.3	Programa de Mantenimiento .....	36
2.3.3.1	Nivel estratégico .....	36
2.3.3.2	Nivel táctico .....	36
2.3.3.3	Nivel operativo.....	37
2.3.4	Conclusiones del capítulo dos.....	37
<b>3</b>	<b>DATOS.....</b>	<b>39</b>
3.1	OBJETIVO .....	39
3.2	INTRODUCCIÓN.....	39
3.3	DESARROLLO .....	39
3.3.1	Presentación de la información .....	39
3.3.2	Análisis de los datos .....	46
3.3.2.1	Cálculo de Disponibilidad .....	46
3.3.3	Tiempos y Cálculos CMD con diferentes alternativas.....	48
3.3.4	Conclusiones del capítulo tres .....	62
<b>4</b>	<b>PLANES CMD.....</b>	<b>63</b>
4.1	OBJETIVO .....	63
4.2	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO CUATRO .....	63
4.3	DESARROLLO .....	63
4.4	PRUEBAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE DATOS Y RESULTADOS .....	63
4.4.1	Prueba estadística Alfa de Cronbach .....	68
4.4.2	Correlaciones .....	69
4.4.3	Análisis de correlaciones entre las 16 variables de cálculos, incluidos sus pronósticos. ....	70
4.4.3.1	1 - $\beta$ de Confiabilidad no planeada correctiva .....	70
4.4.3.2	2 - $\eta$ de Confiabilidad no planeada correctiva .....	70
4.4.3.3	3 - Tiempo útil original de dato de Confiabilidad no planeada correctiva .....	71
4.4.3.4	4 - Tiempo útil calculado de Confiabilidad no planeada correctiva .....	71
4.4.3.5	5 - $\beta$ de Mantenibilidad no planeada correctiva .....	71
4.4.3.6	6 - $\eta$ de Mantenibilidad no planeada correctiva .....	71
4.4.3.7	7 - Tiempo útil original de dato de Mantenibilidad no planeada correctiva.....	71
4.4.3.8	8 - Tiempo útil calculado de Mantenibilidad no planeada correctiva .....	71
4.4.3.9	9 - $\beta$ de Confiabilidad planeada preventiva predictiva .....	71
4.4.3.10	10 - $\eta$ de Confiabilidad planeada preventiva predictiva.....	72
4.4.3.11	11 - Tiempo útil original de dato de Confiabilidad planeada preventiva predictiva.....	72
4.4.3.12	12 - Tiempo útil calculado de Confiabilidad planeada preventiva predictiva .....	72
4.4.3.13	13 - $\beta$ de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva .....	72
4.4.3.14	14 - $\eta$ de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva .....	72
4.4.3.15	15 - Tiempo útil original de dato de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva .....	72
4.4.3.16	16 - Tiempo útil calculado de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva .....	73
4.4.4	Cálculos de pronósticos de las 16 variables .....	73
4.4.5	Análisis estratégico de resultados integrales con pronósticos.....	87
4.4.5.1	$\beta$ .....	87
4.4.5.2	Etas.....	88
4.4.5.3	Tiempos útiles entre mantenimientos.....	89
4.4.5.4	Confiabilidad .....	91
4.4.5.5	Mantenibilidad.....	91

4.4.5.6	Disponibilidad pronosticada e histórica .....	92
4.4.5.7	Disponibilidad Alcanzada - $D_A$ .....	93
4.4.6	Conclusiones del capítulo cuatro .....	94
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>95</b>
5.1	OBJETIVO .....	95
5.2	CONCLUSIONES .....	95
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>97</b>

## **ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 - Taxonomía de los objetivos .....	13
Ilustración 2 - Enfoque Kantiano de un sistema .....	15
Ilustración 3 - Triángulo CMD Calidad Ingeniería de Fábricas Mantenibilidad.....	16
Ilustración 4 - Fallas - Condición de falla real y potencial – Pantallazo Software iRCM .....	17
Ilustración 5 - Función de densidad de Probabilidad – Curva de Fallas de la Bañera.....	18
Ilustración 6 - Distribución exponencial.....	19
Ilustración 7 - Distribución normal .....	19
Ilustración 8 - Distribución de Weibull.....	20
Ilustración 9 - Curva de Davies o de la bañera.....	21
Ilustración 10 - Curva de la Bañera ajustada por factor de forma .....	23
Ilustración 11 - Mapa de tiempo - simbología típica .....	25
Ilustración 12 - Mapa de tiempo / Mantenimientos planeados - simbología típica .....	25
Ilustración 13 - Mapa de tiempo / Mantenimientos no planeados - Simbología típica.....	26
Ilustración 14 - Métodos de distribución para estimación de confiabilidad y mantenibilidad (CM) .....	27
Ilustración 15 - Modelo universal para la medición CMD (Mora, 2009) .....	28
Ilustración 16 - Turbina de vapor .....	31
Ilustración 17 - Estator de un generador eléctrico .....	32
Ilustración 18 - Rotor de generador eléctrico.....	35
Ilustración 19 - Disponibilidad factible de calcular según el Modelo universal para medición CMD.....	40
Ilustración 20 - Registro de eventos según tipo, por fecha y con tiempo de duración (en horas)....	40
Ilustración 21 - Cálculo de MTBM, MTTR, MP Y AA.....	47
Ilustración 22 - Programa CMD++ .....	47
Ilustración 23 - Datos para cálculos finales .....	48
Ilustración 24 - Programa CMD .....	49
Ilustración 25 - Cálculos en Paquete Weibull para MTBM <sub>C</sub> con Weibull .....	50
Ilustración 26 - Curva de Supervivencia de MTBM <sub>C</sub> con CMD .....	50
Ilustración 27 - Curva de Supervivencia de MTBM <sub>C</sub> con Weibull.....	51
Ilustración 28 - Curva de No Confiabilidad de MTBM <sub>C</sub> con Weibull .....	51
Ilustración 29 - Curva de No Confiabilidad de MTBM <sub>C</sub> con CMD.....	52
Ilustración 30 - Curva de Densidad de Fallas de MTBM <sub>C</sub> con CMD.....	52
Ilustración 31 - Cálculos en Paquete Weibull para MTTR con Weibull.....	53
Ilustración 32 - Curva de Mantenibilidad de MTTR con CMD.....	53
Ilustración 33 - Curva de Mantenibilidad de MTTR con Weibull .....	54
Ilustración 34 - Curva de Densidad de Reparaciones MTTR con CMD .....	54
Ilustración 35 - Curva de Davies, énfasis en $\beta$ etas superiores a 3.44 .....	55
Ilustración 36 - Cálculos en Paquete Weibull para MTBM <sub>p</sub> con Weibull .....	56
Ilustración 37 - Curva de Supervivencia o <i>Reliability</i> de MTBM <sub>p</sub> con CMD.....	56
Ilustración 38 - Curva de Supervivencia de MTBM <sub>p</sub> con Weibull.....	57
Ilustración 39 - Curva de No Confiabilidad de MTBM <sub>p</sub> con Weibull .....	57
Ilustración 40 - Curva de No Confiabilidad de MTBM <sub>p</sub> con CMD.....	58
Ilustración 41 - Curva de Densidad de Fallas de MTBM <sub>p</sub> con CMD.....	58
Ilustración 42 – Curva de Davies, énfasis en $\beta$ etas superiores a 3.44.....	59
Ilustración 43 - Cálculos en Paquete Weibull para M <sub>p</sub> con Weibull .....	60
Ilustración 44 - Curva de Mantenibilidad de M <sub>p</sub> con CMD .....	60
Ilustración 45 - Curva de Mantenibilidad de M <sub>p</sub> con Weibull .....	61

Ilustración 46 - Curva de Densidad de Reparaciones $M_p$ con CMD .....	61
Ilustración 47 - Datos históricos y Pronósticos $\beta$ eta, $\eta$ , $MTBM_C$ , $MTTR$ , $MTBM_p$ y $M_p$ . .....	64
Ilustración 48 - Prueba estadística Alfa de Cronbach .....	68
Ilustración 49 - Tabla de conversión de variables de correlación con Parámetros CMD .....	70
Ilustración 50 - Correlaciones entre tiempos de $MTBM_C$ , $MTTR$ , $MTBM_p$ y $M_p$ .....	73
Ilustración 51 - Pasos de la planeación estratégica tecnológica .....	74
Ilustración 52 - Alcance del futuro mediante procesos de cambio en el tiempo y el espacio .....	74
Ilustración 53 - Elementos y pasos en la planeación estratégica tecnológica a partir del futuro ....	75
Ilustración 54 - Propiedades del estado futuro .....	75
Ilustración 55 - Método científico y metodología universal de pronósticos de demanda .....	76
Ilustración 56 - Unificación de criterios futurísticos .....	77
Ilustración 57 - Tipos, criterios y usos de los diferentes Modelos de Pronósticos.....	78
Ilustración 58 - Métodos futurísticos y sus tres posibilidades .....	82
Ilustración 59 - Modelos clásicos y AR.I.MA. para predicciones .....	83
Ilustración 60 - Modelos AR.I.MA. (Auto Regresivos - Integración - Medias Móviles).....	84
Ilustración 61 - Parámetros .....	85
Ilustración 62 - Pronósticos de las dieciséis (16) variables por series temporales.....	86
Ilustración 63 - $\beta$ etas y sus datos históricos con pronósticos futuros .....	87
Ilustración 64 - $\eta$ altos y sus datos históricos con pronósticos futuros.....	88
Ilustración 65 - $\eta$ bajos y sus datos históricos con pronósticos futuros.....	89
Ilustración 66 - Tiempos útiles entre Mantenimientos Planeados o No .....	90
Ilustración 67 - Tiempos medios de correctivos y de preventivos predictivos .....	90
Ilustración 68 - Confiabilidad histórica y pronosticada de $MTBM$ .....	91
Ilustración 69 - Mantenibilidad .....	92
Ilustración 70 - Disponibilidad histórica y futura de la unidad de generación SG2401.....	94
Ilustración 71 - Conclusiones impactando Curva de Davies y Betas de 3.44 o más. ....	95

## **ECUACIONES**

Ecuación 1 - $F(t)$ - Función de Fallas o No Confiabilidad - <i>Failures</i> .....	20
Ecuación 2 - $R(t)$ - Función de Supervivencia - <i>Reliability</i> .....	20
Ecuación 3 - Supervivencia .....	21
Ecuación 4 - $\lambda(t)$ - Tasa de Fallas - <i>Hazard - Lambda</i> de $t$ .....	22
Ecuación 5 - Disponibilidad (variable dependiente) .....	24
Ecuación 6 - Disponibilidad Alcanzada .....	24
Ecuación 7 - Cálculos de tiempos útiles con Weibull .....	63
Ecuación 8 - Disponibilidad Alcanzada - $A_A$ .....	92

## 0 PRÓLOGO

El proyecto pretende demostrar la importancia de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad que suceden en las compañías, al transcurrir de los años en su operación y funcionamiento, también desea mostrar la importancia de predecir el comportamiento futuro de las máquinas en cuanto a paradas de fallas y de mantenimiento, como de sus tiempos útiles por venir.

### 0.1 INTRODUCCIÓN

La competitividad de las empresas es una medida de la efectividad en los procesos productivos que realizan, de tal suerte que una empresa poco efectiva está destinada a desaparecer con el tiempo. Las áreas de mantenimiento no son ajenas a este factor y aportan con su gestión al crecimiento empresarial y/o estabilidad en un mercado determinado.

Una empresa efectiva debe ser tanto eficaz como eficiente (Prieto, 2015), sin embargo la eficiencia depende de procesos y valores propios en cada compañía, por lo que resulta subjetivo a la hora de medir, de otro lado, la eficacia en las tareas de mantenimiento puede obtenerse con facilidad de la revisión de los indicadores.

El sistema productivo en el cual están contenidos los equipos de generación de energía eléctrica que son objeto de este estudio puede dividirse en 3 elementos: personas, artefactos y entorno<sup>1</sup>, en donde destacan los elementos físicos (generador y sus partes) como el artefacto del sistema y objeto de análisis en el capítulo 2.

Los otros 2 elementos del sistema (personas y entorno) no hacen parte del presente estudio por requerir enfoques metodológicos diferentes, esto en razón a que las leyes que los gobiernan son diferentes a las de los artefactos; en tal sentido el estudio se enfoca en la turbina y el generador sincrónico.

### 0.2 JUSTIFICACIÓN

En la última década, los Servicios Públicos y particularmente el sector energético, incrementa su participación en el Producto Interno Bruto, PIB, constituyéndose hoy día en uno de los ejes de las locomotoras que ha definido el Gobierno Nacional en la Ley 1450/2011, del Plan Nacional de Desarrollo, para el fortalecimiento y crecimiento de la economía, generación de empleo y reducción de la pobreza (Unidad de Planeación Minero Energética, 2011).

Las refinerías en el mundo implementan sistemas de generación propios cuya función es proveer el suministro energético necesario para llevar a cabo sus procesos productivos; en la refinería de Barrancabermeja existe adicionalmente una conexión al SIN<sup>2</sup>, que permite suministrar energía eléctrica a la refinería en caso de fallas en el sistema de generación propio. Las ganancias actuales de la refinería de Barrancabermeja resultan ser históricas (VANGUARDIA LIBERAL, 2015) en razón a los altos precios de productos terminados y el bajo costo de materia prima (caída de los precios del crudo), por lo anterior el suministro energético ininterrumpido cobra vital importancia para ECOPETROL S.A., con el cual se garantiza la confiabilidad del proceso productivo.

---

<sup>1</sup> El enfoque sistémico kantiano define un sistema como el conjunto de 3 elementos: personas, artefactos y entorno (Mora Gutierrez, 2007)

<sup>2</sup> SIN: Sistema Interconectado Nacional

La inversión en conjuntos de generación que incorporan tecnologías de punta para atender demandas crecientes y de alta calidad es el común denominador de las empresas del sector; las áreas de mantenimiento de diversas industrias centran sus esfuerzos en garantizar la confiabilidad de dichos sistemas mediante el análisis de indicadores CMD, el cual como estrategia ofrece la posibilidad de disminuir los tiempos de no disponibilidad de equipos, con lo que mejora la eficiencia de las plantas productivas y reducen los costos de no operación (paradas de planta no planeadas).

En este contexto es importante resaltar que una falla en el suministro de energía eléctrica de la refinería de Barrancabermeja tiene un potencial de pérdidas productivas que representa varios millones de dólares. Esto se explica porque las diferentes plantas de la refinería tienen un proceso de arranque que depende de variables de proceso (temperaturas, cantidad de reacciones químicas, concentraciones etc.), las cuales no responden tan rápido como uno quisiera. A manera de ejemplo, una parada y posterior arranque de la planta de polietileno puede tardar de 1 a 3 días, dicha planta produce un estimado de USD285.000 dólares americanos por día.

Por lo anterior es indispensable estudiar las diferentes estrategias en ingeniería de mantenimiento que permitan mejorar la confiabilidad del sistema de generación de la refinería.

### **0.3 ANTECEDENTES**

Desde hace millones de años el ser humano empieza a crear artefactos y herramientas para su propio beneficio (2015), como consecuencia de ello se empezaron a realizar los primeros mantenimientos correctivos de los cuales se tenga registro. Durante el último siglo el enfoque de mantenimiento sufre una transformación significativa y se convierte en ciencia de estudio de diferentes instituciones que promueven la aplicación de técnicas novedosas para predecir, cuantificar y mitigar los efectos de fallas en artefactos del sistema productivo.

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

El nuevo enfoque de las técnicas de mantenimiento va ligado a la aplicación tecnológica en la medición de variables cuya trazabilidad determina el estado del artefacto, este esfuerzo se ve gratamente recompensado con la mayor disponibilidad de equipos y maquinaria industrial y por ende en los ingresos de las compañías.

La competitividad lleva a las empresas a realizar mediciones de desempeño de sus activos cuyos valores pueden ser comparados a nivel mundial y permiten definir estrategias optimizadas el pro de la efectividad. Es en este contexto que el análisis CMD<sup>3</sup> como pilar para la implementación de un plan de mantenimiento cobra vital importancia, porque sus beneficios impactan de manera positiva los costos de mantenimiento asociados al sistema de generación de energía eléctrica.

El sistema de generación SG2401 data de la década de 1970, complementando el suministro de potencia necesaria para garantizar la operación de la refinería de Barrancabermeja, previamente se instalan en la refinería las unidades de generación U900 y U950; esta unidad está compuesta por 3 grupos idénticos Turbina-Generados cada uno de ellos con una capacidad instalada de 12.5MVA.

---

<sup>3</sup> CMD, Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad - RAM, Reliability, Availability, Maintenance

## **0.4 OBJETIVOS**

El planteamiento de los objetivos se hace de acuerdo con la teoría de los niveles de escala del aprendizaje de Bloom y Gagné<sup>4</sup> en 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, 1971).

### **0.4.1 General**

Analizar a través de la metodología CMD la operación de la unidad de generación SG2401, estudiar las acciones que se ejecutan actualmente en los diferentes niveles de mantenimiento, comparar con las predicciones que arrojan los cálculos de los parámetros y proponer las estrategias y actividades a ejecutar para mejorar sus índices de desempeño.

### **0.4.2 Específicos**

Se describen de la siguiente manera:

#### **0.4.2.1 CMD**

Identificar los conceptos básicos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, con el fin de analizar el comportamiento de la unidad de generación SG2401. Nivel 1 – Conocer.

#### **0.4.2.2 SG2401**

Describir el sistema de operación de la unidad de generación SG2401, sus componentes y las funciones que desempeñan dentro del mismo, delimitar el volumen de control, base del análisis, además de los datos necesarios en cuanto a información para el estudio pasado, presente y futuro del mantenimiento de la máquina. Nivel 2 – Comprender.

#### **0.4.2.3 Datos**

Validar la información para adaptarla a los sistemas de medición CMD, emplear los métodos más adecuados para calcular los parámetros actuales y predecir el comportamiento futuro del sistema seleccionado. Nivel 3 – Aplicar.

#### **0.4.2.4 Planes CMD**

Proponer estrategias, tácticas y tareas de mantenimiento a partir de la predicción con los parámetros CMD y la interpretación de los valores futuros de las curvas de mantenibilidad y confiabilidad. Nivel 4 – Analizar.

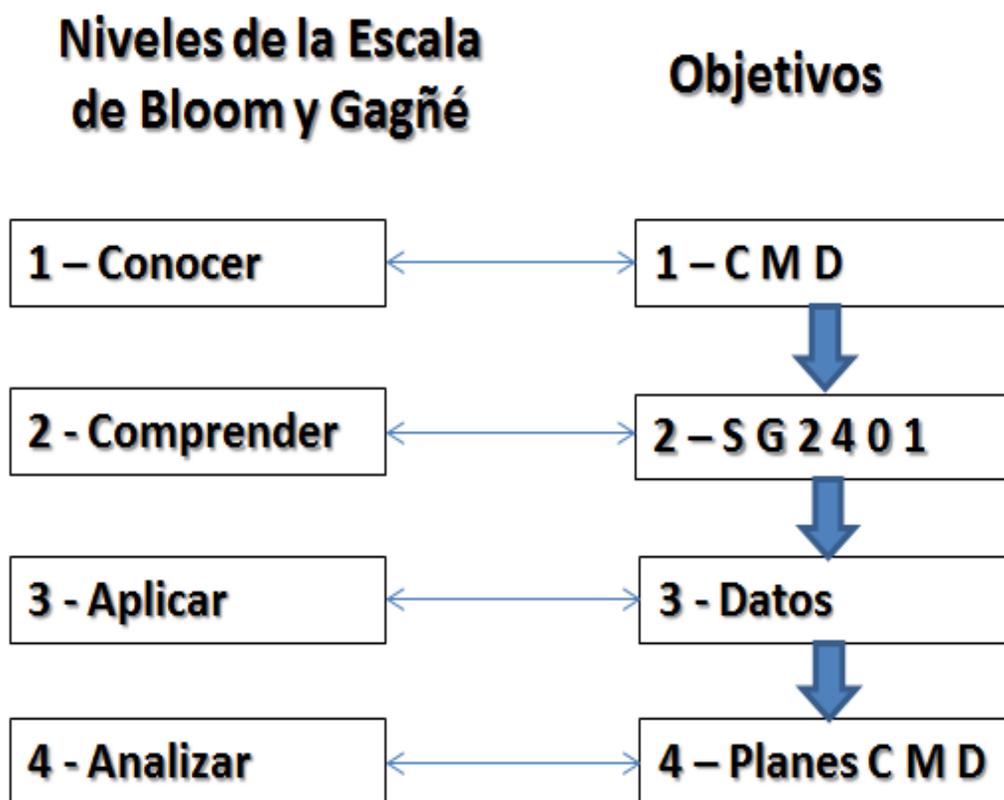
#### **0.4.2.5 Conclusiones**

Presentar los principales resultados del proyecto en cuanto a acciones y estrategias de mantenimiento a realizar y observaciones a tener en cuenta, para la optimización del mantenimiento.

---

<sup>4</sup> Bloom y Gagné fueron psicólogos estadounidenses que desarrollaron la teoría de la taxonomía de los objetivos de la educación

Ilustración 1 - Taxonomía de los objetivos



## **0.5 DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS – CAPÍTULOS**

En el primer capítulo se enumeran los fundamentos y conceptos aplicados de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad según estándares internacionales, los cuales resultan necesarios para comprender el presente estudio y poder alcanzar el objetivo general.

El segundo capítulo define las características técnicas de la unidad SG2401, los artefactos que la componen y las características de cada uno de ellos, las relaciones que existen entre dichos artefactos y el esquema funcional del sistema, esto define los elementos sobre los cual se aplicará el análisis CMD correspondiente.

El tercer capítulo contiene los paquetes de información y la forma como esta se presenta, dicha información sirve como fuente para el estudio, cálculos y análisis del CMD.

El cuarto capítulo de desarrollo presenta los pronósticos para las variables analizadas y el estudio compilado de los resultados de dichos pronósticos, con lo cual se puede proyectar la estrategia y acciones recomendadas.

En el último capítulo presenta las conclusiones y principales logros del presente estudio.

# 1 CONFIABILIDAD MANTENIBILIDAD DISPONIBILIDAD CMD

## 1.1 OBJETIVO

Identificar los conceptos básicos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, con el fin de analizar el comportamiento de la unidad de generación SG2401.

## 1.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 1

Se hace necesario conocer la metodología CMD y como su aplicación puede fortalecer las estrategias de mantenimiento y gestión, para lo cual se debe verificar los conceptos aplicados en un sistema de este tipo y la integralidad presente con las demás áreas del conocimiento.

Se plantean también los métodos de predicción CMD, sus ventajas y desventajas, aplicabilidad y los pasos para pronosticar el comportamiento de un sistema.

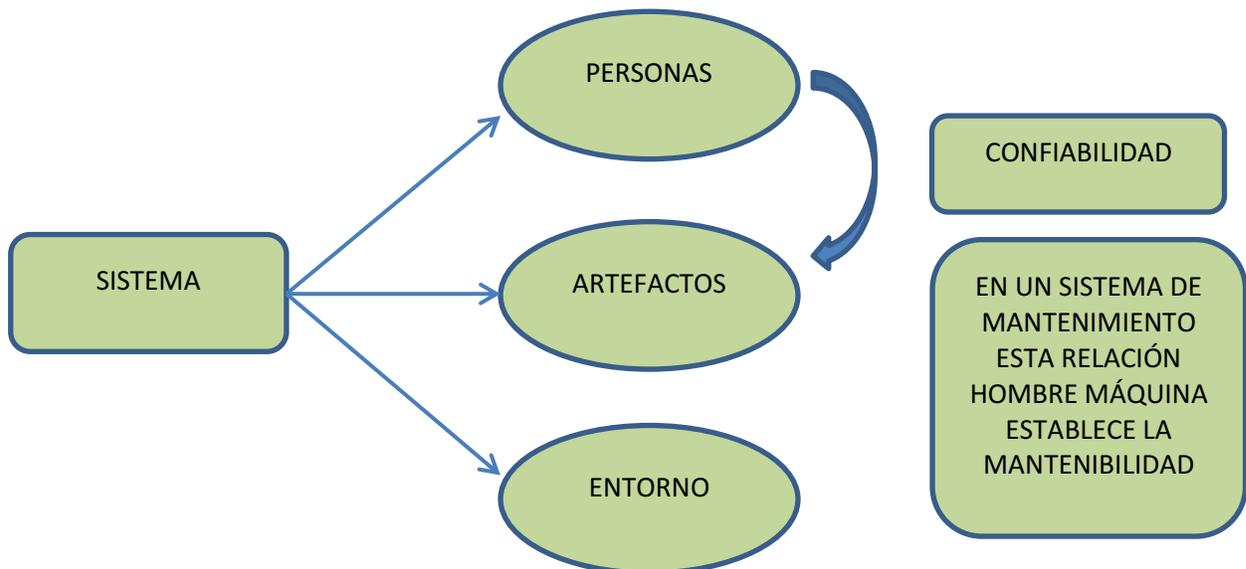
## 1.2 DESARROLLO

En el presente capítulo se muestran las bases de la metodología CMD, con lo cual se establecen los pilares para el desarrollo de los capítulos posteriores.

## 1.3 ESTRUCTURA DE MANTENIMIENTO EN UN ENFOQUE KANTIANO

Según el enfoque Kantiano un sistema puede dividirse en 3 elementos: personas, artefactos y entorno.

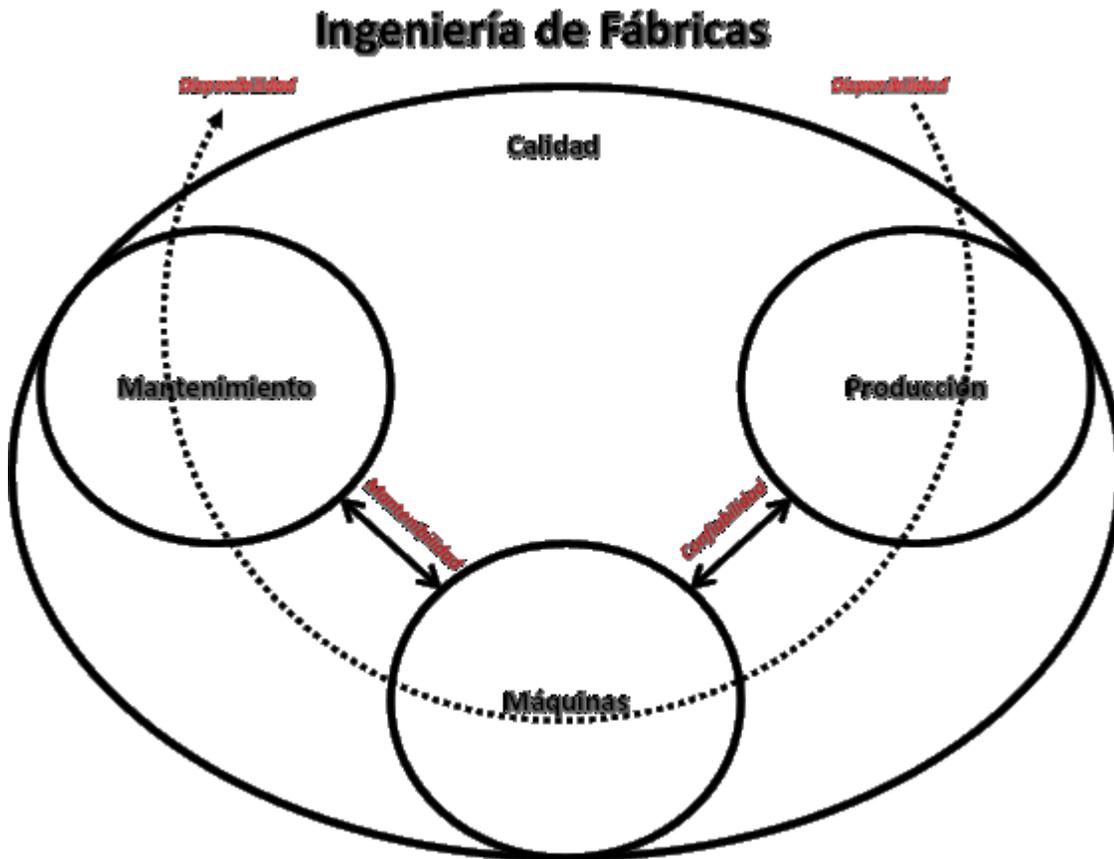
Ilustración 2 - Enfoque Kantiano de un sistema



En las industrias la interrelación entre personas artefactos y entorno es lo que se denomina sistema productivo, en el cual las personas operan los artefactos en un entorno determinado para así ejecutar la función principal de la empresa que es producir bienes o servicios.

En los sistemas productivos la relación hombre máquina define la confiabilidad, la cual es la probabilidad de que una máquina funcione de la manera prevista en unas condiciones dadas durante un periodo de tiempo establecido, de otro lado en un sistema de mantenimiento la relación hombre máquina define la mantenibilidad, la cual es la probabilidad de que un equipo vuelva a un estado operativo bajo unas condiciones y después de haber ocurrido una falla; de otro lado la disponibilidad está definida por la relación entre confiabilidad y mantenibilidad.

**Ilustración 3 - Triángulo CMD Calidad Ingeniería de Fábricas Mantenibilidad**



Se define Disponibilidad como la división entre Confiabilidad entre Confiabilidad más Mantenibilidad ( $D = C / (C + M)$ ).

### 1.3.1 Información de fallos

El almacenamiento de la información es una de las tareas más dispendiosas y menos apetecidas por la mayoría de los operarios y mantenedores de las industrias, sin embargo es una actividad que resulta invaluable por su alta utilidad cuando se requiere hacer análisis estadísticos del comportamiento de máquinas o intentar optimizar recursos de mantenimiento y costos asociados a este.

La definición de falla es la pérdida de la capacidad de un elemento de realizar su función (Offshore (and Onshore) equipment RELiability DATabase, 2002). Incluye:

- Falla completa cuando pierde la disponibilidad

- Falla parcial cuando no se afecta la disponibilidad del sistema productivo
- Falla encontrada durante la ejecución de tareas programadas como inspecciones, pruebas o mantenimientos programados y que requieren reparación
- Falla en sistemas de seguridad o dispositivos de monitoreo o control.

Las tareas ejecutadas durante mantenimientos planeados o los eventos que interrumpen la operación del equipo cuando ninguno de sus componentes presenta averías no se consideran fallas.

Con el uso de las matemáticas estadísticas se puede elaborar un histograma con los registros de cada artefacto y sus tiempos altos y bajos (trabajo/parada), esto sirve para predecir el comportamiento de máquina, sin embargo estos modelos asumen que los fallos ocurren con cierta frecuencia, desconociendo las tendencias en el tiempo de cada evento y según su tipo.

Las funciones de densidad de probabilidad (FDP) o distribuciones también sirven para modelar el comportamiento de los equipos en operación de una manera más precisa. A continuación se describen las funciones más usuales y los casos en que se recomienda su aplicación:

**Ilustración 4 - Fallas - Condición de falla real y potencial – Pantallazo Software iRCM**

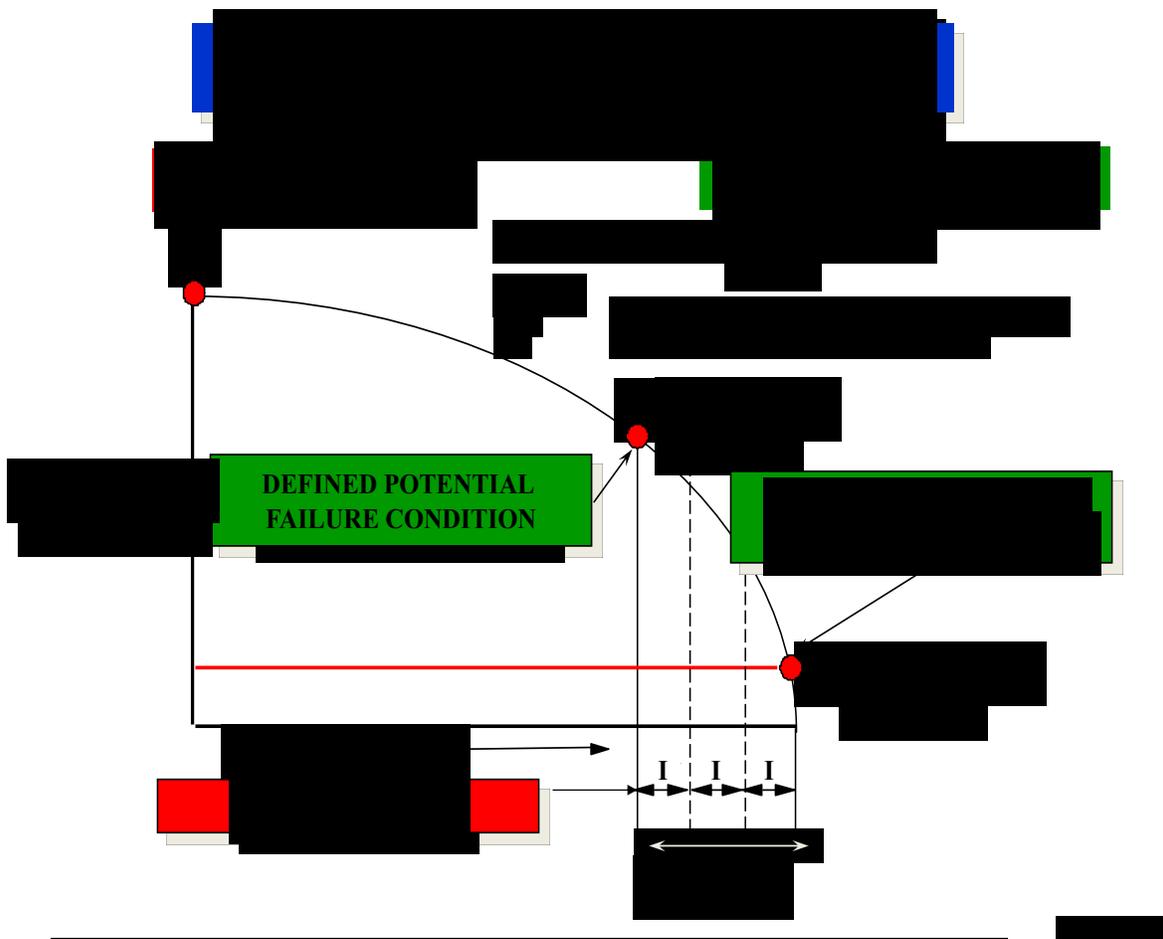
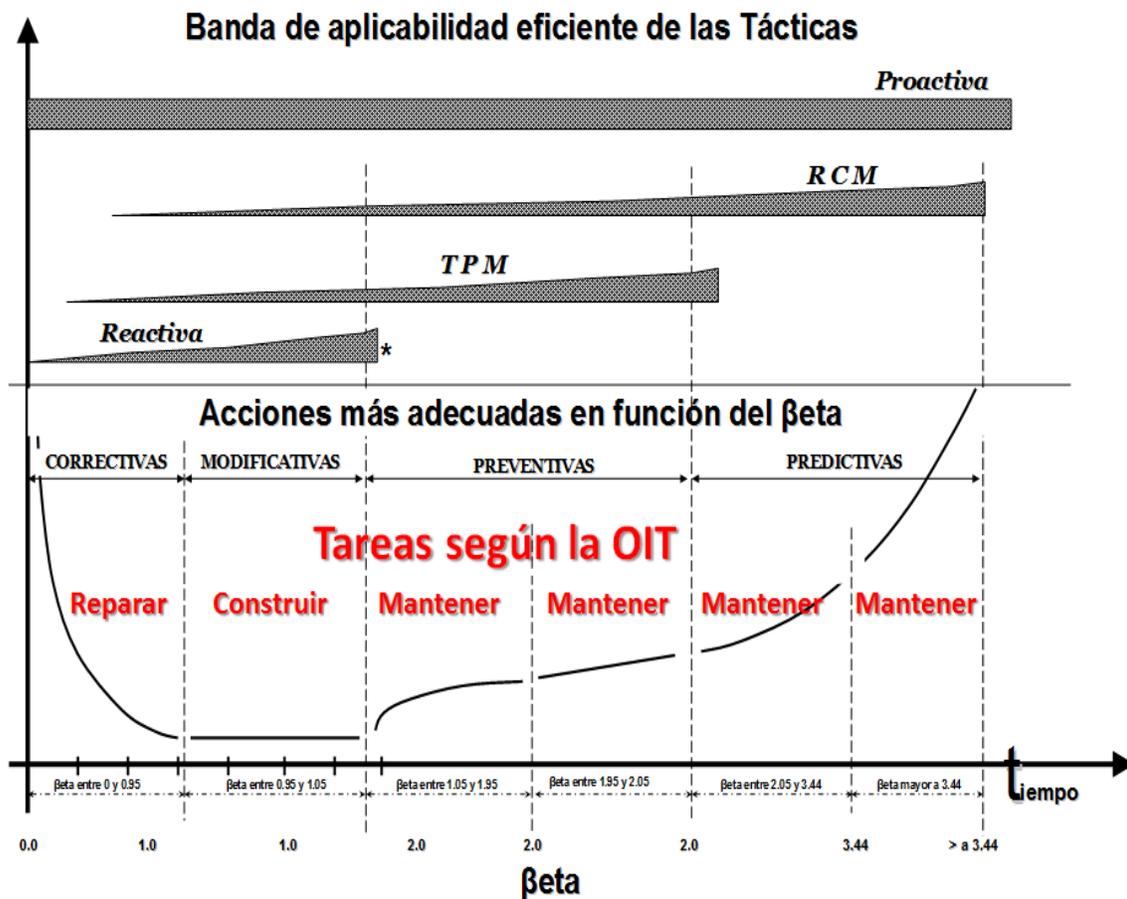


Ilustración 5 - Función de densidad de Probabilidad – Curva de Fallas de la Bañera

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



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

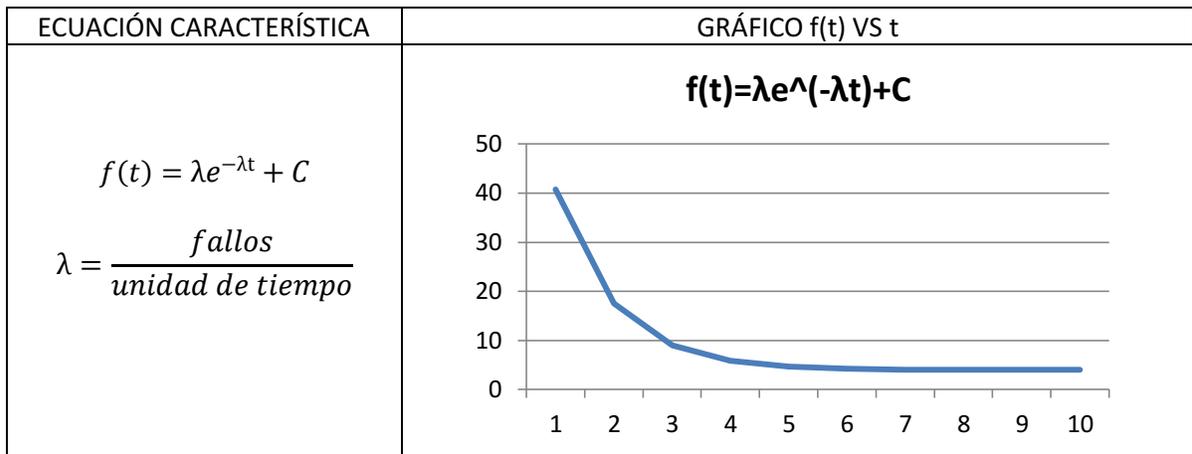
### 1.3.2 Distribuciones

Los principales criterios y parámetros de las diferentes distribuciones relevantes, aportan los temas siguientes en el proyecto.

#### 1.3.2.1 Distribución Exponencial

Esta distribución es útil en aplicaciones con componentes electrónicos y eléctricos, en los cuales la probabilidad de ocurrencia de falla es alta durante su instalación y relativamente constante a medida que aumenta su vida útil.

