

OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y DE NO FUNCIONALIDAD EN  
BOMBA ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERA – **BAAC**, DE UN INGENIO  
CON ANÁLISIS RAM<sup>1</sup>

HÉCTOR WILLIAM LOAIZA

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN - COLOMBIA  
2014

---

<sup>1</sup> RAM - *Reliability Availabilty Maintainability* – En castellano respectivamente Confiabilidad Disponibilidad Mantenibilidad



OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y DE NO FUNCIONALIDAD EN  
BOMBA ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERA – **BAAC**, DE UN INGENIO  
CON ANÁLISIS RAM

HÉCTOR WILLIAM LOAIZA

TRABAJO DE GRADO MAESTRÍA EN INGENIERÍA

ASESOR

PhD. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN - COLOMBIA  
2014

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	6
ILUSTRACIONES .....	9
ECUACIONES .....	11
0 PRÓLOGO .....	13
0.1 INTRODUCCIÓN .....	13
0.2 ANTECEDENTES .....	13
0.3 JUSTIFICACIÓN .....	14
0.4 OBJETIVOS .....	14
0.4.1 General .....	15
0.4.2 Específicos .....	15
0.4.2.1 Objetivo 1 - Bases RAM .....	15
0.4.2.2 Objetivo 2 - Bomba BAAC .....	15
0.4.2.3 Objetivo 3 - Tabulación CMD .....	15
0.4.2.4 Objetivo 4 - Optimización de tiempos .....	15
0.4.2.5 Objetivo 5 - Conclusiones .....	15
1 BASES RAM .....	17
1.1 OBJETIVO 1 .....	17
1.2 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 1 .....	17
1.3 DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 1 .....	17
1.3.1 Indicadores .....	17
1.3.1.1 Indicadores de mantenimiento .....	17
1.3.2 Confiabilidad .....	18
1.3.3 Mantenibilidad .....	18
1.3.4 Disponibilidad .....	19
1.3.4.1 Disponibilidad genérica – $A_G$ .....	19
1.3.4.2 Disponibilidad inherente o intrínseca - $A_I$ .....	20
1.3.4.3 Disponibilidad alcanzada - $A_A$ .....	20
1.3.4.4 Disponibilidad operacional - $A_O$ .....	21
1.3.4.5 Disponibilidad operacional generalizada - $A_{GO}$ .....	22
1.3.5 Distribuciones y parámetros CMD .....	22
1.3.5.1 Distribución Weibull. ....	22
1.3.5.2 Distribución Normal. ....	23
1.3.5.3 Distribución LogNormal. ....	23
1.3.5.4 Distribución exponencial. ....	24
1.3.5.5 Distribución Gamma. ....	24
1.3.5.6 Parámetros. ....	24
1.3.6 Pronósticos de indicadores CMD .....	26
1.4 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1 .....	29
2 BOMBA BAAC .....	31
2.1 OBJETIVO 2 .....	31
2.2 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 2 .....	31
2.3 DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 2 .....	31

2.3.1	Volumen de control.....	32
2.3.1.1	Fronteras.....	32
2.3.2	Funciones de la BAAC.....	33
2.3.2.1	Primaria.....	34
	Suministrar a una caldera acuotubular 120 m <sup>3</sup> /h de agua limpia (peso específico de 0.945 kg <sub>f</sub> /dm <sup>3</sup> a 120 °C) a una presión de 725 psi.....	34
2.3.2.2	Secundarias.....	34
	La BAAC debe cumplir con la función primaria y durante la operación garantizar la conservación de las siguientes funciones secundarias:.....	34
2.3.3	Características técnicas.....	34
2.3.4	Características mecánicas.....	35
2.3.4.1	Carcasa.....	36
2.3.4.1.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	36
2.3.4.2	Impulsores.....	37
2.3.4.2.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	37
2.3.4.3	Anillos de desgaste.....	37
2.3.4.3.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	38
2.3.4.4	Porta rodamientos.....	38
2.3.4.4.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	38
2.3.4.5	Apoyo central.....	38
2.3.4.5.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	39
2.3.4.6	Eje.....	39
2.3.4.6.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	39
2.3.4.7	Sello mecánico.....	39
2.3.4.7.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	39
2.3.4.8	Acople.....	40
2.3.4.8.1	Influencia en el mantenimiento y operación de este componente.....	40
2.3.4.9	Otros componentes mecánicos menores.....	40
2.3.5	Características hidráulicas.....	40
2.3.6	Características operacionales.....	42
2.4	CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 2.....	45
3	TABULACIÓN CMD.....	47
3.1	OBJETIVO 3.....	47
3.2	INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 3.....	47
3.3	DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 3.....	47
3.3.1	Obtención y preparación de datos.....	47
3.3.2	Definición de la disponibilidad a utilizar.....	51
3.4	CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 3.....	53
4	OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS.....	55
4.1	OBJETIVO 4.....	55
4.2	INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 4.....	55
4.3	DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 4.....	55
4.3.1.1	Validación de datos de entrada.....	55
4.3.1.1.1	Mapas de datos CMD de entrada.....	56
4.3.1.2	Cálculos CMD con diferentes programas informáticos.....	68

4.3.1.2.1	Cálculo Confiabilidad No Planeada MTBMC.....	68
4.3.1.2.2	Cálculo Mantenibilidad No Planeada MTTR.....	71
4.3.1.2.3	Cálculo Confiabilidad Planeada MTBMP .....	73
4.3.1.2.4	Cálculo Mantenibilidad Planeada MP.....	75
4.3.2	Análisis estratégico a varios meses vista.....	78
4.3.2.1	Estudio del Factor de Forma $\beta$ .....	78
4.3.2.2	Estudio del Factor de Escala $\eta$ .....	84
4.3.2.3	Estudio de los Tiempos Útiles MTBM <sub>C</sub> MTBM <sub>P</sub> y MTBM.....	86
4.4	CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 4 .....	90
5	CONCLUSIONES .....	91
5.1	OBJETIVO 5.....	91
5.1.1	Conceptuales de la revisión teórica aplicada .....	91
5.1.2	Derivadas del análisis numérico futurístico y estadístico CMD .....	92
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	GLOSARIO .....	99

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Secuencia lógica de objetivos específicos.....	16
Ilustración 2 - Estándares de tiempos CMD .....	23
Ilustración 3 - Parámetro de forma beta de Weibull. ....	25
Ilustración 4 - Comportamiento de las funciones de algunas distribuciones .....	26
Ilustración 5 - Modelo para la predicción CMD.....	27
Ilustración 6 - Estación de bombeo agua de alimentación a caldera .....	31
Ilustración 7 - Diagrama de selección de frontera (volumen de control) de la BAAC. ....	33
Ilustración 8 - Elementos que componen la BAAC.....	35
Ilustración 9 - Fotografía de la parte inferior de la carcasa .....	36
Ilustración 10 - Disposición de impulsores espalda – espalda de uso en la BAAC .....	37
Ilustración 11 - Registro fotográfico de porta rodamiento lado acople en BACC.....	38
Ilustración 12 - Curva característica de la BAAC .....	41
Ilustración 13 - Esquema de instalación con succión positiva BAAC .....	42
Ilustración 14 - Pantalla disponible para operación y monitoreo parámetros .....	43
Ilustración 15 - Valores presión, flujo y velocidad BAAC en pantalla operación.....	44
Ilustración 16 - Valores nivel y apertura válvula asociados operación BAAC.....	44
Ilustración 17 - Datos de tiempos útiles y tiempos de mantenimientos de la BAAC.....	48
Ilustración 18 - Datos para mantenimiento no planeado y planeado (promedio por mes). ....	51
Ilustración 19 - Mapa General.....	56
Ilustración 20 - Mapa No Planeado de trabajos correctivos .....	57
Ilustración 21 - Mapa Planeado de mantenimientos preventivos y/o predictivos .....	58
Ilustración 22 - Datos mensuales de los valores claves de C y M.....	59
Ilustración 23 - Pruebas del ACF para las cuatro variables de C y M. ....	60
Ilustración 24 - Desviación estándar, promedios y variabilidad de variables C M .....	61
Ilustración 25 - Cálculos de Bondad de Ajuste, Eta $\eta$ y beta Confiabilidad No Planeada .....	63
Ilustración 26 - Cálculos Bondad de Ajuste, Eta $\eta$ y beta Mantenibilidad Planeada .....	63
Ilustración 27 - Cálculos de parámetros Bondad de Ajuste, Eta $\eta$ y beta Confiabilidad Planeada..	64
Ilustración 28 - Cálculos de parámetros Bondad de Ajuste, Eta $\eta$ y beta Mantenibilidad Planeada	64
Ilustración 29 - Metodología Universal de Pronósticos .....	65
Ilustración 30 - Metodología AR.I.MA. - Box & Jenkins.....	66
Ilustración 31 - Históricos más Pronósticos de los parámetros beta y $\eta$ Eta de las 4 variables .....	67
Ilustración 32 - Fórmula de distribución Weibull.....	68
Ilustración 33 - MTBM <sub>C</sub> con Weibull y Programa Excel BaseCMD.....	68
Ilustración 34 - MTBM <sub>C</sub> con Reliasoft Versión 6 + + y Función Weibull .....	70
Ilustración 35 - MTBM <sub>C</sub> con Statgraphics y Función Weibull.....	70
Ilustración 36 - MTBM <sub>C</sub> con Weibull y Programa Excel BaseCMD.....	71
Ilustración 37 - MTTR con Reliasoft Versión 6 + + y Función Weibull.....	72
Ilustración 38 - MTTR con Statgraphics y Función Weibull.....	72
Ilustración 39 - MTBM <sub>P</sub> con Weibull y Programa Excel BaseCMD.....	73
Ilustración 40 - MTBM <sub>P</sub> con Reliasoft Versión 6 + + y Función Weibull.....	73
Ilustración 41 - MTBM <sub>P</sub> con Statgraphics y Función Weibull.....	74
Ilustración 42 - M <sub>P</sub> con Weibull y Programa Excel BaseCMD .....	75
Ilustración 43 - M <sub>P</sub> con Reliasoft Versión 6 + + y Función Weibull .....	76
Ilustración 44 - M <sub>P</sub> con Statgraphics y Función Weibull .....	76
Ilustración 45 - Validación y comprobación de certeza en históricos y pronósticos CMD .....	77
Ilustración 46 - betas históricos y pronosticados.....	78
Ilustración 47 - Valores Beta Turbina ISAGEN.....	82
Ilustración 48 - betas Confiabilidad BAAC .....	83
Ilustración 49 - $\eta$ Etas históricos y pronosticados .....	84
Ilustración 50 - Análisis de sensibilidad Eta frente Intercepto, Beta, Tiempos de falla o útiles.....	85

Ilustración 51 - Tiempos útiles y pronosticados.....86  
Ilustración 52 - Disponibilidad general .....88

## *ECUACIONES*

Ecuación 1 - Relación de disponibilidad.....	19
Ecuación 2 - Disponibilidad genérica sin mantenimientos preventivos .....	20
Ecuación 3 - Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos .....	20
Ecuación 4 - Disponibilidad inherente o intrínseca.....	20
Ecuación 5 - Disponibilidad alcanzada.....	20
Ecuación 6 - Disponibilidad operacional.....	21
Ecuación 7 - Disponibilidad operacional generalizada .....	22



## 0 PRÓLOGO

### 0.1 INTRODUCCIÓN

La principal función de mantenimiento es garantizar la funcionalidad de los equipos, cuando se requieran usar por parte de operación, además de procurar el estado de las máquinas a través del tiempo, para este objeto el área de estudio de mantenimiento evoluciona constantemente, con un gran aporte de herramientas para analizar las situaciones que afectan la funcionalidad de un equipo.

Una de las herramientas son los índices CMD<sup>2</sup> (Mora, 2009).

Los índices CMD sirven a las plantas industriales como herramienta para estimar los parámetros de desempeño (en cuanto a tiempos útiles y tiempos de falla presentes y futuros) de los equipos desde el enfoque de mantenimiento y operación.

La importancia de los índices radica realizar análisis del comportamiento de los parámetros y establecer estrategias para mejorar o mantener el nivel de funcionamiento de los equipos.

La estructura del proyecto está conformada por dos (2) partes, la teórica-conceptual y la práctica-aplicada. Los capítulos 1 y 2 desarrollan la primera parte, los capítulos 3, 4 y 5 el complemento del proyecto.

El capítulo 1 describe los fundamentos teóricos de los índices CMD requeridos para el desarrollo del proyecto;

El capítulo 2 define la información correspondiente a la máquina objeto de estudio.

El capítulo 3 establece los criterios de confiabilidad y mantenibilidad para la valoración de los índices CMD de la máquina objeto de estudio, el capítulo 4 estructura la metodología de uso para la predicción del comportamiento futuro de la máquina.

El último capítulo presenta el plan propuesto para mejorar o mantener la operación y mantenimiento de la máquina.

### 0.2 ANTECEDENTES

El sector azucarero es una industria dinámica sometida a constantes cambios, en los sistemas, procesos, equipos, leyes y mercado que enmarcan el negocio, los

---

<sup>2</sup> CMD - Confiabilidad - Mantenibilidad - Disponibilidad.

últimos tres (3) años la importación de azúcar a Colombia aumenta de tal forma que afecta la economía de la mayoría de los ingenios azucareros del país.

Para continuar con vigencia en el mercado el sector azucarero requiere mejorar cada proceso, siendo mantenimiento una de las áreas con altas oportunidades de mejora y que afecta directamente las ganancias y pérdidas de las compañías.

Los ingenios azucareros tienen un proceso de cogeneración de energía térmica y eléctrica a partir del bagazo<sup>3</sup>.

El proceso de cogeneración requiere de una caldera para generar vapor, la energía (eléctrica o térmica) sirve a todos los equipos y sistemas utilizados para la transformación de caña en azúcar, de allí la importancia de la caldera.

La caldera para operar necesita de una bomba que inyecte el agua a alta presión, este equipo de bombeo es de funcionamiento continuo veinte y cuatro (24) horas trescientos cuarenta y uno (341) días al año, por lo cual los índices CMD de este equipo son objeto de estudio.

La bomba de inyección de agua a la caldera afecta la operación de toda una planta azucarera, el establecer las estrategias, tácticas y acciones de mantenimiento correctas permite mejorar la disponibilidad de la máquina y reducir los tiempos de no operación de la planta.

### 0.3 JUSTIFICACIÓN

La alta competitividad a nivel nacional e internacional del sector azucarero genera metodología de cambio y mejora en las industrias de producción de azúcar, y así evitar el bajo desempeño y baja rentabilidad de las compañías.

Un ingenio no competitivo realiza desvinculación de colaboradores directos e indirectos, lo cual ocasiona mayor tasa de desempleo en la región y menor compromiso social de la empresa; otra consecuencia de no competitividad es no cumplir con los objetivos de producción, de allí aparece el desbalance económico.

La correcta definición de las estrategias, tácticas y actividades de mantenimiento de la bomba de inyección de agua a la caldera produce aumento en la disponibilidad de la planta y la competitividad de la empresa y así evitar afectaciones negativas en los aspectos social y económico.

### 0.4 OBJETIVOS

El desarrollo del proyecto tiende al cumplimiento de cada uno de los objetivos.

---

<sup>3</sup> Material fibroso residuo de la caña en el proceso de molienda.

#### 0.4.1 General

Construir la curvas de tiempos de operación y de no funcionalidad de la Bomba de Alimentación de Agua a Calderas - BAAC<sup>4</sup>, en un ingenio azucarero colombiano para optimizar comportamiento futuro de los tiempos útiles y de no confiabilidad, mediante un plan de estrategias, tácticas y acciones de mantenimiento.

#### 0.4.2 Específicos

A continuación se esbozan las principales temáticas, en su orden, que contempla el proyecto de optimización de los tiempos de operación y de no funcionalidad de la BAAC, para alcanzar integral y específicamente el objetivo general.

##### 0.4.2.1 Objetivo 1 - Bases RAM

Fundamentar los conceptos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para revisar el comportamiento de la BAAC de un ingenio azucarero. Nivel 1 – Conocer.

##### 0.4.2.2 Objetivo 2 - Bomba BAAC

Describir las características técnicas, mecánicas, hidráulicas y de operación, relevantes de la BAAC a la luz del estudio CMD. Nivel 2 – Comprender.

##### 0.4.2.3 Objetivo 3 - Tabulación CMD

Preparar la información pertinente CMD de la BAAC, de forma estándar y adecuada, para evaluar los criterios de confiabilidad y mantenibilidad de la BAAC. Nivel 2 – Comprender.

##### 0.4.2.4 Objetivo 4 - Optimización de tiempos

Establecer las actividades relevantes y su orden jerárquico, para mejorar los tiempos de operación y de no funcionalidad en la BAAC, con el fin de efectivizar el CMD global e individual de Confiabilidad, de Mantenibilidad y de Disponibilidad, del equipo; a partir de las predicciones y análisis estadístico de los parámetros, algoritmos y curvas CMD de la BAC, con el fin de optimizar sus tiempos útiles y de no funcionalidad – Nivel 4 – Analizar.

##### 0.4.2.5 Objetivo 5 - Conclusiones

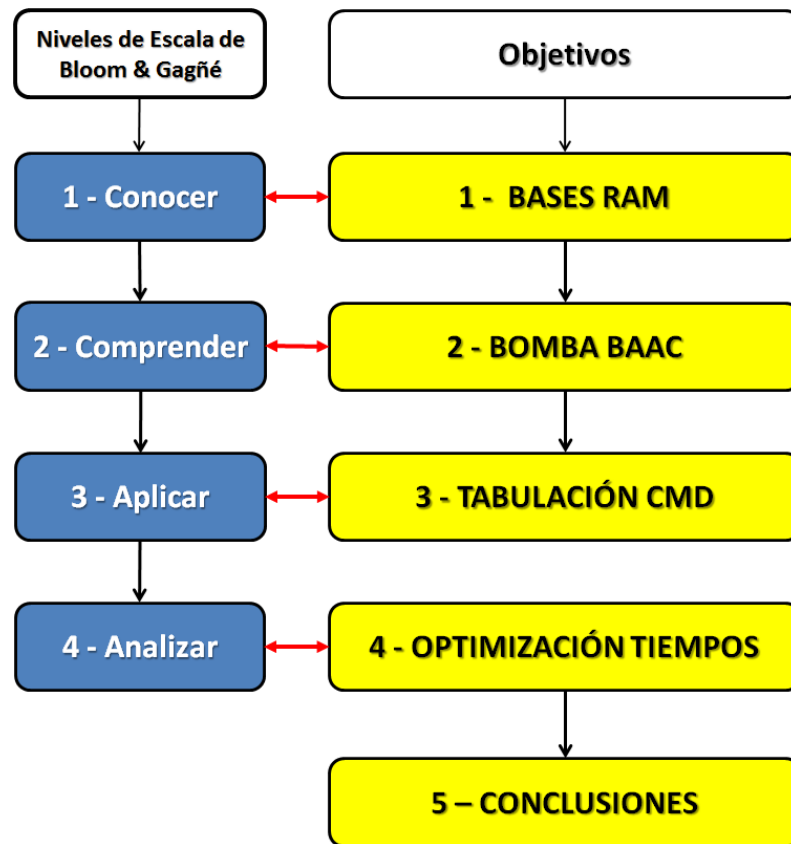
Presentar las principales estrategias y acciones de mantenimiento y operación de la BAAC.

Los diferentes objetivos específicos se logran de manera secuencial, en orden lineal de a uno, así:

---

<sup>4</sup> BAAC- Bomba de Alimentación de Agua a la Caldera.

Ilustración 1 - Secuencia lógica de objetivos específicos



## 1 BASES RAM

### 1.1 OBJETIVO 1

Fundamentar los conceptos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para revisar el comportamiento de la BAAC de un ingenio azucarero. Nivel 1 – Conocer.