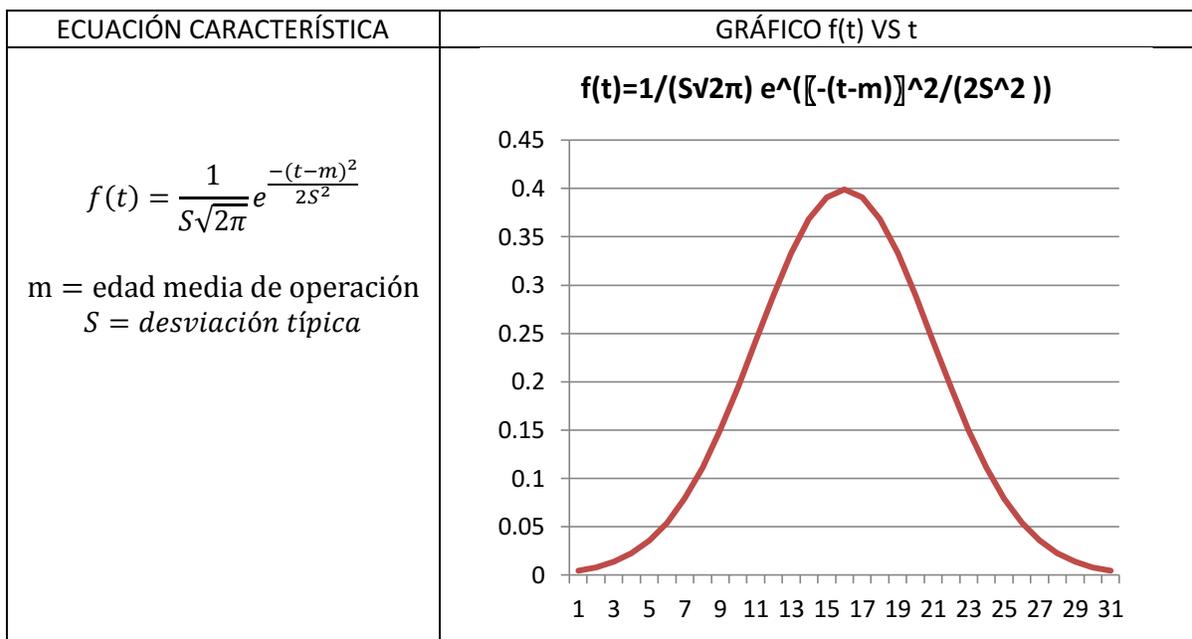
### Ilustración 6 - Distribución exponencial



### 1.3.2.2 Distribución Normal

Esta distribución es ampliamente usada en componentes mecánicos:

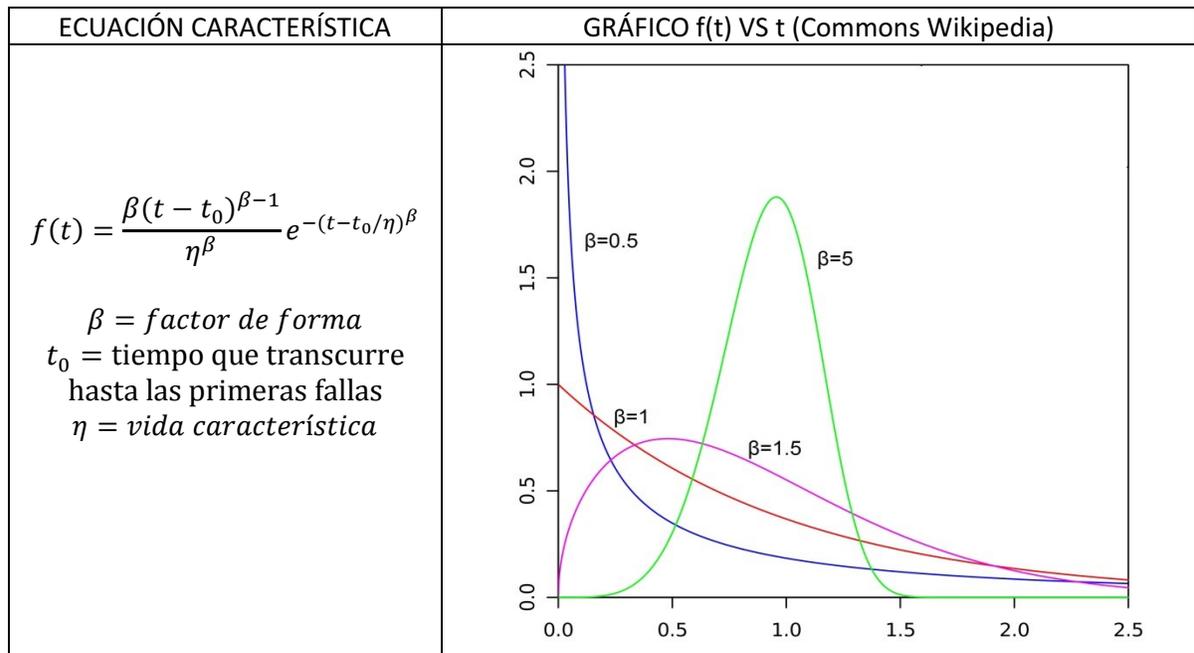
### Ilustración 7 - Distribución normal



### 1.3.2.3 Distribución de Weibull

Esta distribución puede emplearse en cualquier tipo de componente (electrónico, mecánico etc.) debido a que para el cálculo emplea variables que permiten modelar diferentes condiciones de funcionamiento según se requiera:

## Ilustración 8 - Distribución de Weibull



En esta distribución los valores de  $\beta$  definen el comportamiento de la probabilidad de falla; para el caso de  $\beta < 1$  tenemos comportamientos asociados a artefactos con tasas de mortalidad infantil elevada (más altas para valores de  $\beta$  menores); cuando  $1 < \beta < 2$  los comportamientos son distribuciones normales asociadas a fallas aleatorias, finalmente para  $\beta > 2$  tenemos distribuciones de probabilidad de falla asociadas al desgaste de los componentes (Bajaria, 1983) (Blanchard, 1995) (Ávila, 1992) (Bertalanffy1, 1994).

### 1.3.3 Función de no Confiabilidad

La función de no confiabilidad determina las probabilidades de fallo en un tiempo  $t$  para un artefacto determinado; se define como el área bajo la curva de la función de probabilidad de falla desde el tiempo  $t_0$  hasta el tiempo  $t$ , cuya expresión matemática es la siguiente:

**Ecuación 1 -  $F(t)$  - Función de Fallas o No Confiabilidad - Failures**

$$F(t) = \int_{t_0}^t f(t) dt$$

A partir de dicha expresión es posible modelar con parámetros CMD el comportamiento de una máquina.

### 1.3.4 Confiabilidad

Es la probabilidad de que una máquina funcione de la manera prevista en unas condiciones dadas durante un periodo de tiempo establecido, dicha probabilidad se puede calcular como sigue:

**Ecuación 2 -  $R(t)$  - Función de Supervivencia - Reliability**

$$R(t) = 1 - F(t)$$

También puede expresarse en función del número de eventos de falla sobre el total de eventos como sigue:

**Ecuación 3 - Supervivencia**

$$R_a = 1 - \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{n}{N} \right)$$

$n$  = número de eventos de falla

$N$  = total de eventos posibles

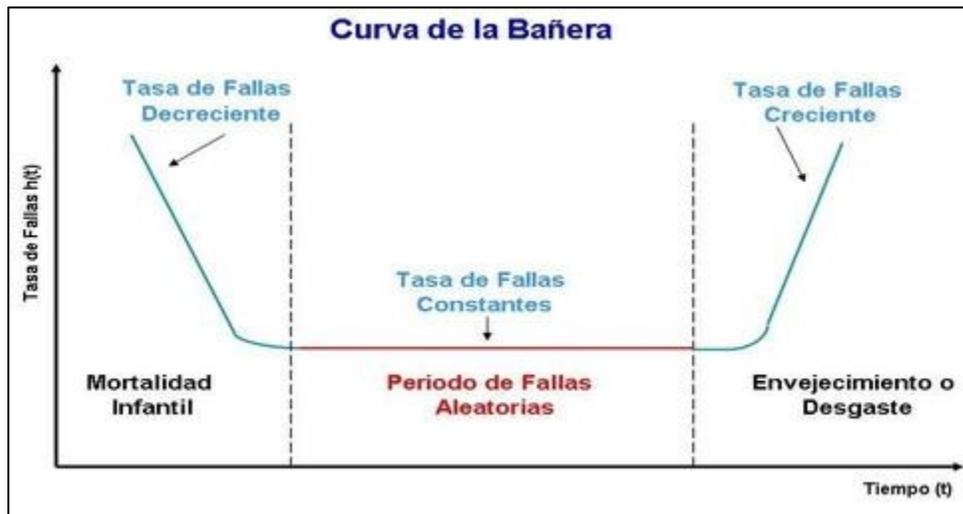
(Mora, 2009)

La confiabilidad en otras palabras se interpreta como la probabilidad de que un equipo no falle en un periodo de tiempo T; esta expresión decrece a medida que aumenta el tiempo y tiene un valor máximo de 1.

**1.3.5 Curva de Davies o de la Bañera<sup>5</sup>**

La curva de Davies, también conocida como curva de la bañera es una gráfica que muestra la probabilidad de falla de un artefacto en función del tiempo o vida útil, su nombre se debe a que tiene la forma de una tina de baño cortada longitudinalmente. Dicho gráfico tiene 3 áreas claramente identificables:

**Ilustración 9 - Curva de Davies o de la bañera**



(Universidad Caese, 2016)

Fase inicial: Representa la probabilidad de falla en los primeros ciclos de operación del artefacto, cuyo valor es exponencial decreciente y refleja los fallos asociados a mortalidad infantil (fallas tempranas), estas fallas son asociadas a problemas de diseño, mala instalación, operación inadecuada por parte del personal por desconocimiento del equipo o del procedimiento de operación.

<sup>5</sup> Bathroom en inglés

Fase productiva: Es la segunda fase de la curva en la cual la probabilidad de falla se mantiene casi constante y en donde sus fallas son principalmente aleatorias y causadas por factores externos (no hay desgaste en los componentes de máquina), también pueden ser producidas por mala operación del equipo o condiciones de operación fuera de ventanas (González, 2004) (RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques, 1996) (Hecht, y otros, 2001).

Fase final: Esta etapa está caracterizada por una probabilidad de falla creciente con el tiempo y obedece al desgaste natural de las partes del artefacto.

Cabe resaltar que este modelo probabilístico no es aplicable a todo tipo de artefactos y que existen otros modelos que se adecuan de mejor forma a otros sistemas y dispositivos.

### 1.3.5.1 Tasa de fallos

La tasa de fallos  $\lambda(t)$  es una expresión que define la fracción de elementos sin fallar en un tiempo  $t$  y se expresa de la siguiente forma:

Ecuación 4 -  $\lambda(t)$  - Tasa de Fallas - Hazard - Lambda de t

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{n(t)} \frac{dn(t)}{dt}$$

Donde  $n(t)$  es la cantidad de elementos sin falla (Navarro Elola, y otros, 1997).

De la ecuación anterior se puede afirmar que la tasa de fallos es directamente proporcional a la rata de cambio de los elementos sin fallar sobre los elementos sin falla, es decir que puede tomar valores negativos para los casos específicos donde la cantidad de artefactos sin fallar tenga una tendencia a la baja (rata de cambio negativa), lo que supone un resultado adverso para la empresa.

De otro lado, si la rata de cambio de los elementos sin fallar tiene una tendencia al alza tendríamos un valor de  $\lambda(t)$  positivo ( $dn(t)/dt > 0$ ) lo que supone una tendencia favorable.

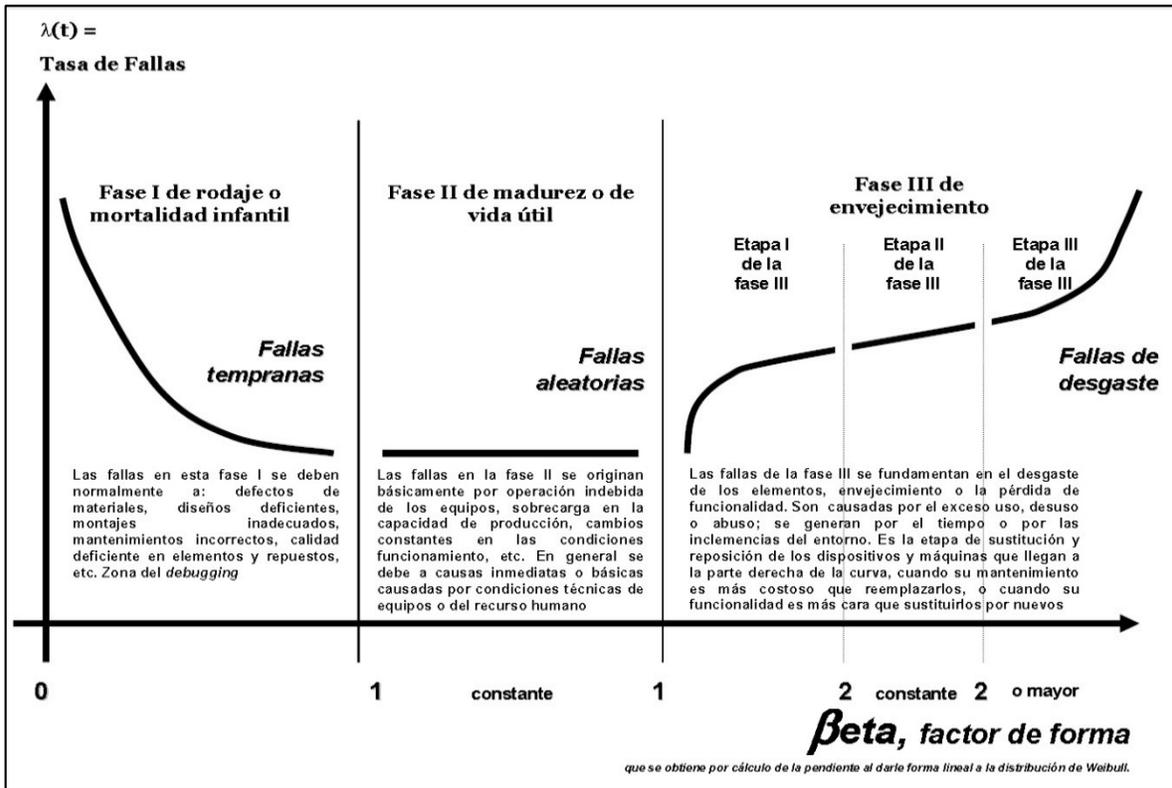
### 1.3.5.2 Curva de Davies ajustada por factor de forma $\beta$

Es posible determinar el área de la curva donde se encuentra un equipo con la curva de Davies ajustada según el factor de forma  $\beta^6$ , lo cual sirve como base para establecer el estado de deterioro del artefacto y las mejores prácticas de mantenimiento que se deben llevar a cabo para mejorar el rendimiento del sistema (Idhammar@, 1999).

---

<sup>6</sup> Recordemos que no todos los equipos se ajustan a la curva de la bañera, existen modelos que funcionan mejor para otro tipo de componentes.

Ilustración 10 - Curva de la Bañera ajustada por factor de forma



(Mora, 2009)

En el área 1 de la curva la tasa fallas es decreciente; en esta área se deben aplicar acciones modificativas y correctivas, las cuales se enfocan en encontrar la causa raíz de las fallas. Una de las más utilizadas es la matriz FMECA<sup>7</sup>.

En la segunda área de la curva la tasa de falla se mantiene casi constante, lo que significa que cualquier equipo tiene una probabilidad de falla similar a otro equipo idéntico; estas fallas está asociadas por lo general a mala operación u operación fuera de ventanas; en esta área se deben aplicar mantenimientos preventivos y la matriz FMECA es recomendable también para esta área de la curva.

En el área número 3 de la curva (parte derecha) la tasa de fallos tiene tendencia al alza, lo que significa que incrementan los mantenimientos correctivos los cuales se deben acompañar de acciones de tipo predictivo u overhaul para trasladar el equipo al área 2 de la misma curva (centro).

### 1.3.6 Mantenibilidad

La mantenibilidad se define como la probabilidad de que un equipo vuelva a un estado operativo bajo unas condiciones y después de haber ocurrido una falla, su relación con la confiabilidad es conocida como disponibilidad. Su cálculo exacto tiene en cuenta el tiempo de reparación de los artefactos y su gestión se atribuye directamente al área de mantenimiento.

El tiempo requerido para la localización de la avería y la eficacia en el trabajo del mantenedor son claves en el cálculo de la mantenibilidad y por ende en la disponibilidad de la máquina.

El factor de forma  $\beta$  es directamente proporcional al inverso del promedio de la duración de fallos, por lo que la rapidez en la gestión del mantenimiento de una compañía impacta directamente el cálculo del factor de forma. Esto también se explica con la curva de la bañera ajustada donde las fallas tempranas ( $\beta < 1$ ) tienen tiempos de reparación prolongados pero resultan escasas. De otro lado los fallos del área 3 de la curva de la bañera tienen tiempos de reparación bastante cortos pero con una frecuencia mayor, por lo que  $\beta > 1$  (Mora, 2009).

### 1.3.7 Disponibilidad

La disponibilidad se define como la probabilidad de que un equipo opere durante un periodo de tiempo definido bajo ciertas condiciones y luego de que inicia su vida útil (Mora, 2009). La disponibilidad se puede calcular como la relación entre confiabilidad y mantenibilidad como sigue:

Ecuación 5 - Disponibilidad (variable dependiente)

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

#### 1.3.7.1 Disponibilidad Alcanzada

Ecuación 6 - Disponibilidad Alcanzada

$$\text{Disponibilidad alcanzada} = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

---

<sup>7</sup> Failure Mode, Effects, and Criticality, Causes Analysis

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_p}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

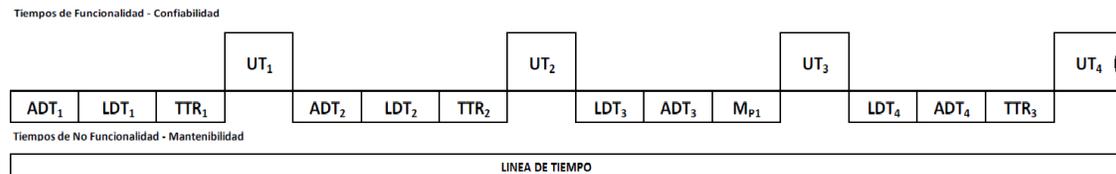
En el cálculo de esta disponibilidad no se tiene en cuenta los tiempos administrativos ni logísticos, y los parámetros de cálculo son los siguientes:

- MTBM = Tiempo medio entre mantenimientos (tiempo total/ número de mantenimientos)
- MTTR = Tiempo medio para reparar (tiempo total en reparaciones/total de reparaciones)
- MTBMC = Tiempo medio entre mantenimientos correctivos (tiempo total/número de mantenimientos correctivos)
- MTBMP = Tiempo medio entre mantenimientos preventivos (tiempo total/número de mantenimientos preventivos)
- MP = Tiempo medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimiento planeado (se promedian todos los tiempos de los mantenimientos preventivos planeados)

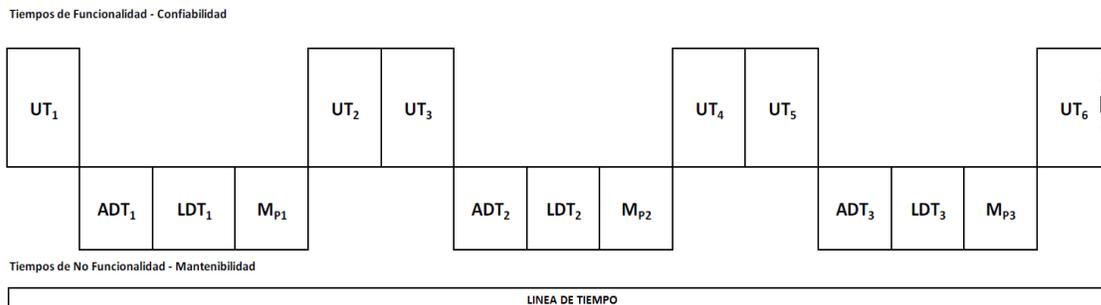
### 1.3.7.2 Esquemas de tiempo

Para lograr un cálculo correcto de la disponibilidad es preciso agrupar los datos históricos asociados al sistema o máquina según el siguiente esquema:

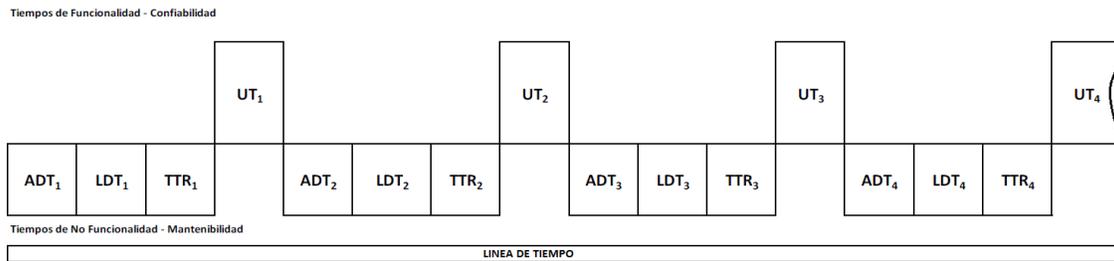
**Ilustración 11 - Mapa de tiempo - simbología típica**



**Ilustración 12 - Mapa de tiempo / Mantenimientos planeados - simbología típica**



### Ilustración 13 - Mapa de tiempo / Mantenimientos no planeados - Simbología típica



- ADT<sub>n</sub>: Tiempo administrativo / Todos los tiempos asociados a trámites administrativos requeridos para el inicio de los trabajos como autorizaciones, informes a los superiores, trámites de papelería etc.
- LDT<sub>n</sub>: Tiempos logísticos / Todos los tiempos asociados a logística de consecución de materiales y/o herramientas entre otros.
- UT<sub>n</sub>: Tiempo útil / Tiempo efectivo de disponibilidad de la máquina y/o sistema.
- TTR: Tiempo para reparar (llave en mano).
- Mp: Tiempo de mantenimiento planeado (se promedian todos los tiempos de los mantenimientos preventivos planeados).

#### 1.3.8 Métodos de predicción CMD

Es posible tener pronósticos acerca del comportamiento de un equipo mediante el cálculo de parámetros CMD futuros, esto se puede lograr por el método puntual o métodos de distribuciones, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

## Ilustración 14 - Métodos de distribución para estimación de confiabilidad y mantenibilidad (CM)

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

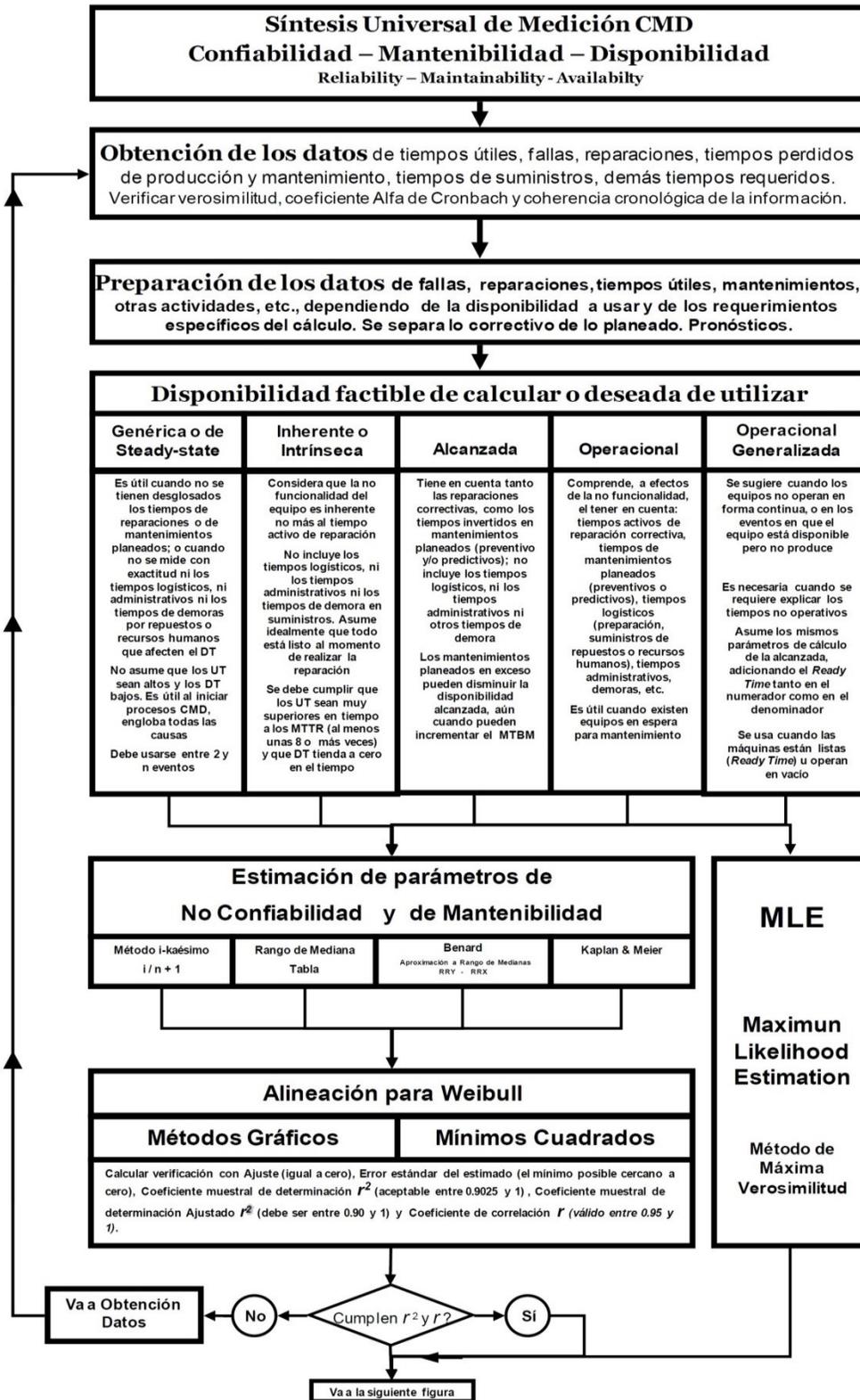
(Mora, 2009)

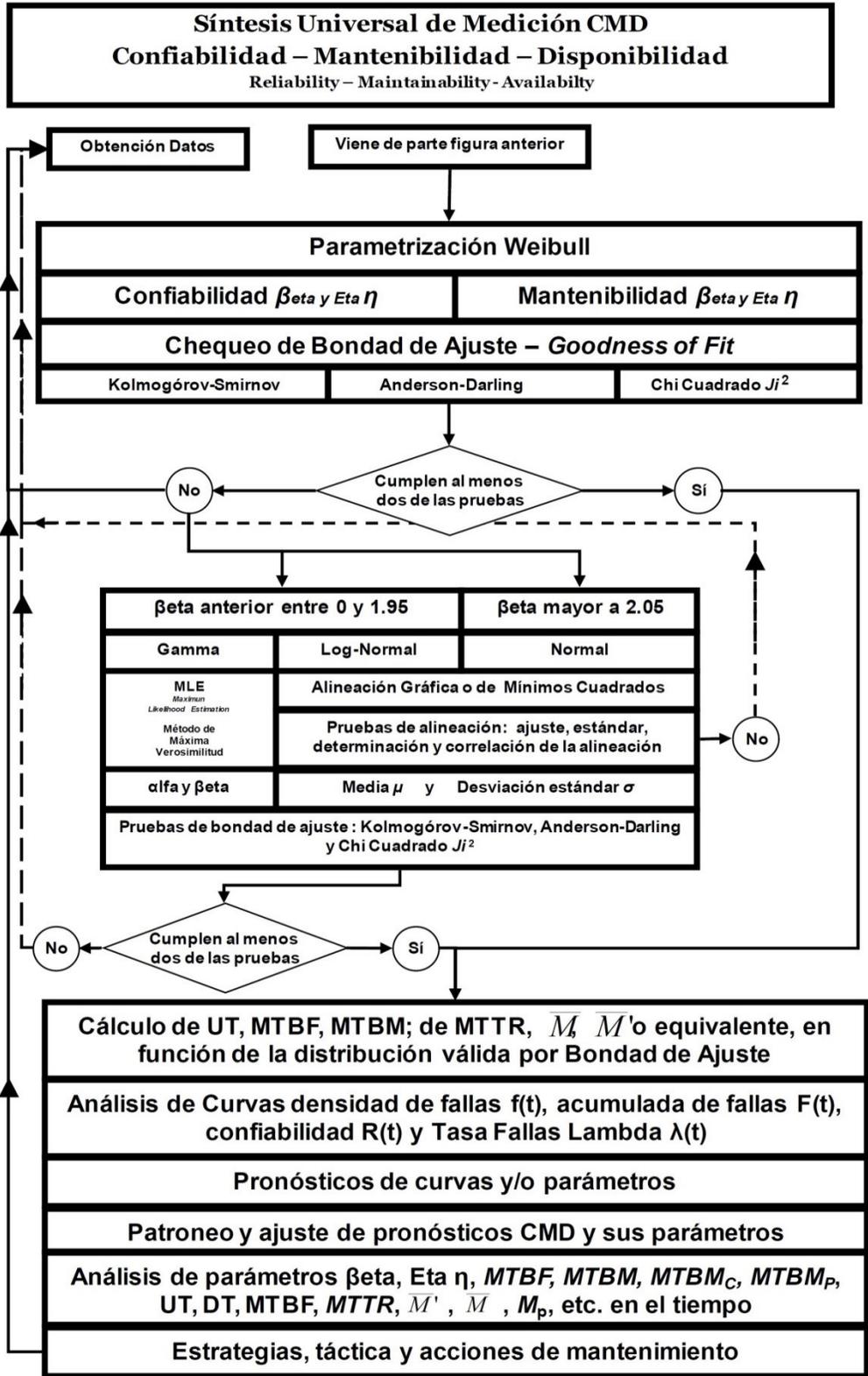
Existen otros modelos como el HPP (modelo homogéneo de Poisson) y NHPP (método no homogéneo de Poisson), así como otras metodologías que se basan en el modelo universal de pronósticos y sus variantes.

### 1.3.9 Modelo universal para pronosticar CMD

En este modelo se validan los datos de operación del sistema, posteriormente se generan resultados para el análisis y toma de decisiones y es aplicable a componentes en cualquier punto de la curva de fallas, adicionalmente es aplicable a métodos puntuales y a distribuciones.

Ilustración 15 - Modelo universal para la medición CMD (Mora, 2009)





(Mora, 2009)

En este modelo se propone una preparación de la información sobre las intervenciones realizadas (tiempos útiles, mantenimientos correctivos, tiempos administrativos y de logística etc.), para posteriormente realizar una estimación de la disponibilidad a calcular según la cantidad de información útil, posteriormente se orecen los métodos de estimación de parámetros y alineación Weibull con un chequeo de bondad de ajuste u otro que aplique, por último se obtienen los índices de desempeño y con los resultado obtenidos se puede definir la estrategia más conveniente (realizar más preventivos, realzar más predictivos, llevar a falla etc.) (Knezevic, 1996) (Improvingt Equipment Reliability at Plant Efficiency through PM Optimisation at Kewaunee Nuclear power Plant, 1995) (Knezevic, 2010).

### **1.3.10 Conclusiones del capítulo uno**

La metodología para cálculo CMD permite analizar la información disponible de las máquinas bajo un modelo matemático, lo cual sirve para describir el comportamiento de las mismas en función del tiempo.

Los modelos estadísticos para el cálculo de la densidad de fallas deben seleccionarse según la etapa de operación en que se encuentra (Rodaje, vida útil o envejecimiento) y según las restricciones por tipo de componente.

A través de los cálculos CMD se analiza el estado de los equipos y puede definirse la estrategia más precisa para mejorar la disponibilidad del sistema.

## 2 SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SG2401

### 2.1 OBJETIVO

Describir la operación y componentes del sistema de generación SG2401, la función principal, el sistema de control y demás información que sirva para el estudio del sistema.

### 2.2 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO DOS

Este capítulo aporta información del equipo, sus componentes, la información sobre tiempos de no disponibilidad (por mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo), adicionalmente se describe los elementos que requieren mantenimientos planeados, así como la información requerida para el cálculo de la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

### 2.3 DESARROLLO

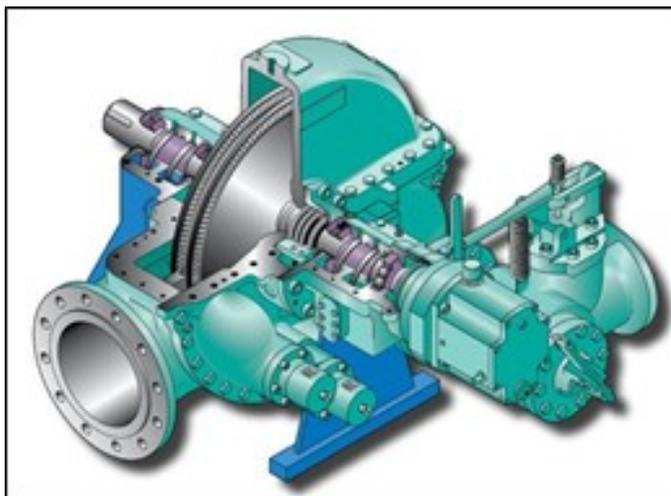
El grupo electrógeno unidad SG2401 tiene como función principal convertir la energía mecánica de rotación de entrada en energía eléctrica de salida.

Este sistema tiene generadores síncronos de excitación independiente, lo que significa que la alimentación eléctrica de las bobinas del rotor se hace con una fuente de energía externa a la máquina. El proceso de conversión de la energía se produce cuando el campo magnético del rotor gira dentro del campo del estator, lo cual genera una diferencia de potencial en terminales del estator que es usada para suministrar energía eléctrica a los usuarios.

#### 2.3.1 Descripción del sistema

El proceso de conversión de energía mecánica a eléctrica comienza con la conversión del vapor (presión) en energía mecánica rotacional, este proceso es realizado por las turbinas del centro de generación SG2401.

#### Ilustración 16 - Turbina de vapor



(<http://www.mailxmail.com>, 2016)

**Ilustración 17 - Estator de un generador eléctrico**



(Monografías.com, 2016)

El flujo de vapor pasa por los álabes de la turbina produciendo un movimiento rotacional (energía motriz), el cual es transformado en energía eléctrica.

## **2.3.2 Partes del sistema**

Este se compone de varios elementos, así:

### **2.3.2.1 Partes de la Turbina**

#### **2.3.2.1.1 La carcasa:**

La carcasa o cuerpo tiene en su parte inferior los anclajes a la base del sistema, provee el apoyo requerido para soportar los esfuerzos propios del funcionamiento de la máquina.

La parte superior de la carcasa es desmontable para permitir el acceso a los mantenedores en caso de ser requerido, adicionalmente proveen el sustento para los cojinetes del eje de la turbina.

La carcasa está construida de manera que pueda aislar el calor producido durante la operación del sistema, para lo cual cuenta con recubrimientos externos de material aislante, lo que adicionalmente disminuye las pérdidas de calor que pueden afectar la eficiencia del sistema.

#### **2.3.2.1.2 El rotor:**

El rotor de una turbina tiene acoplados los álabes y gira sobre los cojinetes por la acción de presión del vapor que los impulsa, es habitualmente fundido en acero con aleaciones de níquel que le dan tenacidad, los diámetros son generalmente uniformes aunque pueden variar dependiendo de la aplicación y de las características de las fuerzas en los apoyos.

#### **2.3.2.1.3 Álabes:**

Los álabes son pestañas adheridas al rotor o estator y durante el funcionamiento de la máquina están en contacto directo con el vapor (energía primaria) logrando de esta manera y por acción de reacción provocar energía mecánica rotacional, por lo que su diseño y metalografía son claves en la eficiencia del sistema; pueden ser de tipo fijo o móvil, y pueden unirse individualmente o por grupos.

#### **2.3.2.1.4 Válvula de flujo:**

Está ubicada en la entrada de la turbina y tiene como función principal regular el caudal de ingreso a la máquina, permitiendo controlar la potencia de salida y velocidad del sistema; su accionamiento puede ser controlado de manera remota o local.

#### **2.3.2.1.5 Cojinetes:**

Los cojinetes proveen apoyo mecánico y de baja fricción al rotor, son construidos de materiales resistentes y están recubiertos de estaño que proporcionan al rotor una capa de protección ante deficiencias en el sistema de lubricación; según las cargas que soportan pueden ser de tipo radial o axial.

#### **2.3.2.1.6 Sistema de lubricación:**

El sistema de lubricación provee el flujo de lubricante requerido para minimizar la fricción en cojinetes y demás partes móviles de la máquina, está conformado por 2 bombas (principal y auxiliar); tiene adicionalmente un sistema de enfriamiento de lubricante, que consta de un radiador y tuberías que actúan a manera de intercambiador de calor con el medio.

#### 2.3.2.1.7 Sistema de sellado:

En todo el recorrido de vapor se encuentran numerosas uniones o juntas por las cuales pueden presentarse fugas que disminuyen la eficiencia de la máquina o en caso extremo provocar un paro en la producción del sistema; en dichas juntas se encuentran sendos empaques, orrings u otros elementos cuya función principal es impedir la fuga de vapor aun cuando las condiciones de operación provocan dilataciones o contracciones por efecto térmico en los materiales que componen la junta.

### 2.3.2.2 Partes del Generador

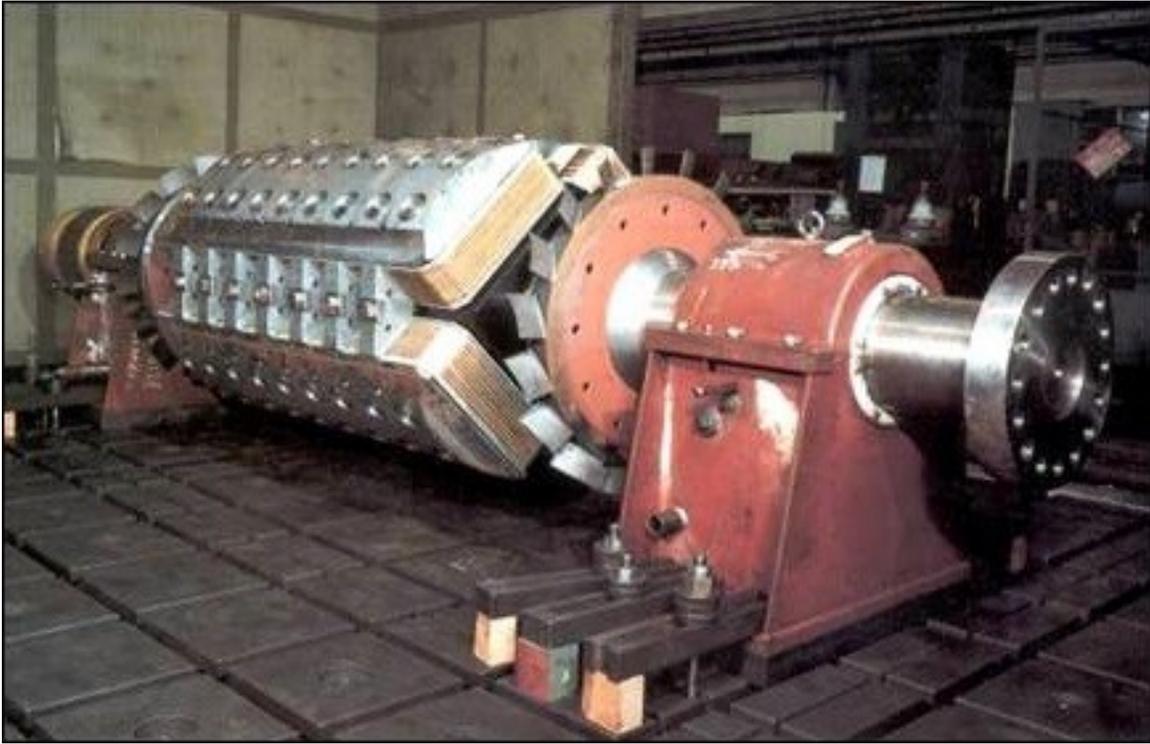
#### 2.3.2.2.1 Estator:

Parte fija del generador que brinda apoyo mecánico a los cojinetes y a su vez al rotor, está construido en 2 secciones (base y armadura), la primera brinda apoyo mecánico y soporte para los esfuerzos generados durante la operación de la máquina. En el estator están instaladas las bobinas fijas de la máquina, cuyo voltaje es inducido por efecto electromagnético desde el rotor y es el punto de partida de la red eléctrica que es alimentada por la máquina.

#### 2.3.2.2.2 Rotor:

Es la parte móvil de la máquina donde se alojan las bobinas que inducen una f.e.m. (fuerza electromagnética) en el estator; tiene como soporte mecánico un eje sólido construido en acero que descansa en los cojinetes. Las bobinas del rotor están alimentadas por una tensión continua cuya intensidad determina la potencia de salida de la máquina.

**Ilustración 18 - Rotor de generador eléctrico**



**(Monografías.com, 2016)**

#### 2.3.2.2.3 Regulador de Velocidad:

El regulador de velocidad es el sistema encargado de mantener la velocidad de la máquina en rangos operacionales para garantizar una frecuencia de salida de 60Hz, en tal sentido actúa

directamente sobre el control de la turbina para garantizar el flujo de vapor adecuado y así garantizar el sincronismo del sistema.

#### 2.3.2.2.4 Regulador de Tensión (AVR):

Este sistema suministra una tensión y corriente continuas a las bobinas del rotor, lo que genera el campo excitatriz requerido para inducir tensión en las bobinas del estator; la intensidad de corriente suministrada es proporcional a la corriente producida por el estator y por tanto proporcional a la potencia de suministro del sistema.

### 2.3.3 Programa de Mantenimiento

El plan de mantenimiento del sistema SG2401 tiene acciones preventivas planeadas así como un programa de acciones predictivas (seguimiento de variables de operación y estado de activos) e incluye acciones correctivas solo para los sistemas no críticos del sistema.

En tal sentido se tiene una carga de horas hombre predecible y variable en el tiempo salvo fallas graves de las máquinas que componen el sistema; los materiales requeridos para los trabajos de mantenimiento.

#### 2.3.3.1 Nivel estratégico

El nivel estratégico está conformado por la dirección de la gerencia técnica, la cual tiene entre otras la función de determinar las maneras de gestión y elaboración de las tácticas de mantenimiento, asignando recursos y personal acorde a las necesidades corporativas.

La entrada de información del nivel táctico son las paradas de producción por fallas/mantenimientos y LCC de las máquinas de la compañía, con lo cual se determinan estrategias corporativas tendientes a la gestión de indicadores.

#### 2.3.3.2 Nivel táctico

El nivel táctico de la compañía toma como base los recursos disponibles y el personal contratado para definir el plan de mantenimiento a seguir, definiendo los tipos de mantenimiento requeridos para el sistema, la periodicidad de cada uno de ellos y el alcance que se debe lograr en cada una de las intervenciones.

En este nivel se realizan todas las investigaciones de fallos y se establecen las acciones tácticas requeridas para mitigar el impacto que la causa básica provoca en los activos corporativos; sin embargo existen numerosas causalidades que no se han identificado ya que no es frecuente que se realicen análisis interdisciplinarios que brinden la profundidad requerida a los fallos ocurridos sobre las máquinas.

El sistema de información es pobre y no permite calcular con facilidad indicadores como TMEF, LCC o MTBM, por lo anterior es imposible determinar la efectividad del mantenimiento actual, y en consecuencia es imposible responder a las siguientes preguntas:

¿El mantenimiento realizado durante los últimos años fue la mejor elección para la compañía?

¿Cuánto ha costado el mantenimiento realizado durante los últimos años al generador SG2401?

Los indicadores asociados a cada máquina son casi imposibles de calcular ya que no se tiene registro diferenciado para cada equipo sino que se toman datos por familias de equipos lo que impide la segregación de la información.

Existen políticas corporativas que apuntan a aspectos específicos del mantenimiento clase mundo, sin embargo estas no se aplican con rigurosidad ya que la falta de planeación y las extenuantes limitaciones asociadas a temas logísticos impiden la calidad total en los productos/servicios realizados.

#### **2.3.3.3 Nivel operativo**

Este nivel apoya la producción mediante la generación de procedimientos de apoyo que mejoran la seguridad de los trabajos, la eficiencia de los mismos y la sencillez en su operación, sin embargo no garantiza la eficacia y por ende tampoco garantiza la efectividad de la gestión del mantenimiento.

La información de entrada de este nivel son las solicitudes/necesidades referidas al área de mantenimiento así como la gestión del TTR, sin embargo la gestión de este indicador no es sistematizada y es susceptible de errores humanos asociados a la calidad de la información.

#### **2.3.4 Conclusiones del capítulo dos**

La sección correspondiente al capítulo dos aporta los diferentes elementos que constituyen la unidad eléctrica, objeto de estudio, desagregando sus partes principales susceptibles de mantenimiento.



## **3 DATOS**

### **3.1 OBJETIVO**

Presentar la información tomada de la base de datos de la compañía asociada al sistema de generación de energía eléctrica de la GRB SG2401, adaptarla a los sistemas de información CMD y utilizar uno de los métodos disponibles para calcular los parámetros actuales y predecir el comportamiento futuro del mismo.

### **3.2 INTRODUCCIÓN**

Cuando se tiene información histórica completa de una máquina o sistema es posible calcular las tendencias pasadas y futuras asociadas a su comportamiento, lo anterior se puede lograr con el método universal de medición CMD.

Esta metodología es particularmente importante cuando se requiere definir las mejores acciones de mantenimiento para el sistema objeto de estudio; a continuación se presenta la información que sirve para definir la conducta del sistema objeto del estudio para posteriormente realizar los análisis futuros en el capítulo 4.

### **3.3 DESARROLLO**

En esta sección se presenta la información tomada de la base de datos asociada al sistema de generación SG2401 de la GRB organizada de tal manera que permita una fácil comprensión y utilización con el método universal CMD.

La información está organizada en forma matricial bajo la siguiente estructura:

COLUMNA 1: Número de orden de trabajo (OT)

COLUMNA 2: Descripción de la OT

COLUMNA 3: Tipo de OT (Preventiva – Predictiva – Correctiva)

COLUMNA 4: Tiempo estimado de reparación

Los eventos se presentan en orden cronológico para el sistema SG2401.

#### **3.3.1 Presentación de la información**

Uno de los objetivos de esta sección es definir la metodología a usar según la calidad de información que se dispone, en tal sentido los datos se tabulan para poder establecer criterios y seleccionar la Disponibilidad adecuada para el sistema SG2401.

## Ilustración 19 - Disponibilidad factible de calcular según el Modelo universal para medición CMD

↓

Disponibilidad factible de calcular o deseada de utilizar				
Genérica o de Steady-state	Inherente o Intrínseca	Alcanzada	Operacional	Operacional Generalizada
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 No asume que los UT sean altos y los DT bajos. Es útil al iniciar procesos CMD, engloba todas las causas Debe usarse entre 2 y n eventos	Considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación  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  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	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  Los mantenimientos planeados en exceso pueden disminuir la disponibilidad alcanzada, aún cuando pueden incrementar el MTBM	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.  Es útil cuando existen equipos en espera para mantenimiento	Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continua, o en los eventos en que el equipo está disponible pero no produce  Es necesaria cuando se requiere explicar los tiempos no operativos  Asume los mismos parámetros de cálculo de la alcanzada, adicionando el Ready Time tanto en el numerador como en el denominador  Se usa cuando las máquinas están listas (Ready Time) u operan en vacío

(Mora, 2009)

## Ilustración 20 - Registro de eventos según tipo, por fecha y con tiempo de duración (en horas)

O.T	WO Desc	Task No.	Fecha	Duración	TTR	Tipo de
440819	MTO PREV ESCOBILLAS GEN. U2400	PV	30/07/2015	5,0	-	Mp
440812	TG2401: FT vapor en falla	CO	29/07/2015	5,0	5,0	TTR
440770	SG2401 Desmontar y calibrar válvula cent	PV	29/07/2015	7,7	-	Mp
432215	REVISAR SEÑAL RTD 2 TG-2401	CO	25/03/2015	4,0	4,0	TTR
422118	SG2401/02/03 REVISAR ESTADO ESCOBILLAS	PV	25/03/2015	2,5	-	Mp
419128	Revisión arranque sistema lubricación	CO	20/08/2014	5,0	5,0	TTR
419095	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	20/08/2014	8,2	-	Mp
415141	Revisión sistema control/Medida Carga	CO	18/06/2014	6,0	6,0	TTR
415056	FR descalibrado vapor admisión TG2401	CO	17/06/2014	2,0	2,0	TTR
412643	SG2401 AGC y Control remoto Gobernad EF.	CO	14/05/2014	5,0	5,0	TTR
406734	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	04/03/2014	4,8	-	Mp
404457	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	05/02/2014	9,8	-	Mp
401319	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	11/12/2013	7,0	-	Mp
397945	TG2401: FT vapor en falla	CO	22/10/2013	3,6	3,6	TTR
391227	Realizar Termografía Estrella SG2401	PD	17/07/2013	1,0	-	Mp
384446	Configuración puerto DNP TG2401	CO	23/04/2013	3,4	3,4	TTR
379409	SG2401 - Reemplazo de conduit señales AV-AH	CO	20/02/2013	6,0	6,0	TTR
372526	REVISAR SWICHE DE ARRANQUE P2404A	CO	02/11/2012	7,2	7,2	TTR
366905	Corregir escape de vapor U2400 N° 2	CO	27/08/2012	3,9	3,9	TTR
366906	Corregir escape de vapor U2400 N° 3	CO	27/08/2012	5,4	5,4	TTR
366902	Corregir escape U-2400 N° 1	CO	27/08/2012	6,0	6,0	TTR
363762	MTTO Y MODIFIC. DE CONEX RTDS TG2401	PV	13/07/2012	3,2	-	Mp
361185	MANTTO PIVO A TT24067 TEMP CARCAS	PV	05/06/2012	5,3	-	Mp
361184	MANTTO PVO A PI24060 VACIO COND TG2401	PV	05/06/2012	5,0	-	Mp
357711	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	18/04/2012	6,2	-	Mp
357710	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	18/04/2012	5,5	-	Mp
357709	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	18/04/2012	4,0	-	Mp
357488	MANTTO PVO A FI24011 VAPOR ADMON	PV	15/04/2012	3,0	-	Mp
354774	MANTTO PVO A TT24063 TEMP VAPOR 400#	PV	29/02/2012	5,1	-	Mp
353182	PRUEBAS IPF DEL TG2401	CO	07/02/2012	2,8	2,8	TTR
353146	TG2401 - Apoyo a pruebas puesta en svcio	CO	07/02/2012	8,0	8,0	TTR
353092	TG2401 - Pruebas de sincronismo	CO	06/02/2012	4,8	4,8	TTR
352928	APOYO AUTOMOTOR Y ARMAR Y MOD	CO	02/02/2012	5,0	5,0	TTR
352490	TG2401 - Compra porta escobillas	CO	31/01/2012	5,9	5,9	TTR
351993	SG2401 - Mtto gabinete excitación	CO	24/01/2012	4,6	4,6	TTR
351438	FT24011A Vapor de Admisión TG-2401 Corre	CO	17/01/2012	4,4	4,4	TTR
351573	MTTO GENERAL BENTLY NEVADA SG 2401	PV	17/01/2012	5,6	-	Mp

351439	PT24060 Vacío Condensador del TG-2401 co	CO	17/01/2012	3,8	3,8	TTR
351440	TT24067 Temper. Carcasa TG-2401 Correcti	CO	17/01/2012	3,0	3,0	TTR
351154	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	11/01/2012	5,0	-	Mp
350079	mantenimiento general	PV	19/12/2011	13,0	-	Mp
349086	APOYO REPARACION SG2401	CO	29/11/2011	7,1	7,1	TTR
341829	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	03/08/2011	6,0	-	Mp
341825	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	03/08/2011	6,0	-	Mp
341820	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	03/08/2011	3,5	-	Mp
335343	MANTEMIENTO SISTEMA DE VACIO SG2401	CO	31/05/2011	5,0	5,0	TTR
334323	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	18/05/2011	5,0	-	Mp
331616	SEXCG2401/MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	06/04/2011	6,0	-	Mp
329026	REVISAR Vibración CH,CV TG-2401	CO	01/03/2011	2,0	2,0	TTR
325833	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	12/01/2011	6,1	-	Mp
325085	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/12/2010	7,5	-	Mp
325087	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/12/2010	7,0	-	Mp
325084	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/12/2010	4,4	-	Mp
325086	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/12/2010	8,0	-	Mp
322222	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	12/10/2010	3,5	-	Mp
321033	Mantto. Prevntiv.Sist. Alarma Inc.TG2401	PV	22/09/2010	2,0	-	Mp
320188	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	13/09/2010	4,0	-	Mp
317907	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	17/08/2010	4,9	-	Mp
315144	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	14/07/2010	6,0	-	Mp
313806	MANTEMIENTO SISTEMA DE VACIO SG2401	CO	01/07/2010	7,2	7,2	TTR
312157	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/06/2010	5,0	-	Mp
307986	REALIZAR MTTO A NIVEL DE ACEITE -2401	CO	04/05/2010	4,0	4,0	TTR
306225	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	07/04/2010	6,0	-	Mp
304906	TG2401 - CO PANEL EXCIT / PV GENERADOR	CO	24/03/2010	4,9	4,9	TTR
304518	MANTENIMIENTO CASILLAS BAJA TENSION	PV	18/03/2010	7,0	-	Mp
304521	SEXCG2401 /MTTO. SISTEMA EXCITACION	PV	18/03/2010	7,0	-	Mp
304523	SG2401 /MTTO MOTOR /AISLAMIENTO	PV	18/03/2010	48,0	-	Mp
304524	SGOBG2401 /MTTO MOTOR GOVERNADOR	PV	18/03/2010	3,4	-	Mp
304520	SMG2401 /MTTO. BREAKER	PV	18/03/2010	8,3	-	Mp
304522	SMG2401 /MANTTO ELECTRICO GENERADOR	PV	18/03/2010	7,9	-	Mp
304525	SP2401A /MTTO MOTOR /AISLAMIENTO	PV	18/03/2010	48,0	-	Mp
304519	SP2404A /MTTO GRAL CASILLA CONTROL	PV	18/03/2010	9,1	-	Mp
304390	SCTRLG2401 /MTTO. LAZO CONTROL	PV	17/03/2010	4,0	-	Mp
304388	SCTRLG2401 /MTTO. GRAL /LV24011	PV	17/03/2010	3,8	-	Mp
304389	SLUBG2401 /MTTO. GRAL /COV 24011	PV	17/03/2010	9,5	-	Mp
304183	SLUBG2401 /PVO SIST. LUBR/LIMPIAR FILTRO	PV	17/03/2010	11,1	-	Mp
304392	SMEDG2401 /MTTO TERMOPOZOS	PV	17/03/2010	11,2	-	Mp
304391	SMEDG2401 /CALIBRAR PLATINA ORIFICIO	PV	17/03/2010	3,8	-	Mp
304387	SMEDG2401 /MTTO COMP. ELECTRONICOS	PV	17/03/2010	3,2	-	Mp
304086	REALIZAR MTO GENERAL BENTLY SG2401	PV	16/03/2010	8,0	-	Mp
304089	realizar mtto general lubricación SG-2401	CO	16/03/2010	6,0	6,0	TTR
304092	Realizar mtto general lazo nivel SG2401	PV	16/03/2010	5,7	-	Mp
303568	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	10/03/2010	5,0	-	Mp
299285	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	22/01/2010	4,4	-	Mp
299224	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/01/2010	6,0	-	Mp
298952	SMEDG2401 /CALIBRAR INDICADORES	CO	19/01/2010	5,0	5,0	TTR
298953	SPROTG2401 /CALIBRAR SWICHES	CO	19/01/2010	7,4	7,4	TTR
298188	Mantto Eyectores y sist de vacío G2401	CO	08/01/2010	3,4	3,4	TTR
297613	SEXCG2401/MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	29/12/2009	5,0	-	Mp
295133	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	19/11/2009	5,0	-	Mp
292643	Ajustar y reparar eyectores del vacío	CO	21/10/2009	7,8	7,8	TTR
290097	REVISAR SISTEMA BENTLY NEVADA TG-2401	CO	16/09/2009	7,4	7,4	TTR
287576	REALIZAR MTTO.EYECTORES PRIM SG2401	CO	10/08/2009	3,1	3,1	TTR
287577	REALIZAR MTTO.EYECTORES SECUN SG2401	CO	10/08/2009	4,6	4,6	TTR
285530	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	08/07/2009	8,6	-	Mp
280296	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	30/04/2009	6,0	-	Mp
279224	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	16/04/2009	9,2	-	Mp
278649	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	03/04/2009	6,0	-	Mp
277100	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	19/03/2009	6,9	-	Mp
276270	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	04/03/2009	6,5	-	Mp
275873	Revisión PCV vapor de la turbina	CO	27/02/2009	3,0	3,0	TTR
274079	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	05/02/2009	6,0	-	Mp

273413	SMEDG2401 /CALIBRAR INDICADORES	CO	26/01/2009	4,0	4,0	TTR
273414	SPROTG2401 /CALIBRAR SWICHES	CO	26/01/2009	6,0	6,0	TTR
272109	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	08/01/2009	7,0	-	Mp
271279	Cambio filtro de aceite Sist TG2401	PV	26/12/2008	2,0	-	Mp
270467	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	12/12/2008	5,0	-	Mp
269874	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	27/11/2008	4,0	-	Mp
268749	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	13/11/2008	5,0	-	Mp
267923	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	31/10/2008	5,0	-	Mp
267056	REVISIONES/DISPARO POR TEMPERATURA	CO	21/10/2008	6,9	6,9	TTR
264925	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	01/10/2008	6,0	-	Mp
264665	SNTG2402 /PVO SIST GOBERNACION /ENGRASE	PV	01/10/2008	3,0	-	Mp
264368	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	26/09/2008	7,0	-	Mp
261291	SCTRLG2401 /MTTO. LAZO CONTROL	CO	21/08/2008	4,0	4,0	TTR
261399	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/08/2008	2,1	-	Mp
261213	SGOBG2401 / MTTO AL SINCRONIZADOR	CO	21/08/2008	2,1	2,1	TTR
259000	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	24/07/2008	6,0	-	Mp
256685	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	26/06/2008	5,0	-	Mp
256073	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	20/06/2008	5,0	-	Mp
255189	SNTG2402 /PVO SIST GOBERNACION /ENGRASE	PV	11/06/2008	3,0	-	Mp
253915	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	29/05/2008	5,0	-	Mp
252536	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	15/05/2008	6,0	-	Mp
251510	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	01/05/2008	7,0	-	Mp
247950	SNTG2402 /PVO SIST GOBERNACION /ENGRASE	PV	19/03/2008	3,0	-	Mp
247561	SNTG2401 /PVO SIST GOBERNACION /ENGRASE	PV	18/03/2008	3,0	-	Mp
246668	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	05/03/2008	7,0	-	Mp
244363	REP. ESCAPE ACEITE FILTRO LUB TG2401	CO	10/02/2008	4,0	4,0	TTR
244011	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	07/02/2008	5,0	-	Mp
242840	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	23/01/2008	4,6	-	Mp
241622	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	10/01/2008	4,0	-	Mp
240900	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	26/12/2007	9,2	-	Mp
240138	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	12/12/2007	7,5	-	Mp
238664	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	28/11/2007	5,1	-	Mp
236156	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	31/10/2007	5,9	-	Mp
234593	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	17/10/2007	3,0	-	Mp
233217	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	03/10/2007	5,0	-	Mp
231831	SPROTG2401 /CALIBRAR SWICHES	CO	19/09/2007	9,7	9,7	TTR
230620	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	05/09/2007	6,0	-	Mp
230429	SMEDG2401 /CALIBRAR INDICADORES	CO	05/09/2007	7,0	7,0	TTR
229004	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	22/08/2007	4,0	-	Mp
228506	BEC REVISIÓN ESTADO LUBRICACIÓN	CO	17/08/2007	9,0	9,0	TTR
227809	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	08/08/2007	5,0	-	Mp
225267	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	12/07/2007	5,0	-	Mp
224877	Bently Nevada C.N.Revisión Borneras 120V	CO	10/07/2007	3,0	3,0	TTR
223936	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	27/06/2007	4,0	-	Mp
222899	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	13/06/2007	6,0	-	Mp
222476	MANTENIMIENTO TRAMPA INTER TG2401	CO	09/06/2007	4,0	4,0	TTR
220673	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	17/05/2007	4,5	-	Mp
M7005370	Cambio Filtro Lubricación TG2401	PV	15/05/2007	3,0	-	Mp
219373	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	04/05/2007	6,0	-	Mp
217968	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	19/04/2007	5,0	-	Mp
216662	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	03/04/2007	3,0	-	Mp
216148	Revisión RTD3 TG2401	CO	27/03/2007	5,2	5,2	TTR
215768	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	22/03/2007	7,1	-	Mp
213673	TG2401 - Reparar porta escobillas del ge	CO	23/02/2007	5,8	5,8	TTR
213519	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/02/2007	6,0	-	Mp
212332	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	07/02/2007	6,0	-	Mp
211240	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	24/01/2007	6,0	-	Mp
211278	SNTG2402 /PVO SIST GOBERNACION /ENGRASE	PV	24/01/2007	3,0	-	Mp
209047	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	26/12/2006	7,0	-	Mp
208647	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	20/12/2006	6,0	-	Mp
206599	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	15/11/2006	5,0	-	Mp
205734	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	01/11/2006	6,0	-	Mp
204660	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	19/10/2006	5,9	-	Mp
204675	SNTG2402 /PVO SIST GOBERNACION /ENGRASE	PV	19/10/2006	3,0	-	Mp
203531	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	05/10/2006	4,7	-	Mp

202726	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	21/09/2006	6,0	-	Mp
202606	SPROTG2401 /CALIBRAR SWICHES	CO	21/09/2006	6,0	6,0	TTR
201503	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	07/09/2006	5,5	-	Mp
201427	SMEDG2401 /CALIBRAR INDICADORES	CO	07/09/2006	5,0	5,0	TTR
200456	SEXCG2401 /MTO PREV ANILLOS GEN.	PV	24/08/2006	5,0	-	Mp
199884	Revisión RTD's 2 y 7 TG2401	CO	16/08/2006	3,0	3,0	TTR
199486	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401	PV	10/08/2006	6,0	-	Mp
198440	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401	PV	27/07/2006	7,0	-	Mp
197397	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401	PV	13/07/2006	5,0	-	Mp
196377	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	29/06/2006	6,0	-	Mp
M7005036	REV. Y CALIB TI'S Y PI'S LOCALES TG2401	CO	22/06/2006	6,0	6,0	TTR
195490	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	15/06/2006	4,0	-	Mp
194123	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	01/06/2006	5,0	-	Mp
192976	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	18/05/2006	6,0	-	Mp
192078	REVISION/CALIBRACION RTD 7 TG2401	CO	09/05/2006	6,6	6,6	TTR
191680	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	04/05/2006	6,0	-	Mp
190266	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	20/04/2006	6,0	-	Mp
189029	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	06/04/2006	5,0	-	Mp
187848	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	23/03/2006	5,0	-	Mp
186420	PREV A EXCITATRIZ Y ANILLOS TG2401/02	PV	03/03/2006	9,6	-	Mp
184498	Pruebas a Sistemas de protección	CO	08/02/2006	6,0	6,0	TTR
183558	MANTENIMIENTO TRAMPAS INTER/POST	CO	29/01/2006	7,0	7,0	TTR
M7004787	Reparar Escape Toma Platina Vapor TG2401	CO	14/01/2006	5,0	5,0	TTR
182298	REVISION PREVENTIVA A RTD's TG2401	PV	14/01/2006	4,3	-	Mp
M7004763	Cambio TI enfriador Aire a TG2401	CO	09/01/2006	5,6	5,6	TTR
180570	Revisión Relé 64F TG2401	CO	21/12/2005	9,6	9,6	TTR
180582	REVISION RTD5 TG2401	CO	21/12/2005	4,2	4,2	TTR
E7000494	REVISION Y REPARACION RTD5 TG2401	CO	21/12/2005	6,0	6,0	TTR
179999	MTO. TRAMPAS INTER Y POST TG2401	CO	13/12/2005	6,0	6,0	TTR
179659	REALIZAR MTTO.EYECTORES SG2401	CO	04/12/2005	5,0	5,0	TTR
M7004578	REVISAR ALARMA ALTO NIVEL ACEITE SG2401	CO	20/11/2005	4,0	4,0	TTR
M7004576	REVISAR ALARMA PERDIDA EXCITAC SG2402	CO	20/11/2005	4,8	4,8	TTR
M7004161	Cambio válvula 2" Pozo Caliente TG2401	CO	24/08/2005	3,0	3,0	TTR
171374	REVISION TRIP 86T EN TG2401	CO	18/07/2005	5,0	5,0	TTR
168771	MTTO Trampas Inter y Post TG2401	CO	12/06/2005	3,4	3,4	TTR
M7003707	Instalar drenaje Cabezal 400psi TG2401	CO	16/05/2005	2,8	2,8	TTR
164826	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	21/04/2005	5,0	-	Mp
163329	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	07/04/2005	6,0	-	Mp
162198	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	24/03/2005	6,1	-	Mp
161092	PRUEBAS DE ARRANCADA SG2401	CO	11/03/2005	2,0	2,0	TTR
160944	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	10/03/2005	4,0	-	Mp
159711	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	24/02/2005	4,0	-	Mp
158711	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	10/02/2005	6,0	-	Mp
154397	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	30/12/2004	6,8	-	Mp
152717	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	02/12/2004	2,5	-	Mp
151274	BAJAR/CALIBRAR/INSTALAR LSL24026	PV	12/11/2004	2,9	-	Mp
151319	BAJAR/CALIBRAR/INSTALAR FR24011	PV	12/11/2004	2,6	-	Mp
151328	BAJAR/CALIBRAR/INSTALAR FT24011	PV	12/11/2004	3,0	-	Mp
151278	BAJAR/MATTO GRAL/CAL/INST MICV24011	PV	12/11/2004	3,8	-	Mp
151320	MTTO GENERAL BENTLY NEVADA SG2401	PV	12/11/2004	3,8	-	Mp
151284	PROBAR/INSTALAR TE24065A	PV	12/11/2004	12,8	-	Mp
151285	PROBAR/INSTALAR TE24065B	PV	12/11/2004	8,0	-	Mp
151339	RETIRAR/CALIBRAR/INSTALAR PI24121A1	PV	12/11/2004	6,0	-	Mp
151340	RETIRAR/CALIBRAR/INSTALAR PI24121A2	PV	12/11/2004	6,0	-	Mp
151341	RETIRAR/CALIBRAR/INSTALAR PI24121B1	PV	12/11/2004	6,0	-	Mp
151342	RETIRAR/CALIBRAR/INSTALAR PI24121B2	PV	12/11/2004	6,0	-	Mp
151189	PROBAR/INSTALAR TE24061A/61B/61C/61D/62	PV	11/11/2004	12,1	-	Mp
151212	RETIR/CALIBR/INSTA FE-24011	PV	11/11/2004	7,3	-	Mp
150860	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	04/11/2004	4,3	-	Mp
150390	MANTTO ELECTRICO GENERADOR TG-2401	CO	28/10/2004	8,9	8,9	TTR
150160	INSTALACION EXCITACION ESTATICA TG-2401	CO	25/10/2004	5,0	5,0	TTR
149835	MANTO GENERAL A EYECTORES SJ2401 A/B/C/D	CO	21/10/2004	3,3	3,3	TTR
149046	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	07/10/2004	3,5	-	Mp
146092	Corregir escape aceite generador	CO	06/09/2004	6,6	6,6	TTR
145224	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	12/08/2004	4,0	-	Mp

144173	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	30/07/2004	4,6	-	Mp
142675	Limpieza de colector, cambio escobillas	CO	13/07/2004	3,1	3,1	TTR
138143	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	12/04/2004	6,5	-	Mp
137171	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	26/03/2004	5,0	-	Mp
134777	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	26/02/2004	4,3	-	Mp
132725	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	29/01/2004	6,0	-	Mp
M7002163	Revisión del F-2401 del TG-2401	CO	23/01/2004	3,7	3,7	TTR
131779	REVISION GRAL DEL LA TURBINA	CO	16/01/2004	2,6	2,6	TTR
M7002122	CAMBIAR BUJE A BRAZO SIST GOBERNACION	CO	08/01/2004	10,1	0,1	TTR
130990	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	31/12/2003	6,0	-	Mp
130466	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	18/12/2003	5,0	-	Mp
129103	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	20/11/2003	6,6	-	Mp
127535	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	23/10/2003	4,0	-	Mp
126825	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	09/10/2003	3,3	-	Mp
125950	RCM- Manto relés electromecánicos	PV	25/09/2003	4,5	-	Mp
125222	Revisar/Calibrar Sistema Bently SG2401	CO	16/09/2003	6,8	6,8	TTR
125096	Revisar el TG-2401	CO	14/09/2003	3,0	3,0	TTR
124917	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	11/09/2003	6,0	-	Mp
124056	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	28/08/2003	5,0	-	Mp
106778	REVISAR INSTRUMENTACION	CO	28/08/2003	6,0	6,0	TTR
120843	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	05/06/2003	5,0	-	Mp
120139	REVISAR CONTROL AUT. VOLTAJE/TG-2401	CO	23/05/2003	2,7	2,7	TTR
115414	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	17/02/2003	5,0	-	Mp
113872	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	20/01/2003	5,8	-	Mp
113215	Calibrar sistema de Gobernación	PV	09/01/2003	5,0	-	Mp
113207	Realizar Facilidades Para Lavado PFI27	PV	09/01/2003	11,1	-	Mp
113289	REVISAR INSTRUMENTACION	PV	09/01/2003	6,0	-	Mp
113221	Revisar y Calibrar Regulador Vapor Sello	PV	09/01/2003	4,8	-	Mp
113225	Revisar/Calibrar Sistema Bently SG2401	PV	09/01/2003	8,0	-	Mp
113264	trabajos instrumentación al TG-2401.	PV	09/01/2003	5,9	-	Mp
113267	trabajos instrumentación al TG-2401.	PV	09/01/2003	5,0	-	Mp
113092	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	06/01/2003	2,0	-	Mp
111846	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	09/12/2002	6,0	-	Mp
110525	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	11/11/2002	5,1	-	Mp
109356	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	14/10/2002	9,0	-	Mp
108928	Pintar líneas a los interpost	PV	08/10/2002	6,3	-	Mp
108775	Revisar instrumentación corrida TG-2401	CO	04/10/2002	3,5	3,5	TTR
107657	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	16/09/2002	4,0	-	Mp
106776	revisar alimentación eléctrica registrad	CO	30/08/2002	5,5	5,5	TTR
106761	trabajos instrumentación al TG-2401.	CO	30/08/2002	6,8	6,8	TTR
106324	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	19/08/2002	5,0	-	Mp
105535	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	05/08/2002	4,0	-	Mp
103487	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	24/06/2002	6,0	-	Mp
103283	Corregir escapes	CO	21/06/2002	5,0	5,0	TTR
108072	FACILIDADES MANTENIMIENTO INTERPOST	CO	21/06/2002	6,7	6,7	TTR
102964	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	10/06/2002	6,6	-	Mp
100964	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	13/05/2002	8,0	-	Mp
100280	Reparar trampas del inter	CO	30/04/2002	5,0	5,0	TTR
100193	Revisar trampas del inter y líneas tapad	CO	29/04/2002	2,0	2,0	TTR
99320	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	15/04/2002	6,0	-	Mp
98728	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	01/04/2002	3,7	-	Mp
97905	Reapretar bridas sistema de eyectores	CO	14/03/2002	6,0	6,0	TTR
97114	revisar metro de medida del TG-2401	CO	21/02/2002	6,0	6,0	TTR
96901	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	18/02/2002	5,0	-	Mp
95882	MANTTO PREVENTIVO CASILLAS M.TENSI U-900	PV	04/02/2002	5,7	-	Mp
M7001694	Cambiar filtros de lubricación sg-2401	CO	01/02/2002	1,0	1,0	TTR
94716	Trabajos en el generador	CO	17/01/2002	3,8	3,8	TTR
M7001662	Cambio filtros aceite lubricación	PV	09/01/2002	3,0	-	Mp
94346	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	07/01/2002	5,0	-	Mp
93933	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	26/12/2001	4,0	-	Mp
92828	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	26/11/2001	6,0	-	Mp
M7001610	Destapar línea de agua enfriante	CO	22/11/2001	2,0	2,0	TTR
92218	Revisar trampas del interpost TG-2401/2	CO	14/11/2001	4,0	4,0	TTR
92126	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	12/11/2001	6,5	-	Mp
91375	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	29/10/2001	6,6	-	Mp

90543	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	15/10/2001	5,6	-	Mp
89619	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	30/09/2001	7,0	-	Mp
M7001489	Revisar trampas y eyector del interpost	CO	24/09/2001	4,0	4,0	TTR
85861	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	06/08/2001	6,9	-	Mp
82350	Realizar mtto eyectores, válvulas y tramp	CO	29/05/2001	6,0	6,0	TTR
82264	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	28/05/2001	7,0	-	Mp
M7001224	Corregir escape brida válvula eyector	CO	05/04/2001	5,0	5,0	TTR
M7001225	Corregir escape cuerpo válvula LICV24011	CO	05/04/2001	6,9	6,9	TTR
M7001160	REVISAR ALARMA RELE 60 TG-2401	CO	02/03/2001	5,6	5,6	TTR
77625	revisar motor gobernador del TG-2401	CO	02/03/2001	4,0	4,0	TTR
76616	MANTTO PREVENTIVO CASILLAS M.TENSI U-900	PV	05/02/2001	6,0	-	Mp
M7001110	Revisar Válvulas Pegadas Vapor 400#eject	CO	19/01/2001	9,0	9,0	TTR
M7001003	INSTALAR TERMOCUPLA	CO	09/11/2000	3,2	3,2	TTR
M7000977	calibrar los pi entrada y salida agua	CO	07/11/2000	2,0	2,0	TTR
M7000981	calibrar los ti entrada y salida agua	CO	07/11/2000	2,0	2,0	TTR
72649	Reparar Válvula de Control	CO	07/11/2000	7,5	7,5	TTR
72188	CAL.Y AJUSTE RELES TGEN, SG2401/02/03	CO	16/10/2000	3,0	3,0	TTR
70270	revisar válvulas, trampas y eyectores	CO	11/09/2000	8,5	8,5	TTR
68591	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	07/08/2000	5,0	-	Mp
67860	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	24/07/2000	7,2	-	Mp
67049	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	10/07/2000	7,0	-	Mp
M7000686	Reparar trampa de condensado del post...	CO	05/07/2000	5,0	5,0	TTR
M7000657	REVISAR TRAMPA DEL POSTENFRIADOR	CO	29/06/2000	3,0	3,0	TTR
66466	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	26/06/2000	6,4	-	Mp
65782	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	12/06/2000	6,7	-	Mp
65416	Revisar trampas de vapor del TG	CO	08/06/2000	3,0	3,0	TTR
65102	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	29/05/2000	6,6	-	Mp
64259	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	15/05/2000	5,0	-	Mp
M7000565	Eliminar vibraciones en Sistema Govern.	CO	10/05/2000	4,3	4,3	TTR
M7000566	Eliminar vibraciones en Sistema Govern.	CO	10/05/2000	8,7	8,7	TTR
M7000551	reparar trampa del postenfriador tg2401	CO	09/05/2000	3,3	3,3	TTR
63467	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	30/04/2000	4,2	-	Mp
63141	REVISAR SITEMA DE GOBERNACION TG-2401	CO	29/04/2000	3,8	3,8	TTR
62811	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	17/04/2000	4,1	-	Mp
M7000421	REVIZAR MEGAWATIMETRO TG-2401	CO	05/04/2000	6,0	6,0	TTR
62043	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	02/04/2000	3,0	-	Mp
61046	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	20/03/2000	4,0	-	Mp
60310	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	06/03/2000	4,0	-	Mp
59437	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	21/02/2000	5,0	-	Mp
58701	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	07/02/2000	6,0	-	Mp
M7000156	Cambiar Juntas a Rotula Gobernador Mec.	CO	26/01/2000	2,9	2,9	TTR
57968	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	24/01/2000	7,0	-	Mp
57310	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	10/01/2000	9,0	-	Mp
55999	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	13/12/1999	9,0	-	Mp
54844	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	15/11/1999	5,9	-	Mp
54233	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	31/10/1999	4,9	-	Mp
53629	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	18/10/1999	4,4	-	Mp
52408	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	04/10/1999	6,0	-	Mp
51436	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	20/09/1999	4,5	-	Mp
50465	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	22/08/1999	7,0	-	Mp
MS003285	EFECTUAR MANTENIMIENTO PALANCAS TG-	CO	11/08/1999	6,0	6,0	TTR
49945	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	08/08/1999	3,0	-	Mp
48941	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	11/07/1999	7,6	-	Mp
48299	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	27/06/1999	5,0	-	Mp
MS003021	REVISAR TRAMPA DEL INTER	CO	25/06/1999	3,0	3,0	TTR
47615	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	13/06/1999	6,0	-	Mp
MS002919	INTERCONECTAR LINEA DE 3/4	CO	11/06/1999	3,2	3,2	TTR
46861	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	30/05/1999	6,3	-	Mp
MS002861	CALIBRAR PIs Y THI SISTEMA AGUA TG-2401	CO	28/05/1999	5,0	5,0	TTR
46098	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	16/05/1999	3,7	-	Mp
45459	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	03/05/1999	5,0	-	Mp
MS002721	REVISAR PI-TI-FR DE VAPOR AL TG-2401	CO	26/04/1999	5,0	5,0	TTR
44629	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	18/04/1999	6,0	-	Mp
43826	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	04/04/1999	6,0	-	Mp
43223	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	21/03/1999	5,4	-	Mp

42346	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	07/03/1999	9,0	-	Mp
41640	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	22/02/1999	6,6	-	Mp
41141	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401	PV	12/02/1999	6,0	-	Mp
MS002228	CORREGIR ESCAPE CUERPO DE VALVULA 1/4"	CO	09/02/1999	2,1	2,1	TTR
40556	CAL.Y AJUSTE RELES TGEN, SG2401/02/03	CO	29/01/1999	3,0	3,0	TTR
40555	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	29/01/1999	5,0	-	Mp
39888	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	18/01/1999	7,0	-	Mp
38918	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	22/12/1998	4,0	-	Mp
38431	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	09/12/1998	5,0	-	Mp
37908	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	20/11/1998	9,0	-	Mp
MS001642	TG-2401 : REVISAR TRAMPAS INTER-POST	CO	12/11/1998	7,6	7,6	TTR
37389	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	06/11/1998	7,0	-	Mp
37349	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	06/11/1998	6,0	-	Mp
MS001562	TG-2400: REVISAR RELE 25.	CO	06/11/1998	2,0	2,0	TTR
36356	MTO PREV ANILLOS GEN.TG-2401/02/03	PV	28/09/1998	6,0	-	Mp
29056	REALIZAR MANTENIMIENTO A LOS ANILLOS	CO	23/04/1998	7,0	7,0	TTR
MS000429	EFECTUAR LIMPIEZA A TRAMPAS INTER-POST	CO	22/04/1998	2,0	2,0	TTR
MS000390	CAMBIAR VALVULA EN DRENAJE DE	CO	15/04/1998	3,0	3,0	TTR
MS000391	EFECTUAR LIMPIEZA A TRAMPAS INTER-POST	CO	15/04/1998	2,0	2,0	TTR
27638	REVISAR ALARMA POR BAJO VACIO EN TG-2401	CO	27/03/1998	5,0	5,0	TTR
MS000262	REPARAR O CAMBIAR EL TI LINEA VAPOR A TG	CO	25/03/1998	3,0	3,0	TTR
24767	REALIZAR MANTENIMIENTO A LOS ANILLOS	CO	17/02/1998	7,0	7,0	TTR
21802	REALIZAR MANTENIMIENTO A LOS ANILLOS	CO	23/12/1997	8,0	8,0	TTR
PV000007	MANTO PREVENTIVO EXCITATRIZ ANO 1998	PV	24/11/1997	6,0	-	Mp
20242	REALIZAR MANTENIMIENTO A LOS ANILLOS	CO	24/11/1997	5,0	5,0	TTR
18363	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	21/10/1997	4,5	-	Mp
17091	REPARAR TRAMPA VIADUCTO NORTE TG 2401	CO	01/10/1997	5,0	5,0	TTR
16681	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	23/09/1997	4,5	-	Mp
15137	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	25/08/1997	4,5	-	Mp
14434	INSTALAR MERCROID INDICACION BAJO VACIO	CO	11/08/1997	11,0	11,0	TTR
12703	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	02/07/1997	4,5	-	Mp
11195	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	27/05/1997	4,5	-	Mp
10449	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	08/05/1997	4,5	-	Mp
7264	REVISAR ESCOBILLAS DE LOS ANILLOS	PV	08/03/1997	4,5	-	Mp
4811	CAMBIAR VALVULA VENDEO CUPONES TG 2401	CO	16/01/1997	4,0	4,0	TTR
2921	REPARAR REGISTRADOR DE VOLTAJE	CO	26/11/1996	6,0	6,0	TTR
1389	CAMBIAR VALVULA DRENAJE RAP DE CUPONES	CO	26/10/1996	3,0	3,0	TTR
875	REVISAR PC DE VAPOR A BOMBA AUXILIAR	CO	20/10/1996	7,0	7,0	TTR
01	MTTO PREVENTIVO CAJA CONEX	PV	20/10/1996	3,0	-	Mp

### 3.3.2 Análisis de los datos

Para la selección adecuada de la disponibilidad factible de calcular revisamos la ilustración 13 de donde se selecciona la disponibilidad alcanzada ya que tenemos información de reparaciones correctivas, los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (predictivos y preventivos), de otro lado no se cuenta con los tiempos logísticos, tiempos administrativos o tiempos de demoras en suministros.

#### 3.3.2.1 Cálculo de Disponibilidad

A continuación se realiza el cálculo de la disponibilidad alcanzada (AA - Achieved Availability por sus siglas en inglés) por el método puntual, teniendo en cuenta que dicho cálculo se realizará para los datos de cada año calendario, para lo cual los datos se presentan organizados en columnas y cada columna se asocia con los valores de MTBM (Preventivo), MTBM (Correctivo), MTTR, Mp y AA.

## Ilustración 21 - Cálculo de MTBM, MTTR, MP Y AA

AÑO	MTBMP	MTBMc	MTTR	MP	AA
2015	42.33	63.50	4.50	5.07	0.84
2014	65.33	49.00	4.50	7.60	0.83
2013	704.00	68.00	4.22	4.00	0.85
2012	29.60	22.77	4.98	4.79	0.72
2011	48.71	113.67	4.70	6.51	0.85
2010	11.19	49.57	5.41	8.80	0.53
2009	35.50	50.71	5.13	6.62	0.78
2008	15.95	87.75	4.25	4.67	0.75
2007	15.27	48.00	6.24	5.24	0.68
2006	15.26	39.00	5.58	5.61	0.66
2005	52.33	26.17	4.65	5.18	0.78
2004	15.52	44.63	5.41	5.56	0.68
2003	18.89	89.75	4.63	5.47	0.75
2002	21.00	30.55	4.66	5.53	0.71
2001	37.89	37.89	5.17	6.18	0.77
2000	19.00	20.27	4.41	5.64	0.66
1999	14.95	47.00	3.90	5.88	0.68
1998	51.33	34.22	4.29	6.17	0.80
1997	42.63	68.20	6.60	4.69	0.83
1996	37.00	12.33	5.33	3.00	0.66

Los cálculos de cada parámetro se realizan teniendo en cuenta los esquemas de tiempo y su correspondiente simbología típica mostrada en la sección [1.3.7.2. ESQUEMAS DE TIEMPO](#), aplicada a las series de datos asociadas a cada parámetro.

Los cálculos de cada parámetro se realizaron por el método puntual, sin embargo este método goza de gran simpleza y sus resultados no son muy aceptables (Mora, 2009).