### 1.2 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 1

Esta sección entrega la información teórica requerida por los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, que sirve para analizar el comportamiento de la BAAC.

### 1.3 DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 1

Los conceptos relevantes de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, métodos y elementos de predicción, se presentan a continuación de forma específica y global, en aras de dejar las bases para que el lector comprenda las partes subsecuentes.

#### 1.3.1 Indicadores

Los indicadores son expresiones cuantitativas de las variables que intervienen en un proceso, un indicador permite analizar el desarrollo de la gestión y el cumplimiento de las metas respecto de los objetivos trazados por las organizaciones.

La magnitud del indicador sirve para comparar contra un nivel de referencia establecido, la desviación de este valor señala aciertos o desaciertos en los procesos. La comparación es para realizar la ejecución de acciones de corrección, modificación o conservación según sea el caso (Domínguez, 1999).

##### 1.3.1.1 Indicadores de mantenimiento.

Los indicadores de mantenimiento están elaborados con base en lo que la empresa espera del departamento, y la percepción de mejora que se implanta en el usuario del equipo (Gonzales, 2004). Los índices requeridos como mínimo en el aspecto técnico de mantenimiento son la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, como complemento de la administración del mantenimiento usar el costo de conservación de los sistemas y equipos; al realizar el agrupe de los índices técnicos y económicos entrega la información básica necesaria para la gestión de mantenimiento (Gonzales, 2004).

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticas, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación integral y específica; es a través del CMD que se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento (Mora, 2009a).

### 1.3.2 Confiabilidad

Confiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado (Nachals, 1995). La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas<sup>5</sup> en el tiempo (Mora, 2009). Si no hay fallas, el equipo es 100 % confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable (Mora, 2009).

Para apreciar la confiabilidad de las máquinas uno de los métodos más comúnmente empleados es aquel que se basa en la intensidad de los fallos, la cual se determina basándose en el análisis de los datos estadísticos con un cálculo exacto de la probabilidad de los fallos en el trabajo de los elementos de la máquina por diferentes causas (Selivanov, 1998).

### 1.3.3 Mantenibilidad

La mantenibilidad es una característica de diseño e instalación, que expresa la probabilidad de que un elemento<sup>6</sup> se conserve o recupere una condición especificada, con el uso óptimo de recursos (tiempo de ejecución de mantenimiento, frecuencia de intervenciones y costo de mantenimiento), al realizar las actividades de acuerdo con los procedimientos prescritos<sup>7</sup>. Aunque las tres<sup>8</sup> (3) formas de cuantificar la mantenibilidad son teóricamente posibles, el enfoque que usa el tiempo empleado en el mantenimiento es, de lejos, el de mayor uso en la práctica (Knezevic, 1996).

La forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o ejecución de las tareas de mantenimiento requeridas para retornar el elemento al estado de funcionalidad y normalidad. La mantenibilidad expresa la capacidad con que un equipo se deja mantener para recuperar su estado de referencia (Mora, 2009).

---

<sup>5</sup> Número de veces de repetición de un evento, que se considere falla en un periodo de tiempo.

<sup>6</sup> Máquina o dispositivo.

<sup>7</sup> El procedimiento prescrito asume herramientas, máquinas, personas e información adecuada.

<sup>8</sup> Hace referencia a tiempo de ejecución, costo y frecuencia.

### 1.3.4 Disponibilidad

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un elemento. Es una medida extremadamente importante y útil, ya que la mayoría de los usuarios (mantenedores y operadores) afirman necesitar la disponibilidad del equipo tanto como la seguridad, porque no se puede tolerar tener un equipo fuera de servicio cuando hay requerimientos de uso. (Knezevic, 1996).

La disponibilidad, no se mide, se obtiene a partir de las variables confiabilidad y mantenibilidad, a nivel universal, tal como se ilustra a continuación.

Ecuación 1 - Relación de disponibilidad

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

(Nachlas, 1995) (Smith, 1983) (Leemis, 1995)(Kececioglu, 1995)(Díaz, 1992) (Knezevic, 1996) (Ebeling, 2005) (Kelly, y otros, 1998) (Kapur, y otros, 1977) (Rey, 1996)(Halpern, 1978) (Navarro, y otros, 1997) (Modarres, 1993).

La disponibilidad es un parámetro objetivo que relaciona las características de confiabilidad y mantenibilidad, necesarias para dar solución a situaciones complejas en la selección, operación o diseño de un elemento. Así, la disponibilidad es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionabilidad (Knezevic, 1996). La probabilidad de que un equipo cumpla su función de forma adecuada, en el momento en que se requiera y en condiciones normales de uso, es el concepto de disponibilidad (Mora, 2009).

Los tiempos totales que considera el concepto de disponibilidad involucra tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimientos preventivos, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico (Mora, 2009). Las empresas difieren en la información de registro o en los elementos de control, por lo cual existe cinco (5) variaciones de disponibilidad (genérica, inherente, alcanzada, operacional y operacional generalizada) de acuerdo a la necesidad o facilidad de las organizaciones.

#### 1.3.4.1 Disponibilidad genérica – $A_G$

Sirve para organizaciones que no predicen y no usan CMD; la información que se dispone sólo involucra los tiempos útiles y los de no funcionalidad (sin especificar causa, tipo o razón) (Mora, 2009).

La disponibilidad genérica tiene dos variantes: incluir o no incluir mantenimientos preventivos, las ecuaciones que representan estas condiciones son:

Ecuación 2 - Disponibilidad genérica sin mantenimientos preventivos

$$A_G = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m}}{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m} + \frac{\sum_{j=1}^n DT_j}{n}}$$

Donde m, número de eventos UT y n, número de eventos DT. Para nomenclatura UT y DT, que son Tiempos Útiles y Tiempos de no funcionalidad, respectivamente.

Ecuación 3 - Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos

$$A_G = \frac{TT + \sum PM - \sum DT}{TT - \sum DT}$$

#### 1.3.4.2 Disponibilidad inherente o intrínseca - $A_I$

Las empresas que tratan de controlar las actividades de mantenimientos no planeados usan este tipo de disponibilidad. La inherente sólo permite su utilización cuando los tiempos de retraso, demora, administrativos y físicos son despreciables en comparación con los tiempos útiles de funcionamiento (Mora, 2009).

La Ecuación 4 muestra la relación de disponibilidad intrínseca.

Ecuación 4 - Disponibilidad inherente o intrínseca

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

#### 1.3.4.3 Disponibilidad alcanzada - $A_A$

El control de las tareas planeadas y las no planeadas por separado, utiliza la disponibilidad alcanzada, aquí no existe interés por los tiempos de demora, pero si maneja rigurosidad y detalle con la información que requiere (Mora, 2009). La Ecuación 5 muestra la relación de disponibilidad alcanzada.

Ecuación 5 - Disponibilidad alcanzada.

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

Donde MTBM, tiempo medio entre reparaciones.  $\bar{M}$  y MTBM se obtienen de las siguientes expresiones:

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

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

Donde los subíndices c y p hacen referencia a mantenimientos de tipo no planeado y planeado respectivamente.

El tiempo medio de mantenimiento  $\bar{M}$  es el tiempo medio de mantenimiento activo que se necesita para efectuar una tarea de mantenimiento.

Es función de los tiempos medios de mantenimiento correctivo y mantenimiento planeado, sus frecuencias aplicadas, solo tiene en cuenta tiempos activos de mantenimiento, no cuenta los tiempos administrativos y los del tipo logístico (Blanchard, y otros, 1994).

$MTBM_c$  Tiempo medio entre mantenimientos no planeados.  $MTBM_p$  Tiempo medio entre mantenimientos planeados.  $MTTR$  Tiempo neto medio para realizar la reparación.  $M_p$  Tiempo neto medio para ejecutar las tareas proactivas. (Mora, 2009).

#### 1.3.4.4 Disponibilidad operacional - $A_o$

La disponibilidad operacional es adecuada cuando hay requerimientos de controlar con detalle los tiempos de demoras administrativas, humanas y físicas; agrupa los mantenimientos planeados y no planeados.

Es precisa, exigente y metódica. Requiere de esfuerzos y recursos económicos importantes para su uso (Mora, 2009). La Ecuación 6 muestra la relación de disponibilidad operacional.

Ecuación 6 - Disponibilidad operacional.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}'}$$

El cálculo de  $MTBM$  y  $\bar{M}'$ , usa las mismas expresiones de la disponibilidad alcanzada, la diferencia es que aquí se tiene en cuenta las demoras logísticas de cada reparación.

#### 1.3.4.5 Disponibilidad operacional generalizada - $A_{GO}$

Los tiempos de operación pero no productivos para la empresa están en consideración de esta disponibilidad, en definitiva es la única diferencia con la disponibilidad operacional. Las organizaciones que aplican esta disponibilidad tienen experiencia y experticia en el tema (Mora, 2009). La Ecuación 7 muestra la relación de disponibilidad operacional generalizada.

Ecuación 7 - Disponibilidad operacional generalizada

$$A_{GO} = \frac{MTBM'}{MTBM' + \overline{M}'}$$

La forma de cálculo es idéntica a la operacional, sólo se diferencia en sumar los tiempos de operación pero no productividad.

El análisis CMD usa un mapa como muestra la Ilustración 2, en el mapa está la información del estado de funcionamiento del sistema productivo en el eje vertical, y en el eje horizontal el tiempo que dura el estado en mención.

El estado de equipo en funcionamiento (UT) se representa desde el eje horizontal hacia arriba, el equipo fuera de operación (DT) se ubica desde la horizontal hacia abajo, independiente si se trata de un mantenimiento preventivo (Mp) o correctivo (TTR), o bien por demoras administrativas (ADT) y logísticas (LDT).

En el momento que finaliza un periodo de funcionalidad UT empieza un periodo de no funcionalidad DT, el tiempo entre el inicio de un DT (o finalización de un UT) hasta el próximo estado similar se define como tiempo medio entre fallas (MTBF).

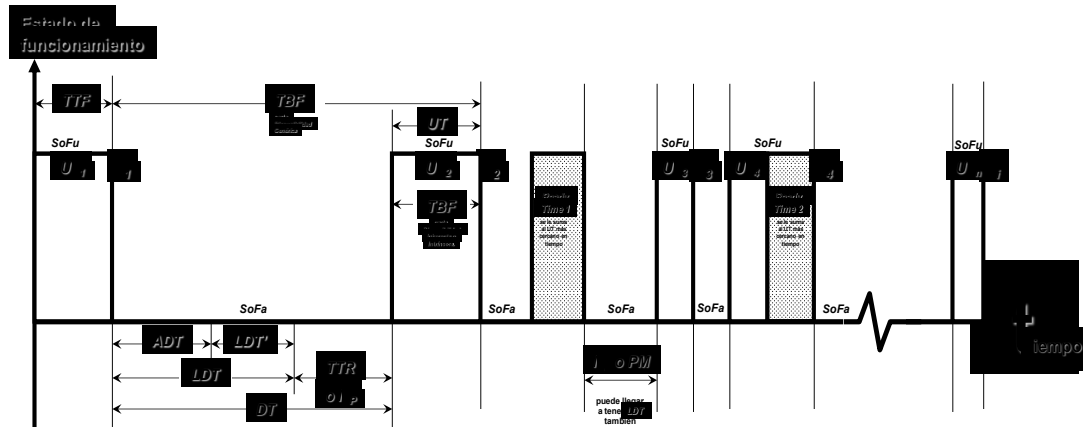
#### 1.3.5 Distribuciones y parámetros CMD

Las distribuciones de uso en los indicadores CMD para analizar el comportamiento de los equipos o sistemas son: Weibull, normal, LogNormal, exponencial y gamma. Los parámetros a utilizar dependen de la selección de la distribución de trabajo.

##### 1.3.5.1 Distribución Weibull.

La distribución Weibull responde a los parámetros  $\beta$  y  $\eta$ , que representan respectivamente, el factor de forma y de escala de la distribución. Estos parámetros se obtienen con la alineación de la distribución Weibull mediante las transformaciones necesarias; luego de obtener la pendiente y el intercepto de la recta, se calculan los parámetros  $\beta$  y  $\eta$  de la distribución (Mora, 2009). (Blanchard, y otros, 1994) (Blanchard, 1995) (Ebeling, 2005) (Hecht, y otros, 2001). Como su palabra lo expresa solo reconoce actividades de reparaciones inherentes al sistema, no exógenas.

Ilustración 2 - Estándares de tiempos CMD



Donde

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

$f_i$  = Falla  $i$ -ésima

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

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

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

**TBF = Time Between Failures** = Tiempo entre Fallas

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

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

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

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

**DT = Down Time** = Tiempo no operativo

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

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

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

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

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

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

**SoFu = State of Functioning** = Estado de Funcionamiento correcto

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

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

(Mora, 2009)

1.3.5.2 Distribución Normal.

Es una distribución discreta que se presenta con frecuencia cuando la vida útil se ve afectada desde un comienzo por el desgaste, sirve para describir muy bien los fenómenos de envejecimiento de los equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En esta distribución las fallas tienden a distribuirse de una forma simétrica alrededor de la vida media (Mora, 2006).

1.3.5.3 Distribución LogNormal.

La distribución LogNormal se genera a partir de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  debido a que el logaritmo de una variable aleatoria Lognormal es una variable aleatoria normal

con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$  (Mora, 2006). La distribución, puede tomar varias formas pero siempre con tendencia o cola hacia su derecha (sesgo positivo); la razón por ser menos conocida que la distribución Weibull, es que su función de supervivencia no tiene forma cerrada, esto es importante para la estimación de sus parámetros que siempre tienen la tendencia de ser muy altos (Mora, 2006).

#### 1.3.5.4 Distribución exponencial.

Es la más común entre las distribuciones de las fallas, su importancia radica en el hecho de que casi todos los componentes tienen, durante su periodo de operación normal, una intensidad de falla constante. La distribución exponencial es de gran uso para modelar el tiempo de vida de los componentes electrónicos y es apropiada cuando un componente en uso que aún falla es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo (Mora, 2006).

#### 1.3.5.5 Distribución Gamma.

La distribución Gamma es muy conveniente para caracterizar los tiempos de falla de los equipos durante el periodo de rodaje. Es también adecuada para representar sistemas con componentes redundantes (stand - by) (Mora, 2006). Es una distribución de dos parámetros que tienen propiedades similares a los de la distribución Weibull, el parámetro de escala y de forma que se pueden ajustar a los datos obtenidos con gran flexibilidad (Mora, 2006).

#### 1.3.5.6 Parámetros.

Los datos analizados mediante las distribuciones pueden responder diferentes características, de acuerdo con el tipo y el evento de estudio, como, por ejemplo:

- ✓ Tiempo de funcionamiento del equipo – MTTF.
- ✓ Tiempo de operación del sistema – MTBF.
- ✓ Tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar – MTTR.

Estos tiempos de vida se miden en horas, millas, ciclos de fracaso, ciclos de tensión, o cualquier otra medida con que para evaluar la vida o la exposición del elemento (Mora, 2009).

La distribución de Weibull utiliza en la forma general tres parámetros, así cuenta con gran flexibilidad, la selección adecuada permite obtener mejor ajuste, que con otras distribuciones. Estos parámetros son:

- ✓ Gamma ( $\gamma$ ) – parámetro de posición. El más difícil de estimar y por este motivo normalmente se considera cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.

- ✓ Eta ( $\eta$ ) – parámetro de escala o característica de vida útil. Este valor es determinante para establecer la vida útil del elemento. Cuanto más alto, mayor robustez en las máquinas o mayor duración de los trabajos.
- ✓ Beta ( $\beta$ ) – parámetro de forma. Refleja la dispersión de los datos y establece la forma que toma la distribución.

El parámetro Beta permite a la distribución Weibull presentar diferentes formas con las características que se muestran en la siguiente figura.

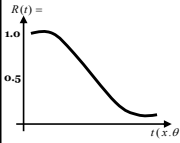
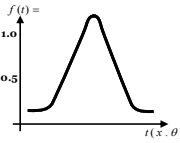
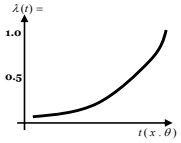
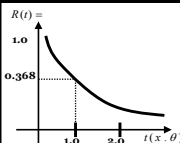
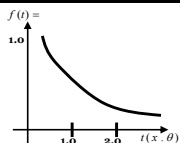
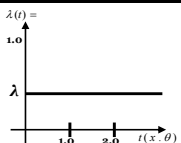
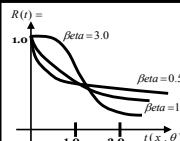
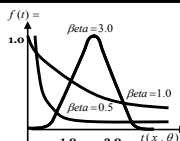
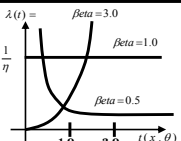
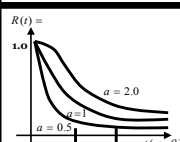
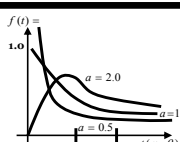
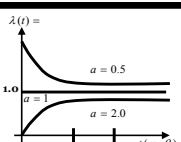
Ilustración 3 - Parámetro de forma beta de Weibull.

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

(Mora, 2006)

La Ilustración 4 muestra la compilación de parámetros, función de contabilidad, función de probabilidad de falla, función de tasa de falla y los usos relevantes de algunas distribuciones.