El software CMD++ presenta y realiza los diferentes cálculos a realizar en el proceso, este paquete informático, toma los valores de los tiempos de cada uno de los parámetros a realizar en cuanto a tiempos de  $MTBM_C$ ,  $MTBM_P$ ,  $MTTR$  y  $M_P$ .

## Ilustración 22 - Programa CMD++

The screenshot shows the CMD++ software interface within a Microsoft Excel window. The interface is designed for data entry and calculation. It features a menu bar at the top with options like 'Archivo', 'Inicio', 'Insertar', 'Diseño de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', and 'Vista'. Below the menu bar is a ribbon with various toolbars for text formatting, alignment, and data manipulation. The main workspace contains a data table with columns for 'Dato Número', 'Tiempos de Confiabilidad Tomados  $MTBM_C$ ', 'Tiempos de Mantenibilidad Tomados  $MTTR$ ', 'Tiempos de Confiabilidad Tomados  $MTBM_P$ ', and 'Tiempos de Mantenibilidad Tomados  $M_P$ '. There are also instructions and dropdown menus for selecting functions (Weibull, BENARD) and goodness of fit tests (Kolmogorov - Smirnov). A 'Macro para Calcular CMD' button is visible, along with a 'Salir de forma segura' button. The status bar at the bottom shows various statistics like 'Promedio: 601.5526747', 'Recuento: 385', 'Min: 1', 'Máx: 8853', 'Suma: 228590.0164', and '90%' zoom level.

### 3.3.3 Tiempos y Cálculos CMD con diferentes alternativas

Los datos a utilizar para los diferentes cálculos son:

**Ilustración 23 - Datos para cálculos finales**

Dato Número	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_c$	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $MTTR$	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_p$	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $M_p$
1	444.7	5	456	3
2	1218	4	3333	5
3	1218	4	955	5
4	4964	11	947	5
5	1065	6	739	6
6	746	5	739	6
7	159	4	739	6
8	159	4	7386	6
9	2432	5	401	6
10	1063	3	350	7
11	812	4	331	5
12	1125	6	504	6
13	1125	6	398	6
14	4026	3	385	6
15	527	5	331	5
16	884	7	329	6
17	278	4	329	6
18	900	6	4363	6
19	697	6	2682	7
20	2826	4	1493	7
21	704	3	411	6
22	669	4	320	5
23	591	5	599	6
24	834	7	667	4
25	827	4	498	7
26	827	4	162	6
27	5540	3	2587	5
28	924	5	891	5
29	924	5	461	5
30	1025	6	683	5
31	1025	6	403	7
32	2721	5	1458	5
33	411	6	192	6
34	3207	2	499	5
35	1114	3	330	6
36	872	4	330	6
37	405	6	330	6
38	284	6	2682	6
39	1602	7	331	5
40	723	5	330	6
41	723	5	324	5
42	2238	6	407	6
43	1771	4	328	5
44	606	7	416	5
45	606	7	443	6
46	3446	4	331	5
47	3446	4	391	5
48	2314	3	732	5
49	1458	7	307	4
50	1026	4	493	7
51	1026	4	329	7
52	1604	5	1650	9
53	833	8	2081	5
54	733	5	92	11
55	979	4	1052	6
56	1388	7	553	4
57	1388	7	431	6
58	5825	2	499	6
59	2182	5	1506	6
60	2182	5	615	5
61	4363	7	3295	13
62	182	5	568	5
63	182	5	384	5
64	1613	5	902	3
65	1592	7	902	3
66	2633	6	902	3
67	1482	3	902	3
68	1482	3	8853	1
69	4365	4	3527	7
70	4365	4	988	8
71	1908	4	988	8
72	1506	5	4051	8
73	1506	5	4051	8
74	5203	4	5200	3
75	5203	4	5200	3
76	3044	5	1519	7

Inicialmente los cálculos se hacen globales con los softwares CMD y Weibull.

### Ilustración 24 - Programa CMD

	No Planeados		Planeados	
	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_C$ (1)	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $MTTR$ (2)	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_P$ (3)	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $M_P$ (4)
5	444.7	5.3	456	3.0
6	1218	4.0	3333	5.0
7	1218	4.0	955	5.0
8	4964	11.0	947	6.0
9	1065	6.0	739	5.5
10	746	5.0	739	5.5
11	159	3.5	739	5.5
12	159	3.5	7386	6.0
13	2431.5	5.0	401	6.2
14	1062.5	2.5	350	6.5
15	812.2	4.0	331	5.4
16	1125	6.0	504	5.8
17	1125	6.0	398	6.0

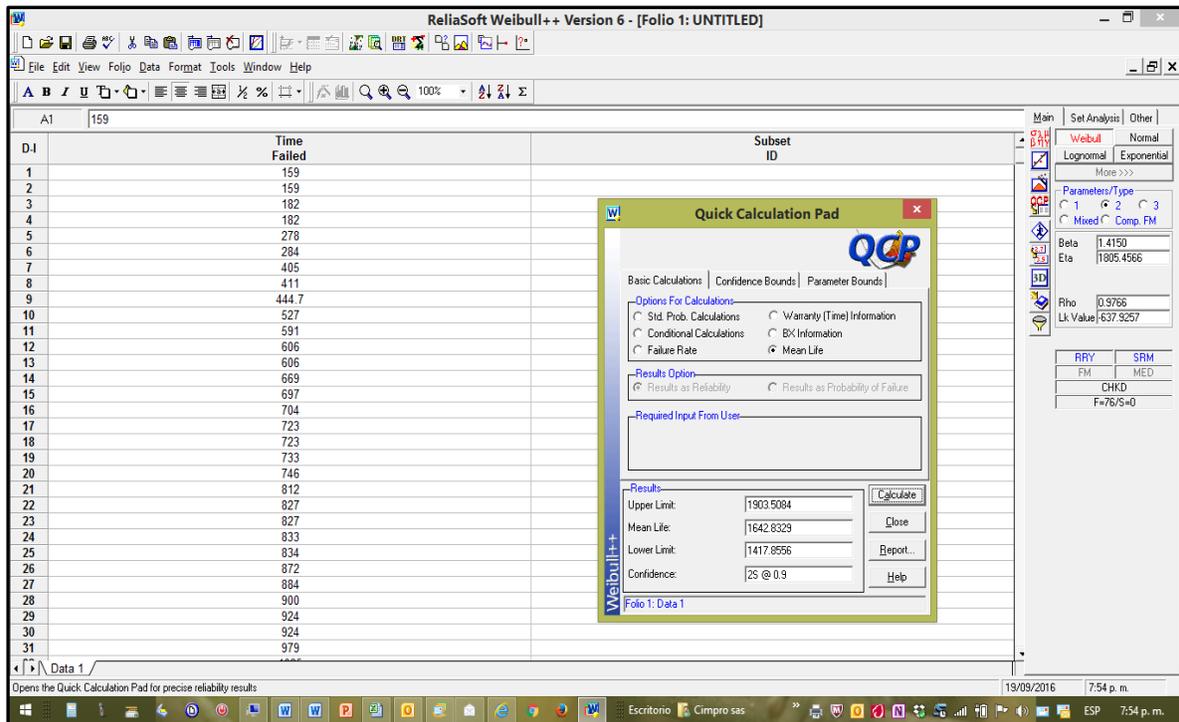
	No Planeados		Planeados	
	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_C$ (1)	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $MTTR$ (2)	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_P$ (3)	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $M_P$ (4)
5	444.7	5.3	456	3.0
6	1218	4.0	3333	5.0
76	1506	5.0	4051	8.0
77	1506	5.0	4051	8.0
78	5203	4.0	5200	3.0
79	5203	4.0	5200	3.0
80	3044	5.0	1519	6.5

Los resultados se realizan acorde a su orden.

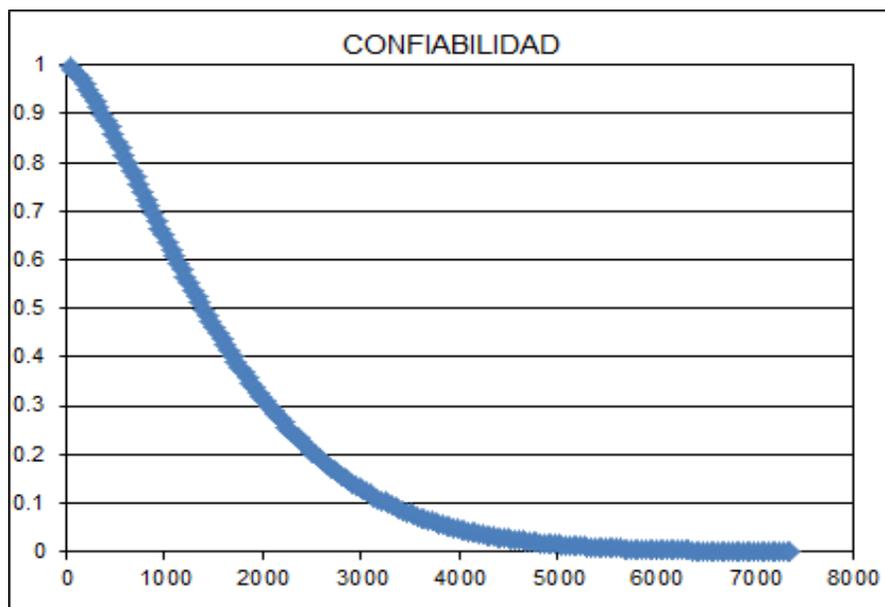
Los desarrollos de números se calculan para  $MTBM_C$ , con los paquetes CMD y Weibull, y muestran los siguientes resultados.

MTBM<sub>C</sub>: entrega un  $\beta$  de 1.4126 con CMD y de 1.4150 con Weibull, su Eta es de 1805.99 con CMD y de 1805.45 con Weibull, por último el MTBM<sub>C</sub> con CMD da 1643.7499 y con Weibull otorga un valor de 1642.8329; con lo cual se puede afirmar que los valores son coincidentes en sus tres fases. Es importante resaltar que el  $\beta$  correcto de MTBM<sub>C</sub> por ser área correctiva debe ser inferior a 1, en este caso está muy encima ( $\beta = 1.4$ ) lo que denota que hay problemas con estos tiempos útiles después y antes de labores correctivas.

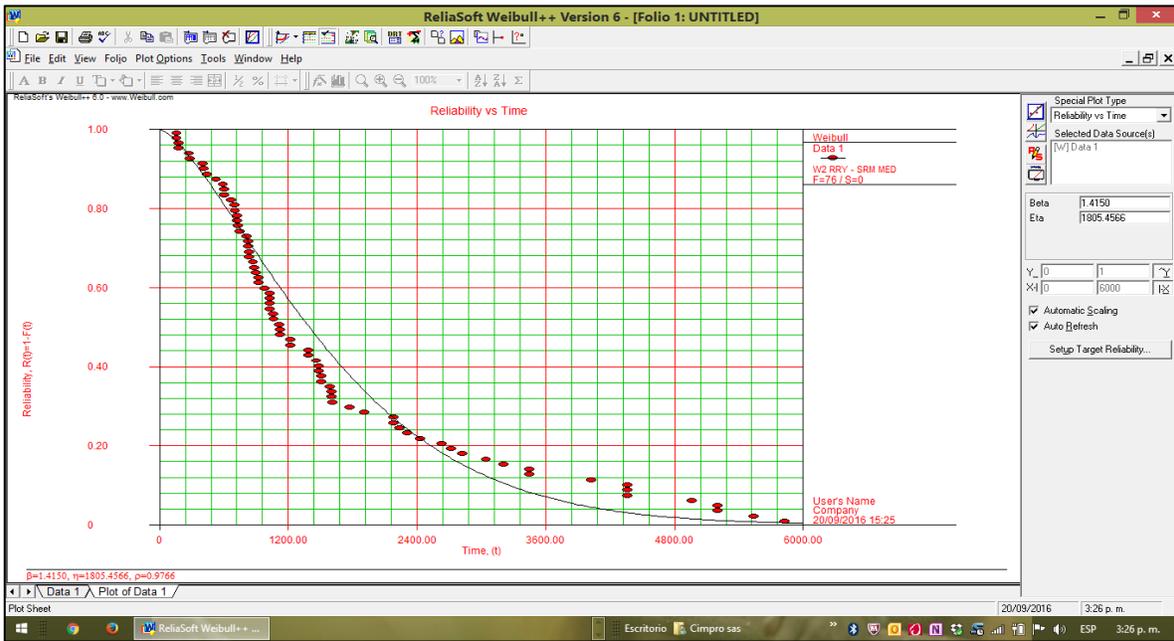
**Ilustración 25 - Cálculos en Paquete Weibull para MTBM<sub>C</sub> con Weibull**



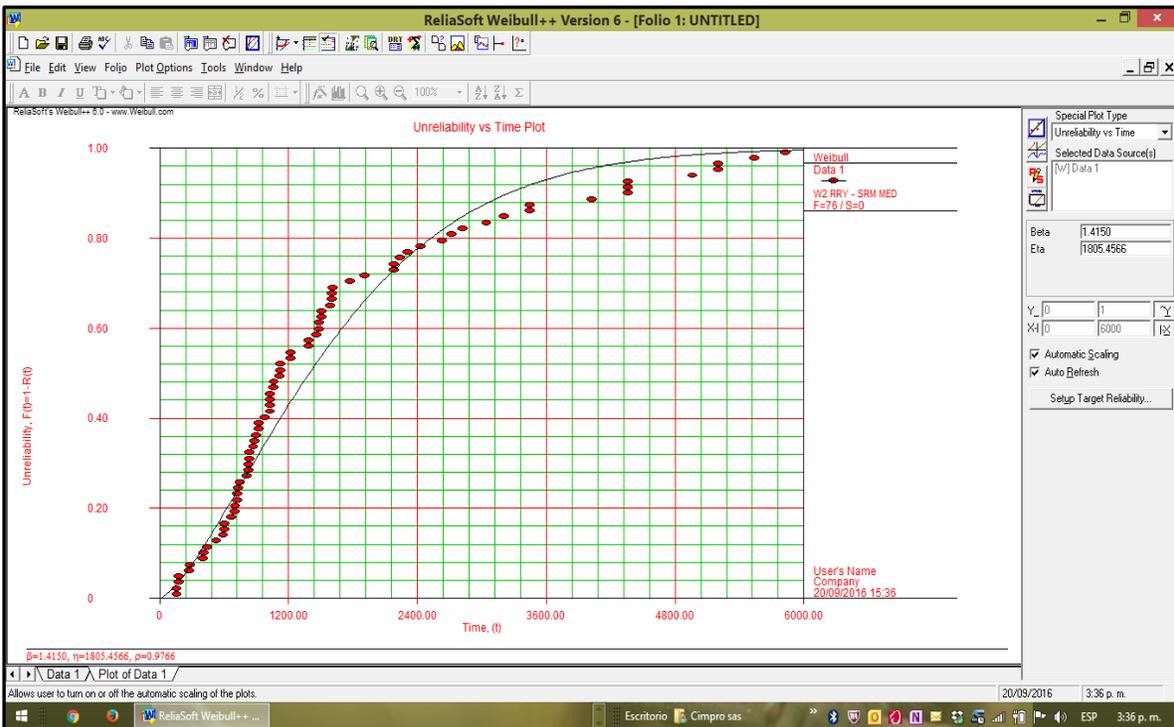
**Ilustración 26 - Curva de Supervivencia de MTBM<sub>C</sub> con CMD**



**Ilustración 27 - Curva de Supervivencia de MTBM<sub>C</sub> con Weibull**



**Ilustración 28 - Curva de No Confiabilidad<sup>8</sup> de MTBM<sub>C</sub> con Weibull**



<sup>8</sup> Curva de No Confiabilidad

Ilustración 29 - Curva de No Confiabilidad de MTBM<sub>c</sub> con CMD

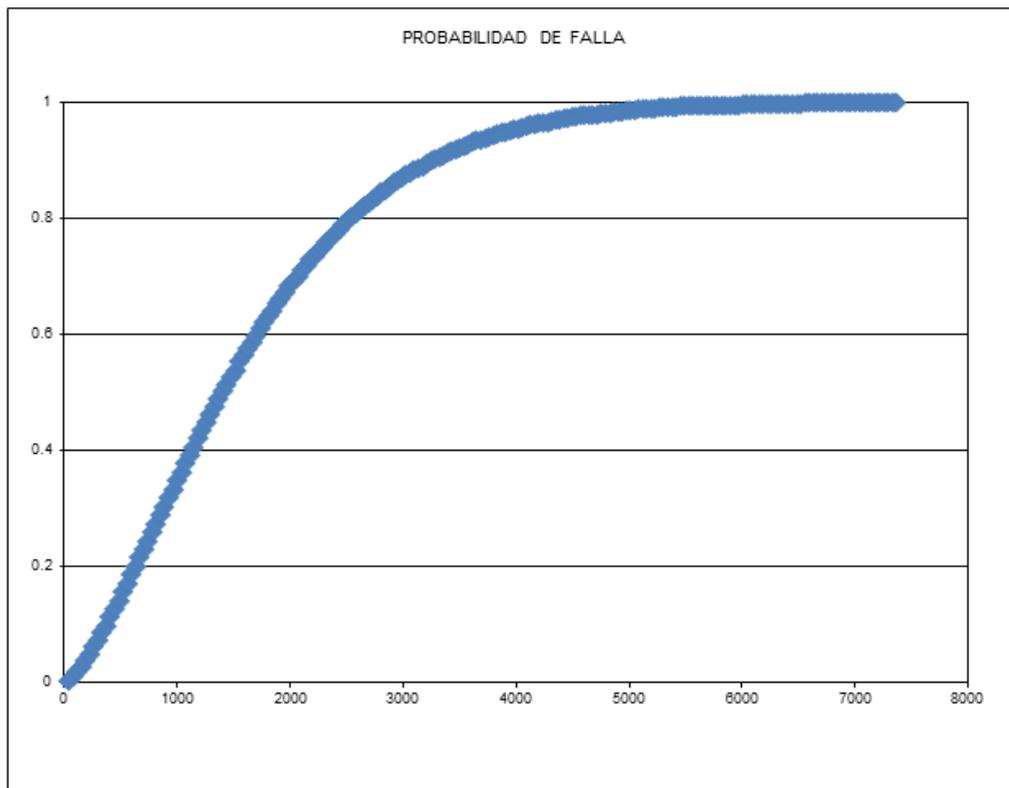
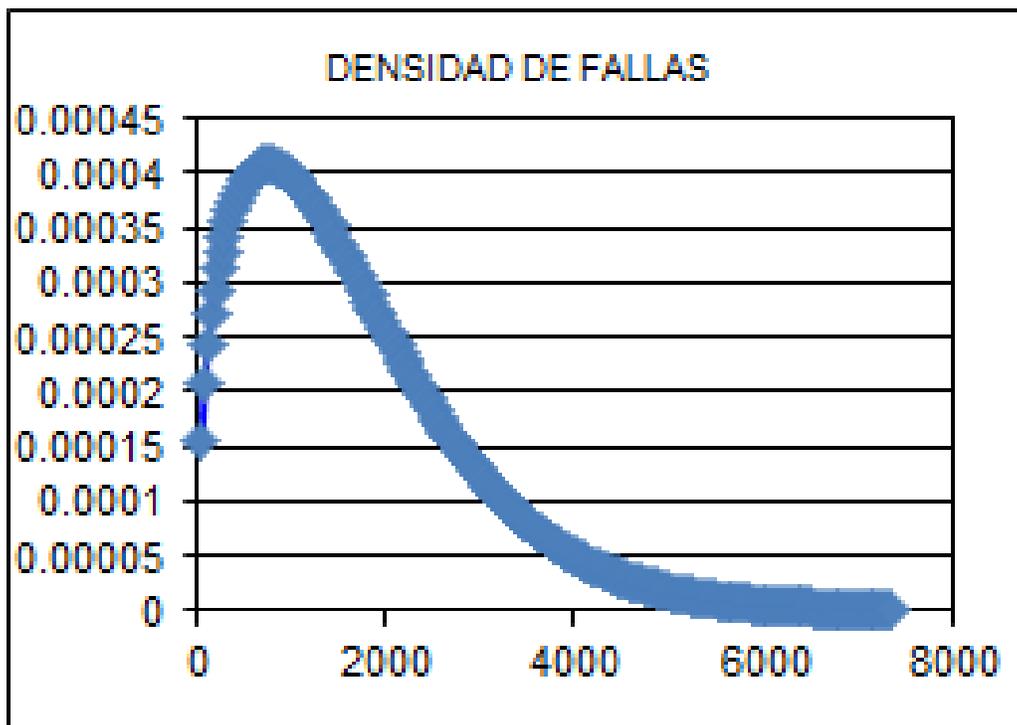


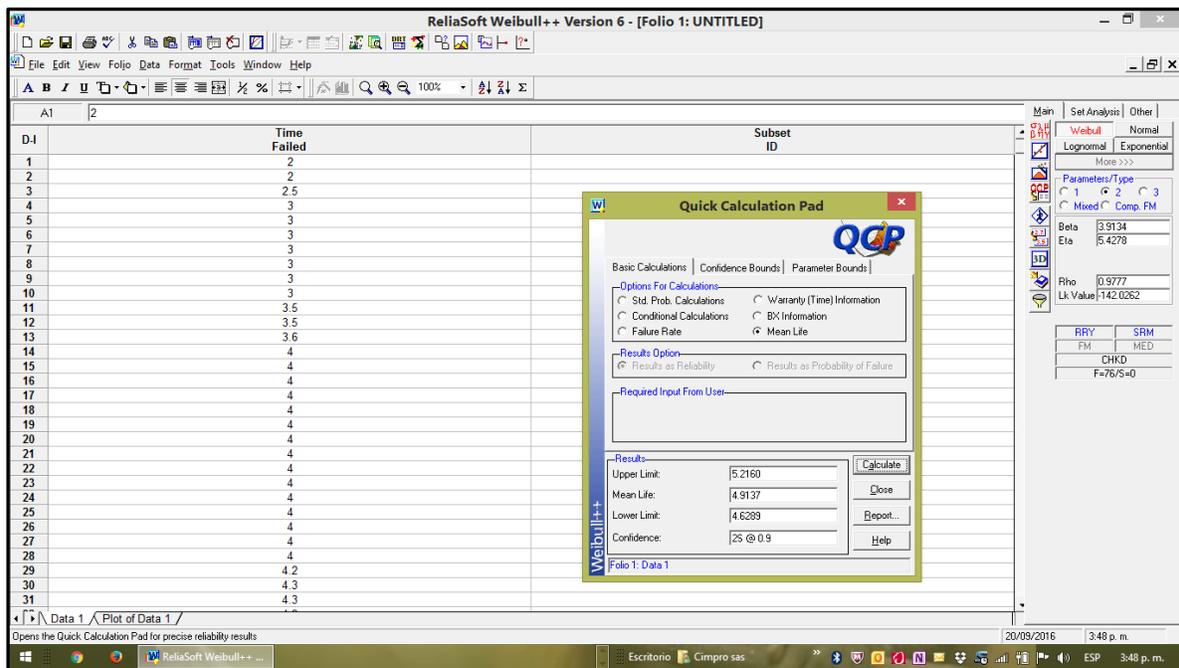
Ilustración 30 - Curva de Densidad de Fallas de MTBM<sub>c</sub> con CMD



Los desarrollos de números se calculan para MTTR, con los paquetes CMD y Weibull, y muestran los siguientes resultados.

MTTR: entrega un  $\beta$  de 3.906 con CMD y de 3.9134 con Weibull, su  $\eta$  es de 5.4 con CMD y de 5.4278 con Weibull, por último el MTTR con CMD da 4.91 y con Weibull otorga un valor de 4.9137; con lo cual se puede afirmar que los valores son coincidentes en sus tres parámetros. Es importante resaltar que el  $\beta$  correcto de MTTR por ser área correctiva debe ser inferior a 1, en este caso está muy encima ( $\beta = 3.9$ ) lo que denota que hay serios problemas con los tiempos de reparaciones correctivas.

**Ilustración 31 - Cálculos en Paquete Weibull para MTTR con Weibull**



**Ilustración 32 - Curva de Mantenibilidad de MTTR con CMD**

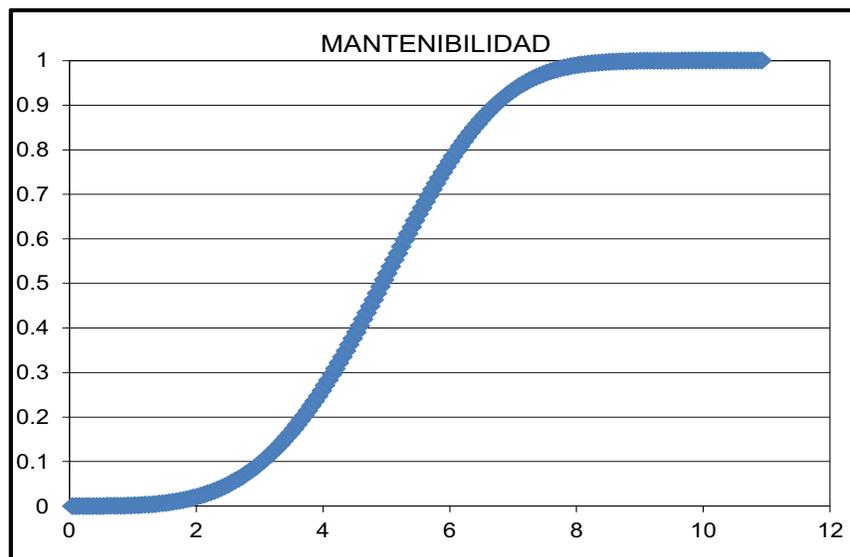


Ilustración 33 - Curva de Mantenibilidad de MTTR con Weibull

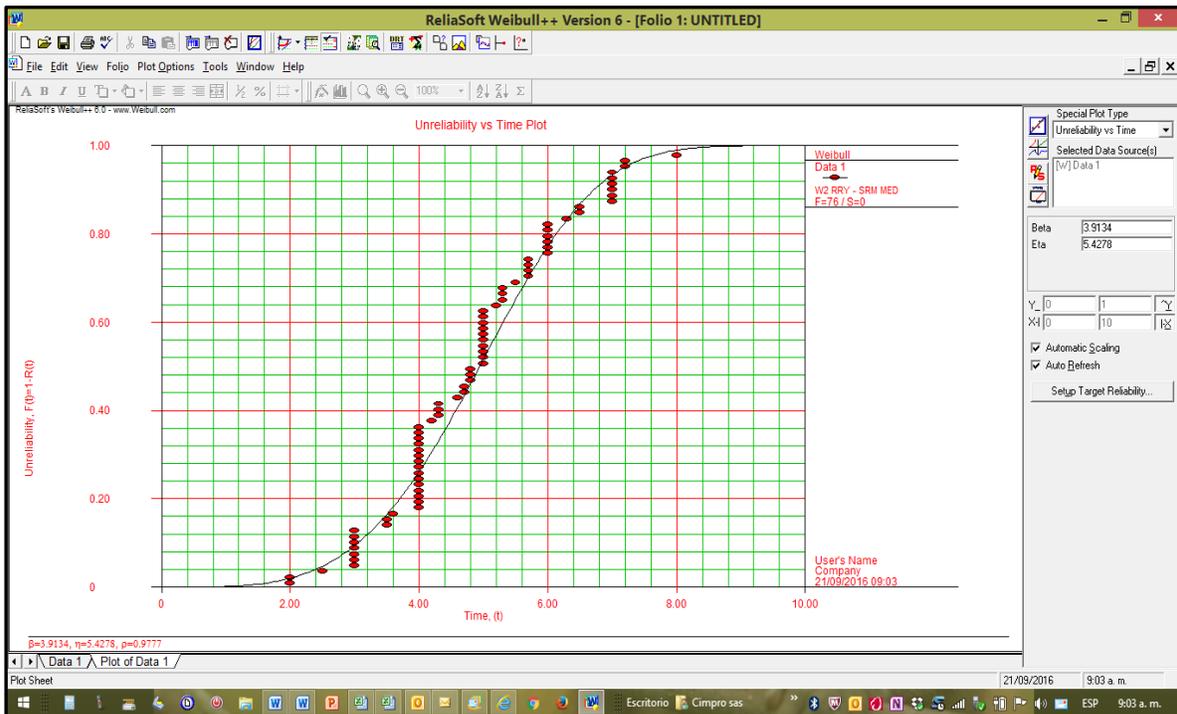
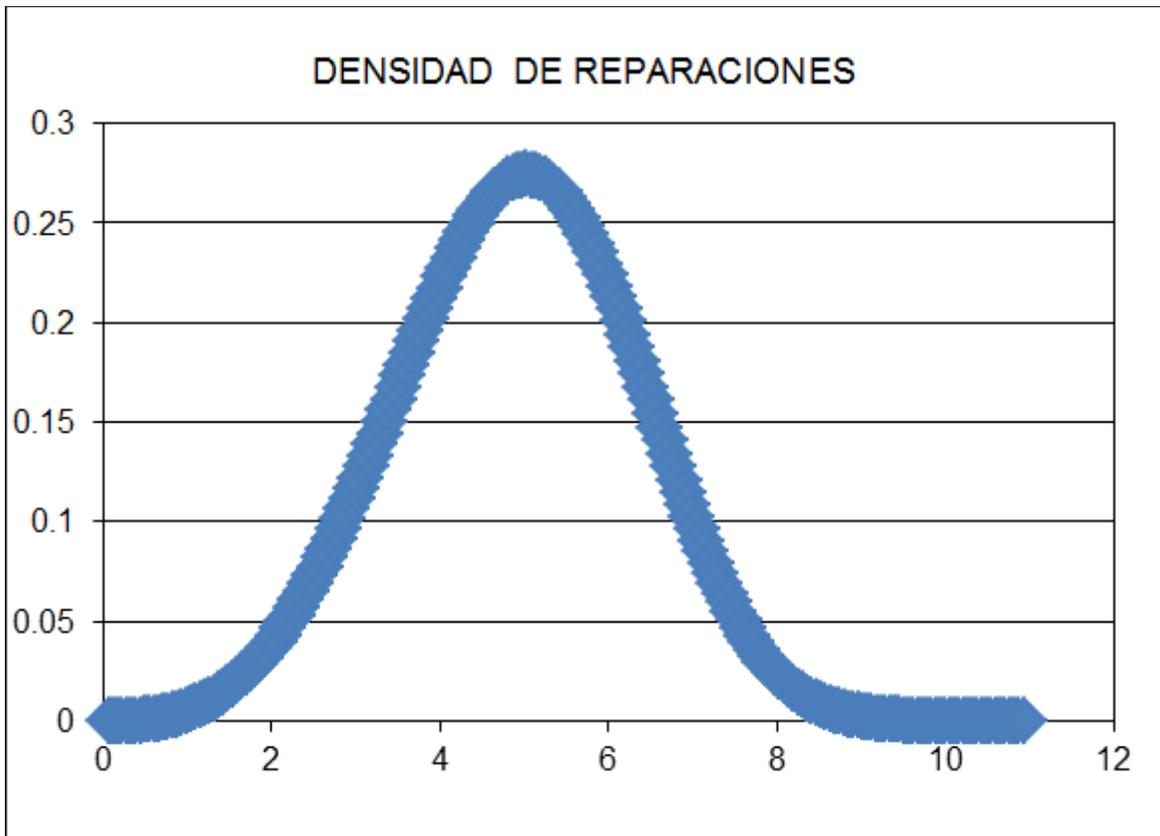


Ilustración 34 - Curva de Densidad de Reparaciones MTTR con CMD



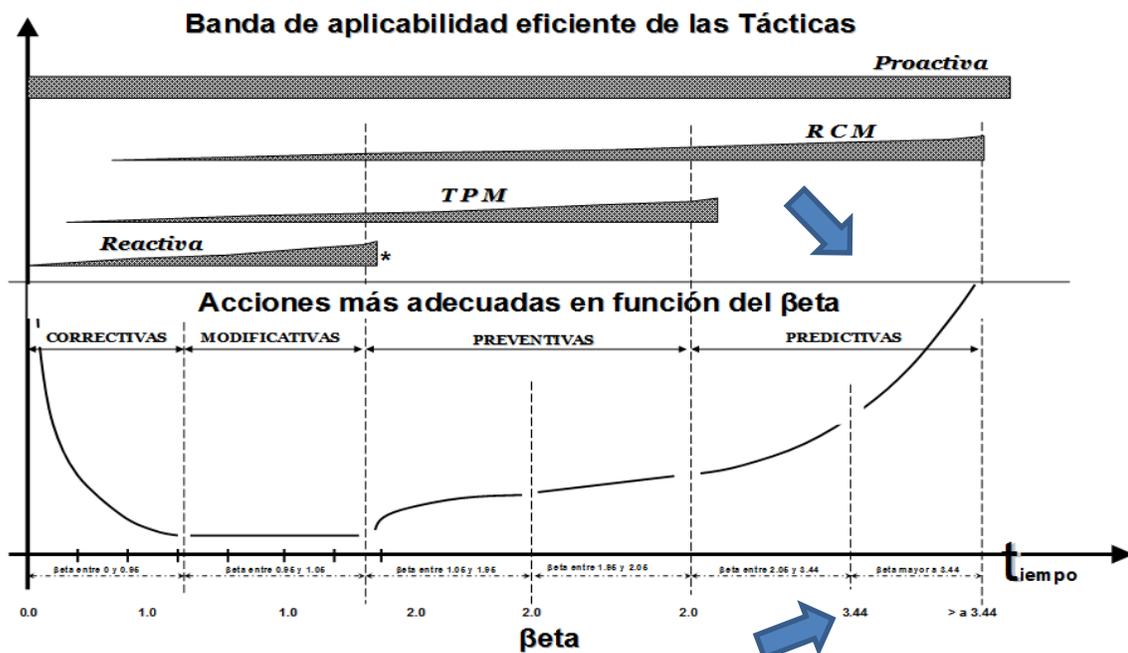
Los desarrollos de números se calculan para  $MTBM_p$ , con los paquetes CMD y Weibull, y muestran los siguientes resultados.

$MTBM_p$ : entrega un  $\beta$  de 1.1505 con CMD y de 1.1525 con Weibull, su Eta es de 1220.4838 con CMD y de 1220.2408 con Weibull, por último el  $MTBM_p$  con CMD da 1161.3824 y con Weibull otorga un valor de 1160.5672; con lo cual se puede afirmar que los valores son coincidentes en sus tres fases.

Es importante resaltar que el  $\beta$  correcto de  $MTBM_p$  por ser área preventiva y/o predictiva debe ser superior a 1, en este caso está levemente por encima, si bien el  $\beta$  de tiempos útiles entre mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivos) está bien, es demasiado débil, enfáticamente se deben cambiar los mantenimientos preventivos por predictivos o intensificar estos para que el  $\beta$  siquiera se suba a valores superiores, con el fin de consolidar los trabajos de mantenimiento en el área de Ingeniería de mantenimiento con  $\beta$ tas superiores al designado de 3.44 hacia arriba.

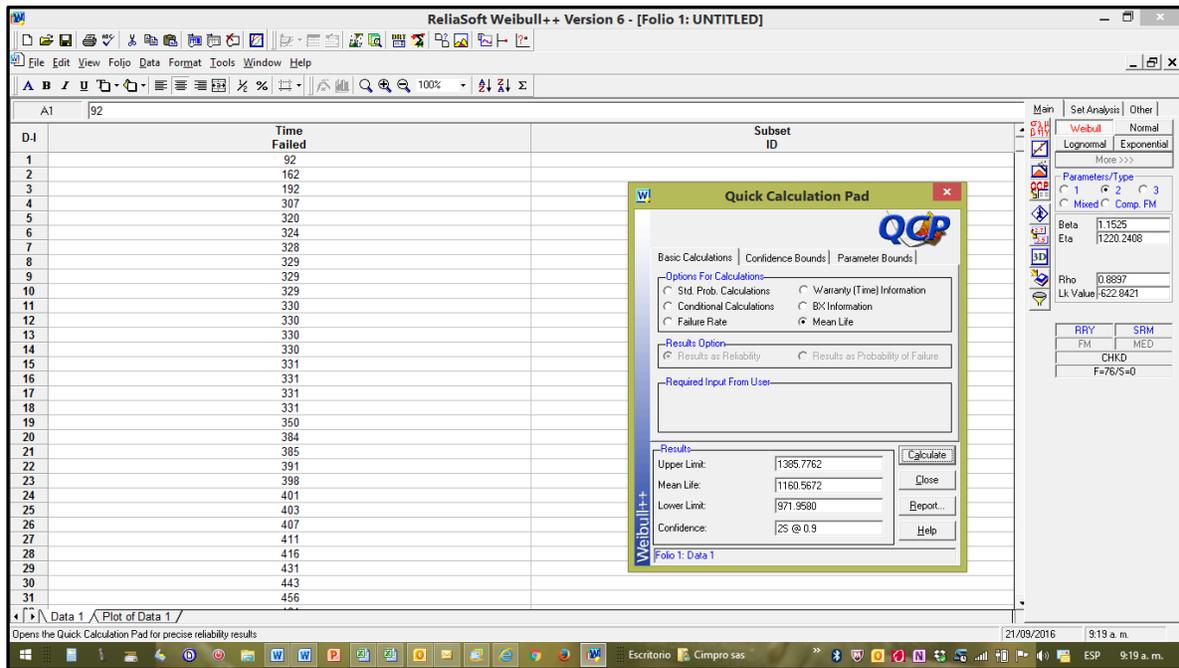
**Ilustración 35 - Curva de Davies, énfasis en  $\beta$ tas superiores a 3.44**

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

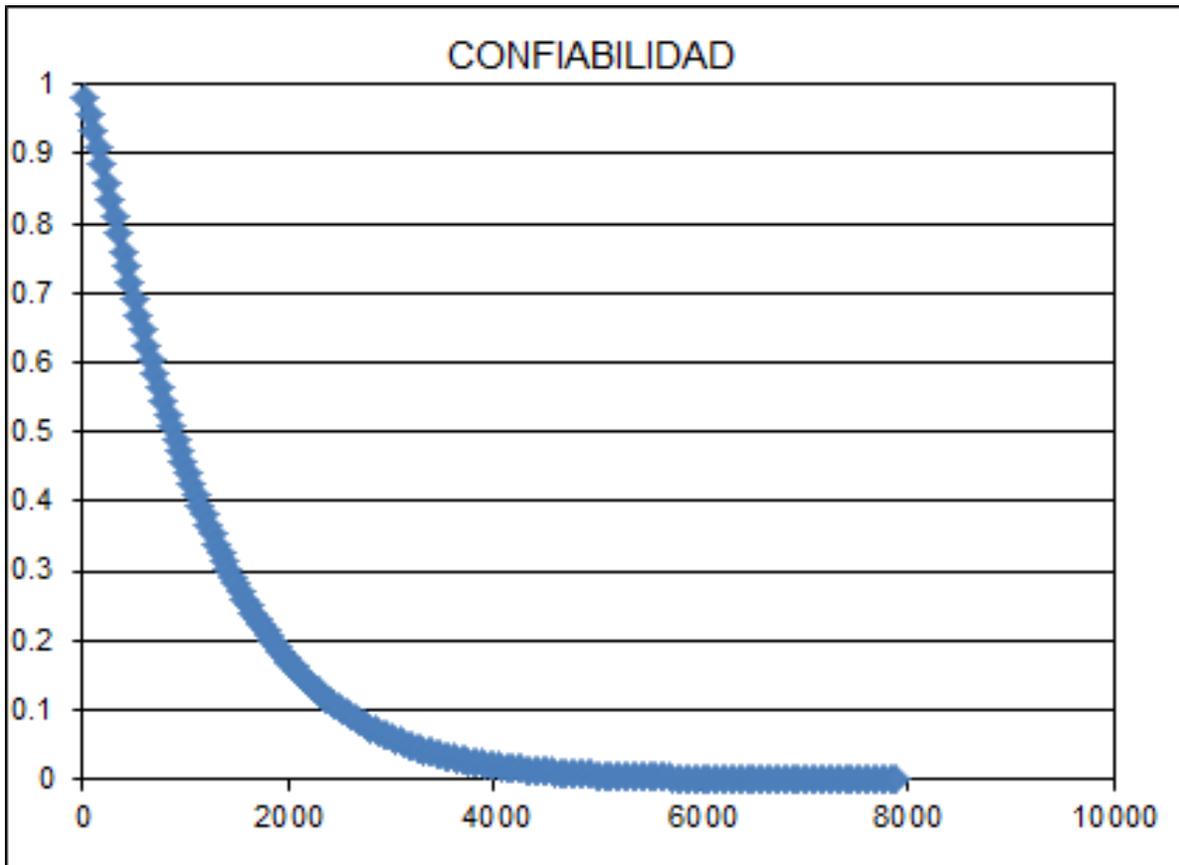


\* Denota que la línea a medida que se vuelve más gruesa la aplicación de la táctica es más eficiente y a que se acomoda más a las características de las fallas y de su fase.