Ilustración 4 - Comportamiento de las funciones de algunas distribuciones

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

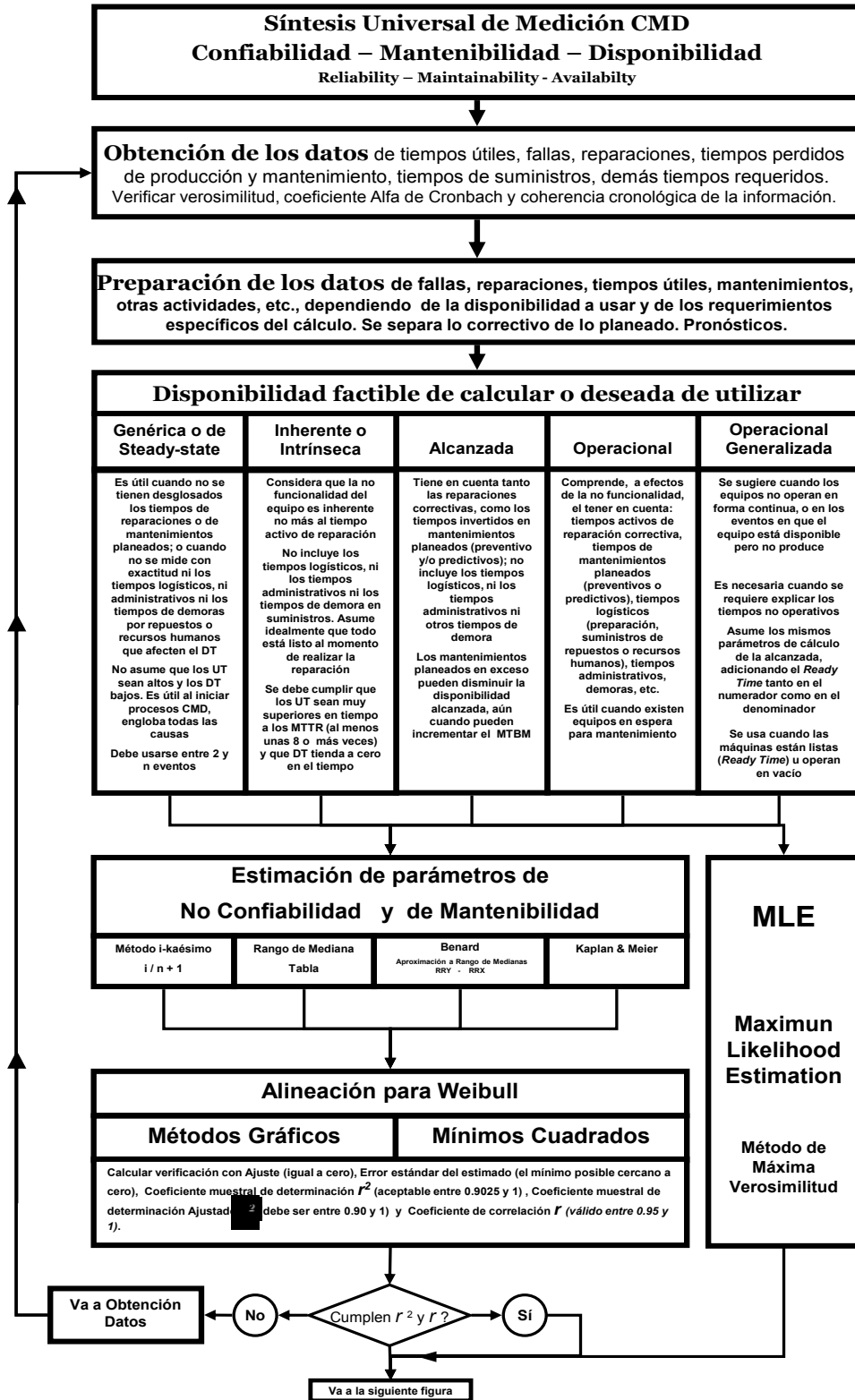
(Mora, 2009)

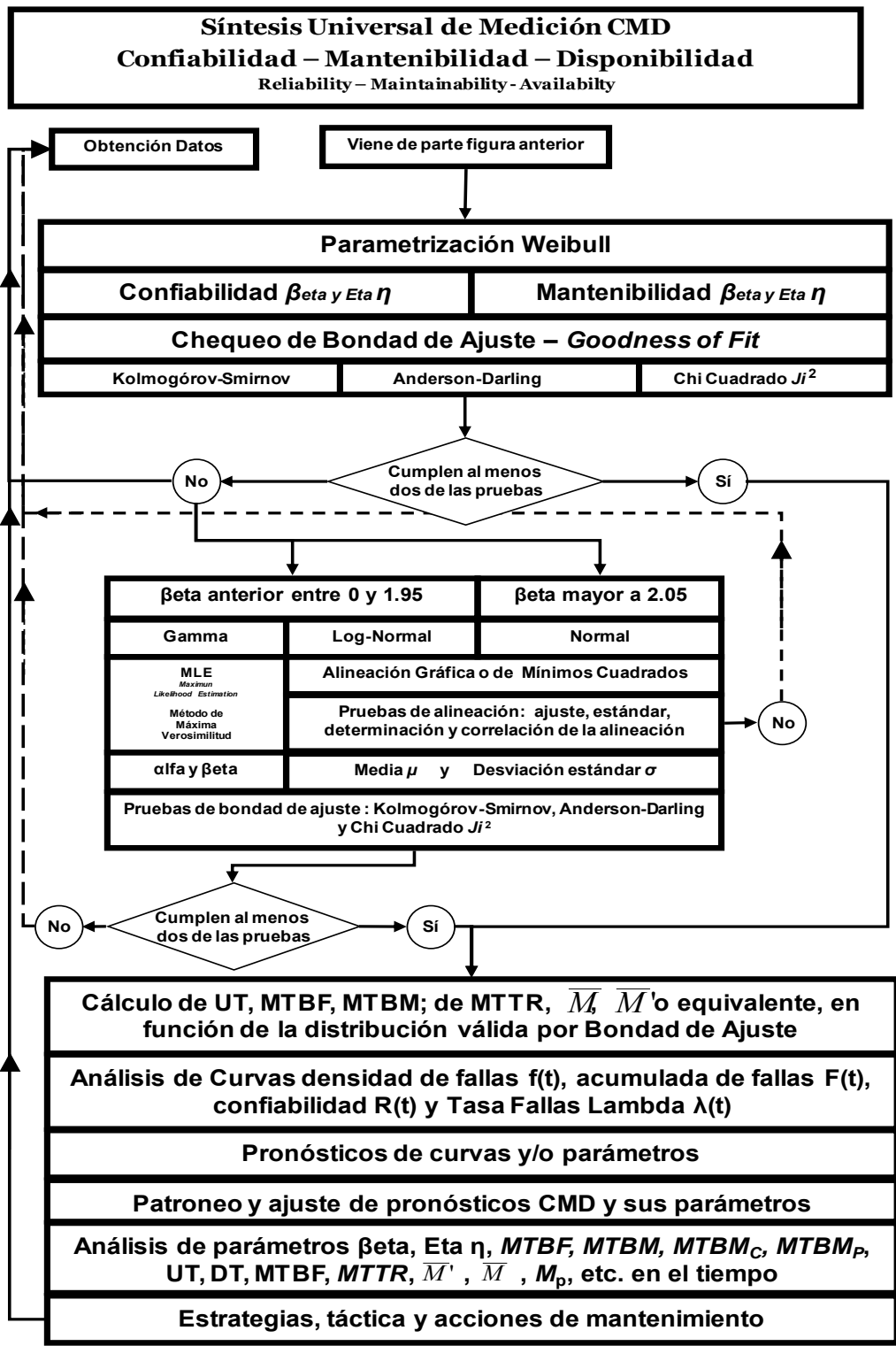
### 1.3.6 Pronósticos de indicadores CMD

La metodología más recomendada para conocer el futuro cercano, es pronósticos bajo el método de series temporales, usando los modelos clásicos (ajuste por tendencia, los de suavización (Brown, Holt, etc.) y los de descomposición (Winter, X11, etc.) y los modernos (metodología Box – Jenkins y AR.I.MA.), mediante el uso y el desarrollo de toda la metodología estandarizada universalmente para realizar estos pronósticos, de tal forma que garanticen resultados con buena bondad de ajuste entre pronósticos realizados y la realidad (Mora, 2006).

El modelo universal para pronosticar CMD está descrito paso a paso en seis etapas, tal como muestra la ilustración que sigue.

Ilustración 5 - Modelo para la predicción CMD





(Mora, 2009)

#### 1.4 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1

El capítulo explica los conceptos de uso en el análisis CMD, las metodologías y herramientas para la predicción del comportamiento futuro de un elemento o sistema.

Con la información del capítulo se realiza el desarrollo siguiente del proyecto.

Para el caso particular se asume la disponibilidad alcanzada, dada que se poseen los datos de acciones correctivas no planeadas y los mantenimientos planeados predictivos y/o preventiva.



## 2 BOMBA BAAC

### 2.1 OBJETIVO 2

Describir las características técnicas, mecánicas, hidráulicas y de operación, relevantes de la BAAC a la luz del estudio CMD. Nivel 2 – Comprender.

### 2.2 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 2

La información técnica relevante de la características mecánicas, hidráulicas y operativas de la BAAC, se presentan a continuación de forma particular, con el objeto de ilustrar la importancia de este equipo en el ingenio azucarero del análisis; como parte esencial para el logro del objetivo 2 del proyecto.

### 2.3 DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 2

En la industria azucarera es típico el uso de calderas para la generación de vapor y energía eléctrica requerida en los procesos de fabricación de azúcar, estas calderas son alimentadas con bagazo de caña. La caldera del ingenio azucarero relacionado en este proyecto es acuotubular, por lo cual requiere de inyección de agua a alta presión a través de las líneas; la inyección de agua se hace con el uso de una bomba centrífuga de múltiples etapas (BAAC).

Dado que la caldera se encarga de generar la energía eléctrica y el vapor para equipos y procesos de fabricación de azúcar, convierte este sistema (con todos los elementos que lo conforman) en núcleo vital para la operación del ingenio azucarero, derivando en la importancia de garantizar confiabilidad de la BAAC. En la Ilustración 6 se muestra un registro fotográfico de la BAAC.

Ilustración 6 - Estación de bombeo agua de alimentación a caldera



Acorde al objetivo del capítulo en desarrollo, se clasifica su presentación, en características: técnicas, mecánicas, hidráulicas y operacionales.

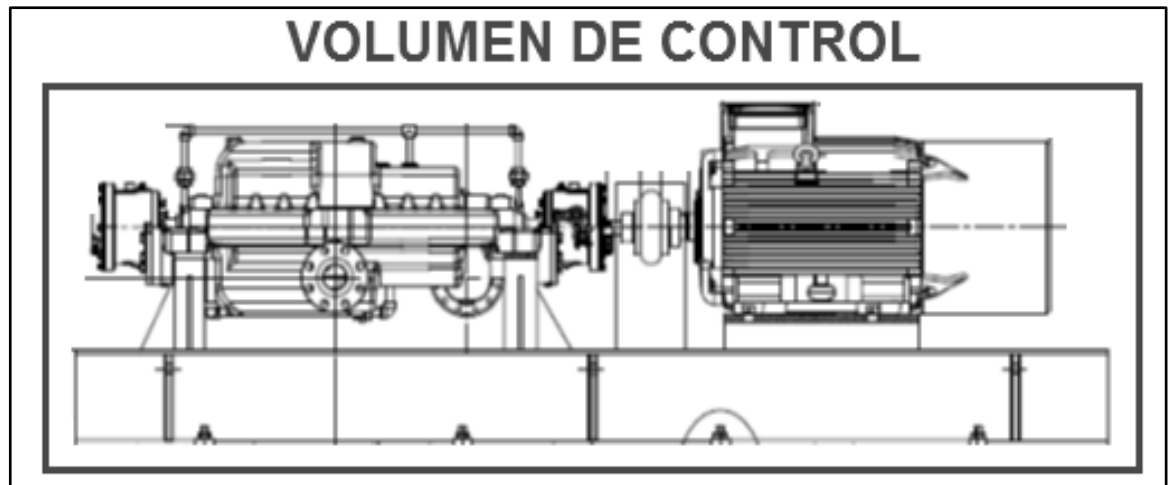
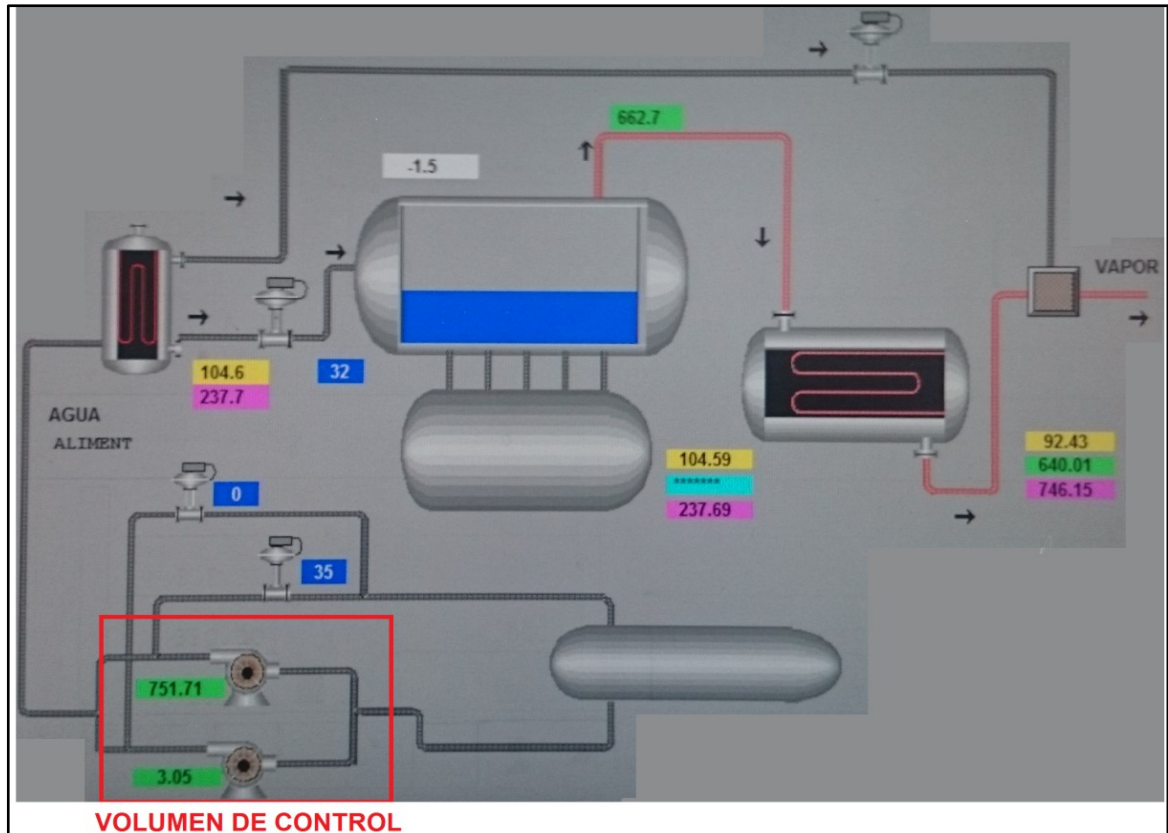
### 2.3.1 Volumen de control

Dado que la BAAC es parte de un sistema que involucra otros equipos y funciones la limitación (frontera entre un equipo y otro) es indispensable para identificar si la disminución o pérdida de las funciones primarias o secundarias están asociadas a la BAAC. La Ilustración 7 indica el volumen de control para limitar el estudio de la BAAC.

#### 2.3.1.1 Fronteras.

- **¿Qué se estudia?** Motor, acoplamiento, bomba (carcasa, porta rodamientos, eje, impulsores, apoyos internos y externos), sellos mecánicos, líneas de equilibrio de presión entre cajas, líneas de agua de refrigeración del aceite lubricante de los cojinetes, estructura base (soporte), línea de succión (desde válvula de succión hasta la brida de conexión a la BAAC, línea de descarga (desde la brida de conexión hasta e incluida la válvula de retención de la descarga).
- **¿Qué no se estudia?** Tanque de succión, línea de succión (desde el tanque hasta la válvula de succión), línea de descarga (desde la válvula de retención hasta descarga al domo), domo superior de la caldera, válvula de regulación, variador de velocidad del motor.
- **Interfaces.**
- **Entradas:** Energía eléctrica motor, agua para el sistema de refrigeración de aceite, aceite lubricante de los cojinetes, agua de refrigeración para sellos mecánicos.
- **Salidas.** Desalojo de vapores en los porta rodamientos, ruido, energía en forma de calor en carcasa y agua de refrigeración del aceite de los cojinetes.

Ilustración 7 - Diagrama de selección de frontera (volumen de control) de la BAAC.



### 2.3.2 Funciones de la BAAC

La BAAC como parte de una fábrica de producción debe cumplir las funciones primarias y secundarias para la cual está definida.

### 2.3.2.1 Primaria

Suministrar a una caldera acuotubular 120 m<sup>3</sup>/h de agua limpia (peso específico de 0.945 kg<sub>f</sub>/dm<sup>3</sup> a 120 °C) a una presión de 725 psi.

### 2.3.2.2 Secundarias

La BAAC debe cumplir con la función primaria y durante la operación garantizar la conservación de las siguientes funciones secundarias:

- ✓ Evitar fugas de agua por sellos mecánicos.
- ✓ Entregar el flujo y presión de la función primaria con una velocidad de giro inferior a 3350 rpm.
- ✓ Operar con una corriente eléctrica inferior a 415 A.
- ✓ Contener (sin fugas) en los porta rodamientos el aceite de lubricación de los cojinetes.
- ✓ Conservar el aceite de lubricación de los cojinetes a una temperatura entre 38 °C a 50 °C.
- ✓ Evitar que en los apoyos exteriores la vibración exceda 0.8 mm/s.
- ✓ Operar sin fugas de agua al exterior por la carcasa.
- ✓ Conservar el aceite lubricante libre de humedad.
- ✓ Permanecer en buenas condiciones de presentación (estética).
- ✓ Facilitar labores de desmontaje de mecanismos y componentes en el mantenimiento del equipo.
- ✓ Facilitar labores de limpieza.

### 2.3.3 Características técnicas

El equipo está compuesto de una bomba centrífuga acoplada a un motor eléctrico, ambos montados sobre un skid (base estructural de acero).

- **Tipo:** Horizontal.
- **Capacidad:** 120 m<sup>3</sup>/h.
- **Cabeza total:** 701 mca.
- **Líquido:** Agua limpia.
- **Velocidad:** 2800 rpm.
- **Temperatura:** 120 °C.
- **Gravedad específica:** 0.945.

### **MATERIALES DE FABRICACIÓN.**

- **Carcasa:** Acero fundido ASTM A 216 WCB.

- **Impulsor:** Acero inoxidable ASTM A743CA6NM.
- **Eje:** Acero SAE 4140.
- **Sello:** Mecánico.
- **Lubricación:** Aceite.
- **Base:** Metálica estructural.

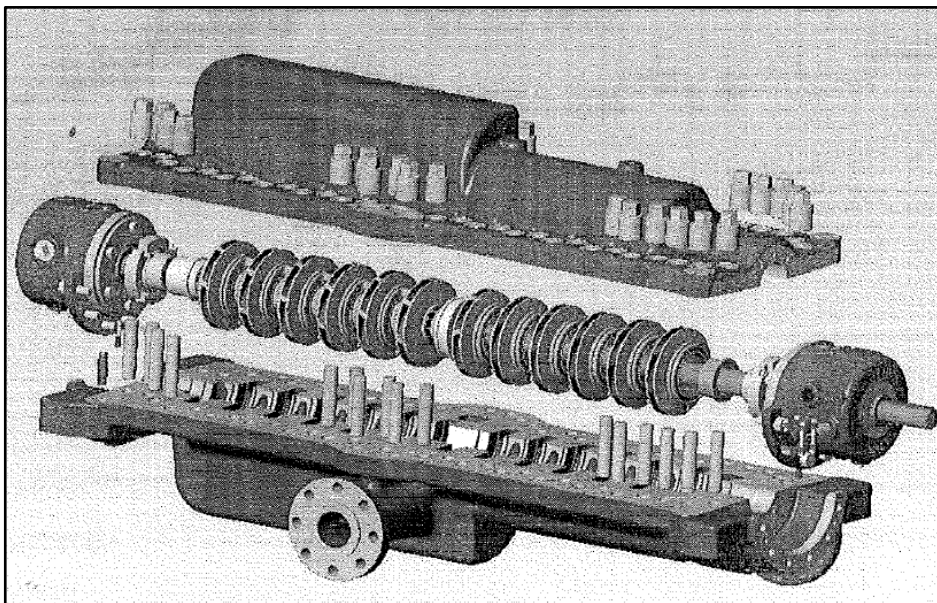
## MOTOR ELÉCTRICO.

- **Potencia:** 500 hp.
- **Velocidad:** 3500 rpm.
- **Fases/Ciclos/Tensión:** 3/60 Hz/440 V.
- **Factor de servicio:** 1.15.
- **Grado de protección:** IP55.

### 2.3.4 Características mecánicas

La BAAC es un máquina hidráulica centrífuga con denominación BC 4X6X10 – 8, lo que corresponde a línea de succión de seis pulgadas (6 in), línea de descarga cuatro pulgadas (4 in), diámetro de impulsores diez pulgadas (10 in) y ocho estaciones o etapas (8 impulsores). En la Ilustración 8 está la configuración mencionada de la BAAC.

Ilustración 8 - Elementos que componen la BAAC



La BAAC es de eje horizontal, axialmente partida y con impulsores entre apoyos; la BAAC es accionada por un motor eléctrico de 500 hp. Los elementos más representativos que constituyen la máquina son:

- Carcasa.
- Impulsores.
- Anillos de desgaste.
- Porta rodamientos (cabezales de apoyos exteriores).
- Apoyo central.
- Eje.
- Sellos mecánicos.
- Acople.