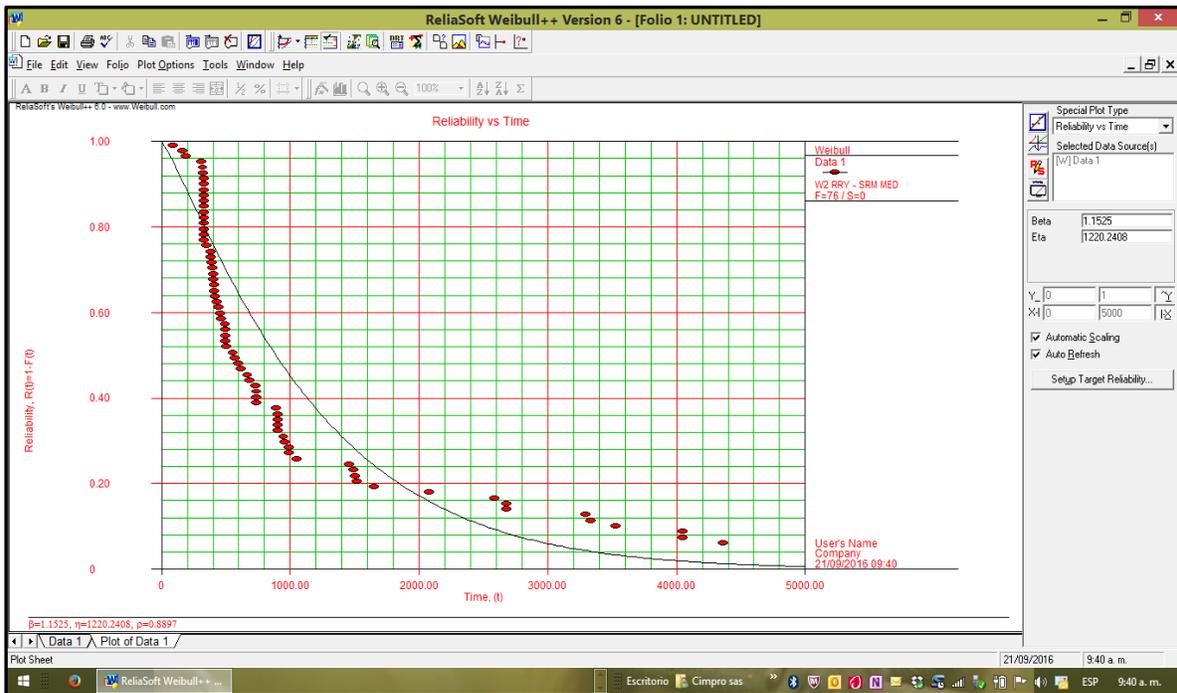
**Ilustración 36 - Cálculos en Paquete Weibull para MTBM<sub>p</sub> con Weibull**



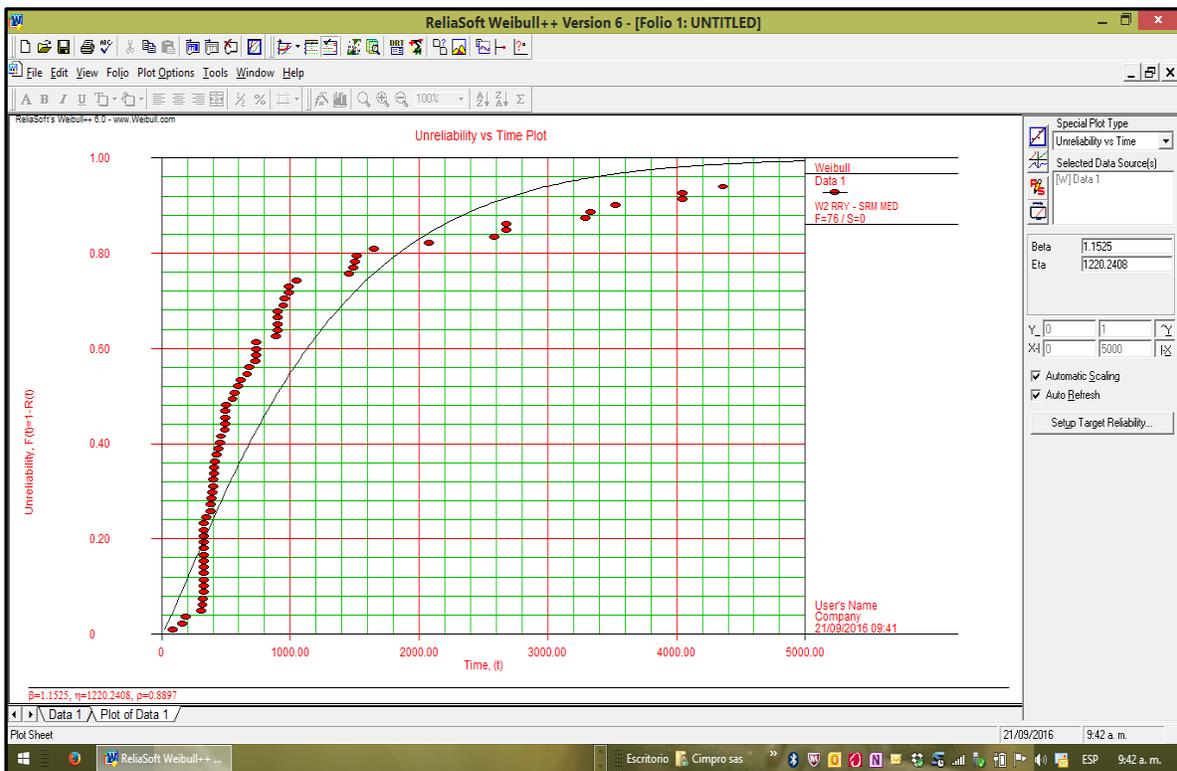
**Ilustración 37 - Curva de Supervivencia o Reliability de MTBM<sub>p</sub> con CMD**



**Ilustración 38 - Curva de Supervivencia de MTBM<sub>p</sub> con Weibull**



**Ilustración 39 - Curva de No Confiabilidad<sup>9</sup> de MTBM<sub>p</sub> con Weibull**



<sup>9</sup> Curva de No Confiabilidad

Ilustración 40 - Curva de No Confiabilidad de MTBM<sub>p</sub> con CMD

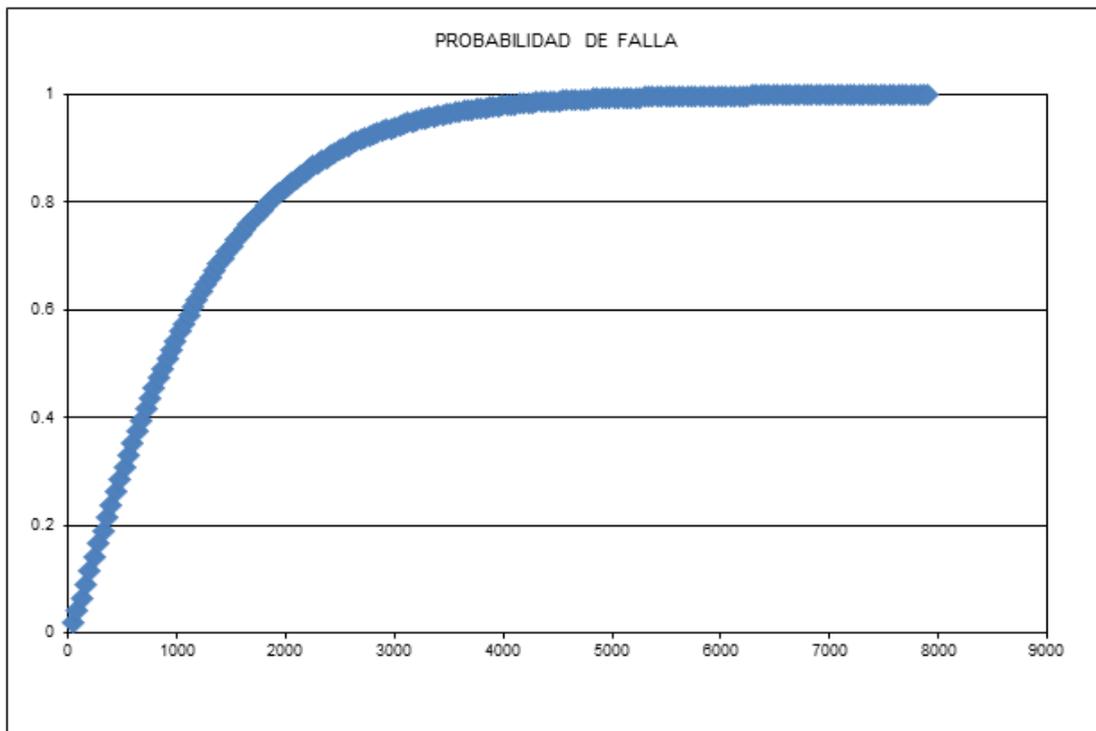
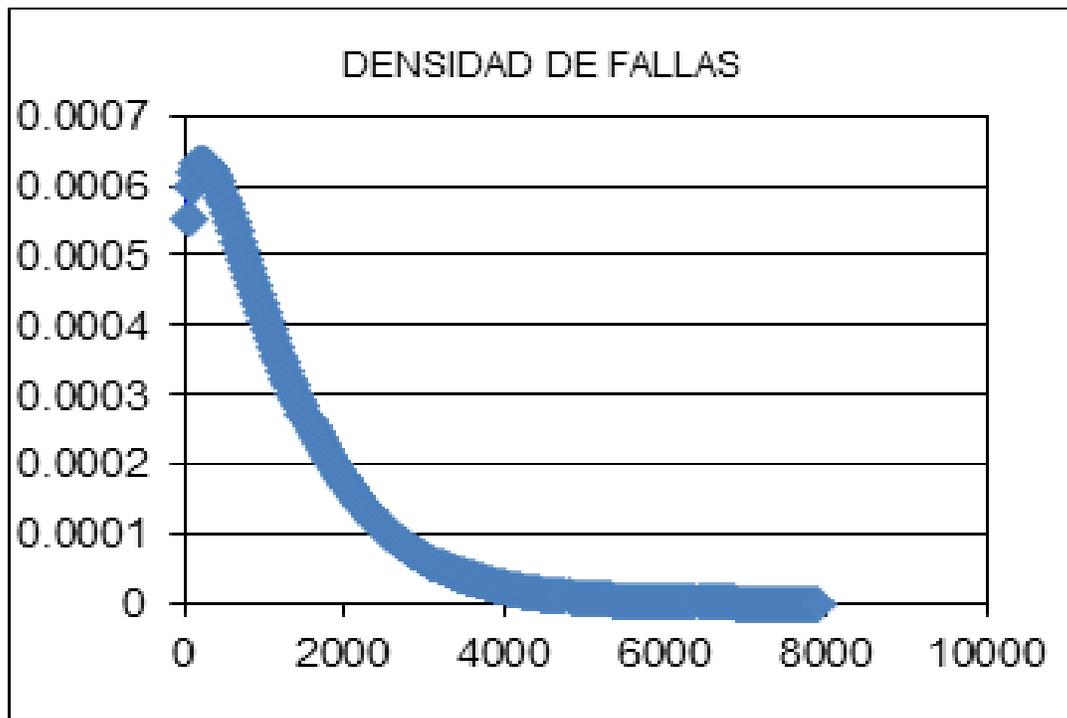


Ilustración 41 - Curva de Densidad de Fallas de MTBM<sub>p</sub> con CMD



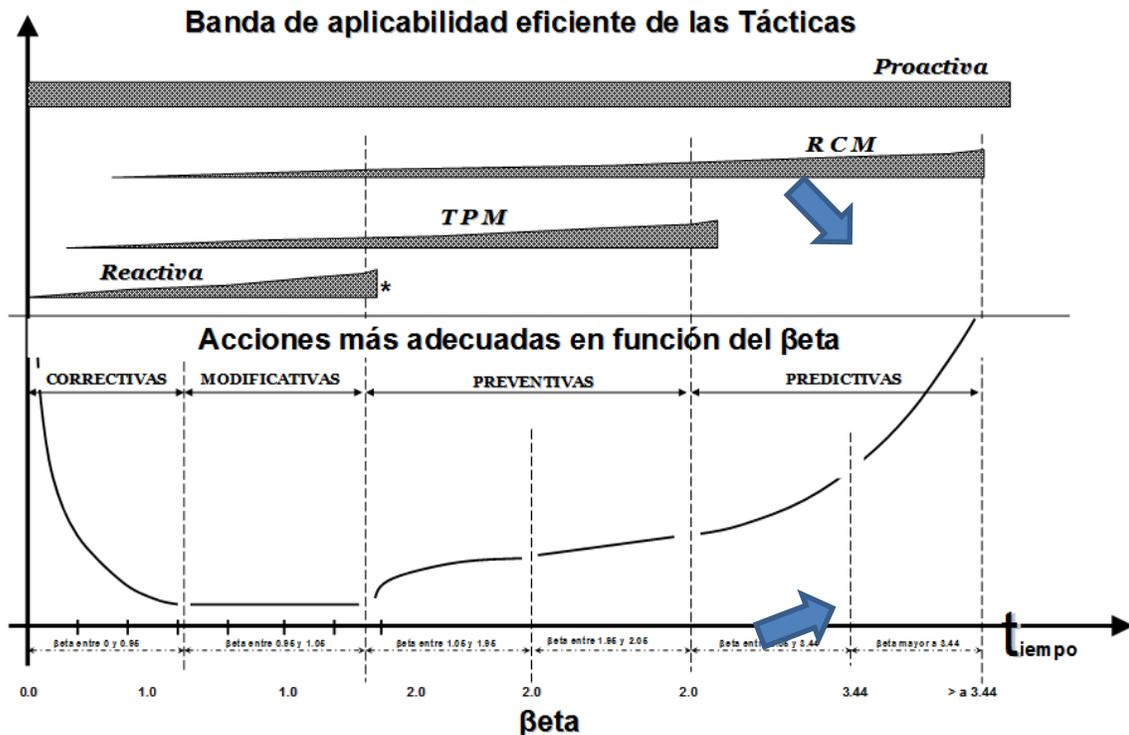
Los desarrollos de números se calculan para  $M_p$ , con los paquetes CMD y Weibull, y muestran los siguientes resultados.

$M_p$ : entrega un  $\beta$  de 3.4719 con CMD y de 3.4788 con Weibull, su Eta es de 6.3168 con CMD y de 6.3130 con Weibull, por último el  $M_p$  con CMD da 5.6811 y con Weibull otorga un valor de 5.6783; con lo cual se puede afirmar que los valores son coincidentes en sus tres parámetros.

Es importante resaltar que el  $\beta$  correcto de  $M_p$  por ser área predictiva y/o preventiva debe ser superior a 1, en especial ojalá mayor a 3.44, en este caso está levemente por encima ( $\beta = 3.47$ ) lo que denota que hay buen manejo del preventivo y en especial del predictivo, más sin embargo, se deben intensificar las tareas de mantenimiento predictivo con el fin de consolidarlo superior a 3.44, ya que está muy cerca.

**Ilustración 42 – Curva de Davies, énfasis en  $\beta$  superiores a 3.44**

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



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

Ilustración 43 - Cálculos en Paquete Weibull para  $M_p$  con Weibull

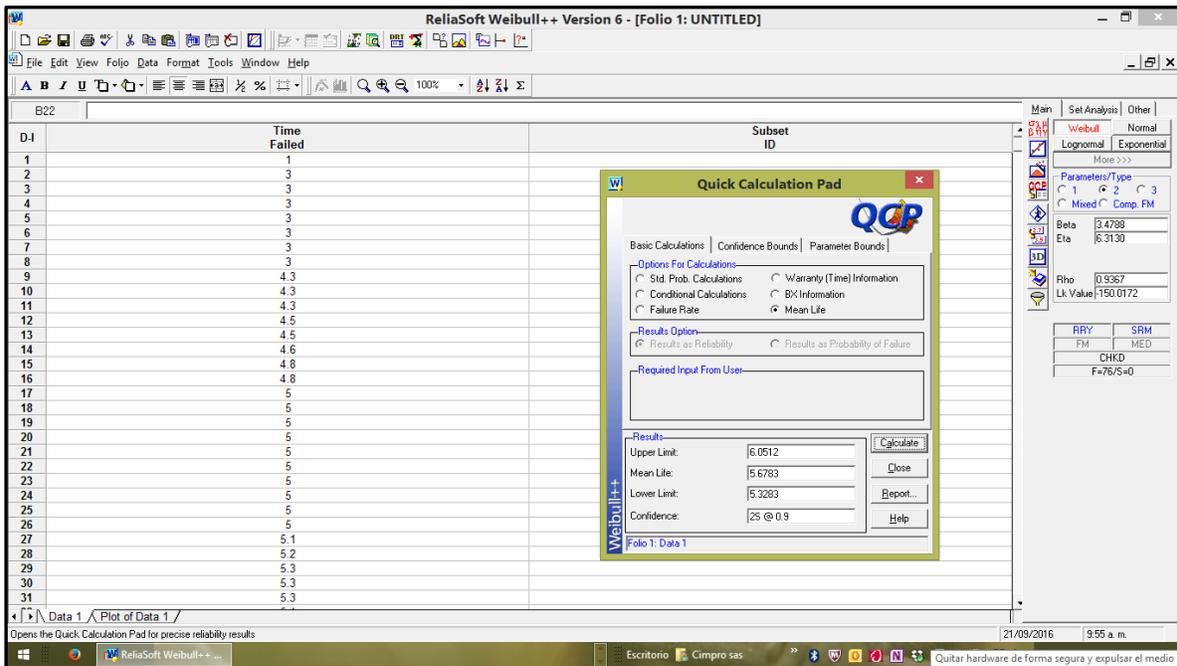


Ilustración 44 - Curva de Mantenibilidad de  $M_p$  con CMD

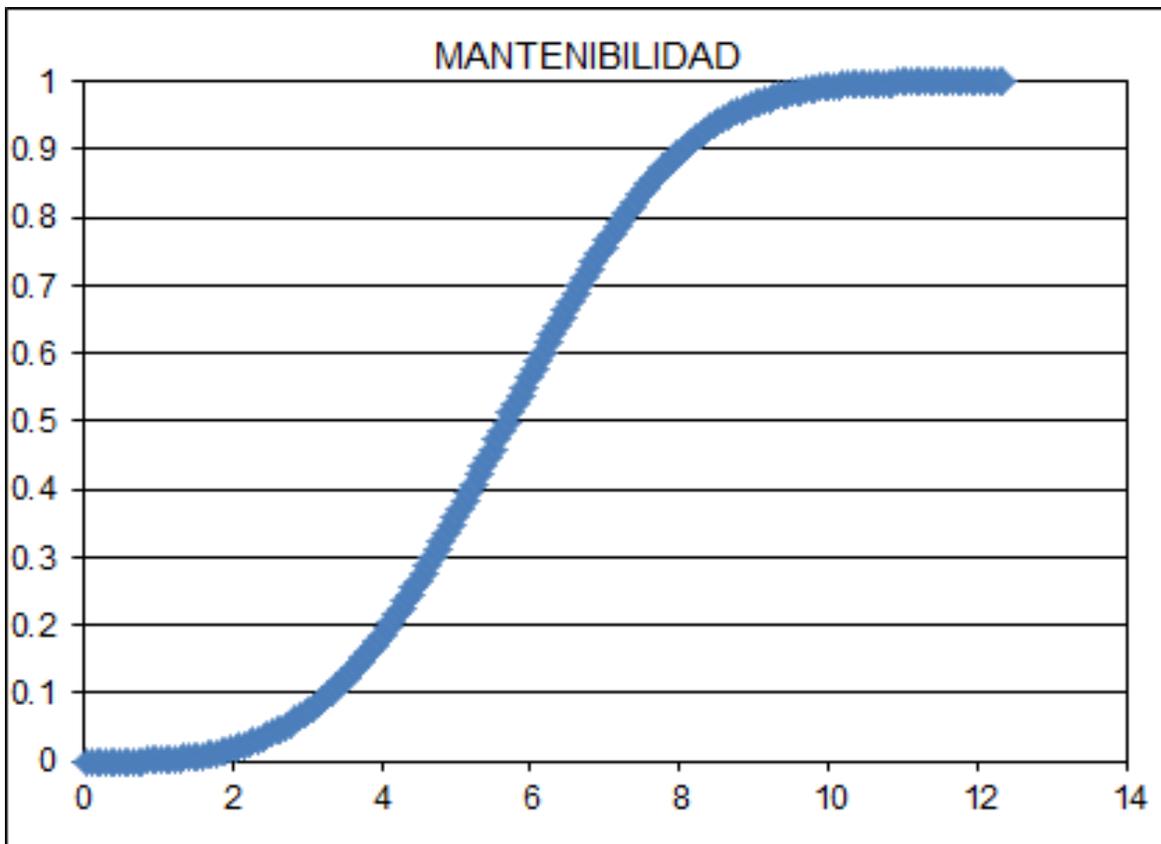


Ilustración 45 - Curva de Mantenibilidad de  $M_p$  con Weibull

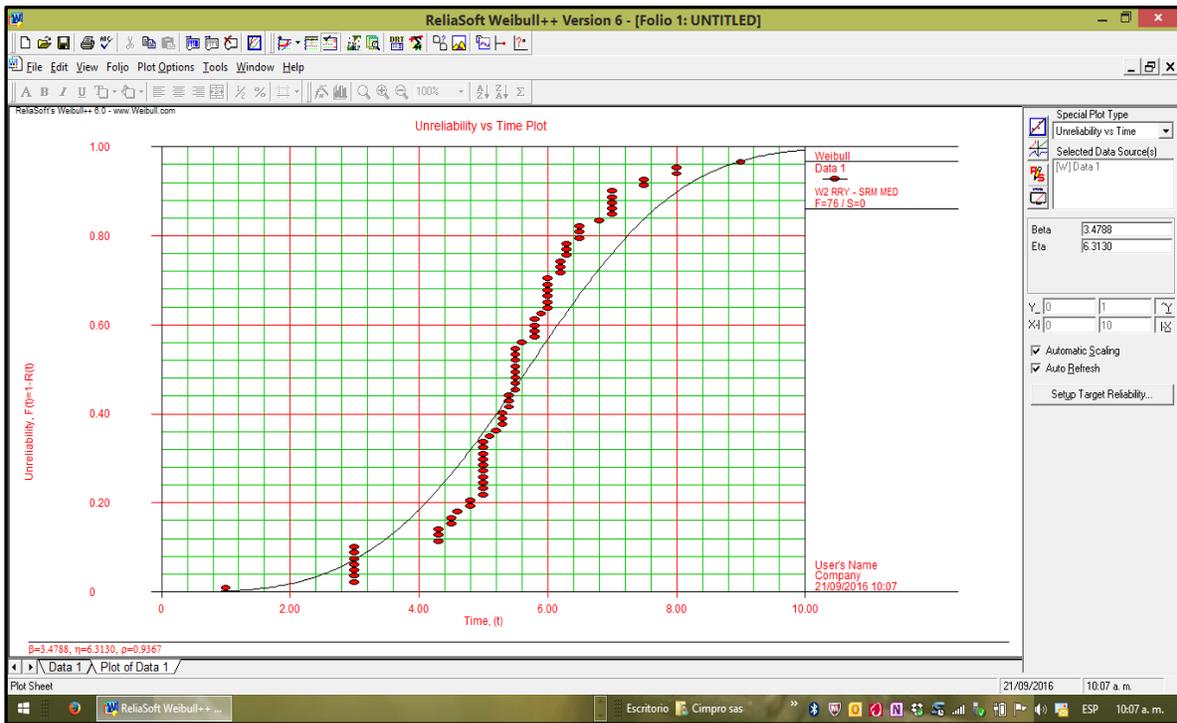
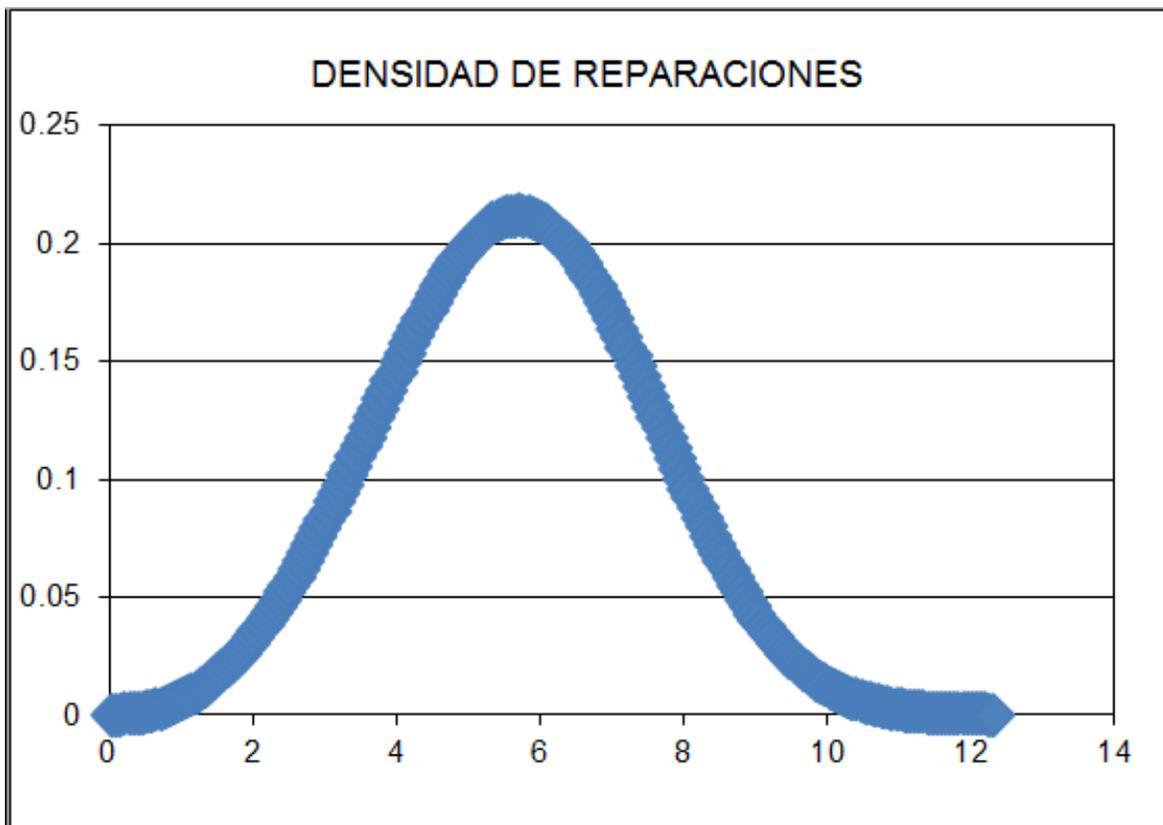


Ilustración 46 - Curva de Densidad de Reparaciones  $M_p$  con CMD



### 3.3.4 Conclusiones del capítulo tres

Un estudio minucioso del historial de información de mantenimientos de una máquina o sistema es útil para definir el tipo de disponibilidad factible de calcular y útil para el análisis. En nuestro caso particular se encuentra que ante la ausencia de los LDT<sup>10</sup> y los ADT<sup>11</sup> la disponibilidad factible de calcular es la disponibilidad alcanzada.

Las disponibilidades asociadas a cada año varían en función del comportamiento de la máquina durante ese año, resaltando que el promedio de las disponibilidades de todos los años es de 0,74 y esta no es igual a la disponibilidad calculada para la serie de datos completa que es de 0,76.

Los tiempos TTR y las duraciones de los mantenimientos preventivos son inversamente proporcionales al valor de disponibilidad de la máquina, es decir que los esfuerzos orientados a tener tiempos cortos de mantenimientos correctivos y procesos eficaces en la ejecución de preventivos aumentan la disponibilidad del sistema o máquina.

Se puede concluir parcialmente que el mantenimiento preventivo y predictivo están muy bien, el problema radica en los mantenimientos correctivos, donde se están presentando valores anómalos en el  $\beta$ eta, superior (y muy por encima) de 1; esto conlleva a revisar cuáles son los problemas que se están presentando, otro problema que ocurre es que después de una intervención correctiva, el tiempo útil es de aproximadamente 1642 horas frente a un tiempo útil después de un preventivo y/o predictivo de 1160 horas, esto induce a pensar que el correctivo es más eficiente que el predictivo, situación que se debe corregir con estrategias de mejores mantenimientos y aclarar por parte de los Directivos de la empresa.

---

<sup>10</sup> Tiempos logísticos (asociados a logística de consecución de materiales y/o herramientas entre otros).

<sup>11</sup> Tiempos administrativos (asociados a trámites administrativos requeridos para el inicio de los trabajos como autorizaciones, informes a los superiores, trámites de papelería etc.)

## 4 PLANES CMD

### 4.1 OBJETIVO

Proponer estrategias, tácticas y tareas de mantenimiento a partir de la predicción con los parámetros CMD y la interpretación de los valores futuros de las curvas de mantenibilidad y confiabilidad.

### 4.2 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO CUATRO

Esta sección aporta todas las acciones y estrategias adecuadas al buen manejo del mantenimiento planeado o no del equipo, en el se aportan los análisis y predicciones correspondientes a los diferentes valores de los  $\beta$ etas y Etas de  $MTBM_C$ ,  $MTTR$ ,  $MTBM_p$  y  $M_p$ , los cuales entregan 8 valores en total, además que se debe tener en cuenta que los tiempos útiles se pueden calcular con la expresión descrita a continuación.

*Ecuación 7 - Cálculos de tiempos útiles con Weibull*

$$Tiempo\ útil = \eta * Función\ Gamma \prod (1 + 1 / \beta )$$

### 4.3 DESARROLLO

La última sección de desarrollo aporta todos los elementos necesarios y requeridos para definir una buena estrategia global y específica para determinar en cada caso de mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivos) o no (correctivos) las acciones pertinentes que permitan optimizar el proceso productivo de generación de la empresa.

### 4.4 PRUEBAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE DATOS Y RESULTADOS

Es importante resaltar los diferentes resultados de los distintos valores de los parámetros preventivos , predictivos y correctivos de la metodología utilizada, para ello el proyecto presenta las pruebas de coherencia Coeficiente Alfa de Cronbach y de Correlaciones entre los diferentes datos utilizados, tanto en sus tiempos como en los valores calculados de  $\beta$ etas, Etas y Tiempos Útiles.

Las diferentes pruebas de correlación, Cronbach, cálculos y distribuciones se realiza con la ayuda de softwares dispuestos en la Universidad.

Ilustración 47 - Datos históricos y Pronósticos  $\beta$ ,  $\eta$ ,  $MTBM_C$ ,  $MTTR$ ,  $MTBM_P$  y  $M_P$ .

	Dato	$\beta$ $MTBM_C$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBMC$	Tiempos originales $MTBM_C$	Tiempos útiles $MTBM_C$	$\beta$ $MTTR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTTR$	Tiempos originales $MTTR$	Tiempos Útiles $MTTR$	$\beta$ $MTBM_P$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_P$	Tiempos originales $MTBM_P$	Tiempos Útiles $MTBM_P$	$\beta$ $M_P$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_P$	Tiempos originales $M_P$	Tiempos Útiles $M_P$
D a t o s	Año 1996 Trimestre 4			444.70				5.30				456.00				3.00	
	Año 1997 Trimestre 1			1218.00				4.00				3333.00				5.00	
	Año 1997 Trimestre 2	1.50	1181.57	1218.00	1066.52	4.88	4.83	4.00	4.43	0.94	1848.97	955.00	1906.68	2.96	4.92	5.00	4.39
	Año 1997 Trimestre 3	0.95	2220.72	4964.00	2269.13	1.78	7.23	11.00	6.43	1.13	1655.27	947.00	1585.48	3.33	5.08	5.00	4.56
	Año 1997 Trimestre 4	1.09	2016.90	1065.00	1954.07	2.19	7.03	6.00	6.22	1.26	1480.79	739.00	1376.59	3.71	5.25	5.50	4.74
	Año 1998 Trimestre 1	1.18	1790.63	746.00	1690.76	2.43	6.77	5.00	6.00	1.36	1378.99	739.00	1263.52	3.98	5.38	5.50	4.87
	Año 1998 Trimestre 2	0.98	1478.34	159.00	1489.53	2.46	6.35	3.50	5.63	1.43	1311.26	739.00	1191.23	4.22	5.46	5.50	4.97
	Año 1998 Trimestre 3	0.90	1259.04	159.00	1323.92	2.45	6.07	3.50	5.38	0.97	2022.82	7386.00	2046.97	4.45	5.58	6.00	5.09
	Año 1998 Trimestre 4	0.93	1426.82	2431.50	1477.03	2.65	5.99	5.00	5.33	0.99	1788.10	401.40	1798.26	4.61	5.70	6.20	5.21
	Año 1999 Trimestre 1	0.99	1423.12	1062.50	1431.24	2.57	5.64	2.50	5.01	0.99	1603.36	349.67	1608.99	4.70	5.84	6.50	5.34
	Año 1999 Trimestre 2	1.05	1381.45	812.20	1356.55	2.67	5.54	4.00	4.92	0.99	1463.55	330.57	1469.67	4.94	5.83	5.43	5.35
	Año 1999 Trimestre 3	1.10	1388.74	1125.00	1341.96	2.81	5.62	6.00	5.00	1.02	1385.74	504.25	1376.99	5.14	5.85	5.75	5.38
	Año 1999 Trimestre 4	1.14	1395.12	1125.00	1331.38	2.92	5.69	6.00	5.08	1.02	1310.13	398.00	1298.97	5.30	5.90	6.00	5.43
	Año 2000 Trimestre 1	1.10	1586.62	4026.00	1531.69	2.90	5.52	3.00	4.92	1.03	1246.28	385.33	1233.71	5.48	5.92	5.83	5.46
	Año 2000 Trimestre 2	1.13	1501.88	526.90	1434.93	3.02	5.48	4.60	4.90	1.03	1182.34	331.14	1169.44	5.71	5.88	5.14	5.44
	Año 2000 Trimestre 3	1.18	1474.68	884.00	1394.81	3.06	5.62	7.00	5.03	1.03	1129.15	329.33	1116.31	5.81	5.93	6.33	5.50
	Año 2000 Trimestre 4	1.17	1379.99	278.40	1307.84	3.09	5.53	3.60	4.94	1.03	1084.50	329.33	1071.91	5.90	5.98	6.33	5.55
	Año 2001 Trimestre 1	1.20	1365.17	900.00	1283.19	3.15	5.61	6.30	5.02	0.97	1248.78	4363.00	1266.67	6.03	6.00	6.00	5.57
	Año 2001 Trimestre 2	1.24	1333.62	696.70	1244.71	3.23	5.66	6.00	5.07	0.98	1331.12	2682.00	1342.27	6.02	6.08	7.00	5.65
	Año 2001 Trimestre 3	1.23	1420.31	2826.00	1327.39	3.28	5.59	4.00	5.02	1.02	1347.67	1493.00	1335.59	6.00	6.16	7.00	5.71
Año 2001 Trimestre 4	1.26	1389.75	704.00	1291.80	3.22	5.49	3.00	4.92	1.03	1305.07	411.00	1291.36	6.13	6.17	6.00	5.73	
Año 2002 Trimestre 1	1.29	1359.69	668.80	1258.09	3.30	5.45	4.20	4.89	1.02	1257.73	319.50	1246.20	6.27	6.11	4.75	5.68	
Año 2002 Trimestre 2	1.31	1326.35	590.70	1222.67	3.39	5.43	4.80	4.88	1.05	1231.90	598.80	1209.31	6.38	6.13	6.20	5.70	
Año 2002 Trimestre 3	1.34	1313.25	834.00	1205.79	3.42	5.51	6.50	4.95	1.07	1212.20	667.00	1178.97	6.40	6.06	4.33	5.64	
Año 2002 Trimestre 4	1.37	1300.98	827.00	1190.43	3.46	5.46	4.00	4.91	1.09	1186.67	498.00	1148.73	6.45	6.09	6.50	5.68	
Año 2003 Trimestre 1	1.39	1289.81	827.00	1176.66	3.51	5.42	4.00	4.88	1.11	1112.11	162.00	1070.57	6.57	6.10	5.90	5.68	
Año 2003 Trimestre 2	1.29	1426.03	5540.00	1319.12	3.46	5.35	3.00	4.81	1.10	1171.41	2587.00	1128.83	6.67	6.06	5.00	5.66	
Año 2003 Trimestre 3	1.31	1415.88	924.00	1305.12	3.53	5.36	5.30	4.82	1.13	1166.77	890.67	1115.32	6.80	6.05	5.33	5.65	
Año 2003 Trimestre 4	1.33	1406.54	924.00	1292.43	3.60	5.37	5.30	4.84	1.14	1144.69	460.80	1091.20	6.88	6.02	5.00	5.62	
Año 2004 Trimestre 1	1.36	1401.90	1025.30	1284.21	3.65	5.40	5.70	4.87	1.17	1133.37	682.67	1074.34	6.96	5.99	5.00	5.60	
	Dato	$\beta$ $MTBM_C$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBMC$	Tiempos originales $MTBM_C$	Tiempos útiles $MTBM_C$	$\beta$ $MTTR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTTR$	Tiempos originales $MTTR$	Tiempos Útiles $MTTR$	$\beta$ $MTBM_P$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_P$	Tiempos originales $MTBM_P$	Tiempos Útiles $MTBM_P$	$\beta$ $M_P$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_P$	Tiempos originales $M_P$	Tiempos Útiles $M_P$

	Dato	beta MTBM <sub>C</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBMC	Tiempos originales MTBM <sub>C</sub>	Tiempos útiles MTBM <sub>C</sub>	beta MTTR de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR	Tiempos originales MTTR	Tiempos Útiles MTTR	beta MTBM <sub>P</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad Planeada MTBM <sub>P</sub>	Tiempos originales MTBM <sub>P</sub>	Tiempos Útiles MTBM <sub>P</sub>	beta M <sub>P</sub> de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M <sub>P</sub>	Tiempos originales M <sub>P</sub>	Tiempos Útiles M <sub>P</sub>
D a t o s	Año 2003 Trimestre 3	1.31	1415.88	924.00	1305.12	3.53	5.36	5.30	4.82	1.13	1166.77	890.67	1115.32	6.80	6.05	5.33	5.65
	Año 2003 Trimestre 4	1.33	1406.54	924.00	1292.43	3.60	5.37	5.30	4.84	1.14	1144.69	460.80	1091.20	6.88	6.02	5.00	5.62
	Año 2004 Trimestre 1	1.36	1401.90	1025.30	1284.21	3.65	5.40	5.70	4.87	1.17	1133.37	682.67	1074.34	6.96	5.99	5.00	5.60
	Año 2004 Trimestre 2	1.38	1397.61	1025.30	1276.77	3.70	5.42	5.70	4.89	1.17	1111.64	403.00	1052.62	6.88	6.04	7.00	5.65
	Año 2004 Trimestre 3	1.38	1446.70	2720.50	1322.03	3.77	5.42	5.00	4.90	1.19	1128.22	1458.00	1062.85	6.88	6.00	4.50	5.61
	Año 2004 Trimestre 4	1.38	1408.00	411.00	1285.84	3.82	5.44	5.70	4.92	1.19	1086.25	192.00	1024.02	6.99	6.01	5.82	5.62
	Año 2005 Trimestre 1	1.37	1466.90	3207.00	1342.18	3.54	5.37	2.00	4.83	1.20	1071.42	498.75	1007.21	7.05	5.98	5.00	5.60
	Año 2005 Trimestre 2	1.39	1463.89	1113.50	1336.04	3.51	5.31	3.00	4.78	1.20	1050.31	330.00	987.46	7.16	5.98	5.50	5.60
	Año 2005 Trimestre 3	1.40	1452.60	872.00	1323.20	3.55	5.29	4.00	4.76	1.20	1030.75	330.00	969.15	7.27	5.97	5.50	5.59
	Año 2005 Trimestre 4	1.41	1418.34	404.90	1291.82	3.58	5.31	5.70	4.79	1.20	1012.58	330.00	952.13	7.37	5.96	5.50	5.59
	Año 2006 Trimestre 1	1.39	1380.23	284.30	1259.27	3.60	5.35	6.00	4.82	1.19	1058.24	2681.67	998.37	7.41	5.98	6.33	5.61
	Año 2006 Trimestre 2	1.41	1392.70	1601.50	1267.96	3.61	5.39	6.50	4.86	1.19	1040.32	330.71	981.67	7.51	5.97	5.43	5.61
	Año 2006 Trimestre 3	1.42	1378.47	723.30	1253.07	3.66	5.38	4.70	4.86	1.18	1023.52	330.17	966.01	7.60	5.97	5.83	5.61
	Año 2006 Trimestre 4	1.44	1365.12	723.30	1239.17	3.72	5.38	4.70	4.85	1.18	1007.24	323.86	950.77	7.69	5.97	5.43	5.61
	Año 2007 Trimestre 1	1.44	1392.40	2238.00	1263.26	3.75	5.39	5.50	4.87	1.19	994.80	407.20	937.76	7.79	5.96	5.60	5.61
	Año 2007 Trimestre 2	1.46	1407.65	1771.00	1275.30	3.79	5.37	4.00	4.85	1.19	980.51	327.57	924.37	7.78	5.94	4.57	5.58
	Año 2007 Trimestre 3	1.47	1389.55	606.30	1257.70	3.76	5.43	7.20	4.90	1.20	969.59	415.50	912.74	7.83	5.92	5.00	5.57
	Año 2007 Trimestre 4	1.48	1372.56	606.30	1241.24	3.73	5.48	7.20	4.95	1.21	959.86	442.50	901.93	7.90	5.93	6.00	5.58
	Año 2008 Trimestre 1	1.46	1420.85	3446.00	1287.64	3.76	5.46	4.00	4.93	1.21	947.64	330.50	890.45	7.87	5.90	4.50	5.56
	Año 2008 Trimestre 2	1.44	1467.86	3446.00	1332.80	3.79	5.43	4.00	4.91	1.21	937.71	391.17	880.25	7.94	5.89	5.17	5.55
Año 2008 Trimestre 3	1.44	1492.10	2314.00	1354.10	3.75	5.39	3.00	4.87	1.23	935.60	731.67	875.00	7.98	5.88	5.00	5.54	
Año 2008 Trimestre 4	1.46	1496.73	1458.00	1356.10	3.73	5.44	7.00	4.91	1.23	922.89	307.00	862.90	7.90	5.85	4.29	5.51	
Año 2009 Trimestre 1	1.47	1491.35	1026.30	1349.38	3.77	5.43	4.30	4.90	1.24	916.12	492.50	854.72	7.84	5.88	6.75	5.53	
Año 2009 Trimestre 2	1.49	1486.22	1026.30	1343.04	3.80	5.41	4.30	4.89	1.24	906.02	328.67	845.28	7.73	5.92	7.00	5.56	
Año 2009 Trimestre 3	1.50	1493.81	1604.30	1348.23	3.85	5.41	5.00	4.89	1.25	922.76	1650.00	859.97	7.02	6.02	9.00	5.63	
Año 2009 Trimestre 4	1.51	1483.93	833.00	1338.11	3.78	5.48	8.00	4.95	1.24	946.74	2081.00	883.05	7.05	6.00	5.00	5.62	
Año 2010 Trimestre 1	1.52	1471.66	733.40	1326.11	3.82	5.48	5.20	4.95	1.24	914.41	92.35	852.81	6.04	6.16	10.70	5.72	
	Dato	beta MTBM <sub>C</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBMC	Tiempos originales MTBM <sub>C</sub>	Tiempos útiles MTBM <sub>C</sub>	beta MTTR de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR	Tiempos originales MTTR	Tiempos Útiles MTTR	beta MTBM <sub>P</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad Planeada MTBM <sub>P</sub>	Tiempos originales MTBM <sub>P</sub>	Tiempos Útiles MTBM <sub>P</sub>	beta M <sub>P</sub> de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M <sub>P</sub>	Tiempos originales M <sub>P</sub>	Tiempos Útiles M <sub>P</sub>