#### 2.3.4.1 Carcasa

Sirve para guiar el agua a través de los impulsores, aloja y fija los anillos de succión y espalda de cada impulsor, además es el soporte de los apoyos exteriores. Como la BAAC es axialmente partida la parte inferior de la carcasa es prácticamente fija, y para realizar los mantenimientos la parte superior es la desmontada. El material de la carcasa es un acero fundido ASTM A 216 WCB.

Ilustración 9 - Fotografía de la parte inferior de la carcasa



##### 2.3.4.1.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

Para la correcta operación entre etapas de la BAAC es necesario que los pines de fijación de los anillos separadores estén correctamente anclados, que las ranuras de limitación de desplazamiento axial y radial conserven las dimensiones y forma

estándar, y que la rectitud de la zona de aprieto garantice sello entre la partes de la carcasa.

El mantenimiento de este componente requiere cambiar o reconstruir los pines, reconstrucción de ranuras y limpieza completa de la zona húmeda y seca. La correcta ejecución de las actividades de mantenimiento influye en la disminución o eliminación de pérdidas hidráulicas entre etapas y desgaste acelerado de los anillos (por rodadura); adicional evita fugas de agua al exterior. La falla de este componente no genera parada del equipo, pero ocasiona disminución de la función primaria y pérdida de funciones secundarias.

#### 2.3.4.2 Impulsores

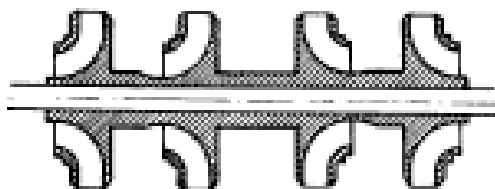
Encargados de acelerar y aumentar la presión del fluido, adsorbe la energía eléctrica del motor y la transforma en potencia hidráulica. Los impulsores de la BAAC son cerrados con diez pulgadas de diámetro y fabricados en acero inoxidable ASTM A743CA6NM.

Debido a que la BAAC es de 8 escalonamientos los impulsores están instalados como se muestra en el esquema de la Ilustración 10. Con el uso de esta configuración se elimina el empuje axial a causa de la distribución de presiones sobre el rodete que actúa sobre el eje de la máquina.

##### 2.3.4.2.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

El mantenimiento de los impulsores consiste básicamente en recuperar el diámetro estándar cuando existe desgaste radial de estas piezas y limpieza de los álabes de succión y descarga. Para la operación es indispensable conservar el diámetro exterior y limpieza de los álabes, y así garantizar la presión, flujo y vibraciones (por desbalances hidráulicos) de la BAAC. La falla de este componente genera parada del equipo, el operar con valores de diámetro fuera del estándar genera disminución de la función primaria.

Ilustración 10 - Disposición de impulsores espalda – espalda de uso en la BAAC



#### 2.3.4.3 Anillos de desgaste

Sirven para separar una etapa de la siguiente y la anterior, ofrece resistencia para que el agua adquiera energía (aceleración y presión) en sólo un impulsor a la vez.

Los anillos de desgaste son fabricados en acero ASTM A-36 y requiere un ajuste de holgura de veinte milésimas de pulgada con la manzana del impulsor.

#### 2.3.4.3.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

Para la operación de la BAAC es importante conservar la separación adecuada entre etapas, para evitar pérdidas hidráulicas (menor flujo y presión) al interior de la carcasa. El mantenimiento de los anillos de desgaste consiste en realizar un proceso de maquinado en su diámetro interior para garantizar el ajuste adecuado en relación al diámetro de la manzana en el cual esta ensamblado. La falla de este componente no para la máquina, genera disminución de la función principal y pérdida de funciones secundarias.

#### 2.3.4.4 Porta rodamientos

Son el soporte entre apoyos de los impulsores, se fijan a la parte inferior de la carcasa para posicionar el conjunto de eje e impulsores. Alojan los rodamientos, y contienen el aceite de lubricación de estos cojinetes. También cuenta con un conducto de refrigeración con agua para sostener la temperatura del aceite lubricante. En la Ilustración 11 se muestra el porta rodamientos del lado del acople.

#### 2.3.4.4.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

Este elemento es prácticamente libre de mantenimiento, las tareas son de limpieza e inspección de fugas, los rodamientos y sellos retenedores de aceite son de reemplazo. En la operación de la BAAC los porta rodamientos influyen en la correcta alineación entre ejes, los empujes axiales y radiales generados en los impulsores. La falla de los porta rodamientos generan parada de la BAAC, este componente operando en falla ocasiona la pérdida de funciones secundarias.

Ilustración 11 - Registro fotográfico de porta rodamiento lado acople en BACC



#### 2.3.4.5 Apoyo central

Asume el desplazamiento radial de mayor importancia en la bomba, este elemento garantiza la concentricidad entre los anillos y las manzanas de los

impulsores. Para desgaste excesivo de este apoyo la fricción aumenta y así la demanda de potencia, al igual que la fricción los contra flujos entre etapas incrementan y se genera pérdida de capacidad en el equipo (caudal y presión).

#### 2.3.4.5.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

La influencia sobre la operación es de gran relevancia, si esta pieza presenta desgastes las fuerzas radiales en los apoyos exteriores (rodamientos) aumentan ocasionando altas vibraciones y temperaturas en el funcionamiento; también acelera el deterioro de los anillos de desgaste (menor tiempo útil de operación de la BAAC). El anillo de apoyo central está compuesto por dos piezas una insertada en la otra con aprieto y fijada con soldadura, la parte exterior de este conjunto es de reemplazo. La falla de este componente para la BAAC, operar con este elemento en falla genera pérdida de funciones secundarias.

#### 2.3.4.6 Eje

Contiene los impulsores y apoyos internos y externos, el material del eje es SAE 4140. En uno de los extremos del eje está instalado medio acople para la conexión entre ejes de bomba y motor.

#### 2.3.4.6.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

El eje aloja todos los componentes de la BAAC a excepción de la carcasa, por lo cual su influencia en la operación tiene gran impacto, la garantía de las tolerancias geométricas y dimensionales es indispensable para evitar solturas o posición incorrecta de las piezas. Para el mantenimiento del eje están establecidas verificaciones de flexión y diámetros en zonas de ajuste, para valores fuera del estándar el componente se reemplaza. La falla del eje puede generar parada de la BAAC, disminución de función primaria y pérdida de funciones secundarias.

#### 2.3.4.7 Sello mecánico

Para el sellado de agua hacia el exterior de la bomba se utiliza en ambos extremos sellos mecánicos de cartucho sencillo, con cuerpo en acero inoxidable 316SS, caras de carbón artificial y o-rings en etileno-propileno (EP).

#### 2.3.4.7.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

En operación la BAAC no debe fugar agua, tarea que ejerce los sellos mecánicos, las fugas de agua caliente afecta otros componentes (ingreso de agua de los porta rodamientos, corrosión base estructural, deterioro de concreto, etc.), o afectar las personas.

El mantenimiento de los sellos mecánicos consiste en reemplazar caras, empaquetaduras y resortes y limpieza de las partes.

La falla de este componente no para la BAAC, genera pérdida de funciones secundarias.

#### 2.3.4.8 Acople

Sirve para la conexión del eje de la bomba con el eje del motor.

Acoplamiento flexible de elastómero para asumir desalineaciones axiales y radiales, marca ANTARES, modelo AT90.

##### 2.3.4.8.1 Influencia en el mantenimiento y operación de este componente

Para la operación es necesaria una correcta alineación del acoplamiento entre motor y bomba, el estado del elemento flexible garantiza la transmisión de potencia de un eje a otro.

Este elemento es libre de mantenimiento, el elemento flexible es reemplazado si existe evidencia de deformaciones, roturas, rasgaduras o quemaduras.

La falla de este componente para la BAAC, la operación en falla de este elemento ocasiona pérdida de funciones secundarias.

#### 2.3.4.9 Otros componentes mecánicos menores

- ✓ Espárragos para unión entre parte superior e inferior de la carcasa.
- ✓ Base estructural de la BAAC.
- ✓ Tornillos de anclaje de la BAAC.
- ✓ Líneas de equilibrio de presión.
- ✓ Líneas de refrigeración del aceite lubricante.
- ✓ Protección (guarda del acoplamiento).
- ✓ Pernos de anclaje del motor.

#### 2.3.5 Características hidráulicas

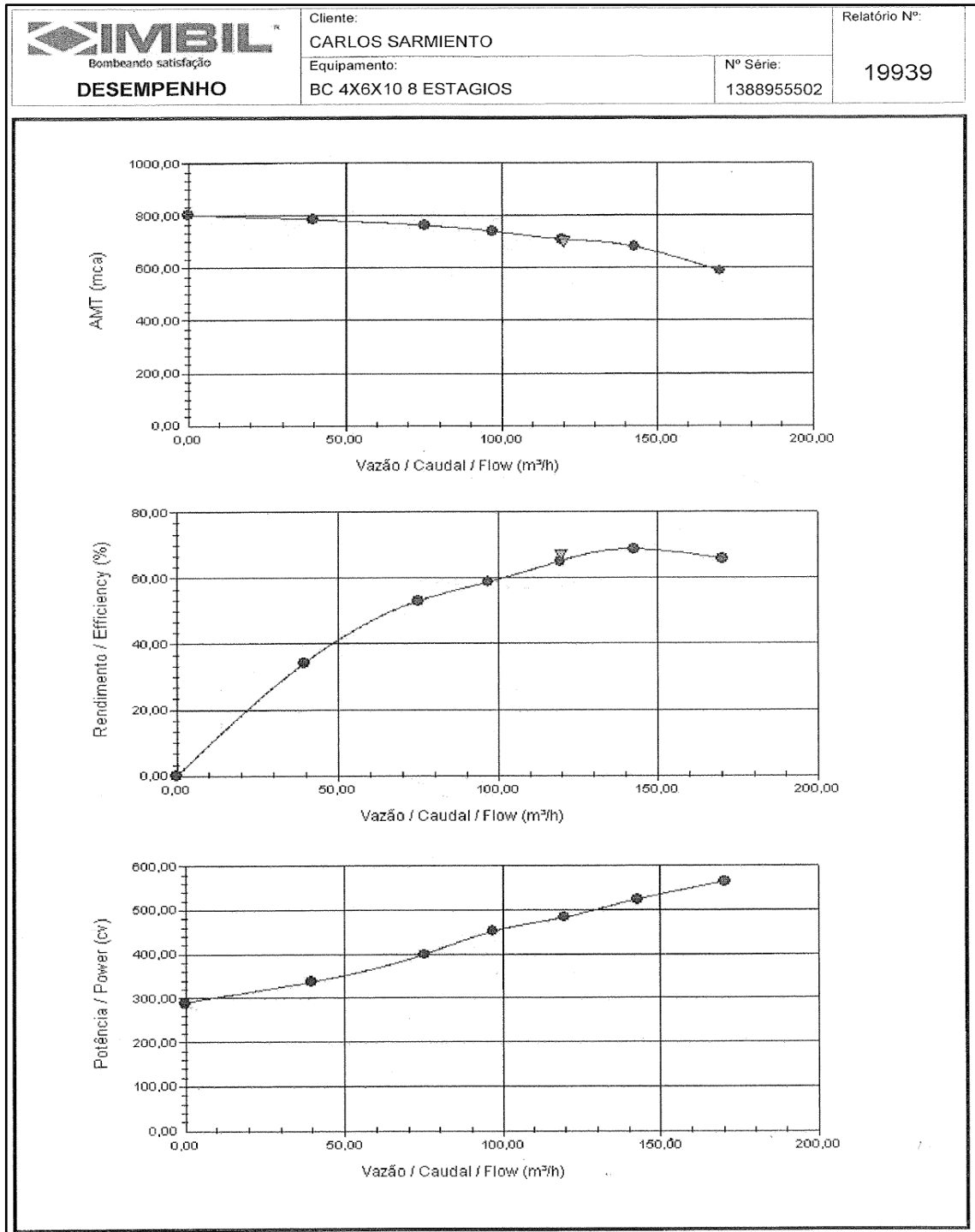
La BAAC es un equipo con dimensiones para suministrar 120 m<sup>3</sup>/h a 701 mca a una eficiencia de sesenta y siete por ciento (67 %), como característica hidráulica principal esta su condición de flujo radial.

El flujo bombeado es agua limpia con peso específico de 0.945 kg<sub>f</sub>/dm<sup>3</sup> a 120 °C.

La curva característica de la Ilustración 6 indica las variaciones de potencia y altura manométrica en función del caudal.

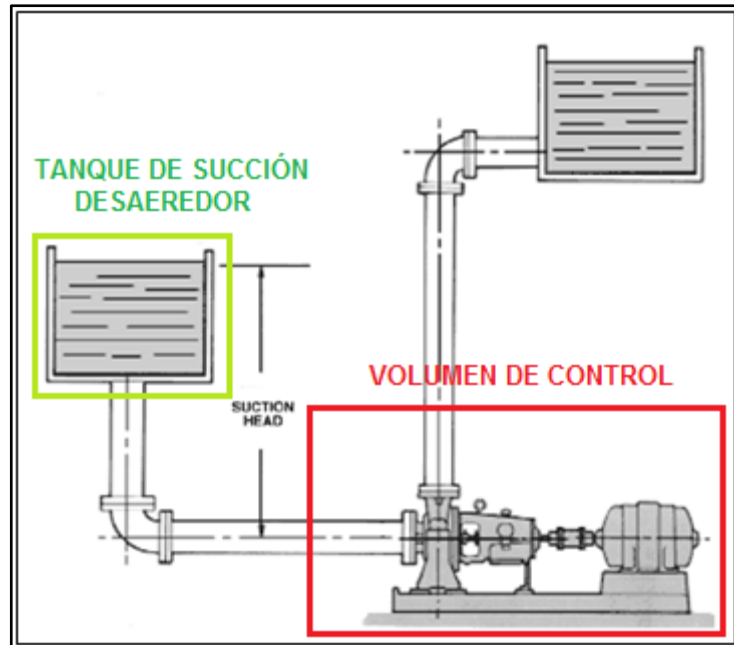
La cabeza neta de succión positiva (NPSH requerida) de la BAAC es de 3.5 mca.

Ilustración 12 - Curva característica de la BAAC



El sistema de instalación de la BAAC es análogo a la Ilustración 7, el tanque pulmón o receptor que sirve para generar succión positiva se denomina en este ingenio en particular Desaeedor.

Ilustración 13 - Esquema de instalación con succión positiva BAAC



### 2.3.6 Características operacionales

La BAAC tiene como función suministrar el agua requerida por la caldera, la cual convierte este fluido en vapor que se usa para generación de energía eléctrica y procesos de fabricación de azúcar.

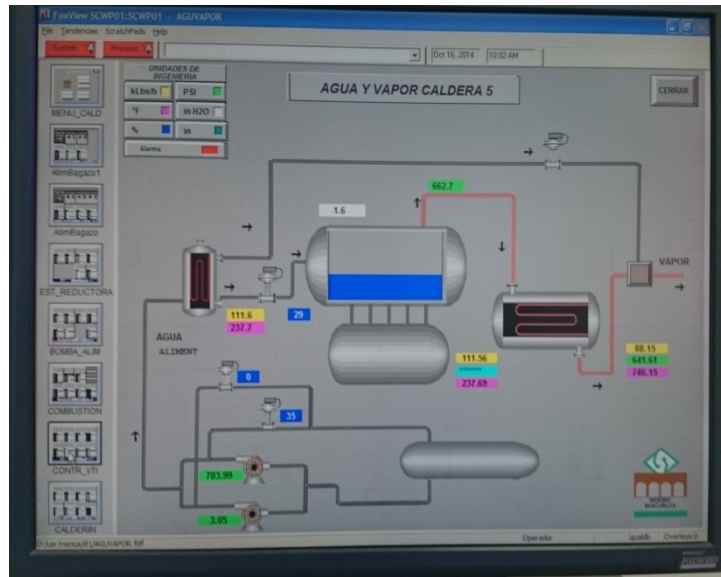
La operación de la BAAC debe ser estable.

En la operación de la BAAC interactúan variables de velocidad del motor, presión de descarga, nivel en el domo de la caldera (caudal) y porcentaje de apertura en la válvula de descarga.

Para la operación de la caldera es indispensable garantizar el nivel agua en el domo, el agua es suministro de la BAAC, actualmente el lazo de control involucra la apertura o cierre de una válvula en la línea de descarga de la BAAC para variaciones superiores o inferiores del nivel de agua en el domo en relación a un valor de referencia.

La Ilustración 8 indica de forma esquemática la estación de bombeo, el nivel requerido en el domo y el porcentaje de apertura de la válvula automática.

Ilustración 14 - Pantalla disponible para operación y monitoreo parámetros



Los parámetros de operación de la BAAC son monitoreados y controlados desde el cuarto de mando de la caldera, la persona encargada es el operador de caldera, la Ilustración 8 es una de las pantallas disponibles para este equipo.

En una operación habitual la BAAC gira a 2800 rpm y consume una corriente de 350 A, en esta condición el control de nivel es dependiente únicamente de la apertura de la válvula de la línea de descarga.

Cuando la BAAC es mantenida y empieza a operar la presión de descarga a 2800 rpm es suficiente para conservar el nivel de agua en el domo, después de un tiempo de operación es necesario aumentar las revoluciones de giro del motor (con el uso de un variador de velocidad), con esta nueva condición la corriente aumenta, se tiene establecido para este equipo trabajar máximo en un valor de corriente de 415 A (3400 rpm); al llegar a este valor la BAAC sale de operación para realizar las actividades de mantenimiento necesarias y reestablecer las condiciones estándar.

En las Ilustraciones 9 y 10 se observa las pantallas de monitoreo y control disponibles para el operador, aquí está la información real y valores de referencia de presión de descarga, velocidad y flujo de la BAAC (Ilustración 9), los valores correspondientes a nivel en el domo y apertura de la válvula automática reales y de referencia están en la Ilustración 10.

Ilustración 15 - Valores presión, flujo y velocidad BAAC en pantalla operación



Ilustración 16 - Valores nivel y apertura válvula asociados operación BAAC



## 2.4 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 2

El capítulo entrega la información técnica, mecánica hidráulica y operacional de mayor importancia de la BAAC.

En busca de la ejecución de un análisis CMD se define el volumen de control de la BAAC y las respectivas fronteras con el sistema al que pertenece.

La definición de los límites permite identificar la influencia de cada uno de los componentes en la operación y mantenimientos y la consecuencia sobre las funciones principales y secundarias de la BAAC de presentarse falla u operación en falla de alguno de los elementos.



## 3 TABULACIÓN CMD

### 3.1 OBJETIVO 3

Preparar la información pertinente CMD de la BAAC, de forma estándar y adecuada, para evaluar los criterios de confiabilidad y mantenibilidad de la BAAC. Nivel 2 - Comprender.

### 3.2 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 3

El análisis CMD de la BAAC requiere información de la funcionalidad y actividades de mantenimiento del equipo como son: tiempos de operación, tiempos de no operación, tiempos de ejecución de actividades programadas y correctivas en mantenimientos, demoras logísticas y administrativas etc.

La información disponible permite utilizar herramientas matemáticas y estadísticas para determinar condiciones de funcionalidad futuras y parámetros importantes para la mantenibilidad de la BAAC en aras de optimizar los tiempos de operación y no operación con el uso del análisis CMD.

En el capítulo primero numeral 1.3.6 (Ilustración 5) está descrito el modelo universal para la organización de información en análisis CMD; con la aplicación de este método se entrega la información de funcionalidad y mantenimientos de la BAAC en el desarrollo de este capítulo.

### 3.3 DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 3

El capítulo entrega el desarrollo de cada uno de los pasos (Ilustración 5) para el análisis CMD de la BAAC, además explica el origen y la forma de recolección de la información de funcionalidad y mantenibilidad para este equipo.

#### 3.3.1 Obtención y preparación de datos

Los datos de funcionalidad de la BAAC se recolectan de forma manual, ya que la información de operación (de mayo de 2014 hacia atrás) no está disponible en un sistema de monitoreo. La BAAC es un equipo crítico que genera parada de toda la planta por lo cual los tiempos de funcionamiento y no funcionamiento quedan asociados los tiempos útiles y perdidos de producción, de allí se obtiene la información; la información de tiempos de ejecución de mantenimientos son registrados en las intervenciones de la máquina por el personal de mantenimiento.

La información de tiempos útiles, fallas, reparaciones para la BAAC están agrupados en la tabla de la Ilustración 17.

Ilustración 17 - Datos de tiempos útiles y tiempos de mantenimientos de la BAAC.

Mes y año del evento	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Correctivo o Modificativo	Tipo	Tiempo (h)
Mes 1 Año 1	09 - lunes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	10 - martes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>1</sub>	24,00
	11 - miércoles - enero - 2012 a las 20:40 Horas (militar)	12 - jueves - enero - 2012 a las 15:50 Horas (militar)	TTR <sub>2</sub>	19,17
Mes 2 Año 1	20 - lunes - febrero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	20 - lunes - febrero - 2012 a las 02:00 Horas (militar)	TTR <sub>3</sub>	2,00
Mes 3 Año 1	05 - lunes - marzo - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	05 - lunes - marzo - 2012 a las 11:00 Horas (militar)	TTR <sub>4</sub>	11,00
Mes 4 Año 1	02 - lunes - abril - 2012 a las 08:00 Horas (militar)	02 - lunes - abril - 2012 a las 14:00 Horas (militar)	TTR <sub>5</sub>	6,00
	22 - domingo - abril - 2012 a las 07:20 Horas (militar)	22 - domingo - abril - 2012 a las 09:10 Horas (militar)	TTR <sub>6</sub>	1,83
	24 - martes - abril - 2012 a las 04:15 Horas (militar)	25 - miércoles - abril - 2012 a las 07:20 Horas (militar)	TTR <sub>7</sub>	27,08
Mes 5 Año 1			TTR <sub>8</sub>	0,00
Mes 6 Año 1	04 - lunes - junio - 2012 a las 06:40 Horas (militar)	04 - lunes - junio - 2012 a las 09:40 Horas (militar)	TTR <sub>9</sub>	3,00
	25 - lunes - junio - 2012 a las 08:00 Horas (militar)	25 - lunes - junio - 2012 a las 16:30 Horas (militar)	TTR <sub>10</sub>	8,50
Mes 7 Año 1	02 - lunes - julio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	02 - lunes - julio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>11</sub>	0,00
Mes 8 Año 1			TTR <sub>12</sub>	0,00
Mes 9 Año 1			TTR <sub>13</sub>	0,00
Mes 10 Año 1	17 - miércoles - octubre - 2012 a las 08:00 Horas (militar)	17 - miércoles - octubre - 2012 a las 22:00 Horas (militar)	TTR <sub>14</sub>	14,00
Mes 11 Año 1	08 - jueves - noviembre - 2012 a las 07:00 Horas (militar)	08 - jueves - noviembre - 2012 a las 22:00 Horas (militar)	TTR <sub>15</sub>	15,00
Mes 12 Año 1	01 - sábado - diciembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	01 - sábado - diciembre - 2012 a las 04:00 Horas (militar)	TTR <sub>16</sub>	4,00
	12 - miércoles - diciembre - 2012 a las 17:20 Horas (militar)	12 - miércoles - diciembre - 2012 a las 21:10 Horas (militar)	TTR <sub>17</sub>	3,83
Mes 1 Año 2	17 - jueves - enero - 2013 a las 14:00 Horas (militar)	17 - jueves - enero - 2013 a las 15:00 Horas (militar)	TTR <sub>18</sub>	1,00
Mes 2 Año 2	08 - viernes - febrero - 2013 a las 18:09 Horas (militar)	09 - sábado - febrero - 2013 a las 01:44 Horas (militar)	TTR <sub>19</sub>	7,58
	28 - jueves - febrero - 2013 a las 00:25 Horas (militar)	28 - jueves - febrero - 2013 a las 02:13 Horas (militar)	TTR <sub>20</sub>	1,80
Mes 3 Año 2	07 - jueves - marzo - 2013 a las 00:20 Horas (militar)	07 - jueves - marzo - 2013 a las 02:40 Horas (militar)	TTR <sub>21</sub>	2,33
	13 - miércoles - marzo - 2013 a las 17:12 Horas (militar)	13 - miércoles - marzo - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	TTR <sub>22</sub>	0,80
	17 - domingo - marzo - 2013 a las 23:30 Horas (militar)	18 - lunes - marzo - 2013 a las 05:22 Horas (militar)	TTR <sub>23</sub>	5,87
	18 - lunes - marzo - 2013 a las 21:35 Horas (militar)	18 - lunes - marzo - 2013 a las 23:59 Horas (militar)	TTR <sub>24</sub>	2,40
	18 - lunes - marzo - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	19 - martes - marzo - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>25</sub>	24,00
Mes 4 Año 2	04 - jueves - abril - 2013 a las 07:50 Horas (militar)	04 - jueves - abril - 2013 a las 16:45 Horas (militar)	TTR <sub>26</sub>	8,92
Mes 5 Año 2	05 - domingo - mayo - 2013 a las 12:00 Horas (militar)	06 - lunes - mayo - 2013 a las 14:00 Horas (militar)	TTR <sub>27</sub>	26,00
Mes 6 Año 2	01 - sábado - junio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	02 - domingo - junio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>28</sub>	24,00
Mes 7 Año 2	01 - lunes - julio - 2013 a las 07:30 Horas (militar)	01 - lunes - julio - 2013 a las 13:30 Horas (militar)	TTR <sub>29</sub>	6,00
	10 - miércoles - julio - 2013 a las 16:35 Horas (militar)	10 - miércoles - julio - 2013 a las 17:10 Horas (militar)	TTR <sub>30</sub>	0,58
	15 - lunes - julio - 2013 a las 21:25 Horas (militar)	15 - lunes - julio - 2013 a las 22:35 Horas (militar)	TTR <sub>31</sub>	1,17
	17 - miércoles - julio - 2013 a las 21:15 Horas (militar)	17 - miércoles - julio - 2013 a las 23:43 Horas (militar)	TTR <sub>32</sub>	2,47
	21 - domingo - julio - 2013 a las 10:05 Horas (militar)	23 - martes - julio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>33</sub>	37,92
Mes 8 Año 2	09 - viernes - agosto - 2013 a las 07:30 Horas (militar)	09 - viernes - agosto - 2013 a las 11:30 Horas (militar)	TTR <sub>34</sub>	4,00
Mes 9 Año 2	01 - domingo - septiembre - 2013 a las 06:00 Horas (militar)	01 - domingo - septiembre - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	TTR <sub>35</sub>	12,00
Mes 10 Año 2	01 - martes - octubre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	02 - miércoles - octubre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>36</sub>	24,00
Mes 11 Año 2	02 - sábado - noviembre - 2013 a las 08:00 Horas (militar)	02 - sábado - noviembre - 2013 a las 11:00 Horas (militar)	TTR <sub>37</sub>	3,00
Mes 12 Año 2	01 - domingo - diciembre - 2013 a las 09:35 Horas (militar)	01 - domingo - diciembre - 2013 a las 12:08 Horas (militar)	TTR <sub>38</sub>	2,08
	11 - miércoles - diciembre - 2013 a las 13:00 Horas (militar)	11 - miércoles - diciembre - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	TTR <sub>39</sub>	5,00
	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 20:18 Horas (militar)	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 21:15 Horas (militar)	TTR <sub>40</sub>	0,95
	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 07:23 Horas (militar)	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 08:38 Horas (militar)	TTR <sub>41</sub>	1,25
Mes 1 Año 3	20 - viernes - diciembre - 2013 a las 10:06 Horas (militar)	20 - viernes - diciembre - 2013 a las 10:31 Horas (militar)	TTR <sub>42</sub>	0,42
	07 - martes - enero - 2014 a las 13:30 Horas (militar)	07 - martes - enero - 2014 a las 15:35 Horas (militar)	TTR <sub>43</sub>	2,08
	18 - sábado - enero - 2014 a las 19:30 Horas (militar)	19 - domingo - enero - 2014 a las 01:30 Horas (militar)	TTR <sub>44</sub>	6,00
Mes 2 Año 3	30 - jueves - enero - 2014 a las 22:27 Horas (militar)	30 - jueves - enero - 2014 a las 23:56 Horas (militar)	TTR <sub>45</sub>	1,48
	11 - martes - febrero - 2014 a las 16:45 Horas (militar)	11 - martes - febrero - 2014 a las 17:20 Horas (militar)	TTR <sub>46</sub>	0,58
	17 - lunes - febrero - 2014 a las 00:55 Horas (militar)	17 - lunes - febrero - 2014 a las 13:10 Horas (militar)	TTR <sub>47</sub>	12,25
Mes 3 Año 3	20 - jueves - febrero - 2014 a las 00:40 Horas (militar)	20 - jueves - febrero - 2014 a las 13:36 Horas (militar)	TTR <sub>48</sub>	12,93
	22 - sábado - febrero - 2014 a las 19:45 Horas (militar)	22 - sábado - febrero - 2014 a las 21:05 Horas (militar)	TTR <sub>49</sub>	1,33
	01 - sábado - marzo - 2014 a las 04:15 Horas (militar)	01 - sábado - marzo - 2014 a las 06:00 Horas (militar)	TTR <sub>50</sub>	1,75
Mes 4 Año 3	02 - domingo - marzo - 2014 a las 06:00 Horas (militar)	02 - domingo - marzo - 2014 a las 06:10 Horas (militar)	TTR <sub>51</sub>	0,17
	02 - domingo - marzo - 2014 a las 11:27 Horas (militar)	02 - domingo - marzo - 2014 a las 18:00 Horas (militar)	TTR <sub>52</sub>	6,55
Mes 5 Año 3	06 - domingo - abril - 2014 a las 18:27 Horas (militar)	06 - domingo - abril - 2014 a las 20:00 Horas (militar)	TTR <sub>53</sub>	1,55
Mes 6 Año 3	05 - lunes - mayo - 2014 a las 11:05 Horas (militar)	05 - lunes - mayo - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	TTR <sub>54</sub>	0,92
Mes 7 Año 3	07 - sábado - junio - 2014 a las 15:45 Horas (militar)	07 - sábado - junio - 2014 a las 17:30 Horas (militar)	TTR <sub>55</sub>	1,75
	25 - miércoles - junio - 2014 a las 07:00 Horas (militar)	25 - miércoles - junio - 2014 a las 17:00 Horas (militar)	TTR <sub>56</sub>	10,00
Mes 8 Año 3	10 - jueves - julio - 2014 a las 10:00 Horas (militar)	11 - viernes - julio - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>57</sub>	14,00
Mes 9 Año 3	07 - jueves - agosto - 2014 a las 07:30 Horas (militar)	07 - jueves - agosto - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	TTR <sub>58</sub>	4,50
Mes 10 Año 3	01 - lunes - septiembre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	03 - miércoles - septiembre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	TTR <sub>59</sub>	48,00
	30 - martes - septiembre - 2014 a las 15:30 Horas (militar)	30 - martes - septiembre - 2014 a las 16:30 Horas (militar)	TTR <sub>60</sub>	1,00

Mes y año del evento	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Tiempo útil	Tipo	Tiempo útil (h)
Mes 1 Año 1	07 - sábado - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	09 - lunes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>1</sub>	48,00
	10 - martes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	11 - miércoles - enero - 2012 a las 20:40 Horas (militar)	UT <sub>2</sub>	44,67
	12 - jueves - enero - 2012 a las 15:50 Horas (militar)	31 - martes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>3</sub>	440,17
Mes 2 Año 1	01 - miércoles - febrero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	20 - lunes - febrero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>4</sub>	456,00
Mes 3 Año 1			UT <sub>5</sub>	0,00
Mes 4 Año 1	03 - martes - abril - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	22 - domingo - abril - 2012 a las 07:20 Horas (militar)	UT <sub>6</sub>	463,33
	22 - domingo - abril - 2012 a las 09:10 Horas (militar)	24 - martes - abril - 2012 a las 04:15 Horas (militar)	UT <sub>7</sub>	43,08
	25 - miércoles - abril - 2012 a las 07:20 Horas (militar)	30 - lunes - abril - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>8</sub>	112,67
Mes 5 Año 1	01 - martes - mayo - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	31 - jueves - mayo - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>9</sub>	720,00
Mes 6 Año 1	01 - viernes - junio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	04 - lunes - junio - 2012 a las 06:40 Horas (militar)	UT <sub>10</sub>	78,67
	04 - lunes - junio - 2012 a las 09:40 Horas (militar)	23 - sábado - junio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>11</sub>	446,33
Mes 7 Año 1	12 - jueves - julio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	31 - martes - julio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>12</sub>	456,00
Mes 8 Año 1	01 - miércoles - agosto - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	31 - viernes - agosto - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>13</sub>	720,00
Mes 9 Año 1	01 - sábado - septiembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	30 - domingo - septiembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>14</sub>	696,00
Mes 10 Año 1	01 - lunes - octubre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	17 - miércoles - octubre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>15</sub>	384,00
Mes 11 Año 1			UT <sub>16</sub>	0,00
Mes 12 Año 1	11 - martes - diciembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	12 - miércoles - diciembre - 2012 a las 17:20 Horas (militar)	UT <sub>17</sub>	41,33
	12 - miércoles - diciembre - 2012 a las 21:10 Horas (militar)	31 - lunes - diciembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>18</sub>	434,83
Mes 1 Año 2	01 - martes - enero - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	17 - jueves - enero - 2013 a las 14:00 Horas (militar)	UT <sub>19</sub>	398,00
	17 - jueves - enero - 2013 a las 15:00 Horas (militar)	31 - jueves - enero - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>20</sub>	321,00
Mes 2 Año 2	01 - viernes - febrero - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	08 - viernes - febrero - 2013 a las 18:09 Horas (militar)	UT <sub>21</sub>	186,15
	09 - sábado - febrero - 2013 a las 01:44 Horas (militar)	28 - jueves - febrero - 2013 a las 00:25 Horas (militar)	UT <sub>22</sub>	454,68
	28 - jueves - febrero - 2013 a las 02:13 Horas (militar)	28 - jueves - febrero - 2013 a las 23:59 Horas (militar)	UT <sub>23</sub>	21,77
Mes 3 Año 2	01 - viernes - marzo - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	07 - jueves - marzo - 2013 a las 00:20 Horas (militar)	UT <sub>24</sub>	144,33
	07 - jueves - marzo - 2013 a las 02:40 Horas (militar)	13 - miércoles - marzo - 2013 a las 17:12 Horas (militar)	UT <sub>25</sub>	158,53
	13 - miércoles - marzo - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	17 - domingo - marzo - 2013 a las 23:30 Horas (militar)	UT <sub>26</sub>	101,50
	18 - lunes - marzo - 2013 a las 05:22 Horas (militar)	18 - lunes - marzo - 2013 a las 23:59 Horas (militar)	UT <sub>27</sub>	18,62
Mes 4 Año 2			UT <sub>28</sub>	0,00
Mes 5 Año 2			UT <sub>29</sub>	0,00
Mes 6 Año 2			UT <sub>30</sub>	0,00
Mes 7 Año 2	02 - martes - julio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	10 - miércoles - julio - 2013 a las 16:35 Horas (militar)	UT <sub>31</sub>	208,58
	10 - miércoles - julio - 2013 a las 17:10 Horas (militar)	15 - lunes - julio - 2013 a las 21:25 Horas (militar)	UT <sub>32</sub>	124,25
	15 - lunes - julio - 2013 a las 22:35 Horas (militar)	17 - miércoles - julio - 2013 a las 21:15 Horas (militar)	UT <sub>33</sub>	46,67
	17 - miércoles - julio - 2013 a las 23:43 Horas (militar)	21 - domingo - julio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>34</sub>	72,28
Mes 8 Año 2			UT <sub>35</sub>	0,00
Mes 9 Año 2			UT <sub>36</sub>	0,00
Mes 10 Año 2			UT <sub>37</sub>	0,00
Mes 11 Año 2	06 - miércoles - noviembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	30 - sábado - noviembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>38</sub>	576,00
Mes 12 Año 2	01 - domingo - diciembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	01 - domingo - diciembre - 2013 a las 09:35 Horas (militar)	UT <sub>39</sub>	9,58
	01 - domingo - diciembre - 2013 a las 12:08 Horas (militar)	11 - miércoles - diciembre - 2013 a las 13:00 Horas (militar)	UT <sub>40</sub>	240,87
	11 - miércoles - diciembre - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 20:18 Horas (militar)	UT <sub>41</sub>	26,30
	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 21:15 Horas (militar)	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 23:23 Horas (militar)	UT <sub>42</sub>	2,13
	12 - jueves - diciembre - 2013 a las 08:38 Horas (militar)	20 - viernes - diciembre - 2013 a las 10:06 Horas (militar)	UT <sub>43</sub>	193,47
	20 - viernes - diciembre - 2013 a las 10:31 Horas (militar)	31 - martes - diciembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>44</sub>	253,48
Mes 1 Año 3	01 - miércoles - enero - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	07 - martes - enero - 2014 a las 13:30 Horas (militar)	UT <sub>45</sub>	157,50
	07 - martes - enero - 2014 a las 15:35 Horas (militar)	18 - sábado - enero - 2014 a las 19:30 Horas (militar)	UT <sub>46</sub>	267,92
	19 - domingo - enero - 2014 a las 01:30 Horas (militar)	30 - jueves - enero - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	UT <sub>47</sub>	274,50
Mes 2 Año 3	01 - sábado - febrero - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	11 - martes - febrero - 2014 a las 16:45 Horas (militar)	UT <sub>48</sub>	256,75
	11 - martes - febrero - 2014 a las 17:20 Horas (militar)	17 - lunes - febrero - 2014 a las 00:55 Horas (militar)	UT <sub>49</sub>	127,58
	17 - lunes - febrero - 2014 a las 13:10 Horas (militar)	20 - jueves - febrero - 2014 a las 00:40 Horas (militar)	UT <sub>50</sub>	59,50
	20 - jueves - febrero - 2014 a las 13:36 Horas (militar)	22 - sábado - febrero - 2014 a las 19:45 Horas (militar)	UT <sub>51</sub>	54,15
	22 - sábado - febrero - 2014 a las 21:05 Horas (militar)	28 - viernes - febrero - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>52</sub>	122,92
Mes 3 Año 3	01 - sábado - marzo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	02 - domingo - marzo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>53</sub>	24,00
Mes 4 Año 3	01 - martes - abril - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	06 - domingo - abril - 2014 a las 18:27 Horas (militar)	UT <sub>54</sub>	138,45
	06 - domingo - abril - 2014 a las 20:00 Horas (militar)	30 - miércoles - abril - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>55</sub>	556,00
Mes 5 Año 3	01 - jueves - mayo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	05 - lunes - mayo - 2014 a las 11:05 Horas (militar)	UT <sub>56</sub>	107,08
	05 - lunes - mayo - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	30 - viernes - mayo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>57</sub>	588,00
Mes 6 Año 3	01 - domingo - junio - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	07 - sábado - junio - 2014 a las 15:45 Horas (militar)	UT <sub>58</sub>	147,75
	07 - sábado - junio - 2014 a las 17:30 Horas (militar)	25 - miércoles - junio - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>59</sub>	414,50
Mes 7 Año 3			UT <sub>60</sub>	0,00
Mes 8 Año 3			UT <sub>61</sub>	0,00
Mes 9 Año 3	22 - lunes - septiembre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	30 - martes - septiembre - 2014 a las 15:30 Horas (militar)	UT <sub>62</sub>	207,50
	30 - martes - septiembre - 2014 a las 16:30 Horas (militar)	30 - martes - septiembre - 2014 a las 23:59 Horas (militar)	UT <sub>63</sub>	7,48
Mes 10 Año 3	01 - miércoles - octubre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	20 - lunes - octubre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>64</sub>	456,00