	Dato	Beta MTBM <sub>C</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBMC	Tiempos originales MTBM <sub>C</sub>	Tiempos útiles MTBM <sub>C</sub>	Beta MTTR de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR	Tiempos originales MTTR	Tiempos Útiles MTTR	Beta MTBM <sub>P</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad Planeada MTBM <sub>P</sub>	Tiempos originales MTBM <sub>P</sub>	Tiempos Útiles MTBM <sub>P</sub>	Beta M <sub>P</sub> de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M <sub>P</sub>	Tiempos originales M <sub>P</sub>	Tiempos Útiles M <sub>P</sub>
D a t o s  H i s t ó r i c o s	Año 2009 Trimestre 4	1.51	1483.93	833.00	1338.11	3.78	5.48	8.00	4.95	1.24	946.74	2081.00	883.05	7.05	6.00	5.00	5.62
	Año 2010 Trimestre 1	1.52	1471.66	733.40	1326.11	3.82	5.48	5.20	4.95	1.24	914.41	92.35	852.81	6.04	6.16	10.70	5.72
	Año 2010 Trimestre 2	1.54	1466.11	979.00	1319.81	3.84	5.46	4.00	4.94	1.26	919.59	1052.00	855.34	6.09	6.15	5.50	5.71
	Año 2010 Trimestre 3	1.55	1469.07	1388.00	1321.05	3.83	5.50	7.00	4.97	1.27	914.75	553.00	849.01	6.06	6.12	4.25	5.69
	Año 2010 Trimestre 4	1.57	1471.98	1388.00	1322.33	3.82	5.54	7.00	5.01	1.28	907.77	431.20	841.55	6.12	6.13	6.20	5.69
	Año 2011 Trimestre 1	1.51	1538.95	5825.00	1388.50	3.63	5.50	2.00	4.96	1.29	902.38	499.00	835.18	6.17	6.13	6.00	5.70
	Año 2011 Trimestre 2	1.51	1555.28	2182.00	1402.43	3.66	5.50	5.00	4.96	1.29	915.30	1506.00	846.32	6.22	6.13	5.50	5.70
	Año 2011 Trimestre 3	1.52	1571.24	2182.00	1416.04	3.70	5.50	5.00	4.96	1.31	912.02	614.67	841.58	6.26	6.12	5.33	5.69
	Año 2011 Trimestre 4	1.50	1618.20	4363.00	1461.39	3.69	5.53	7.00	4.99	1.27	948.18	3295.00	879.36	5.16	6.32	13.00	5.82
	Año 2012 Trimestre 1	1.45	1589.12	182.30	1440.44	3.72	5.53	4.80	4.99	1.29	943.66	568.00	873.57	5.19	6.31	5.33	5.81
	Año 2012 Trimestre 2	1.42	1561.38	182.30	1420.74	3.75	5.52	4.80	4.99	1.29	935.87	384.00	865.90	5.21	6.30	4.83	5.80
	Año 2012 Trimestre 3	1.43	1567.11	1612.70	1424.25	3.78	5.52	5.00	4.99	1.30	937.49	902.00	865.52	5.02	6.26	3.00	5.75
	Año 2012 Trimestre 4	1.44	1572.36	1592.00	1427.39	3.77	5.55	7.00	5.02	1.32	939.13	902.00	865.27	4.83	6.23	3.00	5.71
	Año 2013 Trimestre 1	1.44	1593.80	2633.00	1446.70	3.79	5.57	6.00	5.03	1.33	940.78	902.00	865.14	4.67	6.20	3.00	5.67
	Año 2013 Trimestre 2	1.45	1596.62	1482.00	1447.64	3.76	5.54	3.00	5.00	1.34	942.42	902.00	865.11	4.52	6.16	3.00	5.63
	Año 2013 Trimestre 3	1.46	1599.38	1482.00	1448.62	3.73	5.51	3.00	4.97	1.24	1014.43	8853.00	946.46	3.47	6.25	1.00	5.62
	Año 2013 Trimestre 4	1.44	1640.44	4365.00	1488.48	3.75	5.49	4.00	4.96	1.22	1048.06	3527.00	981.84	3.49	6.27	7.00	5.64
	Año 2014 Trimestre 1	1.43	1680.84	4365.00	1527.74	3.77	5.47	4.00	4.94	1.23	1049.63	987.50	981.06	3.50	6.29	7.50	5.66
	Año 2014 Trimestre 2	1.43	1689.18	1908.30	1533.90	3.79	5.46	4.30	4.94	1.24	1051.22	987.50	980.42	3.51	6.32	7.50	5.69
	Año 2014 Trimestre 3	1.45	1690.96	1506.00	1533.90	3.82	5.46	5.00	4.94	1.22	1088.06	4051.00	1019.69	3.51	6.35	8.00	5.72
Año 2014 Trimestre 4	1.46	1692.72	1506.00	1533.96	3.85	5.46	5.00	4.94	1.20	1124.40	4051.00	1058.54	3.51	6.39	8.00	5.75	
Año 2015 Trimestre 1	1.43	1738.70	5203.00	1579.18	3.86	5.44	4.00	4.92	1.17	1169.10	5200.00	1107.96	3.48	6.35	3.00	5.71	
Año 2015 Trimestre 2	1.41	1784.06	5203.00	1623.89	3.88	5.43	4.00	4.91	1.14	1213.32	5200.00	1157.11	3.45	6.31	3.00	5.67	
Año 2015 Trimestre 3	1.41	1806.00	3044.00	1643.75	3.91	5.43	5.00	4.91	1.15	1220.48	1518.50	1161.38	3.47	6.32	6.50	5.68	
Año 2015 Trimestre 4	1.40	1757.33	2582.27	1601.67	3.92	5.44	6.86	4.93	1.16	1197.70	4132.85	1137.02	3.47	6.30	7.31	5.67	
Año 2016 Trimestre 1	1.41	1764.41	2462.46	1606.35	3.98	5.50	4.97	4.98	1.16	1197.42	5535.20	1136.75	3.34	6.32	6.05	5.67	
Año 2016 Trimestre 2	1.41	1733.45	3403.56	1578.16	3.95	5.52	4.20	5.00	1.16	1194.50	4638.97	1133.98	3.28	6.30	5.50	5.65	
Año 2016 Trimestre 3	1.42	1736.75	1871.35	1579.48	3.96	5.56	5.51	5.04	1.15	1218.70	6507.78	1159.84	3.14	6.33	5.80	5.66	
Año 2016 Trimestre 4	1.44	1762.12	1333.71	1599.30	3.98	5.58	6.14	5.06	1.16	1232.66	4784.16	1170.20	3.05	6.33	4.91	5.66	
Año 2017 Trimestre 1	1.43	1841.24	2385.31	1672.78	3.91	5.58	4.10	5.05	1.15	1255.53	6447.17	1194.89	2.84	6.34	5.89	5.65	
Año 2017 Trimestre 2	1.41	1816.06	1636.32	1653.37	3.86	5.56	3.92	5.03	1.13	1276.16	5180.64	1220.90	2.85	6.37	5.37	5.68	
Año 2017 Trimestre 3	1.41	1858.83	2796.54	1692.31	3.78	5.49	4.91	4.96	1.13	1243.35	7898.00	1189.51	2.79	6.36	4.53	5.66	
	Dato	Beta MTBM <sub>C</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBMC	Tiempos originales MTBM <sub>C</sub>	Tiempos útiles MTBM <sub>C</sub>	Beta MTTR de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR	Tiempos originales MTTR	Tiempos Útiles MTTR	Beta MTBM <sub>P</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad Planeada MTBM <sub>P</sub>	Tiempos originales MTBM <sub>P</sub>	Tiempos Útiles MTBM <sub>P</sub>	Beta M <sub>P</sub> de Mantenibilidad	η - Eta de Mantenibilidad Planeada M <sub>P</sub>	Tiempos originales M <sub>P</sub>	Tiempos Útiles M <sub>P</sub>

	Dato	$\beta$ eta $MTBM_c$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBMC$	Tiempos originales $MTBM_c$	Tiempos útiles $MTBM_c$	$\beta$ eta $MTTR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTRR$	Tiempos originales $MTRR$	Tiempos Útiles $MTRR$	$\beta$ eta $MTBM_p$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_p$	Tiempos originales $MTBM_p$	Tiempos Útiles $MTBM_p$	$\beta$ eta $M_p$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_p$	Tiempos originales $M_p$	Tiempos Útiles $M_p$
P R O N Ó S T I C O S	Año 2015 Trimestre 4	1.40	1757.33	2582.27	1601.67	3.92	5.44	6.86	4.93	1.16	1197.70	4132.85	1137.02	3.47	6.30	7.31	5.67
	Año 2016 Trimestre 1	1.41	1764.41	2462.46	1606.35	3.98	5.50	4.97	4.98	1.16	1197.42	5535.20	1136.75	3.34	6.32	6.05	5.67
	Año 2016 Trimestre 2	1.41	1733.45	3403.56	1578.16	3.95	5.52	4.20	5.00	1.16	1194.50	4638.97	1133.98	3.28	6.30	5.50	5.65
	Año 2016 Trimestre 3	1.42	1736.75	1871.35	1579.48	3.96	5.56	5.51	5.04	1.15	1218.70	6507.78	1159.84	3.14	6.33	5.80	5.66
	Año 2016 Trimestre 4	1.44	1762.12	1333.71	1599.30	3.98	5.58	6.14	5.06	1.16	1232.66	4784.16	1170.20	3.05	6.33	4.91	5.66
	Año 2017 Trimestre 1	1.43	1841.24	2385.31	1672.78	3.91	5.58	4.10	5.05	1.15	1255.53	6447.17	1194.89	2.84	6.34	5.89	5.65
	Año 2017 Trimestre 2	1.41	1816.06	1636.32	1653.37	3.86	5.56	3.92	5.03	1.13	1276.16	5180.64	1220.90	2.85	6.37	5.37	5.68
	Año 2017 Trimestre 3	1.41	1858.83	2796.54	1692.31	3.78	5.49	4.91	4.96	1.13	1243.35	7898.00	1189.51	2.79	6.36	4.53	5.66
	Dato	$\beta$ eta $MTBM_c$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBMC$	Tiempos originales $MTBM_c$	Tiempos útiles $MTBM_c$	$\beta$ eta $MTTR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTRR$	Tiempos originales $MTRR$	Tiempos Útiles $MTRR$	$\beta$ eta $MTBM_p$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_p$	Tiempos originales $MTBM_p$	Tiempos Útiles $MTBM_p$	$\beta$ eta $M_p$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_p$	Tiempos originales $M_p$	Tiempos Útiles $M_p$

Los valores que se presentan corresponden a los pronósticos hallados con la metodología series temporales.

#### 4.4.1 Prueba estadística Alfa de Cronbach

Al realizar dicha prueba se puede ver la coherencia de los datos, a pesar de ser variables independientes. Es decir los tiempos en los cuales funciona bien la máquina, son independientes de los tiempos de reparaciones o mantenimientos planeados, debe recordarse que al menos una parte de los trabajos correctivos de los mantenimientos son de tipo aleatorio y no inician para nada en los otros valores, al igual, los tiempos en que ocurren los tiempos útiles entre correctivos son no dependientes de los otros valores están asociados a los trabajos correctivos aleatorios de reparaciones.

La prueba de Cronbach, nos permite visualizar la importancia de la coherencia entre sí de los datos, al mezclar toda la información, es decir los Betas y los Etas producidos con los tiempos correspondientes a los cálculos de  $MTBM_C$ ,  $MTTR$ ,  $MTBM_p$ ,  $M_p$ , y de sus tiempos originales para cálculos se observa un coeficiente de Cronbach inferior a 0.65, esto denota que no necesariamente todos los valores allí depositados son coherentes y suficientes por sí solos, no quiere decir esto tampoco que no se pueden procesar, solo que se valida que hay variables independientes, especialmente se ratifica que la mantenibilidad es variable independiente de la confiabilidad y a su vez la Disponibilidad es variable dependiente de la Confiabilidad y de la Mantenibilidad (Santesmases, 2009).

Ilustración 48 - Prueba estadística Alfa de Cronbach

		Suspenda variables - Simplemente selecciones No en la Pestaña		Coeficiente alfa de Cronbach			
				Fecha			
				Dato No. 1	Dato No. 2	Dato No. 3	Dato No. 4
	Variable 1			1.501639518	0.953119012	1.086723348	1.18285
	Variable 2			1181.570377	2220.718389	2016.903154	17
	Variable 3			1218	4964	1065	
	Variable 4			1066.516213	2269.134465	1954.066645	1690.75
	Variable 5			4.884883946	1.781440288	2.191503206	2.42996
	Variable 6			4.825949933	7.226365847	7.028586445	6.77044
	Variable 7			4	11	6	
	Variable 8			4.425066311	6.429650695	6.224624124	6.00332
	Variable 9			0.935357835	1.125640618	1.260485788	1.35602
	Variable 10			1848.96628	1655.268292	1480.786341	1378.98
	Variable 11			955	947	739	
	Variable 12			1906.680029	1585.480609	1376.589539	1263.52
	Variable 13			2.961872267	3.328291337	3.705910071	3.98223
	Variable 14			4.923613749	5.079826988	5.25297928	5.37507
	Variable 15			5	5	5.5	
	Variable 16			4.394240219	4.558645863	4.74098526	4.87075
	Variable 17						

(Mora, 2016)

Muy a pesar de que Cronbach no llega a un valor de 0.65 se asume bien y se prosigue con los cálculos correspondientes.

## 4.4.2 Correlaciones

La hipótesis presenta la posibilidad de que no haya relaciones entre los diferentes valores presentados, de todas formas, se calculan las relaciones

Matriz de coeficientes de correlación simple

	ypRef 1	Ref 2	Ref 3	Ref 4	Ref 5	Ref 6	Ref 7	Ref 8	Ref 9	Ref 10	Ref 11	Ref 12	Ref 13	Ref 14	Ref 15	Ref 16
ypRef 1	1.0000	-0.0450	0.1067	-0.3263	0.9058	-0.6089	0.0172	-0.5554	0.5603	-0.7989	-0.0222	-0.7892	0.3066	0.5186	0.0036	0.5691
p =	0.0000	0.7032	0.3653	0.0046	0.0000	0.0000	0.8842	0.0000	0.0000	0.8512	0.0000	0.0079	0.0000	0.9755	0.0000	
Ref 2	-0.0450	1.0000	0.4756	0.9544	-0.2366	0.5977	0.2254	0.6307	0.4208	-0.0266	0.1955	-0.0923	-0.5676	-0.0116	-0.0367	-0.2035
p =	0.7032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0424	0.0000	0.0535	0.0000	0.0002	0.8220	0.0950	0.4344	0.0000	0.9220	0.7561	0.0820
Ref 3	0.1067	0.4756	1.0000	0.4189	0.0871	0.0417	-0.1388	0.0625	0.0971	-0.0491	0.2308	-0.0637	-0.2558	0.1535	-0.0202	0.0522
p =	0.3653	0.0000	0.0000	0.0002	0.4607	0.7244	0.2381	0.5969	0.4106	0.6780	0.0479	0.5895	0.0278	0.1917	0.8643	0.6584
Ref 4	-0.3263	0.9544	0.4189	1.0000	-0.4862	0.7574	0.2351	0.7753	0.2474	0.2182	0.1845	0.1524	-0.6151	-0.1997	-0.0309	-0.3901
p =	0.0046	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0438	0.0000	0.0336	0.0618	0.1156	0.1949	0.0000	0.0880	0.7938	0.0006
Ref 5	0.9058	-0.2366	0.0871	-0.4862	1.0000	-0.8052	-0.1131	-0.7602	0.3145	-0.6085	0.0364	-0.5800	0.2339	0.4951	-0.0365	0.5227
p =	0.0000	0.0424	0.4607	0.0000	0.0000	0.0000	0.3373	0.0000	0.0064	0.0000	0.7583	0.0000	0.0449	0.0000	0.7578	0.0000
Ref 6	-0.6089	0.5977	0.0417	0.7574	-0.8052	1.0000	0.3193	0.9971	0.1104	0.4442	0.0435	0.3786	-0.3967	-0.5308	-0.0091	-0.6164
p =	0.0000	0.0000	0.7244	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000	0.3490	0.0001	0.7127	0.0009	0.0005	0.0000	0.9389	0.0000
Ref 7	0.0172	0.2254	-0.1388	0.2351	-0.1131	0.3193	1.0000	0.3443	0.0719	-0.0372	-0.1009	-0.0494	0.0514	-0.1689	0.0785	-0.1382
p =	0.8842	0.0535	0.2381	0.0438	0.3373	0.0056	0.0000	0.0027	0.5427	0.7532	0.3924	0.6758	0.6634	0.1503	0.5064	0.2405
Ref 8	-0.5554	0.6307	0.0625	0.7753	-0.7602	0.9971	0.3443	1.0000	0.1577	0.4094	0.0498	0.3412	-0.4036	-0.5174	-0.0139	-0.6074
p =	0.0000	0.0000	0.5969	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000	0.1797	0.0003	0.6738	0.0029	0.0004	0.0000	0.9061	0.0000
Ref 9	0.5603	0.4208	0.0971	0.2474	0.3145	0.1104	0.0719	0.1577	1.0000	-0.6689	-0.0720	-0.7306	0.0378	0.2204	-0.0889	0.2104
p =	0.0000	0.0002	0.4106	0.0336	0.0064	0.3490	0.5427	0.1797	0.0000	0.0000	0.5421	0.0000	0.7489	0.0591	0.4514	0.0719
Ref 10	-0.7989	-0.0266	-0.0491	0.2182	-0.6085	0.4442	-0.0372	0.4094	-0.6689	1.0000	0.1966	0.9951	-0.4715	-0.6101	0.0097	-0.7153
p =	0.0000	0.8220	0.6780	0.0618	0.0000	0.0001	0.7532	0.0003	0.0000	0.0000	0.0932	0.0000	0.0000	0.0000	0.9344	0.0000
Ref 11	-0.0222	0.1955	0.2308	0.1845	0.0364	0.0435	-0.1009	0.0498	-0.0720	0.1966	1.0000	0.1895	-0.4527	0.2134	-0.0934	0.0448
p =	0.8512	0.0950	0.0479	0.1156	0.7583	0.7127	0.3924	0.6738	0.5421	0.0932	0.0000	0.1058	0.0001	0.0679	0.4284	0.7044
Ref 12	-0.7892	-0.0923	-0.0637	0.1524	-0.5800	0.3786	-0.0494	0.3412	-0.7306	0.9951	0.1895	1.0000	-0.4382	-0.5863	0.0190	-0.6613
p =	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Enviar resultados a:    Tamaño de fuente: 9 Ajuste de línea:  Sí  No

Matriz de coeficientes de correlación simple

Ref 4	-0.3263	0.9544	0.4189	1.0000	-0.4862	0.7574	0.2351	0.7753	0.2474	0.2182	0.1845	0.1524	-0.6151	-0.1997	-0.0309	-0.3901
p =	0.0046	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0438	0.0000	0.0336	0.0618	0.1156	0.1949	0.0000	0.0880	0.7938	0.0006
Ref 5	0.9058	-0.2366	0.0871	-0.4862	1.0000	-0.8052	-0.1131	-0.7602	0.3145	-0.6085	0.0364	-0.5800	0.2339	0.4951	-0.0365	0.5227
p =	0.0000	0.0424	0.4607	0.0000	0.0000	0.0000	0.3373	0.0000	0.0064	0.0000	0.7583	0.0000	0.0449	0.0000	0.7578	0.0000
Ref 6	-0.6089	0.5977	0.0417	0.7574	-0.8052	1.0000	0.3193	0.9971	0.1104	0.4442	0.0435	0.3786	-0.3967	-0.5308	-0.0091	-0.6164
p =	0.0000	0.0000	0.7244	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000	0.3490	0.0001	0.7127	0.0009	0.0005	0.0000	0.9389	0.0000
Ref 7	0.0172	0.2254	-0.1388	0.2351	-0.1131	0.3193	1.0000	0.3443	0.0719	-0.0372	-0.1009	-0.0494	0.0514	-0.1689	0.0785	-0.1382
p =	0.8842	0.0535	0.2381	0.0438	0.3373	0.0056	0.0000	0.0027	0.5427	0.7532	0.3924	0.6758	0.6634	0.1503	0.5064	0.2405
Ref 8	-0.5554	0.6307	0.0625	0.7753	-0.7602	0.9971	0.3443	1.0000	0.1577	0.4094	0.0498	0.3412	-0.4036	-0.5174	-0.0139	-0.6074
p =	0.0000	0.0000	0.5969	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000	0.1797	0.0003	0.6738	0.0029	0.0004	0.0000	0.9061	0.0000
Ref 9	0.5603	0.4208	0.0971	0.2474	0.3145	0.1104	0.0719	0.1577	1.0000	-0.6689	-0.0720	-0.7306	0.0378	0.2204	-0.0889	0.2104
p =	0.0000	0.0002	0.4106	0.0336	0.0064	0.3490	0.5427	0.1797	0.0000	0.0000	0.5421	0.0000	0.7489	0.0591	0.4514	0.0719
Ref 10	-0.7989	-0.0266	-0.0491	0.2182	-0.6085	0.4442	-0.0372	0.4094	-0.6689	1.0000	0.1966	0.9951	-0.4715	-0.6101	0.0097	-0.7153
p =	0.0000	0.8220	0.6780	0.0618	0.0000	0.0001	0.7532	0.0003	0.0000	0.0000	0.0932	0.0000	0.0000	0.0000	0.9344	0.0000
Ref 11	-0.0222	0.1955	0.2308	0.1845	0.0364	0.0435	-0.1009	0.0498	-0.0720	0.1966	1.0000	0.1895	-0.4527	0.2134	-0.0934	0.0448
p =	0.8512	0.0950	0.0479	0.1156	0.7583	0.7127	0.3924	0.6738	0.5421	0.0932	0.0000	0.1058	0.0001	0.0679	0.4284	0.7044
Ref 12	-0.7892	-0.0923	-0.0637	0.1524	-0.5800	0.3786	-0.0494	0.3412	-0.7306	0.9951	0.1895	1.0000	-0.4382	-0.5863	0.0190	-0.6613
p =	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ref 13	0.3066	-0.5676	-0.2558	-0.6151	0.2339	-0.3967	0.0514	-0.4036	0.0378	-0.4715	-0.4527	-0.4382	1.0000	0.0317	0.0238	0.3467
p =	0.0079	0.0000	0.0278	0.0000	0.0449	0.0005	0.6634	0.0004	0.7489	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.7883	0.8406	0.0025
Ref 14	0.5186	-0.0116	0.1535	-0.1997	0.4951	-0.5308	-0.1689	-0.5174	0.2204	-0.6101	0.2134	-0.5863	0.0317	1.0000	0.0876	0.9471
p =	0.0000	0.9220	0.1917	0.0880	0.0000	0.0000	0.1503	0.0000	0.0591	0.0000	0.0000	0.0000	0.7883	0.0000	0.4580	0.0000
Ref 15	0.0036	-0.0367	-0.0202	-0.0309	-0.0365	-0.0091	0.0785	-0.0139	-0.0889	0.0097	-0.0934	0.0190	0.0238	0.0876	1.0000	0.0957
p =	0.9755	0.7561	0.8643	0.7938	0.7578	0.9389	0.5064	0.9061	0.4514	0.9344	0.4284	0.8724	0.8406	0.4580	0.0000	0.4174
Ref 16	0.5691	-0.2035	0.0522	-0.3901	0.5227	-0.6164	-0.1382	-0.6074	0.2104	-0.7153	0.0448	-0.6813	0.3467	0.9471	1.0000	0.0957
p =	0.0000	0.0820	0.6584	0.0006	0.0000	0.0000	0.2405	0.0000	0.0719	0.0000	0.7044	0.0000	0.0025	0.0000	0.4174	0.0000

Enviar resultados a:    Tamaño de fuente: 9 Ajuste de línea:  Sí  No

(Santesmases, 2009)

**Ilustración 49 - Tabla de conversión de variables de correlación con Parámetros CMD**

1	$\beta$ Beta MTBM <sub>C</sub> de Confiabilidad
2	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBMC
3	Tiempos originales MTBM <sub>C</sub>
4	Tiempos útiles MTBM <sub>C</sub>
5	$\beta$ Beta MTTR de Mantenibilidad
6	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR
7	Tiempos originales MTTR
8	Tiempos Útiles MTTR
9	$\beta$ Beta MTBMP de Confiabilidad
10	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada MTBM <sub>p</sub>
11	Tiempos originales MTBMP
12	Tiempos Útiles MTBM <sub>p</sub>
13	$\beta$ Beta MP de Mantenibilidad
14	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada M <sub>p</sub>
15	Tiempos originales M <sub>p</sub>
16	Tiempos Útiles M <sub>p</sub>

#### 4.4.3 Análisis de correlaciones entre las 16 variables de cálculos, incluidos sus pronósticos.

Análisis de resultados de correlaciones, que corresponde a aquellos valores donde el p value es inferior a 0.05, así:

##### 4.4.3.1 1 - $\beta$ Beta de Confiabilidad no planeada correctiva

Variable 1 o sea  $\beta$  Beta de mantenimiento correctivo, se relaciona con 4 que es tiempo útil de correctivo, con 5 que es el Beta del MTTR correctivo, lo cual es lógico, con 5 y 6 que son  $\beta$  Beta y Eta de correctivo, con 8 que es tiempo calculado de correctivo, con  $\beta$  Beta y Eta de Mantenimientos planeados y con tiempo útil planeado que es la 12, con  $\beta$  Beta y eta de Mantenimiento planeado y con 16 que son los tiempos calculados de mantenimientos planeados, se puede afirmar que Beta correctivo de mantenimiento se relaciona con todos los Beta y Etas del proyecto. Es decir lo que manifiesta la alta correlación entre casi todas las variables. Es importante señalar que Beta y Eta del mantenimiento correctivo no se relacionan, son independientes.

##### 4.4.3.2 2 - Eta $\eta$ de Confiabilidad no planeada correctiva

Variable 2 o sea Eta de mantenimiento correctivo, se relaciona con 2 que es ella misma, con 3 y 4 que son los tiempos originales y los calculados de útiles entre correctivos, se relaciona con 5 y 6 que son los Beta y Eta correctivos de mantenibilidad, lo cual es lógico pues son del mismo bloque, se relaciona con el Beta de Confiabilidad planeada que es la variables 9, y con Beta de Mantenibilidad planeada que es la variable 13. Se puede visualizar poca relación de lo correctivo con lo planeado en el Eta, se recuerda que el Eta es de Producción y el Beta de Mantenimiento.

#### **4.4.3.3 3 - Tiempo útil original de dato de Confiabilidad no planeada correctiva**

La variable 3 que son los datos originales de Tiempos útiles entre correctivos, se relaciona con la variable 2 que es el Eta correctivo de confiabilidad y con los tiempos calculados útiles entre correctivos, que es la variable 4, además se relaciona con la variable 11 que tiempos útiles entre mantenimientos planeados de confiabilidad, y con la variable 13 que es el Beta de confiabilidad planeada.

#### **4.4.3.4 4 - Tiempo útil calculado de Confiabilidad no planeada correctiva**

En cuanto a la variable cuatro (4) se relaciona con todas las de confiabilidad correctiva (1,2,3) y las de mantenibilidad correctiva (5,6,7 y 8) lo que indica que los eventos correctivos se correlacionan. Tiene relación con la 9 que es el Beta de confiabilidad preventiva y con numeral 13 que corresponde al Beta de mantenibilidad preventiva al igual con el tiempo útil calculado de mantenibilidad preventiva que es la variable 16.

#### **4.4.3.5 5 - $\beta$ de Mantenibilidad no planeada correctiva**

Curiosamente la variable 5 (Beta de Mantenibilidad correctiva) se correlaciona con todos los Betas y Etas de confiabilidad y de mantenibilidad, tanto correctivos como los planeados, además de todos los tiempos calculados con Beta y Eta, que son las variables 1,2,4, 5,6,8, 9, 10,12,13, 14 y 16. Se puede afirmar que hay bastantes correlaciones importantes.

#### **4.4.3.6 6 - Eta $\eta$ de Mantenibilidad no planeada correctiva**

La variable número 6, que es el Eta del MTTR correctivo, se relaciona con 1, 2 y 4 que son Beta, Eta y Tiempos calculados en Confiabilidad correctiva, a su vez se relaciona todas las variables del Mantenimiento correctivo, Beta y los dos tiempos útiles y calculados, que son las variables 5, 7 y 8. En cuanto a lo planeado en confiabilidad se relaciona con Eta y Tiempo calculado, variables 10 y 12, en el mantenimiento planeado se relaciona con Beta, Eta y Tiempo útil calculados, que son las variables 13, 14 y 16.

#### **4.4.3.7 7 - Tiempo útil original de dato de Mantenibilidad no planeada correctiva**

El tiempo útil original de correctivo en mantenibilidad, que es la variable 7, solo se relaciona con la 4 que es el tiempo útil calculado de confiabilidad correctiva y con los valores de correctivo en mantenibilidad en las variables 6 y 8, que son Eta y Tiempo calculado, de correctivo en mantenibilidad, pocas relaciones.

#### **4.4.3.8 8 - Tiempo útil calculado de Mantenibilidad no planeada correctiva**

La variable 8 que es el tiempo útil calculado de la mantenibilidad correctiva, se relaciona con las variables 1 y 2 , que son Beta y Eta de confiabilidad correctiva, con 4 que es el tiempo útil calculado correctivo de confiabilidad, con 5, 6, 7 y 8 que son los 4 parámetros Beta, Eta, Tiempo original y tiempo útil calculado de la mantenibilidad correctiva, también se relaciona con Eta y tiempo útil calculado de confiabilidad preventiva, que son las variables 10 y 12, al igual esta correlacionada con las variables 13, 14 y 16, que son Beta, Eta y Tiempo útil calculado de mantenibilidad planeada. En general se relaciona bien con las otras, 12 de 16 posibles.

#### **4.4.3.9 9 - $\beta$ de Confiabilidad planeada preventiva predictiva**

En cuanto a la variable 9, que es el Beta de Confiabilidad planeada, se relaciona con las variables 1, 2 y 4 de confiabilidad no planeada, que son Beta, Eta y Tiempo útil calculado de confiabilidad correctiva, a su vez también tiene relación con la 5 Beta de mantenibilidad no planeada, también con 9, 10, y 12, que son Beta, Eta y Tiempo útil calculado de mantenibilidad planeada preventiva o predictiva.

#### **4.4.3.10 10 - Eta $\eta$ de Confiabilidad planeada preventiva predictiva**

La variable 10 que Eta de Confiabilidad planeada, se relaciona con la 1 Beta de confiabilidad no planeada, con Beta, Eta y Tiempo útil calculado de mantenibilidad correctiva, que son las variables 5, 6 y 8, también se correlaciona con Beta, Eta y tiempo útil calculado de confiabilidad planeada que son las variables 9, 10 y 12, a su vez tiene relación con las variables 13, 14 y 16 que son los valores de Beta, Eta y Tiempo útil de mantenibilidad planeada.

#### **4.4.3.11 11 - Tiempo útil original de dato de Confiabilidad planeada preventiva predictiva**

La variable 11 Tiempo útil de confiabilidad planeada, se relaciona con la variables 3 que es tiempo útil original de dato de confiabilidad no planeada, luego lo hace con la variable 11 que es tiempo útil original de confiabilidad planeada, y por último se relaciona con la variable 13 que es el Beta de mantenibilidad planeada, en general se relaciona poco.

#### **4.4.3.12 12 - Tiempo útil calculado de Confiabilidad planeada preventiva predictiva**

En cuanto a la variable 12 que es el tiempo que se calcula con Beta y Eta por Weibull, se relaciona con la 1 Beta de Confiabilidad correctiva, con las variables 5, 6 y 8, que son respectivamente Beta, Eta y Tiempo útil calculado de mantenibilidad correctiva, con las variables 9, 10 y 12, que son respectivamente Beta, Eta y Tiempo útil calculado de confiabilidad preventiva y por último, se relaciona con las variables 13, 14 y 16, que son respectivamente Beta, Eta y Tiempo útil calculado de mantenibilidad preventiva. En general tiene muy buen nivel de correlación, 10 de 16.

#### **4.4.3.13 13 - $\beta$ de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva**

La 13 que es el Beta de mantenibilidad planeada, está relacionada con las variables 1, 2, 3 y 4 de confiabilidad correctiva, que son respectivamente el Beta, el Eta, el tiempo original y el tiempo calculado, luego tiene correlación las variables 5, 6 y 8, que son respectivamente Beta, Eta y Tiempo calculado de mantenibilidad correctiva, luego tiene relación con las variables 10, 11 y 12 que son respectivamente Eta, Tiempo original y calculado de la confiabilidad preventiva, por último se relaciona con la 13 (ella misma) que es Beta de mantenibilidad planeada, y con la 16 que es tiempo útil calculado de mantenibilidad preventiva predictiva. Tiene 12 relaciones de 16 factibles.

#### **4.4.3.14 14 - Eta $\eta$ de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva**

Por los lados de la variable Eta de mantenibilidad planeada, o sea la variable 14 se tienen relaciones con: 1 Beta de confiabilidad correctiva, con 5 que Beta de mantenibilidad correctiva, con 6 y 8 que son respectivamente Eta y Tiempo calculado de mantenibilidad correctiva, luego tiene relación con las variables 10 y 12, que son Beta y tiempo útil calculado de Confiabilidad preventiva, por último se relaciona con 14 y 16 que son Beta y tiempo calculado de mantenibilidad preventiva.

#### **4.4.3.15 15 - Tiempo útil original de dato de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva**

La variable 15 que es tiempo original de mantenibilidad preventiva no se relaciona con ninguna variables.

#### 4.4.3.16 16 - Tiempo útil calculado de Mantenibilidad planeada preventiva predictiva

La 16, que corresponde a la variable de tiempo útil calculado de mantenibilidad planeada, se relaciona con 1 Beta de confiabilidad correctiva y con 4 tiempo calculado de confiabilidad correctiva, luego tiene estrecha relación con 5, 6 y 8, que son respectivamente Beta, Eta y tiempo calculado de mantenibilidad correctiva, posteriormente se relaciona con las variables 10 y 12 que son Eta y Tiempo calculado de Confiabilidad planeada, por último se relaciona con la 13, 14 y 16 (ella misma), que son Beta, Eta y Tiempo calculado de la mantenibilidad planeada.

En general se presentan 140 correlaciones factibles de 256 que corresponde al 54.68% de correlaciones factibles, que es una buena cantidad.

#### Ilustración 50 - Correlaciones entre tiempos de $MTBM_C$ , $MTTR$ , $MTBM_P$ y $M_P$

Matriz de coeficientes de correlación simple

	Ref 3	Ref 7	Ref 11	Ref 15
Ref 3	1.0000	-0.1388	0.2308	-0.0202
p =	0.0000	0.2381	0.0479	0.8643
Ref 7	-0.1388	1.0000	-0.1009	0.0785
p =	0.2381	0.0000	0.3924	0.5064
Ref 11	0.2308	-0.1009	1.0000	-0.0934
p =	0.0479	0.3924	0.0000	0.4284
Ref 15	-0.0202	0.0785	-0.0934	1.0000
p =	0.8643	0.5064	0.4284	0.0000

Ref 3 es tiempo original de  $MTBM_C$   
 Ref 7 es tiempo original de  $MTTR$   
 Ref 11 es tiempo original de  $MTBM_P$   
 Ref 15 es tiempo original de  $M_P$

La única correlación que hay es entre los tiempos útiles de confiabilidad tanto en correctivas como los de planeada, se afirma la expresión de que los tiempos de mantenimientos correctivos son independientes de los mantenimientos preventivos planeados predictivos (Wireman, 2001).

Esto genera una de las principales conclusiones del proyecto y es que los mantenimientos se realizan de forma independiente en su realización correctiva y preventiva, es decir no hay una estrecha relación entre los actores de los dos secciones del departamento de mantenimiento correctivo y planeados, debe haber una relación más estrecha en su planeación y ejecución.

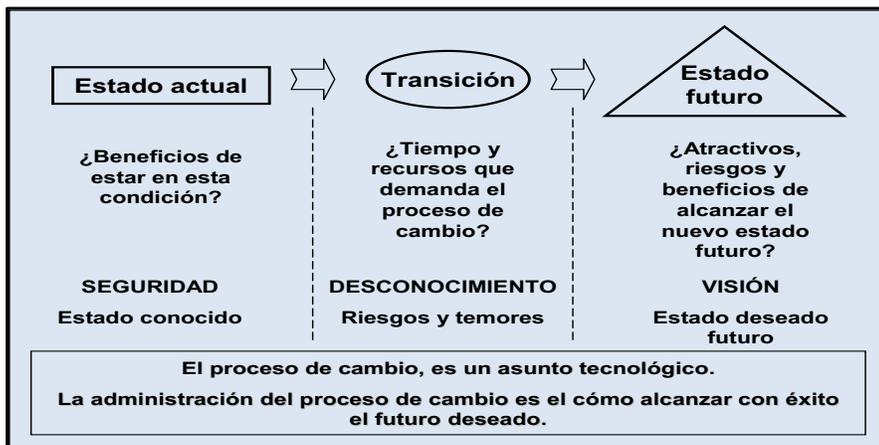
#### 4.4.4 Cálculos de pronósticos de las 16 variables

Los cálculos de pronósticos de los diferentes períodos a realizar en cada una de las 16 variables a trabajar se realizan mediante el proceso sistemático de series temporales, con modelos clásicos (Linear, tendencia no lineal cuadrática, tendencia no lineal exponencial, tendencia no lineal curva en S, Brown, Holt, Holt's Winter y la Metodología Box Jenkins de los Modelos AR.I.MA) (Mora, 2012) (Inventarios Cero - MTS MTO MTF, 2013) (Mora, 2015).

**Ilustración 51 - Pasos de la planeación estratégica tecnológica**

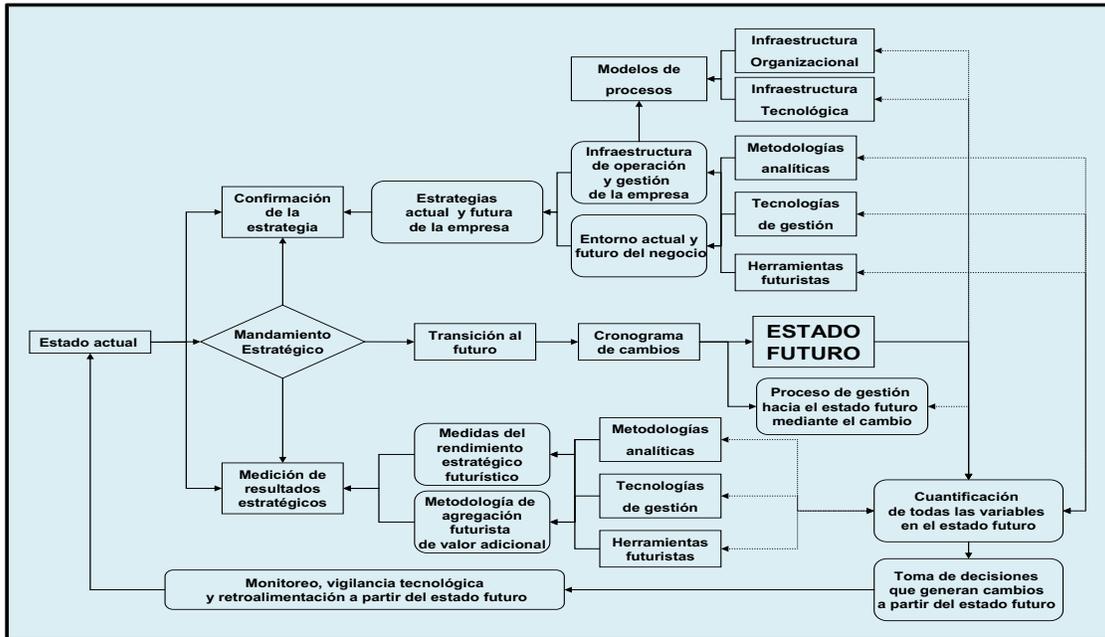
<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Herramienta</b>
<b>Inventariar</b>	Conocer tecnologías propias, de otras empresas y usadas por la competencia	Matriz Tecnología / Productos o Servicios
<b>Evaluar</b>	Definir la competitividad y el potencial tecnológico futuro de la empresa	Matriz atractivo / posición tecnológica Árbol tecnológico dual
<b>Optimizar</b>	Emplear eficazmente los recursos disponibles e importados	Racimos o Árboles tecnológicos
<b>Enriquecer</b>	Aumentar el patrimonio tecnológico de la empresa	Matriz de accesos a la tecnología
<b>Vigilar</b>	Vigilar a nivel mundial el progreso de otras y nuevas tecnologías	Función de alerta tecnológica
<b>Proteger</b>	Desarrollar políticas de patentes y de registro de propiedad industrial e intelectual	Patentar y registrar

**Ilustración 52 - Alcance del futuro mediante procesos de cambio en el tiempo y el espacio**



En mantenimiento hoy en día es una premisa adelantarse a las necesidades cliente, en este caso operación de generación eléctrica, esto tiene la ventaja de que como el futuro no ha ocurrido se pueden llevar a cabo cambios que aún no ocurren en el presente (Pronósticos de demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos, 2007c)

**Ilustración 53 - Elementos y pasos en la planeación estratégica tecnológica a partir del futuro**



Los procesos de cálculos futuros implican el cumplimiento de las siguientes propiedades en los cálculos futuros realizados.