Mes y año del evento	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Correctivo o Modificativo	Tipo	Tiempo (h)
Mes 1 Año 1	16 - lunes - enero - 2012 a las 18:00 Horas (militar)	16 - lunes - enero - 2012 a las 20:00 Horas (militar)	M <sub>p1</sub>	2,00
	30 - lunes - enero - 2012 a las 18:15 Horas (militar)	30 - lunes - enero - 2012 a las 20:30 Horas (militar)	M <sub>p2</sub>	2,25
Mes 2 Año 1	14 - martes - febrero - 2012 a las 19:20 Horas (militar)	14 - martes - febrero - 2012 a las 20:07 Horas (militar)	M <sub>p3</sub>	0,78
Mes 4 Año 1	03 - martes - abril - 2012 a las 06:00 Horas (militar)	03 - martes - abril - 2012 a las 12:00 Horas (militar)	M <sub>p5</sub>	6,00
Mes 6 Año 1	12 - martes - junio - 2012 a las 18:00 Horas (militar)	12 - martes - junio - 2012 a las 19:00 Horas (militar)	M <sub>p7</sub>	1,00
Mes 12 Año 1	16 - domingo - diciembre - 2012 a las 15:30 Horas (militar)	16 - domingo - diciembre - 2012 a las 16:30 Horas (militar)	M <sub>p13</sub>	1,00
Mes 3 Año 2	09 - sábado - marzo - 2013 a las 18:27 Horas (militar)	09 - sábado - marzo - 2013 a las 19:50 Horas (militar)	M <sub>p16</sub>	1,38
Mes 12 Año 2	26 - jueves - diciembre - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	26 - jueves - diciembre - 2013 a las 18:40 Horas (militar)	M <sub>p25</sub>	0,67
Mes 4 Año 3	18 - viernes - abril - 2014 a las 18:00 Horas (militar)	18 - viernes - abril - 2014 a las 18:20 Horas (militar)	M <sub>p29</sub>	0,33

Mes y año del evento	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Tiempo útil	Tipo	Tiempo útil (h)
Mes 1 Año 1	07 - sábado - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	09 - lunes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>1</sub>	48,00
	10 - martes - enero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	16 - lunes - enero - 2012 a las 18:00 Horas (militar)	UT <sub>2</sub>	162,00
	16 - lunes - enero - 2012 a las 20:00 Horas (militar)	30 - lunes - enero - 2012 a las 18:15 Horas (militar)	UT <sub>3</sub>	334,25
	30 - lunes - enero - 2012 a las 20:30 Horas (militar)	31 - martes - enero - 2012 a las 12:00 Horas (militar)	UT <sub>4</sub>	15,50
Mes 2 Año 1	01 - miércoles - febrero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	14 - martes - febrero - 2012 a las 19:20 Horas (militar)	UT <sub>5</sub>	331,33
	14 - martes - febrero - 2012 a las 20:07 Horas (militar)	20 - lunes - febrero - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>6</sub>	123,88
Mes 4 Año 1	03 - martes - abril - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	03 - martes - abril - 2012 a las 06:00 Horas (militar)	UT <sub>8</sub>	6,00
	03 - martes - abril - 2012 a las 12:00 Horas (militar)	30 - lunes - abril - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>9</sub>	636,00
Mes 5 Año 1	01 - martes - mayo - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	31 - jueves - mayo - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>10</sub>	720,00
Mes 6 Año 1	01 - viernes - junio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	12 - martes - junio - 2012 a las 18:00 Horas (militar)	UT <sub>11</sub>	282,00
	12 - martes - junio - 2012 a las 19:00 Horas (militar)	23 - sábado - junio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>12</sub>	245,00
Mes 7 Año 1	01 - domingo - julio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	12 - jueves - julio - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>13</sub>	264,00
Mes 8 Año 1	01 - miércoles - agosto - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	31 - viernes - agosto - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>14</sub>	720,00
Mes 9 Año 1	01 - sábado - septiembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	30 - domingo - septiembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>15</sub>	696,00
Mes 10 Año 1	01 - lunes - octubre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	17 - miércoles - octubre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>16</sub>	384,00
Mes 12 Año 1	11 - martes - diciembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	16 - domingo - diciembre - 2012 a las 15:30 Horas (militar)	UT <sub>18</sub>	135,50
	16 - domingo - diciembre - 2012 a las 16:30 Horas (militar)	31 - lunes - diciembre - 2012 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>19</sub>	343,50
Mes 1 Año 2	01 - martes - enero - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	31 - jueves - enero - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>20</sub>	720,00
Mes 2 Año 2	01 - viernes - febrero - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	28 - jueves - febrero - 2013 a las 23:59 Horas (militar)	UT <sub>21</sub>	671,98
Mes 3 Año 2	01 - viernes - marzo - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	09 - sábado - marzo - 2013 a las 18:27 Horas (militar)	UT <sub>22</sub>	210,45
	09 - sábado - marzo - 2013 a las 19:50 Horas (militar)	18 - lunes - marzo - 2013 a las 23:59 Horas (militar)	UT <sub>23</sub>	220,15
Mes 7 Año 2	02 - martes - julio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	21 - domingo - julio - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>27</sub>	456,00
Mes 11 Año	06 - miércoles - noviembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	30 - sábado - noviembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>31</sub>	576,00
Mes 12 Año 2	01 - domingo - diciembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	26 - jueves - diciembre - 2013 a las 18:00 Horas (militar)	UT <sub>32</sub>	618,00
	26 - jueves - diciembre - 2013 a las 18:40 Horas (militar)	31 - martes - diciembre - 2013 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>33</sub>	101,33
Mes 1 Año 3	01 - miércoles - enero - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	30 - jueves - enero - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	UT <sub>34</sub>	708,00
Mes 2 Año 3	01 - sábado - febrero - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	28 - viernes - febrero - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>35</sub>	648,00
Mes 3 Año 3	01 - sábado - marzo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	02 - domingo - marzo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>36</sub>	24,00
Mes 4 Año 3	01 - martes - abril - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	18 - viernes - abril - 2014 a las 18:00 Horas (militar)	UT <sub>37</sub>	426,00
	18 - viernes - abril - 2014 a las 18:20 Horas (militar)	30 - miércoles - abril - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>38</sub>	269,67
Mes 5 Año 3	01 - jueves - mayo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	30 - viernes - mayo - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>39</sub>	696,00
Mes 6 Año 3	01 - domingo - junio - 2014 a las 12:00 Horas (militar)	25 - miércoles - junio - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>40</sub>	564,00
Mes 9 Año 3	22 - lunes - septiembre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	30 - martes - septiembre - 2014 a las 15:30 Horas (militar)	UT <sub>43</sub>	207,50
	30 - martes - septiembre - 2014 a las 16:30 Horas (militar)	30 - martes - septiembre - 2014 a las 23:59 Horas (militar)	UT <sub>44</sub>	7,48
Mes 10 Año 3	01 - miércoles - octubre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	20 - lunes - octubre - 2014 a las 00:00 Horas (militar)	UT <sub>45</sub>	456,00

Las dos primeras tablas corresponden a los tiempos de reparación y tiempos útiles entre correctivos, las dos siguientes contiene igual información para los programados. Los eventos se organizan en forma cronológica.

### 3.3.2 Definición de la disponibilidad a utilizar

Para la BAAC se tiene disponible información de tiempos de funcionalidad y no funcionalidad, en las actividades de mantenimiento existen registros de tiempos de ejecución, las demoras asociadas a la administración y logística no poseen histórico, al verificar las opciones del paso 3 (disponibilidad factible de utilizar o posible de calcular) de la Ilustración 5 y los datos disponible se determina el uso de la disponibilidad alcanzada para realizar el análisis CMD de la BAAC. El numeral 1.3.4.3 del capítulo 1 explica mediante la Ecuación 5 la forma de cálculo de la disponibilidad alcanzada  $A_A$ .

Para facilitar el cálculo de la disponibilidad alcanzada de la BAAC se organiza la información para programados y correctivos de forma independiente, las tablas de la Ilustración 18 contiene los datos en mención.

Ilustración 18 - Datos para mantenimiento no planeado y planeado (promedio por mes).

Dato de	MTTR	Valor horas promedio mes NETO	Dato de	MTBM <sub>C</sub>	Valor horas promedio mes
Mes 1 Año 1	1	21,5833	Mes 1 Año 1	1	177,6111
Mes 2 Año 1	2	2,0000	Mes 2 Año 1	2	456,0000
Mes 3 Año 1	3	11,0000	Mes 3 Año 1	3	0,0000
Mes 4 Año 1	4	11,6389	Mes 4 Año 1	4	206,3611
Mes 5 Año 1	5	0,0000	Mes 5 Año 1	5	720,0000
Mes 6 Año 1	6	5,7500	Mes 6 Año 1	6	262,5000
Mes 7 Año 1	7	0,0000	Mes 7 Año 1	7	456,0000
Mes 8 Año 1	8	0,0000	Mes 8 Año 1	8	720,0000
Mes 9 Año 1	9	0,0000	Mes 9 Año 1	9	696,0000
Mes 10 Año1	10	14,0000	Mes 10 Año1	10	384,0000
Mes 11 Año 1	11	15,0000	Mes 11 Año 1	11	0,0000
Mes 12 Año 1	12	3,9167	Mes 12 Año 1	12	238,0833
Mes 1 Año 2	13	1,0000	Mes 1 Año 2	13	359,5000
Mes 2 Año 2	14	4,6917	Mes 2 Año 2	14	220,8667
Mes 3 Año 2	15	7,0800	Mes 3 Año 2	15	105,7458
Mes 4 Año 2	16	8,9167	Mes 4 Año 2	16	0,0000
Mes 5 Año 2	17	26,0000	Mes 5 Año 2	17	0,0000
Mes 6 Año 2	18	24,0000	Mes 6 Año 2	18	0,0000
Mes 7 Año 2	19	9,6267	Mes 7 Año 2	19	112,9458
Mes 8 Año 2	20	4,0000	Mes 8 Año 2	20	0,0000
Mes 9 Año 2	21	12,0000	Mes 9 Año 2	21	0,0000
Mes 10 Año2	22	24,0000	Mes 10 Año2	22	0,0000
Mes 11 Año 2	23	3,0000	Mes 11 Año 2	23	576,0000
Mes 12 Año 2	24	2,0333	Mes 12 Año 2	24	120,9722
Mes 1 Año 3	25	3,1889	Mes 1 Año 3	25	233,3056
Mes 2 Año 3	26	6,7750	Mes 2 Año 3	26	124,1800
Mes 3 Año 3	27	2,8222	Mes 3 Año 3	27	24,0000
Mes 4 Año 3	28	1,5500	Mes 4 Año 3	28	347,2250
Mes 5 Año 3	29	0,9167	Mes 5 Año 3	29	347,5417
Mes 6 Año 3	30	5,8750	Mes 6 Año 3	30	281,1250
Mes 7 Año 3	31	14,0000	Mes 7 Año 3	31	0,0000
Mes 8 Año 3	32	4,5000	Mes 8 Año 3	32	0,0000
Mes 9 Año 3	33	24,5000	Mes 9 Año 3	33	107,4917
Mes 10 Año 3	34		Mes 10 Año 3	34	456,0000

Dato de	MTBMP	Valor horas promedio mes
Mes 1 Año 1	1	139,9375
Mes 2 Año 1	2	227,6083
Mes 4 Año 1	4	321,0000
Mes 5 Año 1	5	720,0000
Mes 6 Año 1	6	263,5000
Mes 7 Año 1	7	264,0000
Mes 8 Año 1	8	720,0000
Mes 9 Año 1	9	696,0000
Mes 10 Año1	10	384,0000
Mes 12 Año 1	12	239,5000
Mes 1 Año 2	13	720,0000
Mes 2 Año 2	14	671,9833
Mes 3 Año 2	15	215,3000
Mes 7 Año 2	19	456,0000
Mes 11 Año 2	23	576,0000
Mes 12 Año 2	24	359,6667
Mes 1 Año 3	25	708,0000
Mes 2 Año 3	26	648,0000
Mes 3 Año 3	27	24,0000
Mes 4 Año 3	28	347,8333
Mes 5 Año 3	29	696,0000
Mes 6 Año 3	30	564,0000
Mes 9 Año 3	33	107,4917
Mes 10 Año 3	34	456,0000

Dato de	MP	Valor horas promedio mes NETO
Mes 1 Año 1	1	2,1250
Mes 2 Año 1	2	0,7833
Mes 4 Año 1	4	6,0000
Mes 6 Año 1	6	1,0000
Mes 11 Año 1	11	0,0000
Mes 12 Año 1	12	1,0000
Mes 3 Año 2	15	1,3833
Mes 12 Año 2	24	0,6667
Mes 4 Año 3	28	0,3333

Con la información de las tablas de la Ilustración 18 y la Ecuación 5 se calcula la disponibilidad alcanzada para la BAAC.

Los datos a analizar se describen en las tablas anteriores y permite poner en marcha el siguiente capítulo de medición, predicción y análisis de las variables CMD

### 3.4 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 3

La información propuesta en el desarrollo de esta sección tres, provee los datos organizados como lo exigen los métodos CMD de cálculo para su predicción y análisis, con lo cual se logra:

- Con la información de funcionalidad y mantenimiento organizada de forma estándar queda abierto el inicio del análisis CMD para la BAAC.
- Los mantenimientos correctivos superan en número y horas totales a los mantenimientos programados, este hecho induce (por simple inspección de datos) posibilidades de optimización en los tiempos útiles de la BAAC.
- Disponer de sistemas de registro de históricos es de gran importancia, más aún en equipos que pueden generar parada completa de una planta.
- La disponibilidad alcanzada es la más adecuada para el análisis CMD de la BAAC, ya que contempla tiempos de funcionalidad y no funcionalidad y los tiempos de ejecución de mantenimientos planeados y no planeados.
- El uso de la metodología universal para predicción CMD permite direccionar los esfuerzos para minimizar tiempo en la recolección y organización de los datos.
- El registro adecuado y confiable de la información (calidad de información) de una máquina garantiza que los resultados del análisis CMD tenga completa utilidad.



## 4 OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS

### 4.1 OBJETIVO 4

Establecer las actividades relevantes y su orden jerárquico, para mejorar los tiempos de operación y de no funcionalidad en la BAAC, con el fin de efectivizar el CMD global e individual de Confiabilidad, de Mantenibilidad y de Disponibilidad, del equipo; a partir de las predicciones y análisis estadístico de los parámetros, algoritmos y curvas CMD de la BAC, con el fin de optimizar sus tiempos útiles y de no funcionalidad – Nivel 4 – Analizar

### 4.2 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 4

El aparte en desarrollo cumple las etapas normales del tratamiento de información, las cuales consisten, en: inicialmente la evalúa la consistencia de la información pruebas estadísticas, de correlación, Cronbach, variabilidad, ACF<sup>9</sup>, etcétera, una vez validados los insumos numéricos de entrada, se procede a la parametrización y cálculos estándares CMD, con varios programas: Weibull 6, Statgraphics, BaseCMD y CMD Múltiple de Excel, posteriormente se hacen los pronósticos de cada uno de los parámetros que se calculan por método de alineación de Weibull y de otras funciones, acordadas a los valores que se generan, una vez se tienen los históricos del cálculo junto con pronósticos por series temporales, se realiza el análisis específico e integral de cada uno de los tiempos útiles o no y de cada uno de los parámetros y criterios, para posteriormente generar las mejoras estratégicas de CMD.

### 4.3 DESARROLLO CAPÍTULO & OBJETIVO 4

El primer paso entonces, trata de la validación de la información que sirve de insumo al proceso futurístico CMD.

#### 4.3.1.1 Validación de datos de entrada.

Para la disponibilidad alcanzada, es necesario, separar el registro histórico de datos en dos secciones, la parte No Planeada o Correctiva y la Planeada (preventiva y/o predictiva), para ello se presentan los Mapas respectivos, a continuación se presentan los tres, el general, el planeado y el no planeado, en los cuales se desglosan los tiempos útiles entre planeados los  $TBM_P$ <sup>10</sup>, los tiempos de función normal entre correctivos o no planeados denominados tiempos  $TBM_C$ , los tiempos de reparaciones correctivas  $TTR$ <sup>11</sup> y los trabajos de acciones planeadas  $M_P$ <sup>12</sup>.

---

<sup>9</sup> Prueba de Función de Auto Correlación – ACF .... *Auto-Correlation Function*

<sup>10</sup>  $TBM_P$  - Time Between Maintenance Planned

<sup>11</sup> TTR - Time To Repair

<sup>12</sup>  $M_P$  – Mantenimientos Planeados



Ilustración 20 - Mapa No Planeado de trabajos correctivos

Año 1

Tiempo de Funcionalidad - Confiabilidad																																				
UT <sub>1</sub>	UT <sub>2</sub>	UT <sub>3</sub>	UT <sub>4</sub>	UT <sub>5</sub>	UT <sub>6</sub>	UT <sub>7</sub>	UT <sub>8</sub>	UT <sub>9</sub>	UT <sub>10</sub>	UT <sub>11</sub>	UT <sub>12</sub>	UT <sub>13</sub>	UT <sub>14</sub>	UT <sub>15</sub>	UT <sub>16</sub>	UT <sub>17</sub>	UT <sub>18</sub>																			
TTR <sub>1</sub>	TTR <sub>2</sub>	TTR <sub>3</sub>	TTR <sub>4</sub>	TTR <sub>5</sub>	TTR <sub>6</sub>	TTR <sub>7</sub>	TTR <sub>8</sub>	TTR <sub>9</sub>	TTR <sub>10</sub>	TTR <sub>11</sub>	TTR <sub>12</sub>	TTR <sub>13</sub>	TTR <sub>14</sub>	TTR <sub>15</sub>	TTR <sub>16</sub>	TTR <sub>17</sub>	TTR <sub>18</sub>																			
Tiempo de No Funcionalidad - Mantenibilidad																																				
24.00	19.17	2.00	11.00	6.00	1.83	27.08	0.00	3.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	15.00	4.00	3.83																			
Valores	48.00	24.00	44.67	19.17	440.17	2.00	456.00	11.00	-	6.00	463.33	1.83	43.08	27.08	112.67	-	720.00	3.00	78.67	8.50	446.33	-	456.00	-	720.00	-	696.00	14.00	384.00	15.00	-	4.00	41.33	1.83	434.83	
	Mes 1 Año 1			Mes 2 Año 1			Mes 3 Año 1			Mes 4 Año 1			Mes 5 Año 1			Mes 6 Año 1			Mes 7 Año 1			Mes 8 Año 1			Mes 9 Año 1			Mes 10 Año 1			Mes 11 Año 1			Mes 12 Año 1		

Año 2

Tiempo de Funcionalidad - Confiabilidad																																														
UT <sub>19</sub>	UT <sub>20</sub>	UT <sub>21</sub>	UT <sub>22</sub>	UT <sub>23</sub>	UT <sub>24</sub>	UT <sub>25</sub>	UT <sub>26</sub>	UT <sub>27</sub>	UT <sub>28</sub>	UT <sub>29</sub>	UT <sub>30</sub>	UT <sub>31</sub>	UT <sub>32</sub>	UT <sub>33</sub>	UT <sub>34</sub>	UT <sub>35</sub>	UT <sub>36</sub>	UT <sub>37</sub>	UT <sub>38</sub>	UT <sub>39</sub>	UT <sub>40</sub>	UT <sub>41</sub>	UT <sub>42</sub>	UT <sub>43</sub>	UT <sub>44</sub>																					
TTR <sub>19</sub>	TTR <sub>20</sub>	TTR <sub>21</sub>	TTR <sub>22</sub>	TTR <sub>23</sub>	TTR <sub>24</sub>	TTR <sub>25</sub>	TTR <sub>26</sub>	TTR <sub>27</sub>	TTR <sub>28</sub>	TTR <sub>29</sub>	TTR <sub>30</sub>	TTR <sub>31</sub>	TTR <sub>32</sub>	TTR <sub>33</sub>	TTR <sub>34</sub>	TTR <sub>35</sub>	TTR <sub>36</sub>	TTR <sub>37</sub>	TTR <sub>38</sub>	TTR <sub>39</sub>	TTR <sub>40</sub>	TTR <sub>41</sub>	TTR <sub>42</sub>	TTR <sub>43</sub>	TTR <sub>44</sub>																					
Tiempo de No Funcionalidad - Mantenibilidad																																														
1.00	7.58	1.80	2.33	0.80	5.87	2.40	24.00	8.92	26.00	24.00	6.00	0.58	1.17	2.47	37.92	4.00	12.00	24.00	3.00	2.55	5.00	0.95	1.25	0.42																						
1.00	39.00	7.58	51.00	1.80	38.15	2.33	454.00	0.80	21.77	1.00	38.13	2.40	15.13	24.00	35.90	8.92	38.42	26.00	-	24.00	-	6.00	0.58	28.18	1.17	124.25	2.47	46.07	37.92	72.28	4.00	11.00	-	34.00	-	0.00	176.00	2.55	4.50	5.00	28.07	0.95	26.30	1.25	2.11	391.42
	Mes 1 Año 2			Mes 2 Año 2			Mes 3 Año 2			Mes 4 Año 2			Mes 5 Año 2			Mes 6 Año 2			Mes 7 Año 2			Mes 8 Año 2			Mes 9 Año 2			Mes 10 Año 2			Mes 11 Año 2			Mes 12 Año 2												

Año 3

Tiempo de Funcionalidad - Confiabilidad																																			
UT <sub>45</sub>	UT <sub>46</sub>	UT <sub>47</sub>	UT <sub>48</sub>	UT <sub>49</sub>	UT <sub>50</sub>	UT <sub>51</sub>	UT <sub>52</sub>	UT <sub>53</sub>	UT <sub>54</sub>	UT <sub>55</sub>	UT <sub>56</sub>	UT <sub>57</sub>	UT <sub>58</sub>	UT <sub>59</sub>	UT <sub>60</sub>	UT <sub>61</sub>																			
TTR <sub>45</sub>	TTR <sub>46</sub>	TTR <sub>47</sub>	TTR <sub>48</sub>	TTR <sub>49</sub>	TTR <sub>50</sub>	TTR <sub>51</sub>	TTR <sub>52</sub>	TTR <sub>53</sub>	TTR <sub>54</sub>	TTR <sub>55</sub>	TTR <sub>56</sub>	TTR <sub>57</sub>	TTR <sub>58</sub>	TTR <sub>59</sub>	TTR <sub>60</sub>																				
Tiempo de No Funcionalidad - Mantenibilidad																																			
2.08	6.00	1.48	0.58	12.25	12.93	1.33	1.75	0.17	6.55	1.55	0.92	1.75	10.00	14.00	4.50	48.00	1.00																		
2.08	253.48	6.00	157.50	1.48	267.92	0.58	274.50	12.25	256.75	12.93	127.58	1.33	59.50	1.75	54.15	0.17	122.92	6.55	24.00	1.55	138.45	0.92	556.00	1.75	107.08	10.00	588.00	14.00	147.75	4.50	414.50	48.00	-	1.00	-
	Mes 1 Año 3			Mes 2 Año 3			Mes 3 Año 3			Mes 4 Año 3			Mes 5 Año 3			Mes 6 Año 3			Mes 7 Año 3			Mes 8 Año 3			Mes 9 Año 3										

Ilustración 21 - Mapa Planeado de mantenimientos preventivos y/o predictivos

Año 1

Tiempos de Funcionalidad - Confiabilidad																																				
UT <sub>1</sub>	UT <sub>2</sub>	UT <sub>3</sub>	UT <sub>4</sub>	UT <sub>5</sub>	UT <sub>6</sub>	UT <sub>7</sub>	UT <sub>8</sub>	UT <sub>9</sub>	UT <sub>10</sub>	UT <sub>11</sub>	UT <sub>12</sub>	UT <sub>13</sub>	UT <sub>14</sub>																							
M <sub>P1</sub>	M <sub>P2</sub>	M <sub>P3</sub>	M <sub>P4</sub>	M <sub>P5</sub>	M <sub>P6</sub>	M <sub>P7</sub>	M <sub>P8</sub>	M <sub>P9</sub>	M <sub>P10</sub>	M <sub>P11</sub>	M <sub>P12</sub>	M <sub>P13</sub>																								
Tiempos de No Funcionalidad - Mantenibilidad																																				
Valores	48.00	2.00	162.00	2.25	334.25	0.78	15.50	-	331.33	6.00	123.88	-	-	1.00	6.00	-	636.00	-	720.00	-	282.00	-	245.00	-	264.00	1.00	720.00									
	Mes 1 Año 1			Mes 2 Año 1			Mes 3 Año 1			Mes 4 Año 1			Mes 5 Año 1			Mes 6 Año 1			Mes 7 Año 1			Mes 8 Año 1			Mes 9 Año 1			Mes 10 Año 1			Mes 11 Año 1			Mes 12 Año 1		

Año 2

Tiempos de Funcionalidad - Confiabilidad																																				
UT <sub>15</sub>	UT <sub>16</sub>	UT <sub>17</sub>	UT <sub>18</sub>	UT <sub>19</sub>	UT <sub>20</sub>	UT <sub>21</sub>	UT <sub>22</sub>	UT <sub>23</sub>	UT <sub>24</sub>	UT <sub>25</sub>	UT <sub>26</sub>																									
M <sub>P14</sub>	M <sub>P15</sub>	M <sub>P16</sub>	M <sub>P17</sub>	M <sub>P18</sub>	M <sub>P19</sub>	M <sub>P20</sub>	M <sub>P21</sub>	M <sub>P22</sub>	M <sub>P23</sub>	M <sub>P24</sub>	M <sub>P25</sub>																									
Tiempos de No Funcionalidad - Mantenibilidad																																				
Valores	696.00	-	384.00	1.38	-	-	135.50	-	343.50	-	720.00	-	671.98	-	210.45	-	220.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.67	-							
	Mes 1 Año 2			Mes 2 Año 2			Mes 3 Año 2			Mes 4 Año 2			Mes 5 Año 2			Mes 6 Año 2			Mes 7 Año 2			Mes 8 Año 2			Mes 9 Año 2			Mes 10 Año 2			Mes 11 Año 2			Mes 12 Año 2		

Año 3

Tiempos de Funcionalidad - Confiabilidad																																				
UT <sub>27</sub>	UT <sub>28</sub>	UT <sub>29</sub>	UT <sub>30</sub>	UT <sub>31</sub>	UT <sub>32</sub>	UT <sub>33</sub>	UT <sub>34</sub>	UT <sub>35</sub>	UT <sub>36</sub>	UT <sub>37</sub>	UT <sub>38</sub>																									
M <sub>P26</sub>	M <sub>P27</sub>	M <sub>P28</sub>	M <sub>P29</sub>	M <sub>P30</sub>	M <sub>P31</sub>	M <sub>P32</sub>	M <sub>P33</sub>	M <sub>P34</sub>	M <sub>P35</sub>	M <sub>P36</sub>	M <sub>P37</sub>																									
Tiempos de No Funcionalidad - Mantenibilidad																																				
Valores	456.00	-	-	-	-	0.33	-	-	576.00	-	638.00	-	101.33	-	708.00	-	648.00	-	24.00	-	426.00	-	269.67													
	Mes 1 Año 3			Mes 2 Año 3			Mes 3 Año 3			Mes 4 Año 3			Mes 5 Año 3			Mes 6 Año 3			Mes 7 Año 3			Mes 8 Año 3			Mes 9 Año 3			Mes 10 Año 3			Mes 11 Año 3			Mes 12 Año 3		

La primera prueba a realizar con el software DYANE (Santesmases, 2009), es la realización del Coeficiente Alfa de Cronbach, el cual debe ser superior a 0.65, para demostrar que allí están los datos suficientes y requeridos.

Para ello es necesario primero promediar en cada mes y a cada uno de los cuatro valores de  $TBM_P$ ,  $TBM_C$ ,  $TTR$  y  $M_P$ ; con el fin de construir cuatro series temporales así:

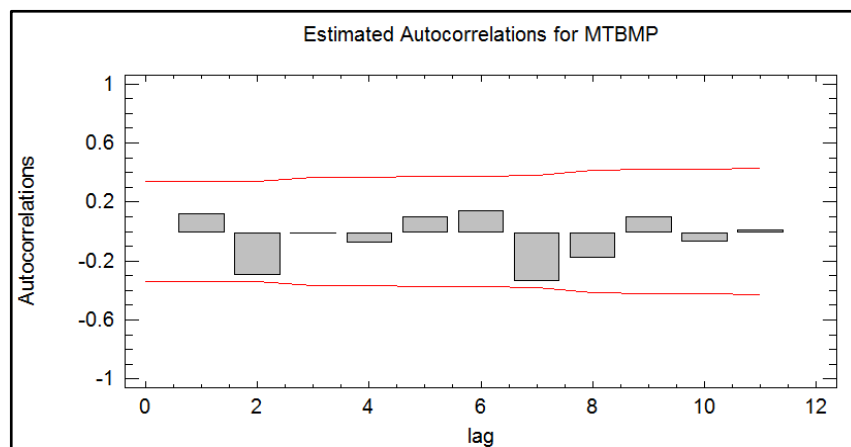
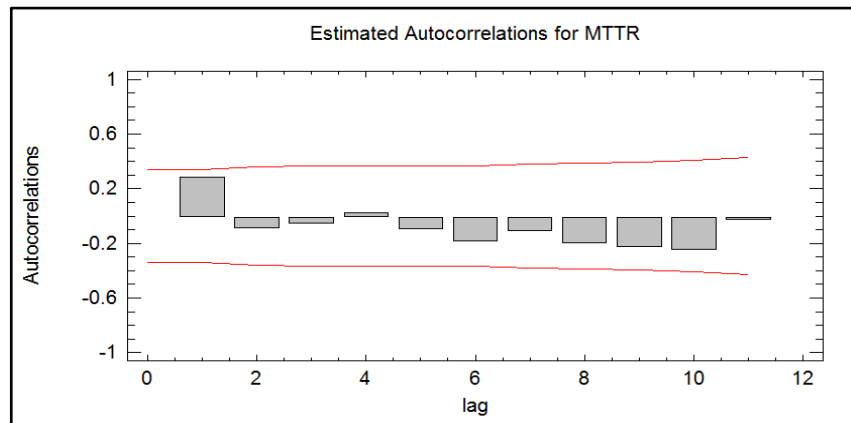
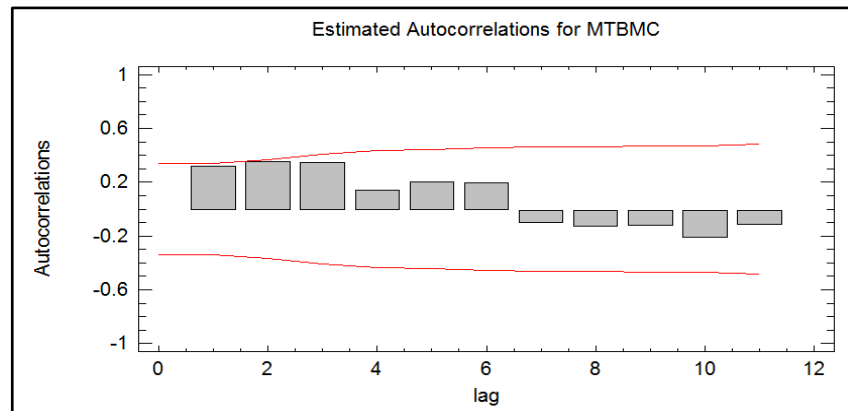
Ilustración 22 - Datos mensuales de los valores claves de C y M

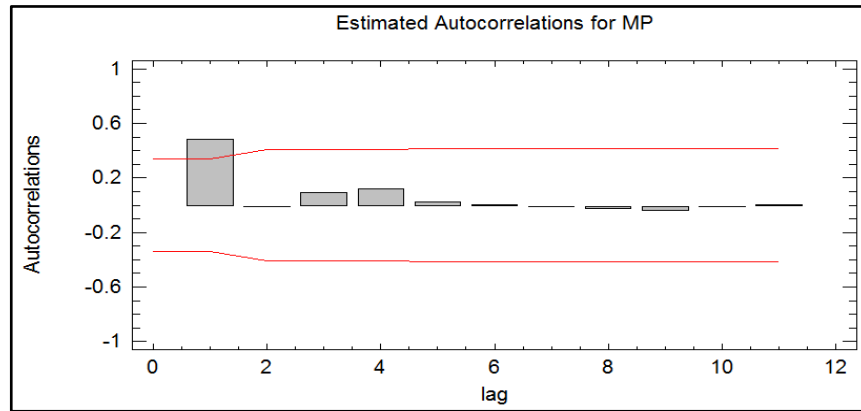
Número	Año - Mes - Calendario	Dato de	No Planeados		Planeados	
			$MTBM_C$	$MTTR$	$MTBM_P$	$M_P$
			Valor horas promedio mes Neto	Valor horas promedio mes Neto	Valor horas promedio mes Neto	Valor horas promedio mes Neto
1	Mes 1 Año 1	Mes 1 Año 1	177.61	21.58	139.94	2.13
2	Mes 2 Año 1	Mes 2 Año 1	456.00	2.00	227.61	0.78
3	Mes 3 Año 1	Mes 3 Año 1	456.00	11.00	227.61	0.78
4	Mes 4 Año 1	Mes 4 Año 1	206.36	11.64	321.00	6.00
5	Mes 5 Año 1	Mes 5 Año 1	720.00	11.64	720.00	6.00
6	Mes 6 Año 1	Mes 6 Año 1	262.50	5.75	263.50	1.00
7	Mes 7 Año 1	Mes 7 Año 1	456.00	5.75	264.00	1.00
8	Mes 8 Año 1	Mes 8 Año 1	720.00	5.75	720.00	1.00
9	Mes 9 Año 1	Mes 9 Año 1	696.00	5.75	696.00	1.00
10	Mes 10 Año1	Mes 10 Año1	384.00	14.00	384.00	1.00
11	Mes 11 Año 1	Mes 11 Año 1	384.00	15.00	384.00	1.00
12	Mes 12 Año 1	Mes 12 Año 1	238.08	3.92	239.50	1.00
13	Mes 1 Año 2	Mes 1 Año 2	359.50	1.00	720.00	1.00
14	Mes 2 Año 2	Mes 2 Año 2	220.87	4.69	671.98	1.00
15	Mes 3 Año 2	Mes 3 Año 2	105.75	7.08	215.30	1.38
16	Mes 4 Año 2	Mes 4 Año 2	105.75	8.92	215.30	1.38
17	Mes 5 Año 2	Mes 5 Año 2	105.75	26.00	215.30	1.38
18	Mes 6 Año 2	Mes 6 Año 2	105.75	24.00	215.30	1.38
19	Mes 7 Año 2	Mes 7 Año 2	112.95	9.63	456.00	1.38
20	Mes 8 Año 2	Mes 8 Año 2	112.95	4.00	456.00	1.38
21	Mes 9 Año 2	Mes 9 Año 2	112.95	12.00	456.00	1.38
22	Mes 10 Año2	Mes 10 Año2	112.95	24.00	456.00	1.38
23	Mes 11 Año 2	Mes 11 Año 2	576.00	3.00	576.00	1.38
24	Mes 12 Año 2	Mes 12 Año 2	120.97	2.03	359.67	0.67
25	Mes 1 Año 3	Mes 1 Año 3	233.31	3.19	708.00	0.67
26	Mes 2 Año 3	Mes 2 Año 3	124.18	6.77	648.00	0.67
27	Mes 3 Año 3	Mes 3 Año 3	24.00	2.82	24.00	0.67
28	Mes 4 Año 3	Mes 4 Año 3	347.23	1.55	347.83	0.33
29	Mes 5 Año 3	Mes 5 Año 3	347.54	0.92	696.00	0.33
30	Mes 6 Año 3	Mes 6 Año 3	281.13	5.88	564.00	0.33
31	Mes 7 Año 3	Mes 7 Año 3	281.13	14.00	564.00	0.33
32	Mes 8 Año 3	Mes 8 Año 3	281.13	4.50	564.00	0.33
33	Mes 9 Año 3	Mes 9 Año 3	107.49	24.50	107.49	0.33
34	Mes 10 Año 3	Mes 10 Año 3	456.00	24.50	456.00	0.33

La prueba de Cronbach con 4 variables da un valor de 0.4236, frente a un valor mínimo aceptable de 0.7, lo cual sugiere que no cumple a cabalidad.

Otra prueba importante des el ACF, para ello entran los datos a Statgraphics Centurion, donde se realizan las siguientes gráficas.

Ilustración 23 - Pruebas del ACF para las cuatro variables de C y M.