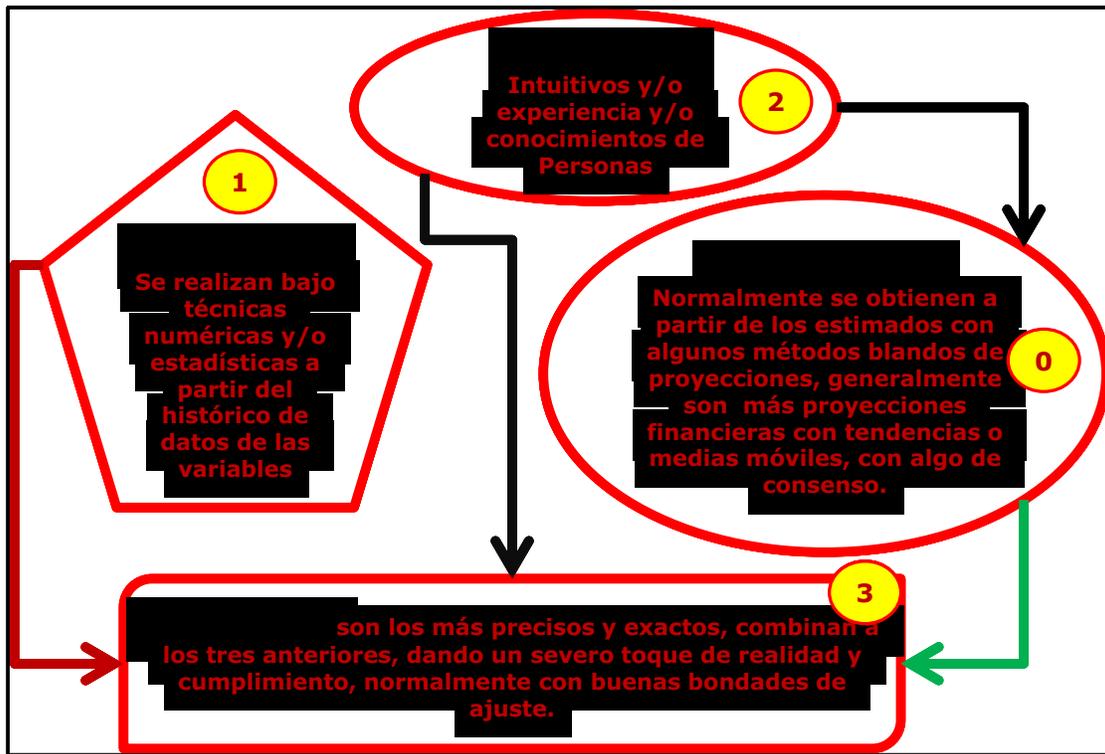
**Ilustración 54 - Propiedades del estado futuro**



**Ilustración 55 - Método científico y metodología universal de pronósticos de demanda**

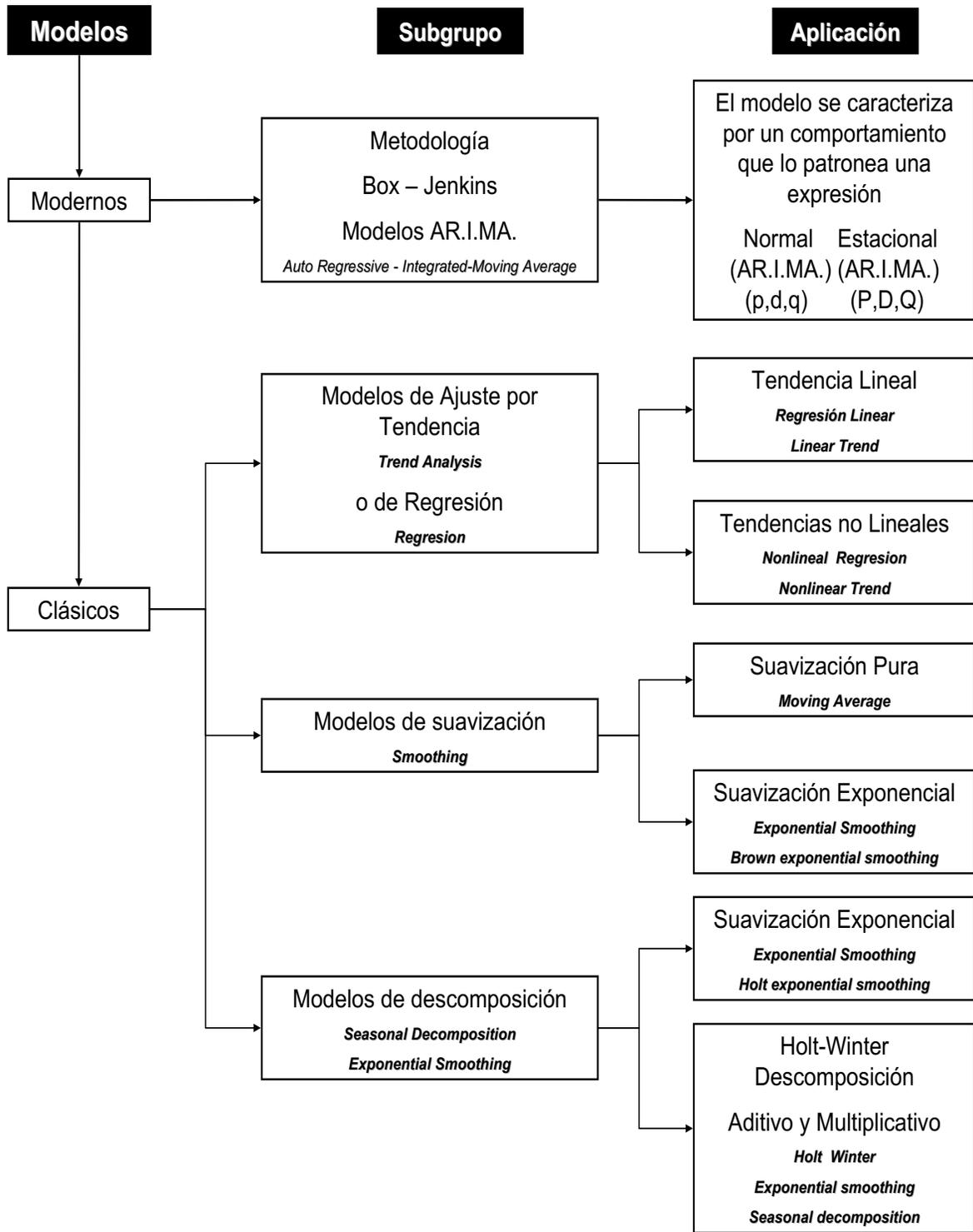
METODOLOGÍA UNIVERSAL DE PRONÓSTICOS	MÉTODO CIENTÍFICO
<p><b>Paso 1- Análisis previo de la serie de demanda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 Síntesis descriptiva</li> <li>1.2 Calidad y cantidad de datos</li> <li>1.3 Cumplimiento de estabilidad del entorno</li> <li>1.4 Análisis previo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

Ilustración 56 - Unificación de criterios futurísticos

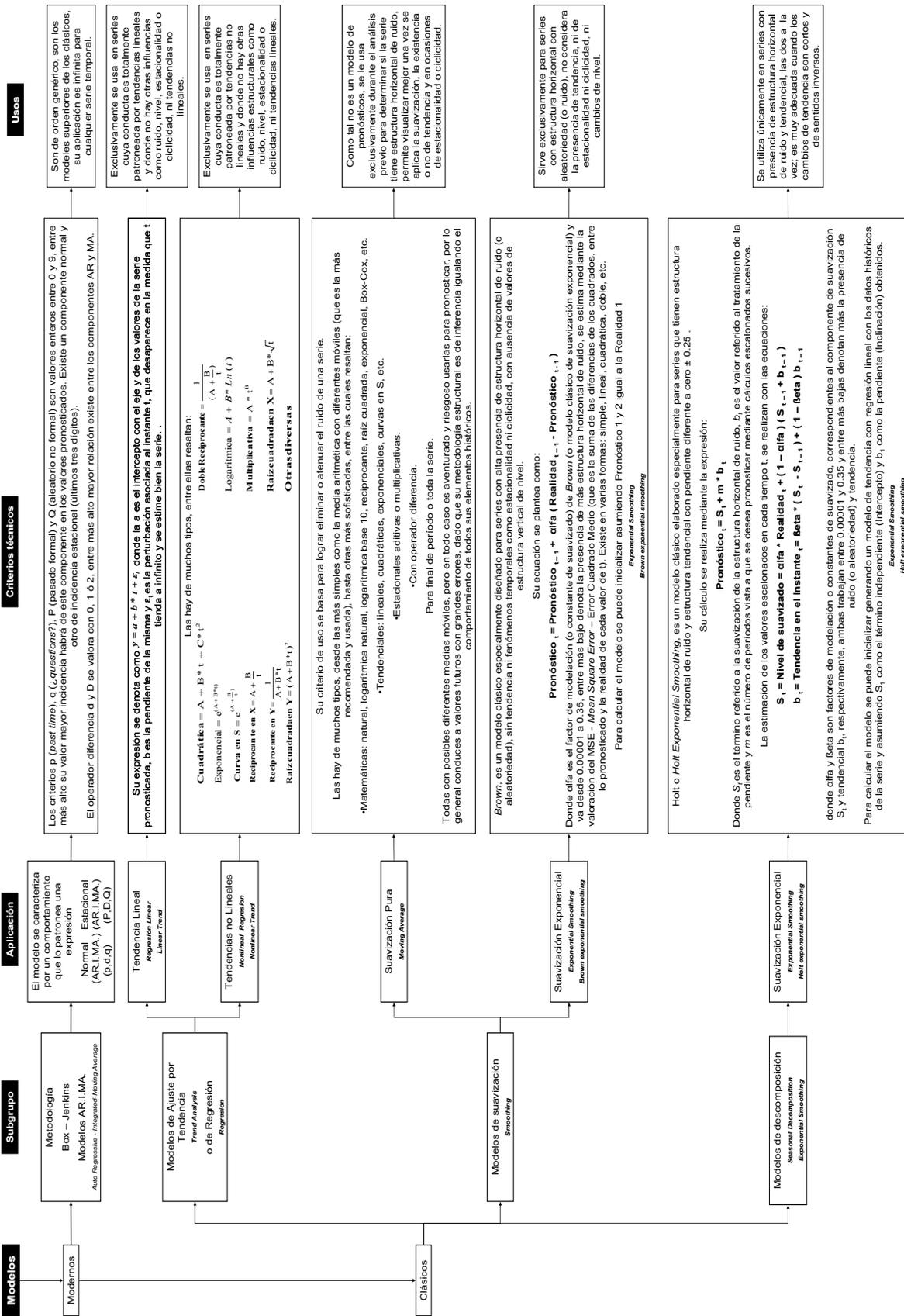


(Mora, 2015) (Mora, 2012)

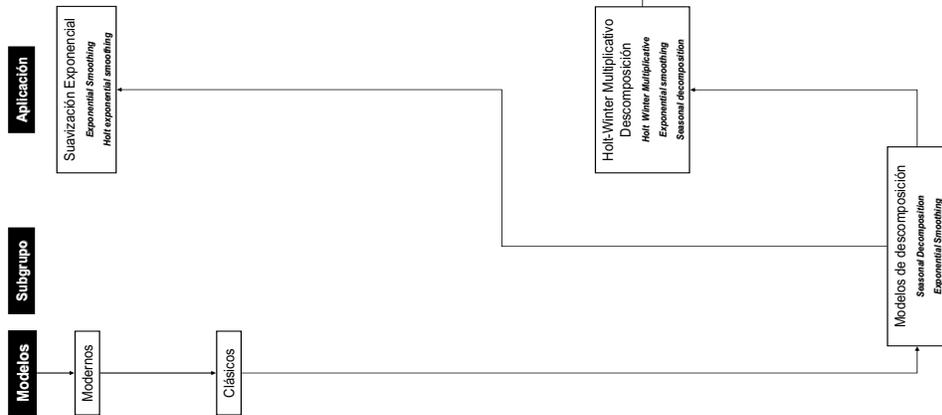
Ilustración 57 - Tipos, criterios y usos de los diferentes Modelos de Pronósticos



(Ballou, 2003) (Company, 1990)



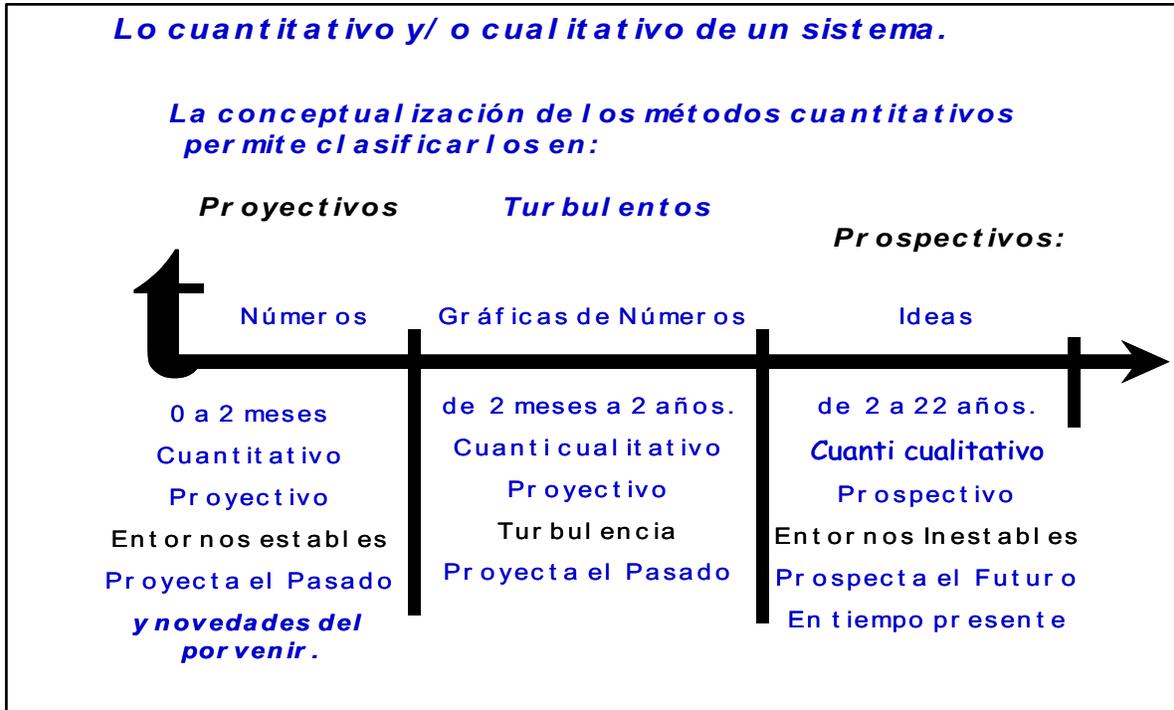
Modelos	Subgrupo	Aplicación	Usos
<p>Modernos</p> <p>Clásicos</p>	<p>Suavización Exponencial Exponential Smoothing Holt exponential smoothing</p>	<p>Holt - Winter Exponential Smoothing Additive</p> <p>Se cálculo se realiza mediante la expresión:</p> <p><b>Uno -</b> <math>T_{t+m} = S_t + M \cdot b_t</math> con <b>Dos -</b> <b>Pronóstico</b> <math>t+m = E_t + T_{t+m}</math></p> <p>Donde <math>X_{t+m}</math> es el pronóstico para el período t + M realizado desde t.</p> <p>El término <math>T_{t+m}</math> es el pronóstico sin estacionalidad (previsión de la tendencia).</p> <p>La expresión <math>E_t</math> es el Factor Estacional</p> <p>Las variables: <math>S_t</math> es el término referido a la suavización de la estructura horizontal de ruido, <math>b_t</math> es el valor referido al tratamiento de la pendiente y <math>m</math> es el número de periodos vista a que se desea pronosticar mediante cálculos escalonados sucesivos.</p> <p>Al sustituir la expresión dos en uno queda:</p> $X_{t+m} = \text{Pronóstico}_{t+m} = (S_t + M \cdot b_t) + E_t$ <p>La estimación de los valores escalonados en cada tiempo t, se realizan con las ecuaciones:</p> $S_t = \text{alfa} \cdot (Z_t - E_{t-L}) + (1 - \text{alfa}) \cdot (S_{t-1} - b_{t-1})$ $b_t = \text{beta} \cdot (S_t - S_{t-1}) + (1 - \text{beta}) \cdot b_{t-1}$ $E_t = \text{Gamma} \cdot (Z_t - S_t) + (1 - \text{Gamma} \cdot \text{Gamma}) \cdot E_{t-L}$ <p>Fuente Bibliográfica: Yih-Long, 1998,273</p> <p>donde alfa, beta y Gamma (γ) son factores de suavizado, correspondientes así: alfa al componente de suavización <math>S_t</math>, beta al componente tendencial <math>b_t</math> y Gamma (γ) al factor temporal (cíclico o estacional). En las expresiones enunciadadas L es la longitud del ciclo, M es el número de periodos futuros a pronosticar (Yih-Long, 1998,273).</p> <p>Las constantes alfa y beta trabajan entre 0,00001 y 0,35 y entre más bajas denotan mayor presencia de ruido (o aleatoriedad) y tendencia en forma respectiva; en cambio Gamma (γ) se desempeña entre 0,65 y 0,999999 y entre más alta, denota una mayor existencia del fenómeno temporal repetitivo.</p> <p>Los valores de <math>E_t</math>, <math>S_t</math> y <math>b_t</math> se inicializan con las siguientes fórmulas y condiciones:</p> <p><math>S_0</math> es la media móvil de los primeros L datos reales <math>Z_t</math>, con <math>t = 1, 2, \dots, L</math>.</p> <p><math>b_0</math> es igual a cero</p> <p><math>E_t = Z_t - S_0</math>, para los primeros L valores con <math>t = 1, 2, 3, \dots, L</math>.</p> <p>Los Pronósticos de los <math>X_{t+m}</math> valores se calculan con <math>M = 1</math>, cuando t + M aún son valores reales históricos.</p> <p>Los verdaderos pronósticos de <math>X_{t+m}</math> cuando t + M es mayor al número de datos históricos se calculan con <math>M = 1</math> el primer pronóstico, <math>M=2</math> la segunda predicción, <math>M=3</math> la tercera predicción y así sucesivamente hasta completar los valores solicitados.</p> <p>Por otro lado al momento de estimar los pronósticos con la ecuación</p> $X_{t+m} = \text{Pronóstico}_{t+m} = (S_t + M \cdot b_t) + E_t$ <p>siempre los valores de <math>E_t</math> se toman como <math>E_t</math> (ya calculado) para el primer pronóstico después de valores históricos reales, <math>E_2</math> para el segundo, <math>E_3</math> para el tercero, ..... y así sucesivamente hasta <math>E_t</math> para el pronóstico L, de ahí en adelante se vuelve a tomar <math>E_1</math>, para el pronóstico <math>L + 1</math>, <math>E_2</math> para el pronóstico <math>L + 2</math> después de históricos reales, <math>E_3</math> para la previsión <math>L + 3</math>, ..... y así sucesivamente hasta el pronóstico <math>L + L</math>, luego se vuelve a tomar <math>E_1</math> para la fórmula del cálculo de la previsión <math>2L + 1</math> y de ahí en adelante en forma similar volviendo a iniciar cada vez que se completan juegos de L pronósticos posteriores a los datos históricos.</p> <p>siempre los valores de <math>E_t</math> se toman como <math>E_t</math> (ya calculado) para el primer pronóstico después de valores históricos reales, <math>E_2</math> para el segundo, <math>E_3</math> para el tercero, ..... y así sucesivamente hasta <math>E_t</math> para el pronóstico L, de ahí en adelante se vuelve a tomar <math>E_1</math> para el pronóstico <math>L + 1</math>, <math>E_2</math> para el pronóstico <math>L + 2</math> después de históricos reales, <math>E_3</math> para la previsión <math>L + 3</math>, ..... y así sucesivamente hasta el pronóstico <math>L + L</math>, luego se vuelve a tomar <math>E_1</math> para la fórmula del cálculo de la previsión <math>2L + 1</math> y de ahí en adelante en forma similar volviendo a iniciar cada vez que se completan juegos de L pronósticos posteriores a los datos históricos.</p>	<p>Es ideal en series con presencia obligatoria de estructuras estacionales y/o cíclicas; la presencia de ruido (o aleatoriedad) o tendencia es opcional no impositiva, aún sin estas dos últimas es un modelo que se acomoda bien a series con fenómenos temporales repetitivos.</p>



Criterios técnicos	Usos
<p><b>Holt - Winter Exponential Smoothing Multiplicative</b></p> <p>Su cálculo se realiza mediante la expresión:</p> <p><b>Tres - <math>T_{t+M} = S_{t+M} * b_t</math></b> con <b>Cuatro - <math>\text{Prontóstico}_{t+M} = E_t * T_{t+M}</math></b></p> <p>Donde <math>X_{t+M}</math> es el pronóstico para el periodo <math>t + M</math> realizado desde <math>t</math>.</p> <p>El término <math>T_{t+M}</math> es el pronóstico sin estacionalidad (previsión de la tendencia).</p> <p>La expresión <math>E_t</math> es el Factor Estacional</p> <p>Las variables: <math>S_t</math> es el término referido a la suavización de la estructura horizontal de ruido, <math>b_t</math> es el valor referido al tratamiento de la pendiente y <math>m</math> es el número de períodos vista a que se desea pronosticar mediante cálculos escalonados sucesivos.</p> <p>Al sustituir la expresión tres en cuatro queda:</p> $X_{t+M} = \text{Prontóstico}_{t+M} = (S_t + M * b_t) * E_t$ <p>La estimación de los valores escabnados en cada tiempo <math>t</math>, se realizan con las ecuaciones:</p> $S_t = \text{alfa} * (Z_t / E_{t-L}) + (1 - \text{alfa}) * (S_{t-1} - b_{t-1})$ $b_t = \text{beta} * (S_t - S_{t-1}) * (1 - \text{beta}) * b_{t-1}$ $E_t = \text{Gamma} (Y) * (Z_t / S_t) * (1 - \text{Gamma} (Y)) * E_{t-L}$ <p>Fuente Bibliográfica: Yih-Long, 1988, 273-274</p> <p>Las constantes <math>\text{alfa}</math> y <math>\text{beta}</math> trabajan entre 0.00001 y 0.35 y entre más bajas decenan mayor presencia de ruido (o aleatoriedad) y tendencia respectivamente, en cambio <math>\text{Gamma} (Y)</math> se desempeña entre 0.65 y 0.99999 y entre más alta, denida una mayor existencia del fenómeno temporal repetitivo.</p> <p>Los valores de <math>E_t</math>, <math>S_t</math> y <math>b_t</math> se inicializan con las siguientes fórmulas y condiciones:</p> <p><math>S_0</math> es la media móvil de los primeros <math>L</math> datos reales <math>Z_t</math> con <math>t=1, 2, \dots, L</math>.</p> <p><math>b_0</math> es igual a cero.</p> <p><math>E_t = Z_t / S_0</math>, para los primeros <math>L</math> valores con <math>t = 1, 2, 3, \dots, L</math>.</p> <p>Los Pronósticos de los <math>X_{t+M}</math> valores se calculan con <math>M = 1</math>, cuando <math>t + M</math> aún son valores reales históricos.</p> <p>Los verdaderos pronósticos de <math>X_{t+M}</math> cuando <math>t + M</math> es mayor al número de datos históricos se calculan con <math>M = 1</math> el primer pronóstico, <math>M = 2</math> la segunda predicción, <math>M = 3</math> la tercera predicción y así sucesivamente hasta completar los valores solicitados.</p> <p>Por otro lado al momento de estimar los pronósticos con la ecuación</p> $X_{t+M} = \text{Prontóstico}_{t+M} = (S_t + M * b_t) * E_t$ <p>siempre los valores de <math>E_t</math> se toman como <math>E_t</math> (ya calculado) para el primer pronóstico después de valores históricos reales, <math>E_2</math> para el segundo, <math>E_3</math> para el tercero, ..... y así sucesivamente hasta <math>E_t</math> para el pronóstico <math>L</math>, de ahí en adelante se vuelve a tomar <math>E_1</math> para el pronóstico <math>L + 1</math>, <math>E_2</math> para el pronóstico <math>L + 2</math> después de históricos reales, <math>E_3</math> para la predicción <math>L + 3</math>, ..... y así sucesivamente hasta el pronóstico <math>L + L</math>, luego se vuelve a tomar <math>E_1</math> para la fórmula del cálculo de la predicción <math>2L + 1</math> y de ahí en adelante en forma similar volviendo a iniciar cada vez que se completen juegos de <math>L</math> pronósticos posteriores a los datos históricos.</p>	<p>Es ideal en series con presencia obligatoria de estructuras estacionales y/o cíclicas; la presencia de ruido (o aleatoriedad) o tendencia es opcional no impositiva, aún sin estas dos últimas es un modelo que se acomoda bien a series con fenómenos temporales repetitivos.</p>

Los Modelos AR.I.MAS. requieren de la metodología especial Box – Jenkins para poder operar y encontrar los pronósticos futuros.

Ilustración 58 - Métodos futurísticos y sus tres posibilidades



(NS@, 2005)

Ilustración 59 - Modelos clásicos y AR.I.MA. para predicciones

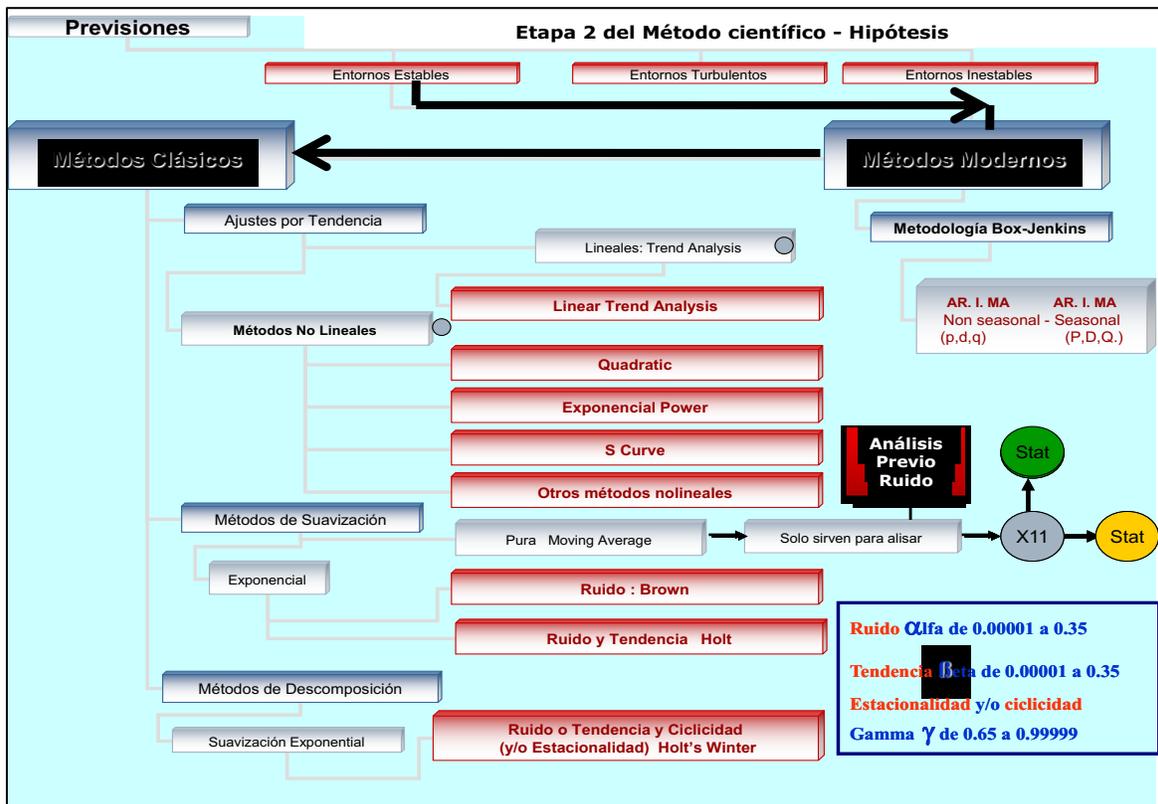
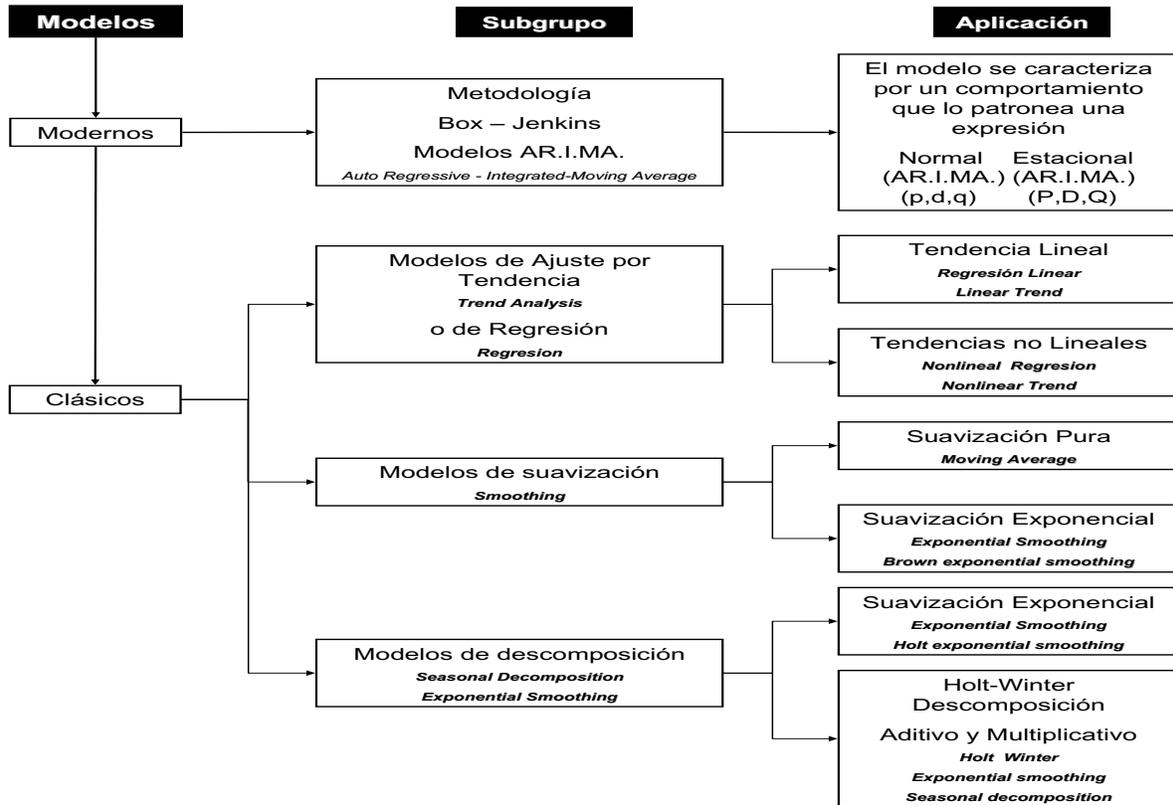
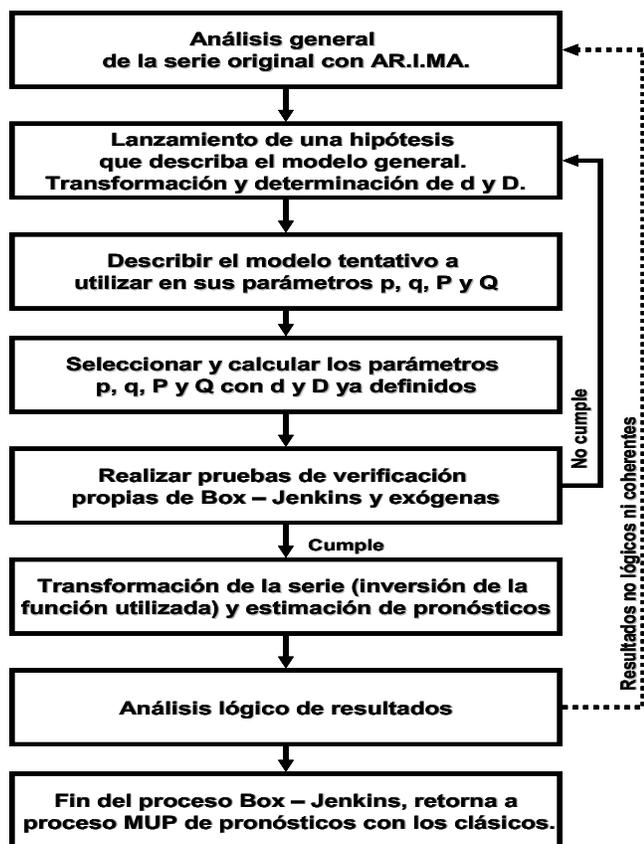


Ilustración 60 - Modelos AR.I.MA. (Auto Regresivos - Integración - Medias Móviles)



Los procedimientos de cálculos se hacen a partir de los 76 datos históricos reales que se poseen de los diferentes parámetros (16) del comportamiento de la máquina en el tiempo.

**Ilustración 61 - Parámetros**

<b>1</b>	$\beta$ eta MTBM <sub>C</sub> de Confiabilidad
<b>2</b>	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBMC
<b>3</b>	Tiempos originales MTBM <sub>C</sub>
<b>4</b>	Tiempos útiles MTBM <sub>C</sub>
<b>5</b>	$\beta$ eta MTTR de Mantenibilidad
<b>6</b>	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR
<b>7</b>	Tiempos originales MTTR
<b>8</b>	Tiempos Útiles MTTR
<b>9</b>	$\beta$ eta MTBMP de Confiabilidad
<b>10</b>	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada MTBM <sub>p</sub>
<b>11</b>	Tiempos originales MTBMP
<b>12</b>	Tiempos Útiles MTBM <sub>p</sub>
<b>13</b>	$\beta$ eta MP de Mantenibilidad
<b>14</b>	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada M <sub>p</sub>
<b>15</b>	Tiempos originales M <sub>p</sub>
<b>16</b>	Tiempos Útiles M <sub>p</sub>

Ilustración 62 - Pronósticos de las dieciséis (16) variables por series temporales.

	Dato	$\beta$ $MTBM_c$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBMC$	Tiempos originales $MTBM_c$	Tiempos útiles $MTBM_c$	$\beta$ $MTTR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTRR$	Tiempos originales $MTRR$	Tiempos Útiles $MTRR$	$\beta$ $MTBM_p$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_p$	Tiempos originales $MTBM_p$	Tiempos Útiles $MTBM_p$	$\beta$ $M_p$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_p$	Tiempos originales $M_p$	Tiempos Útiles $M_p$
P R O N Ó S T I C O S	Año 2015 Trimestre 4	1.40	1757.33	2582.27	1601.67	3.92	5.44	6.86	4.93	1.16	1197.70	4132.85	1137.02	3.47	6.30	7.31	5.67
	Año 2016 Trimestre 1	1.41	1764.41	2462.46	1606.35	3.98	5.50	4.97	4.98	1.16	1197.42	5535.20	1136.75	3.34	6.32	6.05	5.67
	Año 2016 Trimestre 2	1.41	1733.45	3403.56	1578.16	3.95	5.52	4.20	5.00	1.16	1194.50	4638.97	1133.98	3.28	6.30	5.50	5.65
	Año 2016 Trimestre 3	1.42	1736.75	1871.35	1579.48	3.96	5.56	5.51	5.04	1.15	1218.70	6507.78	1159.84	3.14	6.33	5.80	5.66
	Año 2016 Trimestre 4	1.44	1762.12	1333.71	1599.30	3.98	5.58	6.14	5.06	1.16	1232.66	4784.16	1170.20	3.05	6.33	4.91	5.66
	Año 2017 Trimestre 1	1.43	1841.24	2385.31	1672.78	3.91	5.58	4.10	5.05	1.15	1255.53	6447.17	1194.89	2.84	6.34	5.89	5.65
	Año 2017 Trimestre 2	1.41	1816.06	1636.32	1653.37	3.86	5.56	3.92	5.03	1.13	1276.16	5180.64	1220.90	2.85	6.37	5.37	5.68
	Año 2017 Trimestre 3	1.41	1858.83	2796.54	1692.31	3.78	5.49	4.91	4.96	1.13	1243.35	7898.00	1189.51	2.79	6.36	4.53	5.66
	Dato	$\beta$ $MTBM_c$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBMC$	Tiempos originales $MTBM_c$	Tiempos útiles $MTBM_c$	$\beta$ $MTTR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTRR$	Tiempos originales $MTRR$	Tiempos Útiles $MTRR$	$\beta$ $MTBM_p$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_p$	Tiempos originales $MTBM_p$	Tiempos Útiles $MTBM_p$	$\beta$ $M_p$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_p$	Tiempos originales $M_p$	Tiempos Útiles $M_p$

A partir de estos datos pronosticados, se procede ahora a hacer el análisis respectivo de cada caso de parámetros apareados.

#### 4.4.5 Análisis estratégico de resultados integrales con pronósticos

Los diferentes estudios se van presentando en el orden de las variables que se trabajan con datos históricos y pronósticos.

##### 4.4.5.1 $\beta$ eta

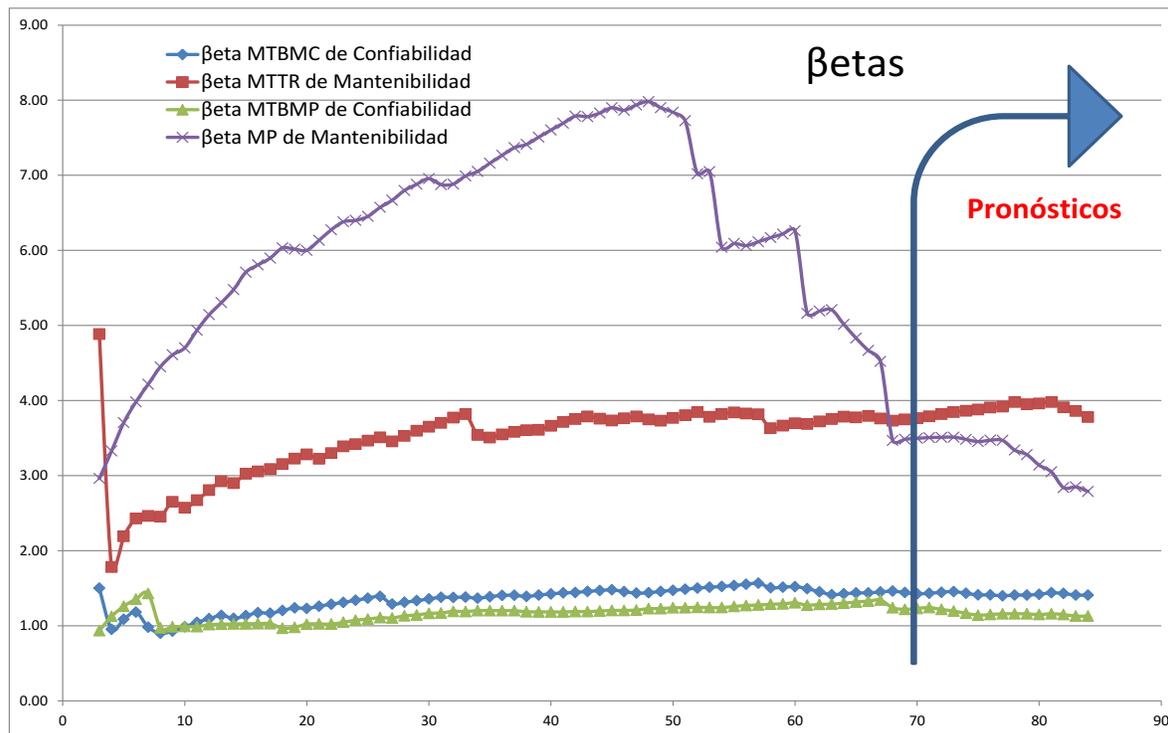
Se puede apreciar en la siguiente ilustración la impresionante bajada del  **$\beta$ eta Preventivo Predictivo de Mantenibilidad** (morado con X en la gráfica), el cual debe mantenerse por valores ojalá mayores a 3.44, vemos que cae por debajo de 3, lo cual requiere una pronta intervención del mismo con el fin de consolidarlo con valores superiores a 3.44 intensificando lo predictivo.

El  **$\beta$ eta correctivo de mantenibilidad** (rojo con cuadros en la gráfica) tiende a la suba lo cual también es problema pues su valor debe permanecer en valores inferiores a uno, esto implica que no está existiendo ninguna comunicación entre el mantenimiento planeado y el correctivo, además de que se tiene que tener en cuenta que todo se debe ejecutar (correctivo) y planear (preventivo predictivo) desde un mismo centro operacional.

En cuanto al  **$\beta$ eta correctivo de confiabilidad** (azul con rombos en la gráfica), se encuentra cercano a uno pero por encima, se deben realizar más análisis de causa raíz para eliminar los correctivos y así lograr estabilizarlo junto con el de mantenibilidad correctiva por debajo de 1.

Por último se tiene el  **$\beta$ eta Preventivo Predictivo de Confiabilidad** (verde con triángulos en la gráfica), el cual está pronosticado en valores cercanos a uno, aunque está por encima de uno, está muy débil, su valor debe tender a 4, 5, 6 o 7 o mayor, lo cual se logra de dos maneras, intensificando los predictivos y cambiando preventivos por predictivos.

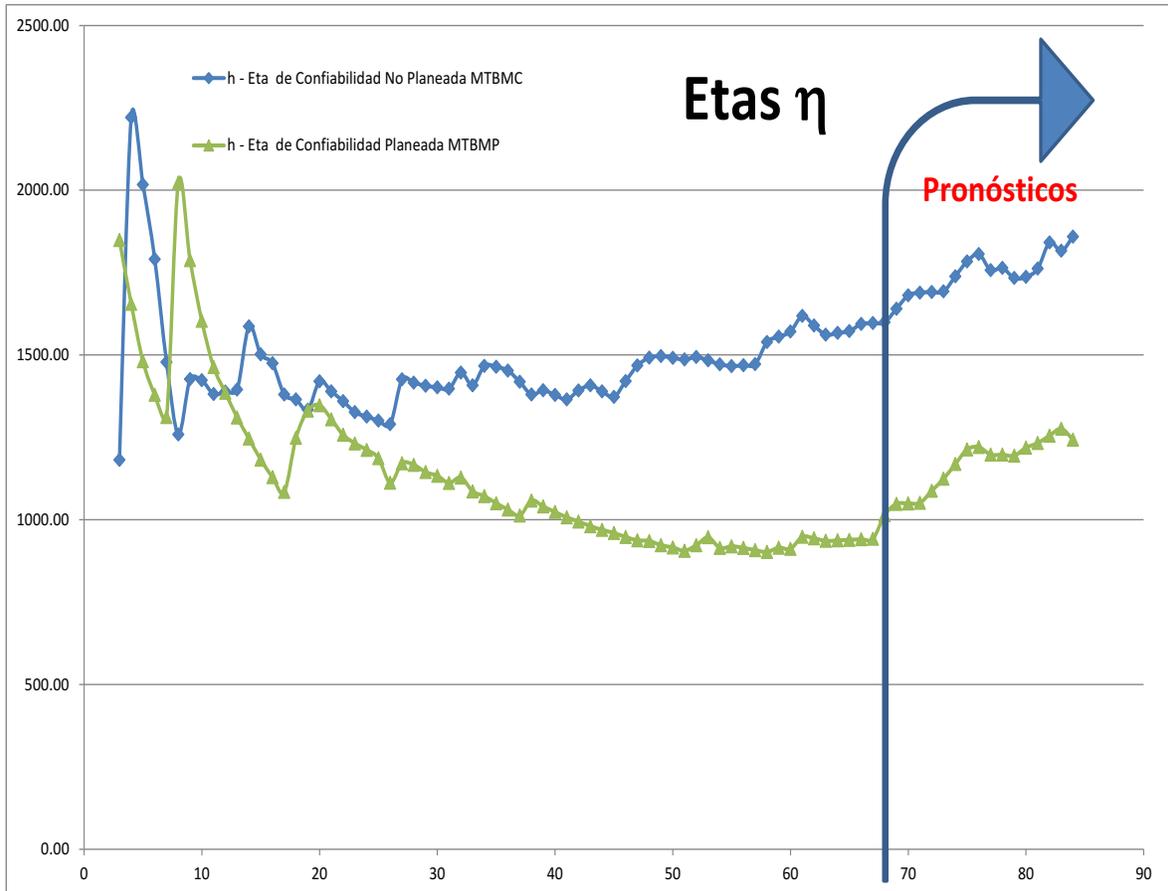
Ilustración 63 -  $\beta$ etas y sus datos históricos con pronósticos futuros



#### 4.4.5.2 Etas

Este parámetro de factor de escala implica al área de Producción así como el  $\beta$  manifiesta la labor de mantenimiento, es por ello que se analiza por separado, el factor de escala  $\eta$ , se asocia a la capacidad de tiraje largo de operación, es decir la capacidad de la máquina de trabajar sin fallas en operación normal.

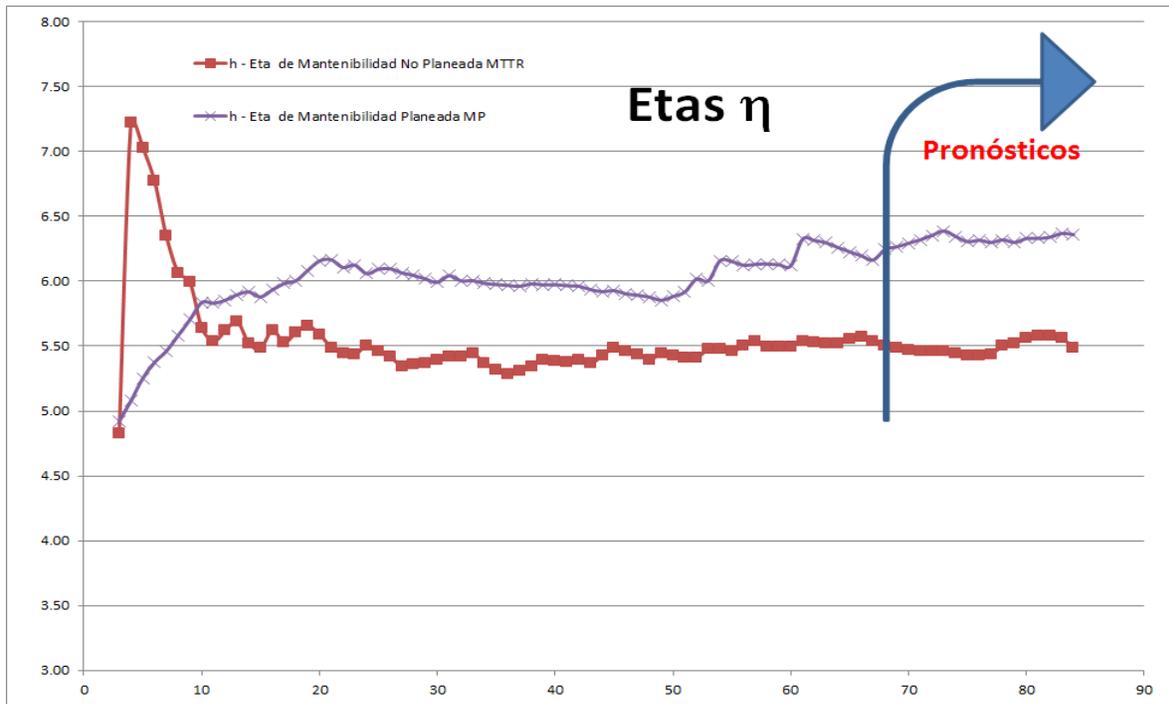
**Ilustración 64 - Etas  $\eta$  altos y sus datos históricos con pronósticos futuros**



Al realizar el análisis de los Etas, se puede visualizar que el **Eta  $\eta$  de Confiabilidad Correctiva No Planeada** (azul con rombos en la gráfica) no planeada, va muy bien, es alto y tiende a la suba, o sea aumentando la capacidad de operación autónoma de la máquina, una vez se eliminen las causas raíces de las paradas imprevistas por correctivos debe mejorar mucho más.

Al igual el **Eta  $\eta$  de Confiabilidad Planeada** (verde con triángulos en la gráfica), tiende a la suba y va bien.

Ilustración 65 - Etas  $\eta$  bajos y sus datos históricos con pronósticos futuros



El **Eta  $\eta$  de Mantenibilidad Planeada** (azul con X en la gráfica), tiende a la suba y va bien.

Por otro lado el **Eta  $\eta$  de Mantenibilidad No Planeada** (verde con triángulos en la gráfica), tiende a estabilizarse y va bien.

#### 4.4.5.3 Tiempos útiles entre mantenimientos

Uno de los principales parámetros para operación es saber de cuánto tiempo útil se dispone después de cada intervención, los resultados arrojan lo siguiente en este factor preponderante.

Se alcanza a visualizar que el **MTBM<sub>c</sub> tiempo útil entre trabajos correctivos** de mantenimientos (azul con rombos en la gráfica) es alto y tiende a la suba, lo que le hace mucho mejor, es indudable que este tiempo mejora en la medida que se afianza más el mantenimiento correctivo mediante la eliminación de la cusa raíz de los problemas correctivos de la máquina generadora.

Por otro lado se parecía que el **MTBM<sub>p</sub> tiempo útil entre trabajos planeados** de mantenimiento (granate con cuadros en la siguiente ilustración) también es bastante alto y el pronóstico anuncia subienda del mismo, lo que le hace mucho mejor, a su vez en la medida que se afiancen los trabajos predictivos de la máquina, lo más seguro es que suban estos valores de **MTBM<sub>p</sub>**.

Ilustración 66 - Tiempos útiles entre Mantenimientos Planeados o No

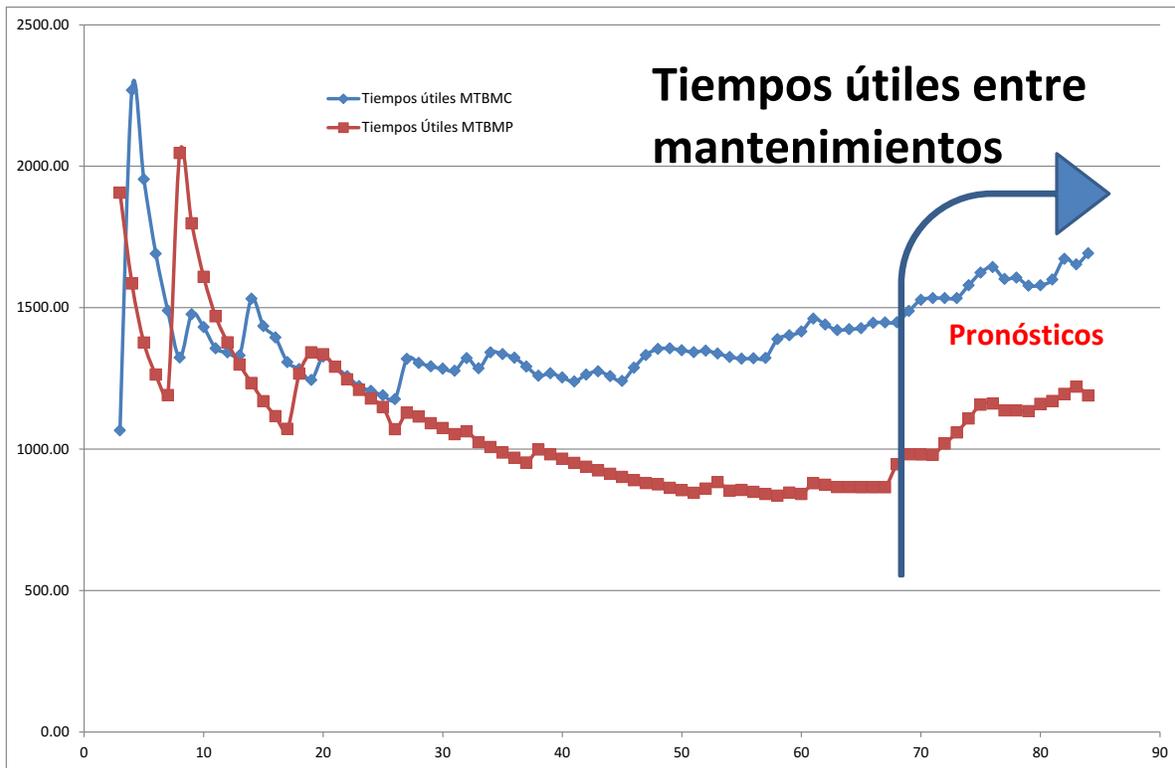
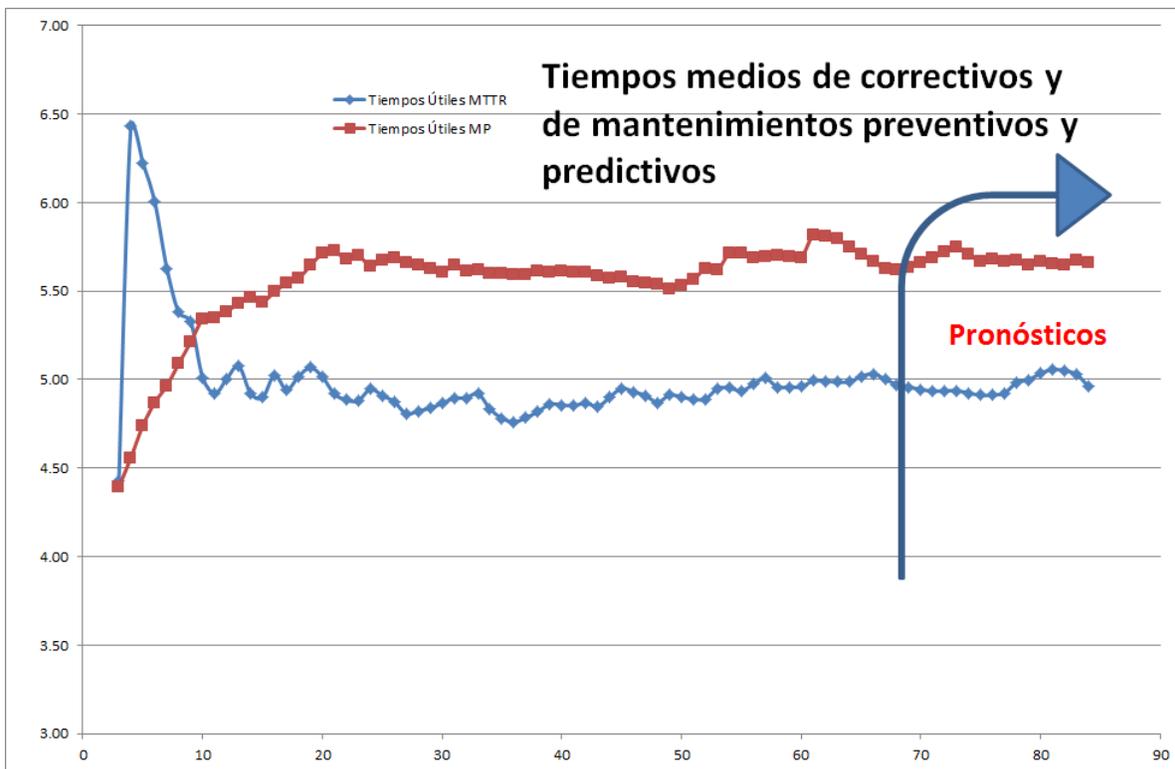


Ilustración 67 - Tiempos medios de correctivos y de preventivos predictivos



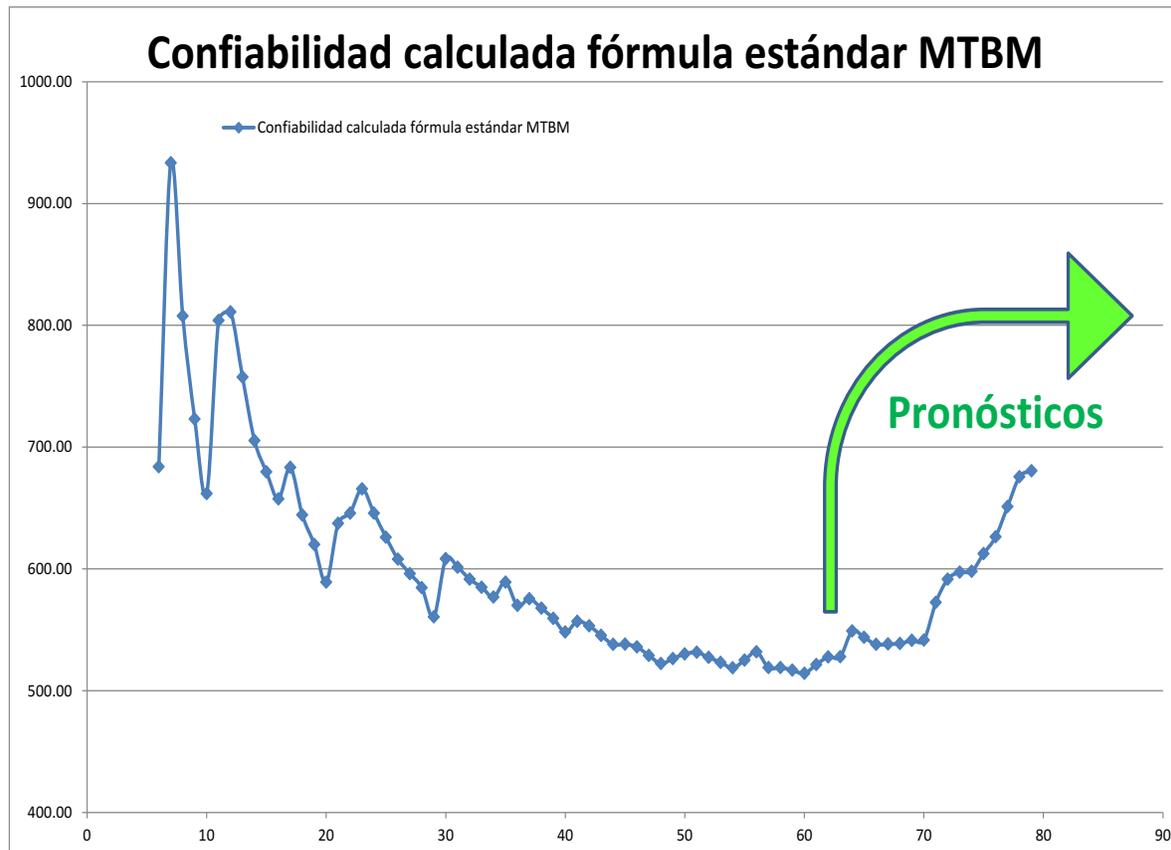
Se puede entender de la última ilustración que los **tiempos medios de trabajos planeados  $M_p$**  (color granate con cuadros en la ilustración anterior) en la máquina son estables y tienden ligeramente a la baja, el problema no es tanto el tiempo es la calidad y cantidad de los mismos, los cuales deben intensificarse en cantidad y en predictivos.

Por otro lado se visualiza que el **tiempo medio de trabajos de mantenimientos de acciones correctivas  $MTTR$**  (de color azul con rombos en la gráfica anterior) es estable y tiende ligeramente a la baja, se vuelve a insistir acá el problema no es tanto la cantidad del tiempo si no la inminente necesidad de realizar más análisis de causa raíz a los problemas correctivos de la máquina.

#### 4.4.5.4 Confiabilidad

Se observa un muy comportamiento de la confiabilidad en general donde después de una caída, se estabiliza y los pronósticos futuros tienden a la suba, de esta forma se garantiza debe mejorar sustancialmente una vez se arreglen los predictivos y correctivos que se han mencionado en el proyecto y en la siguiente página de mantenibilidad.

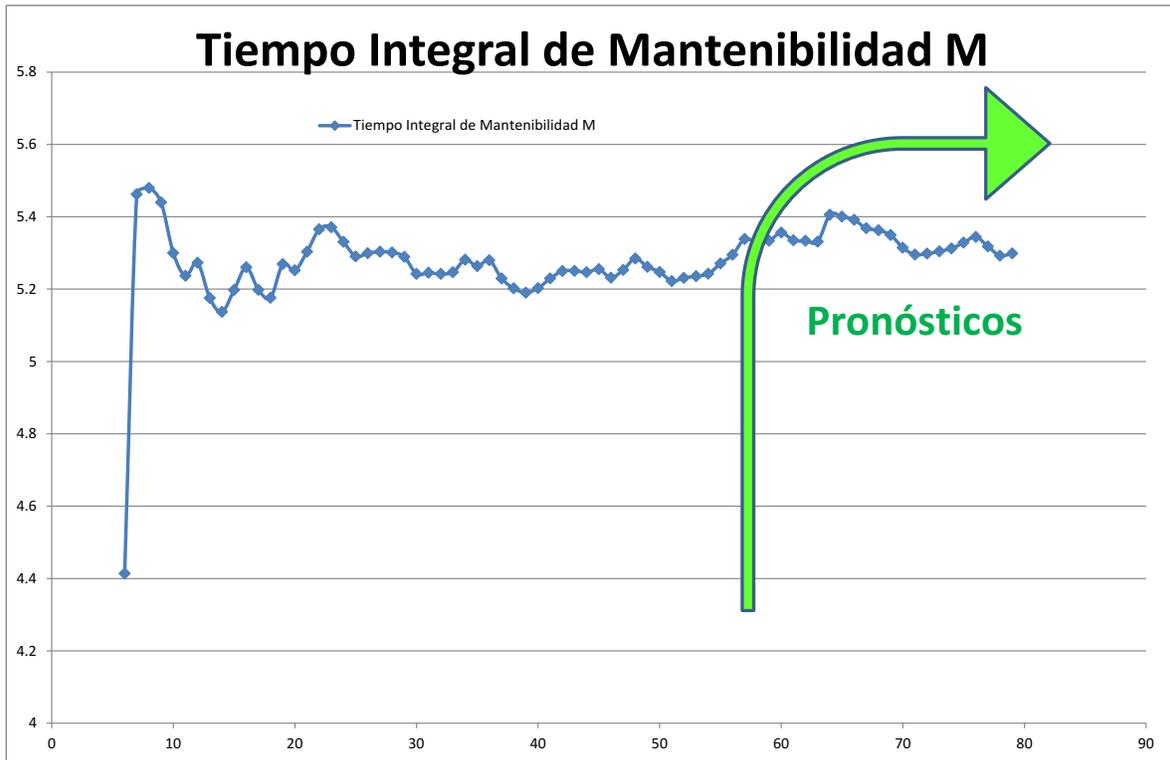
Ilustración 68 - Confiabilidad histórica y pronosticada de MTBM



#### 4.4.5.5 Mantenibilidad

En general la mantenibilidad general y específica se mantiene bien y tiende en el futuro a subir, lo cual manifiesta bien este indicador, pero se deben intensificar los predictivos y el análisis de causa raíz en los correctivos, para que mejore más (Newbrough, y otros, 1982) (Rey, 2003).

**Ilustración 69 - Mantenibilidad**



**4.4.5.6 Disponibilidad pronosticada e histórica**

Las empresas que invierten tiempos relevantes en actividades planeadas de mantenimiento (preventivo y/o predictivo), pueden utilizar la Disponibilidad Alcanzada, que sí tiene en cuenta las tareas proactivas de mantenimiento (preventivos y/o predictivos) que generan no disponibilidad:

Ecuación 8 - Disponibilidad Alcanzada -  $A_A$ <sup>12</sup>

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

Donde  $MTBM = Mean\ Time\ Between\ Maintenance$  o sea el Tiempo Medio entre Mantenimientos (tanto reparaciones correctivas o modificativas, como también mantenimientos planeados, sean de orden preventivo o

<sup>12</sup>  $A_A$  - Achieved Availability – Disponibilidad Alcanzada.

predictivo) y  $\bar{M} = \text{Mean Time active Maintenance} = \text{MTM} = \text{Mean Time Maintenance} = \text{Tiempo Medio de Mantenimiento (correctivo y planeado)}$ .

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).

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

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

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

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

Donde,

$MTTR = \text{Mean Time To Repair}$  = 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.

$M_p$  = 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 mantenimiento correctivo y planeados y 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) (Vallejo, y otros, 2004), por demoras.

#### 4.4.5.7 Disponibilidad Alcanzada - $D_A$

$A_A$ , es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales y en un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo, pero involucra en sus cálculos, los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento, aparte de las acciones correctivas que ya trae desde la Inherente o Intrínseca (Mora Gutierrez, 2007).

Cuando se presente el caso especial de que durante la realización de una tarea proactiva o planeada (preventiva o predictiva) aparezca un daño que implique una reparación (o viceversa), se debe tomar la corrección (o modificación) como un evento independiente y considerarse los dos tiempos en forma aislada (Díaz, 1992), debido a que la reparación requiere de horas-hombre adicionales a las el mantenimiento preventivo, se puede manejar como un tiempo correctivo entre dos preventivos o simplemente tomar un preventivo por el tiempo invertido y otro correctivo o modificativo por la acción no planeada (o viceversa si se presenta o superpone un planeado, durante la ejecución de un correctivo o modificativo), pero en todo caso asumir los tiempos planeados y no planeados, en forma separada contabilizándolos por aparte, si se presentan en el mismo instante de tiempo.

**Ilustración 70 - Disponibilidad histórica y futura de la unidad de generación SG2401**



Muy a pesar de que se deben hacer mejoras suficientes en los predictivos, aumentándolos en cantidad y calidad, al igual en el caso de los correctivos se debe proceder a realizar análisis de causa raíz y por último en la instancia de que la misma unidad planeadora y de ejecución realice respectivamente los correctivos y los predictivos de forma armónica, sorprendentemente la unidad de generación va muy bien en disponibilidad y tiende a mejorar sustancialmente en los pronósticos calculados en incorporados (Benítez, 2007) (ESReDa-Industrial, 1998) .

En general se mantiene dentro de valores sustancialmente altos.

#### **4.4.6 Conclusiones del capítulo cuatro**

Las principales conclusiones se resumen a intensificar el predictivo y a mejorar y realizar la constitución de un Grupo formal CazaFallas que analice la causa raíz de los problemas que conducen a correctivos (AMEF@, 2005), con el fin de eliminarlos y poder corregirlos de forma definitiva, por otro lado es indispensable que el mismo grupo directivo que ejecuta los correctivo planifique y realice los predictivos preventivos de forma armónica con los no planeados, para que mejoren entre ellos y cada uno de ellos (Evans, 1975) (De Bono, 2003) (Benítez, 2008).

## 5 CONCLUSIONES

### 5.1 OBJETIVO

Presentar los principales resultados del proyecto en cuanto a acciones y estrategias de mantenimiento a realizar y observaciones a tener en cuenta, para la optimización del mantenimiento.

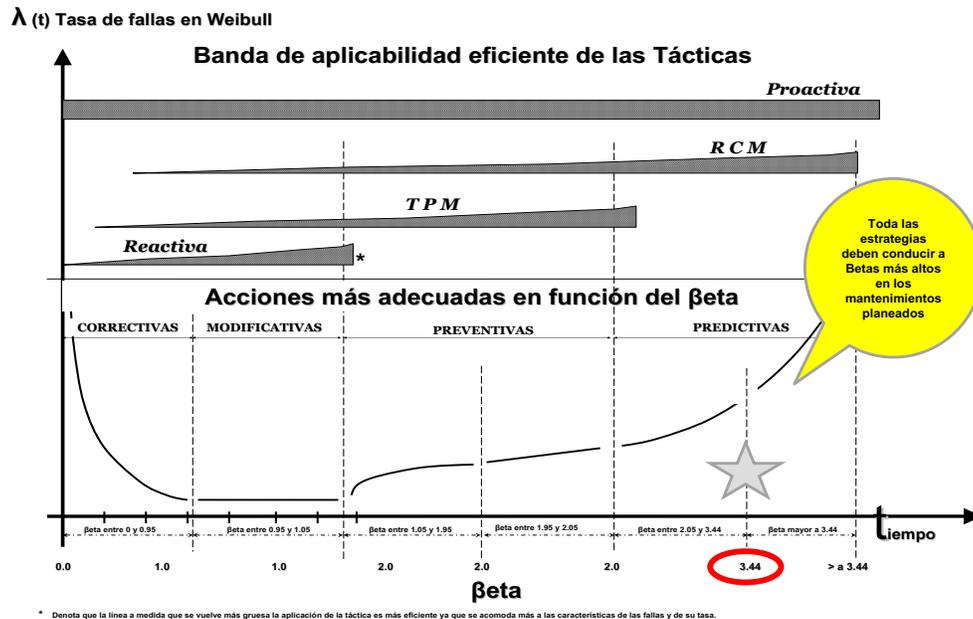
### 5.2 CONCLUSIONES

La primera conclusión y más importante es que una misma división de la compañía realice el manejo integral de correctivos, preventivos y predictivos, de tal forma que se armonicen dichos trabajos, ya unos enluten en los otros, es decir de esta forma se integran mejor los recursos y se puede realizar una labor más trazable en el proyecto de sostener el mantenimiento de la unidad generadora. Otra de las conclusiones relevantes del proyecto es la inminente necesidad de crear un Grupo que se dedique a estudiar los análisis de casusa raíz en los problemas correctivos con el fin de que se eliminen o se controlen definitivamente, de tal forma que no vuelvan a aparecer.

Se requiere de forma urgente que se cambien o se transformen los mantenimientos preventivos en predictivos, todo con el ánimo se subir los valores del Berta a valores siquiera superiores de 3.44, con el fin de poder consolidar la Ingeniería de Fábricas con tácticas robustas como RCM y/o TPM.

Por último y con el ánimo de consolidar los valores de los Betas hacia valores más altos se deben intensificar en cantidad y calidad las tareas predictivas, de tal forma que se garantice la máxima disponibilidad de herramientas avanzadas en este tópico, lo que permitiría mejorar todos los parámetros como Betas,  $MTBM_p$ ,  $M_p$  y demás, requeridos para optimizar el mantenimiento.

**Ilustración 71 - Conclusiones impactando Curva de Davies y Betas de 3.44 o más.**



En todo caso las estrategias conducen a mejorar la mantenibilidad y por ende la confiabilidad y la disponibilidad.



## BIBLIOGRAFIA

**AMEF@. 2005.** Análisis de Fallas. *GestioPolis*. [En línea] Libre, 2005. <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/amef.htm>.

**Ávila, Rubén - Espinosa. 1992.** *Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas*. Primera reimpresión. Cd. de México : Limusa Grupo Noriega Editores PRIMERA REIMPRESIÓN, 1992. ISBN 968-18-2528-4.

**Bajaria, H. J. 1983.** *Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design of Heavy Duty Vehicles (L. Ray Buckendale lecture) - Society of Automotives Engineers, Inc.* Palo Alto : Warrendale, 1983. ISBN: 0898833043.

**Ballou, Ronald H. 2003.** *Business Logistics - Ssupply Chain Management*. Quinta. s.l. : Prentice Hall, 2003. Fecha agosto 21 de 2003. ISBN 978-0130661845.

**Benítez, Luis Eduardo - Hernández. 2008.** Lectura de revisión de este libro Mantenimiento Industrial Efectivo. Bogotá, Cundinamarca, Colombia : Universidad nacional de Colombia, 23 de Diciembre de 2008. El Dr. Luis Eduardo Benítez H., es en la actualidad el decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Email lbenitez@unal.edu.co.

—. **2007.** Opiniones y conceptos especiales sobre mantenimiento avanzado. [entrev.] Autor Luis Alberto Mora Gutiérrez. *IPEMAN - Perú - Director del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad nacional de Colombia, en Bogotá*. Entrevista en Congreso de Mantenimiento en Lima Perú - IPEMAN, Lima : Personal - IPEMAN, 20 de Julio de 2007. Email lbenitez@unal.edu.co.

**Bertalanffy1, Ludwing von. 1994.** *Teoría General de los Sistemas - Fondo de Cultura Económica Ltda.* Bogotá : Fondo de Cultura Económica, 1994. pág. 311. ISBN: 950-557-096-1.

**Blanchard, Benjamín S, Verma, Dinesh y Peterson, Elmer. 1994.** *Series Nuevas dimensiones en Ingeniería - Maintainability: 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.

**Bloom, Benjamin. 1971.** *Taxonomía de los objetivos de la educación*. [trad.] Marcelo Perez Rivas. 1971.

**Commons Wikipedia.** Wikipedia. [En línea] [Citado el: 1 de 10 de 2015.] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weibull\\_PDF.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weibull_PDF.svg).

**Company, Ramón - Pascual. 1990.** *Previsión tecnológica de la demanda*. Barcelona : Colección PRODUCTICA - Boixerau Marcombo S.A. Editores, 1990. pág. 150.

**De Bono, Edward. 2003.** *Seis sombreros para pensar*. Buenos Aires : Ediciones Granica S.A., 2003. pág. 173. ISBN: 950-641-061-5.

**2015.** deconceptos. [En línea] 30 de 07 de 2015. [Citado el: 30 de 07 de 2015.] <http://deconceptos.com/tecnologia/herramienta>.

**Díaz, Matalobos - Ángel. 1992.** *Confiabilidad en mantenimiento*. Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.

**ESReDa-Industrial. 1998.** *Industrial Application of Structural Reliability Theory*. [ed.] P. Thoft-Christensen - Det Norske Veritas DNV. ESReDa - European Safety, reliability and Data. Hovik : ESReDa Working Group Report, 1998. pág. 283. Vol. ESReDa Safety Series No. 2. ISBN: 82-515-0233-0.

**Evans, D. W. 1975.** *Terotechnology - How can it work*. 1975.

**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.

**Hecht, Myron y Jady, Handal. 2001.** *An Analytical Model for Predicting The Impact of Maintenance Resource Allocation on National Airspace System Availability*. Beverly Hills : s.n., 2001. págs. 46 - 52.

**<http://www.mailxmail.com>. 2016.** Mailxmail. [En línea] 2016. [Citado el: 13 de Enero de 2016.] <http://www.mailxmail.com/curso-turbinas-vapor-sellos-carbon/sello-seco-turbina-vapor>.

**Idhammar@, Torbjorn. 1999.** - A New Preventive Maintenance Implementation and Training Concept -. [En línea] Libre, 1999. [Citado el: 20 de Octubre de 2000.] [http://maintenanceworld.com/Articles/reliability\\_jump\\_start.htm](http://maintenanceworld.com/Articles/reliability_jump_start.htm).

*Improving Equipment Reliability at Plant Efficiency through PM Optimisation at Kewaunee Nuclear power Plant.* **Johnson, L. P. 1995.** [ed.] The Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP) -. Chicago - Illinois - Estados Unidos de América : s.n., Octubre de 1995, SMRP 3rd Annual Conference.

*Inventarios Cero - MTS MTO MTF.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2013.** Lima - Perú : IPEMAN, 2013. Congreso XII Internacional Ingeniería de Mantenimiento IPEMAN. Lima - Perú - Octubre 17 al 19 -

**iRCM Software, iRCM. 2016.** Software iRCM de RCM. 30 de 07 de 2016.

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

**Knezevic, Otro - Lorenz. 2010.** *Weibull avanzado*. Varsovia : s.n., 2010.

**Monografías.com. 2016.** [www.monografias.com](http://www.monografias.com). [En línea] 2016. [Citado el: 08 de 03 de 2016.] <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores-sincronos2.shtml>.

**Mora Gutierrez, Luis Alberto. 2007.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial: Enfoque sistémico kantiano*. 2007.

**Mora, Alberto - Gutiérrez. 2016.** *Inventarios Cero*. Bogotá : Alfa Omega Editores Internacionales, 2016. ISBN 978-958-778-069-7.

—. **2009.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. s.l. : Editorial COLDI Limitada, 2009.

—. **2012.** *Pronósticos de Demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos*. [ed.] Alberto Mora Gutiérrez. Tercera. Medellín : AMG, 2012. pág. 306. Vol. Uno. ISBN 978-958-44-0233-2.

- . **2015.** *Stock Cero*. Primera. Medellín : CFIMPRO SAS, 2015. pág. 250. ISBN 978-958-583-61-0-5.
- Navarro Elola, Luis, Pastor Tejedor, Ana Clara y Mugaburu Lacabrera, Jaime. 1997.** *Gestión integral de mantenimiento*. 1997.
- Newbrough, E.T. y Ramond, Ramond - Personal de. 1982.** *Administración del Mantenimiento Industrial*. Sexta. Mexico Df : Diana, 1982. pág. 414. Título en inglés Effective Maintenance Management. ISBN 968-13-0666-x.
- NS@. 2005.** Nist/Sematech - E-Handbook os Statistical Methods. [En línea] September de 2005. [Citado el: 29 de Abril de 2003.] [Http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/).
- Offshore (and Onshore) equipment REliability DAtabase. 2002.** *4th Handbook issued*. 2002.
- Prieto, Laura Patricia Pinto. 2015.** <http://slideplayer.es/>. [En línea] 30 de 08 de 2015. [Citado el: 25 de 08 de 2015.] <http://slideplayer.es/slide/141086/>.
- Pronósticos de demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos. Mora, Alberto - Gutiérrez. 2007c.* [ed.] Ultragráficas Ediciones. Medellín : AMG, Diciembre de 2007c. ISBN: 978-958-44-0233-2 .
- RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques. Geraghty, Tony. 1996.* USA : s.n., Junio de 1996, Journal, Vol. 63. ISSN 0141-8602.
- Rey, Sacristán Francisco. 2003.** *TPM - Mantenimiento Total de la Producción*. [ed.] Fundación Confemetal. Madrid : Fundación Confemetal, 2003. pág. 311. 9788495428493.
- Santesmases, Miguel - Mestre. 2009.** *DYANE V- Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados*. [ed.] Level S.A. Universidad Autónoma de Manizales. Madrid : Ediciones Pirámide, 2009. pág. 554. El programa trae CD con programa, libro original comprado, por Autor Alberto Mora G.. ISBN 978-84-368-2296-0.
- Unidad de Planeación Minero Energética. 2011.** *INFORME SECTORIAL SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LA*. 2011.
- Universidad Caese. 2016.** Wikispaces classroom. [En línea] 23 de 09 de 2016. [Citado el: 11 de 09 de 2015.] <http://so2-caece.wikispaces.com/M%C3%B3dulo+8.+Tolerancia+a+Fallos+y+Seguridad..>
- Vallejo, Jaramillo Juan Santiago y Mora Gutiérrez, Luis Alberto (Director). 2004.** *Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD - Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica*. Medellín : Universidad EAFIT, 2004.
- VANGUARDIA LIBERAL. 2015.** Utilidades de refinería de Barranca fueron de \$ 819.000 millones. 19 de 8 de 2015.
- Watt@, James. 2008.** James Watt - Wikipedia. *Wikipedia Commons*. [En línea] Citado por Bautista, 2008. [Citado el: 1 de Octubre de 2008.] [http://es.wikipedia.org/wiki/James\\_Watt](http://es.wikipedia.org/wiki/James_Watt).
- Weiss, W. H. 1998 .** *Make computerized maintenance management systems pay off – Journal Review Hydrocarbon processing*. USA : s.n., 1998 .
- White, E. N. 1975.** *Terotechnology - Physical Asset Management*. [ed.] Manchester. Inglaterra : s.n., 1975. Libro en Biblioteca de la Universidad EAFIT.

**Whorf, B. L. 1952.** *Collected Papers on Metalinguistic – Foreign Service Institute – Department of State.* Washington – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1952.

—. **1953.** *Language, Thought and reality: selected writings of B.L. Whorf – John Carroll, Ed. John Wiley & Sons.* Nueva York – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1953.

**Williamson, Robert M. 2008.** Focus On Results and Change the Culture Along the Way. *Maintenance World.* [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] President of Strategic Work Systems - Email robertmw2@cs.com. <http://www.maintenanceworld.com/Articles/williamsonr/focuson.html>.

**Wilson, Paul F, Dell, Larry D y Anderson, Gaylor F. 1993.** *Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management - American Society for Quality - AAQ.* Milwaukee : s.n., 1993. pág. 216. ISBN: 0-87389-163-5, ISBN-13: 978-0873891639 .

**Wireman, T. 1994.** *Computerized Maintenance Management System.* s.l. : Editorial Industrial Press, 1994. ISBN: 0831130547.

**Wireman, Terry. 2004.** *Total Preventive Maintenance.* Nueva York : s.n., 2004. ISBN: 0831131721.

—. **2001.** *Word class maintenance management.* País Estados Unidos de América : Industrial Press, Inc., 2001. ISBN 0-8311-3025-3.

**Woodcroft, Bennet. 1851.** *The Pneumatics of Hero of Alexandria.* . Londres : Taylor Walton and Maberly, 1851. Citado por Bautista.

**Wrennall, William y Quaterman, Lee. 1994.** - *Handbook of commercial and industrial facilities management.* New York : Editorial Mac Graw-Hill, 1994. ISBN: 0070719357.

**Wright@. 2008.** Ciencia y Cultura. *El primer vuelo de los hermanos Wright.* [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 16 de Octubre de 2008.] <http://cultura.terra.es/cac/articulo/html/cac2537.htm>.

**Yamashina, Hajime. 1995.** *Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance TPM - Journal of Quality in Maintenance Engineering.* West Yorkshire : s.n., 1995. Vol. Volumen 1. ISSN: 1355-2511.