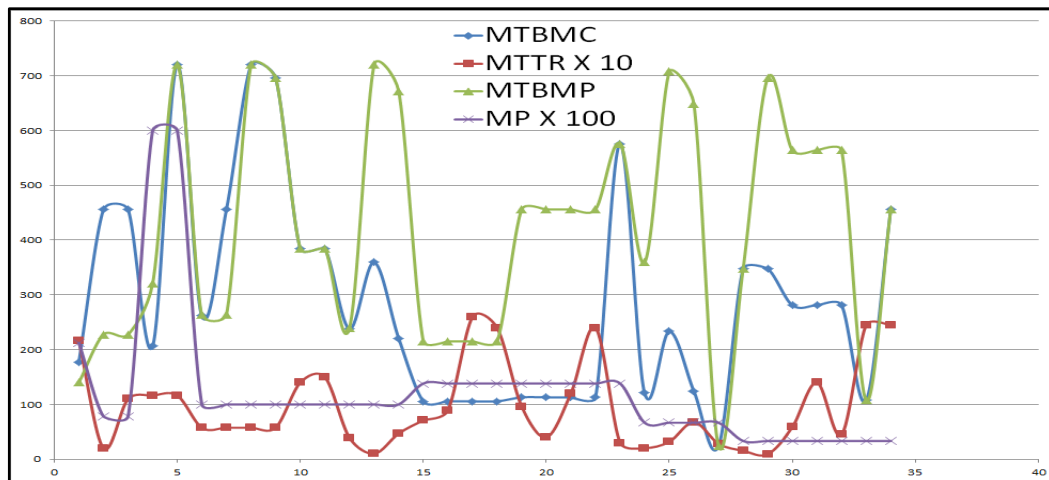


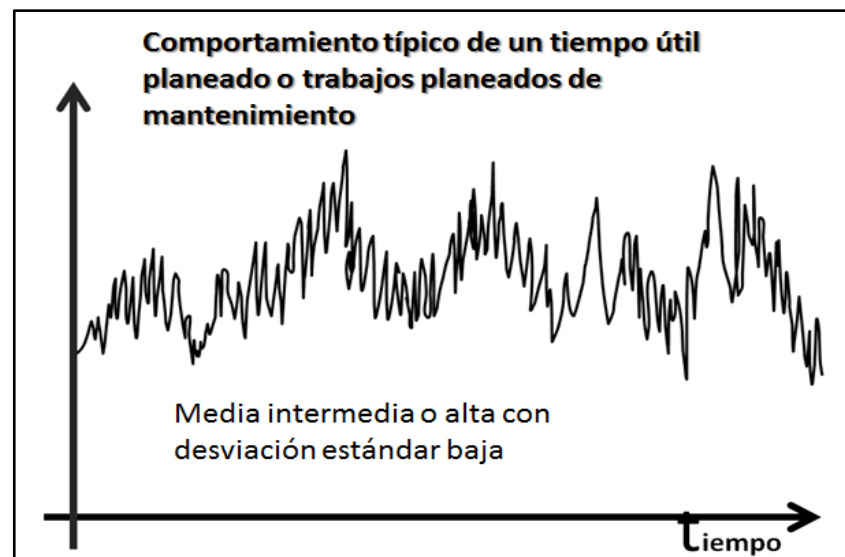
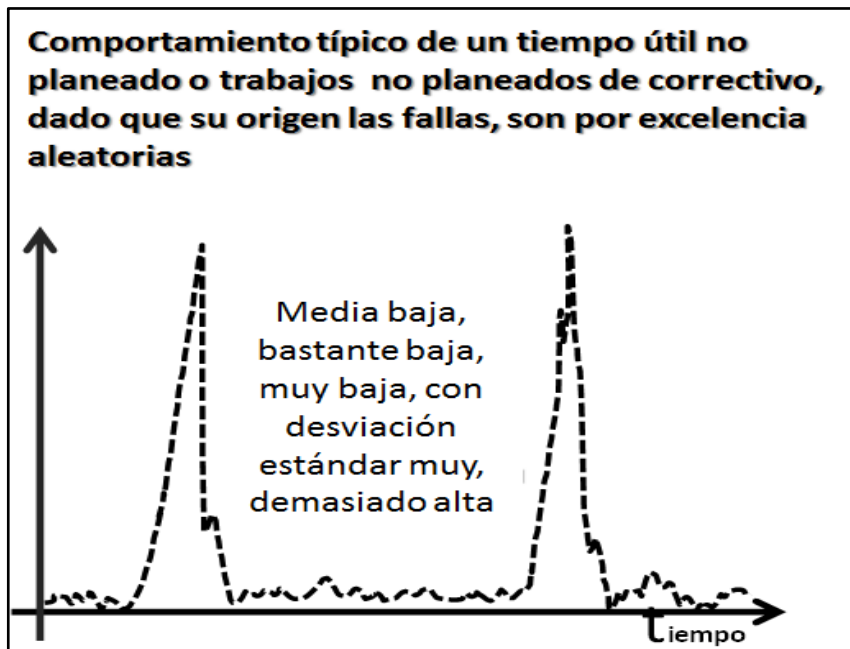


La metodología de validación de las gráficas ACF, trabajan observando las columnas de izquierda a derecha, cuando sobresalen uno, dos, tres, cuatro o cinco valores sobresalen por encima o por debajo (es indiferente) de la banda de confianza horizontal roja, y se acercan suficientemente bastante al valor de uno se puede afirmar que cumple, la serie el ACF, eso significa entonces que los valores de la serie no son aleatorios, que se auto-correlacionan entre sí, que su pendiente es superior a más 0.25 o menor a  $-0.25$ , que tienen demanda o presencia permanente significativa todos los meses, que sus valores no presentan desviaciones estándares altas y su media es intermedia o alta, nunca de valores muy bajos.

Lamentablemente las cuatro no presentan valores por encima o por debajo de la banda de confianza, significativamente grandes cercanos al 1, eso denota entonces que todas son aleatorias, en las correctivas o TTR, eso está bien, más sin embargo en los tiempos útiles o en el  $M_P$ , eso no tiene sentido, pues ninguna de ellas tiene sentido que sea aleatorio o no planeada, sobre todo los planeados TBMP o el  $M_P$ ; es medianamente aceptable en el  $TBM_C$ .

Ilustración 24 - Desviación estándar, promedios y variabilidad de variables C M





Por este lado, no se aprecia una variabilidad superior al 50%, lo que presupone que los tiempos útiles están, al igual que el mantenimiento planeado, más no así el tiempo de correctivo.

Hasta acá se realizan pruebas que ayudan muchísimo a la revisión y validación de datos, más sin embargo la prueba de fuego, contundente y decisional son las pruebas de Bondad de Ajuste o de Goodness of Fit, entre las cuales se realizan Kolmogórov- Smirnov KS y Anderson-Darling AD, es de resaltar que la KS es muy útil en el inicio y final de la serie y la AD es muy útil para el conjunto de datos centrales del fenómeno en cuestión.

El siguiente proceso de validación es realizar los valores uno a uno, es decir los tres iniciales, luego los cuatro siguientes, luego cinco meses hasta completar todos y en cada caso se calcula los  $\eta\beta$  y las Bondades de ajuste para la función Weibull de dos parámetros con BaseCMD Excel.

Ilustración 25 - Cálculos de Bondad de Ajuste, Eta  $\eta$  y beta Confiabilidad No Planeada

Confiabilidad		Planeados							Bondades de Ajuste - Kolmogorov - Smirnov			Bondades de Ajuste - Anderson & Darling		
Dato Número	Tiempo	Parámetro 1 beta de Confiabilidad	Parámetro 2 $\eta$ - Eta	Rho	Tiempo Confiabilidad Calculado MTBM <sub>c</sub> o MTBM <sub>p</sub>	beta de Confiabilidad X 100	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No		
1	21.58					0								
2	2.000					0								
3	11.00	0.78	14.07		16.29	77.74318125	0.0421	0.64	Cumple	0.248801425	0.637	Cumple		
4	11.64	0.94	14.35		14.79	93.72880341	0.0718	0.56	Cumple	0.357918788	0.637	Cumple		
5	11.64	1.06	14.56		14.24	105.8179366	0.0898	0.51	Cumple	0.545638361	0.637	Cumple		
6	5.75	1.24	12.68		11.83	124.1916235	0.0349	0.47	Cumple	0.369446526	0.637	Cumple		
7	5.75	1.37	11.62		10.64	136.7016804	0.0027	0.44	Cumple	0.326451368	0.637	Cumple		
8	5.75	1.46	10.93		9.90	146.1960606	0.0164	0.41	Cumple	0.377574554	0.637	Cumple		
9	5.75	1.54	10.43		9.39	153.860228	0.0276	0.39	Cumple	0.49583301	0.637	Cumple		
10	14.00	1.59	11.02		9.89	159.0261784	0.0130	0.37	Cumple	0.430594508	0.637	Cumple		
11	15.00	1.59	11.02		10.40	159.0261784	0.0031	0.35	Cumple	0.403456477	0.637	Cumple		
12	3.92	1.64	10.88		9.73	164.4622065	0.0107	0.34	Cumple	0.356015154	0.637	Cumple		
13	1.00	1.30	10.13		9.36	129.9936037	0.0168	0.33	Cumple	0.325511283	0.637	Cumple		
14	4.69	1.35	9.74		8.93	135.2044994	0.0046	0.31	Cumple	0.326128342	0.637	Cumple		
15	7.08	1.41	9.64		8.78	141.0244938	0.0011	0.30	Cumple	0.311580132	0.637	Cumple		
16	8.92	1.59	11.02		8.79	159.0261784	0.0025	0.30	Cumple	0.276929539	0.637	Cumple		
17	26.00	1.59	11.02		9.78	159.0261784	0.0079	0.29	Cumple	0.25810226	0.637	Cumple		
18	24.00	1.36	11.58		10.60	135.9024047	0.0116	0.28	Cumple	0.26216483	0.637	Cumple		
19	9.63	1.40	11.58		10.55	140.117474	0.0087	0.27	Cumple	0.257439634	0.637	Cumple		
20	4.00	1.40	11.58		10.14	140.117474	0.0017	0.26	Cumple	0.268423301	0.637	Cumple		
21	12.00	1.40	11.58		10.26	140.117474	0.0027	0.26	Cumple	0.264593956	0.637	Cumple		
22	24.00	1.40	11.58		10.91	140.117474	0.0183	0.25	Cumple	0.29321467	0.637	Cumple		
23	3.00	1.42	11.52		10.48	141.675792	0.0121	0.25	Cumple	0.279368951	0.637	Cumple		
24	2.03	1.37	11.03		10.08	137.3624386	0.0102	0.24	Cumple	0.269102293	0.637	Cumple		
25	3.19	1.38	10.67		9.75	137.5367731	0.0056	0.24	Cumple	0.309106412	0.637	Cumple		
26	6.77	1.41	10.56		9.61	140.6924397	0.0021	0.24	Cumple	0.323700549	0.637	Cumple		
27	2.82	1.40	10.22		9.32	140.0010653	0.0007	0.23	Cumple	0.372228804	0.637	Cumple		
28	1.55	1.35	9.84		9.02	135.1323997	0.0004	0.23	Cumple	0.354859759	0.637	Cumple		
29	0.92	1.27	9.45		8.77	126.8659599	0.0032	0.22	Cumple	0.291749955	0.637	Cumple		
30	5.88	1.29	9.36		8.654733979	129.2993894	0.00056643	0.22	Cumple	0.32820772	0.637	Cumple		
31	14.00	1.29	9.36		8.857718661	129.2993894	0.00342821	0.218	Cumple	0.286995476	0.637	Cumple		
32	4.50	1.29	9.36		8.688739792	129.2993894	0.00044024	0.216	Cumple	0.329059325	0.637	Cumple		
33	24.50	1.30	9.92		9.170731469	129.5964806	0.00971539	0.214	Cumple	0.388007672	0.637	Cumple		
34	24.50	1.28	10.39		9.636436677	127.953757	0.01953315	0.212	Cumple	0.452829984	0.637	Cumple		

Ilustración 26 - Cálculos Bondad de Ajuste, Eta  $\eta$  y beta Mantenibilidad Planeada

Mantenibilidad		Planeados							Bondades de Ajuste - Kolmogorov - Smirnov			Bondades de Ajuste - Anderson & Darling		
Dato Número	Tiempo	Parámetro 1 beta de Mantenibilidad	Parámetro 2 $\eta$ - Eta	Rho	Tiempo Calculado MTR o M <sub>p</sub>	beta de Mantenibilidad X 10	Tiempo Mantenibilidad Calculado MTR o M <sub>p</sub> * 100	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No	
1	21.5833				21.583	0								
2	2.0000				2.000	0								
3	11.0000	0.777	14.1	11.000	16.29	7.774318125	1628.749681	0.0421	0.642	Cumple	0.248801425	0.637	Cumple	
4	11.6389	0.937	14.4	11.639	14.79	9.372880341	1478.729428	0.0718	0.564	Cumple	0.357918788	0.637	Cumple	
5	11.6389	0.937	14.4	11.639	14.24	9.372880341	1473.88263	0.0898	0.51	Cumple	0.545638361	0.637	Cumple	
6	5.7500	1.242	12.7	5.750	11.83	12.41916235	1182.587251	0.0349	0.47	Cumple	0.369446526	0.637	Cumple	
7	5.7500	1.242	12.7	5.750	10.64	12.41916235	1063.615577	0.0027	0.44	Cumple	0.326451368	0.637	Cumple	
8	5.7500	1.242	12.7	5.750	9.90	12.41916235	989.9625044	0.0164	0.41	Cumple	0.377574554	0.637	Cumple	
9	5.7500	1.242	12.7	5.750	9.39	12.41916235	939.0314864	0.0276	0.39	Cumple	0.49583301	0.637	Cumple	
10	14.0000	1.590	11.020	14.000	9.89	15.90261784	988.5767525	0.0130	0.37	Cumple	0.430594508	0.637	Cumple	
11	15.0000	1.627	11.616	15.000	10.40	16.27066067	1039.884621	0.0031	0.35	Cumple	0.403456477	0.637	Cumple	
12	3.9167	1.645	10.882	3.917	9.73	16.44622065	973.3496115	0.0107	0.34	Cumple	0.356015154	0.637	Cumple	
13	1.0000	1.300	10.132	1.000	9.36	12.99936037	935.78334	0.0168	0.33	Cumple	0.325511283	0.637	Cumple	
14	4.6917	1.352	9.737	4.692	8.93	13.52044994	892.6088201	0.0046	0.31	Cumple	0.326128342	0.637	Cumple	
15	7.0800	1.410	9.643	7.080	8.78	14.10244938	877.8483928	0.0011	0.30	Cumple	0.311580132	0.637	Cumple	
16	8.9167	1.462	9.708	8.917	8.79	14.61590564	879.3171867	0.0025	0.30	Cumple	0.276929539	0.637	Cumple	
17	26.0000	1.392	10.721	26.000	9.78	13.92005563	978.053022	0.0079	0.29	Cumple	0.25810226	0.637	Cumple	
18	24.0000	1.359	11.578	24.000	10.60	13.59024047	1060.44217	0.0116	0.28	Cumple	0.26216483	0.637	Cumple	
19	9.6267	1.401	11.581	9.627	10.55	14.0117474	1095.385865	0.0087	0.27	Cumple	0.257439634	0.637	Cumple	
20	4.0000	1.419	11.511	4.000	10.14	14.09916235	1045.245795	0.0017	0.26	Cumple	0.268423301	0.637	Cumple	
21	12.0000	1.450	11.314	12.000	10.26	14.49879141	1025.8558	0.0027	0.26	Cumple	0.264593956	0.637	Cumple	
22	24.0000	1.423	12.002	24.000	10.91	14.2343156	1091.115417	0.0183	0.25	Cumple	0.29321467	0.637	Cumple	
23	3.0000	1.417	11.519	3.000	10.48	14.1675792	1047.950166	0.0121	0.25	Cumple	0.279368951	0.637	Cumple	
24	2.0333	1.374	11.030	2.033	10.08	13.73624386	1008.450713	0.0102	0.24	Cumple	0.269102293	0.637	Cumple	
25	3.1889	1.375	10.667	3.189	9.75	13.75367731	974.9824291	0.0056	0.24	Cumple	0.309106412	0.637	Cumple	
26	6.7750	1.407	10.555	6.775	9.61	14.06924397	961.3130787	0.0021	0.24	Cumple	0.323700549	0.637	Cumple	
27	2.8222	1.400	10.224	2.822	9.32	14.00910653	931.8499116	0.0007	0.23	Cumple	0.372228804	0.637	Cumple	
28	1.5500	1.351	9.837	1.550	9.02	13.51323997	901.8783307	0.0004	0.23	Cumple	0.354859759	0.637	Cumple	
29	0.9167	1.269	9.445	0.917	8.77	12.68659599	876.8295097	0.0032	0.22	Cumple	0.291749955	0.637	Cumple	
30	5.8750	1.29293894	9.36059648	5.875	8.654733979	129.2993894	865.4733979	0.00056643	0.22	Cumple	0.32820772	0.637	Cumple	
31	14.0000	1.301363922	9.592693194	14.000	8.857718661	130.1363922	885.7718661	0.00342821	0.218	Cumple	0.286995476	0.637	Cumple	
32	4.5000	1.321152448	9.437579534	4.500	8.688739792	13.21152448	868.8739792	0.00044024	0.216	Cumple	0.329059325	0.637	Cumple	
33	24.5000	1.295964806	9.923330706	24.500	9.170731469	12.95964806	917.0731469	0.00971539	0.214	Cumple	0.388007672	0.637	Cumple	
34	24.5000	1.295964806	9.923330706	24.500	9.636436677	12.95964806	963.6436677	0.01953315	0.212	Cumple	0.452829984	0.637	Cumple	

El proceso de Bondad de Ajuste hasta aquí con el mapa No Planeado es perfecto, cumple en todos los eventos con KS y AD.

Ilustración 27 - Cálculos de parámetros Bondad de Ajuste, Eta  $\eta$  y beta Confiabilidad Planeada

Confiabilidad		Planeados						Bondades de Ajuste - Kolmogorov - Smirnov			Bondades de Ajuste - Anderson & Darling		
Dato Número	Tiempo	Parámetro 1 beta de Confiabilidad	Parámetro 2 $\eta$ - Eta	Rho	Tiempo Confiabilidad Calculado MTBM <sub>c</sub> o MTBM <sub>p</sub>	beta de Confiabilidad X 100	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No	
1	139.94					0							
2	227.61					0							
3	227.61	3.11	224.30		200.62	311.0414527	0.1452	0.64	Cumple	0.459876205	0.637	Cumple	
4	321.00	2.84	259.85		231.51	284.169443	0.0024	0.56	Cumple	0.299117116	0.637	Cumple	
5	720.00	1.58	380.29		341.45	157.5901054	0.0647	0.51	Cumple	0.416936361	0.637	Cumple	
6	263.50	1.77	366.24		325.99	176.8299774	0.0727	0.47	Cumple	0.557253851	0.637	Cumple	
7	264.00	1.93	356.98		316.64	192.5975811	0.0736	0.44	Cumple	0.754616515	0.637	No Cumple	
8	720.00	1.73	416.48		371.19	172.9215803	0.0073	0.41	Cumple	0.721922752	0.637	No Cumple	
9	696.00	1.69	459.83		410.37	169.4805888	0.0434	0.39	Cumple	0.702824395	0.637	No Cumple	
10	384.00	1.84	455.23		404.38	184.4847512	0.0300	0.37	Cumple	0.628449728	0.637	Cumple	
11	384.00	1.84	455.23		400.79	184.4847512	0.0200	0.35	Cumple	0.60648058	0.637	Cumple	
12	239.50	2.01	437.08		387.32	201.1427248	0.0088	0.34	Cumple	0.768016473	0.637	No Cumple	
13	720.00	1.95	467.67		414.66	195.4730727	0.0456	0.33	Cumple	0.808656456	0.637	No Cumple	
14	671.98	1.96	489.79		434.26	195.711606	0.0708	0.31	Cumple	0.808315854	0.637	No Cumple	
15	215.30	1.95	473.04		419.44	195.1876353	0.0578	0.30	Cumple	0.929478202	0.637	No Cumple	
16	215.30	1.95	473.04		406.95	195.1876353	0.0478	0.30	Cumple	1.081761629	0.637	No Cumple	
17	215.30	1.95	473.04		396.22	195.1876353	0.0397	0.29	Cumple	1.259492437	0.637	No Cumple	
18	215.30	1.95	473.04		386.87	195.1876353	0.0331	0.28	Cumple	1.458399328	0.637	No Cumple	
19	456.00	2.01	439.43		389.38	201.482571	0.0308	0.27	Cumple	1.290713771	0.637	No Cumple	
20	456.00	2.01	439.43		391.95	201.482571	0.0291	0.26	Cumple	1.158809148	0.637	No Cumple	
21	456.00	2.01	439.43		394.50	201.482571	0.0278	0.26	Cumple	1.059883297	0.637	No Cumple	
22	456.00	2.01	439.43		396.97	201.482571	0.0268	0.25	Cumple	0.991164095	0.637	No Cumple	
23	576.00	2.23	457.07		404.82	223.1256553	0.0336	0.25	Cumple	0.877650837	0.637	No Cumple	
24	359.67	2.30	454.15		402.34	229.7129211	0.0273	0.24	Cumple	0.851936968	0.637	No Cumple	
25	708.00	2.26	468.63		415.10	226.2287554	0.0437	0.24	Cumple	0.90067942	0.637	No Cumple	
26	648.00	2.26	479.18		424.44	226.1407718	0.0546	0.24	Cumple	0.885140094	0.637	No Cumple	
27	24.00	1.55	483.72		434.94	155.3798057	0.1309	0.23	Cumple	0.854276671	0.637	No Cumple	
28	347.83	1.59	480.90		431.52	158.5909896	0.1254	0.23	Cumple	0.85161054	0.637	No Cumple	
29	696.00	1.59	492.76		442.06	158.9621987	0.1370	0.22	Cumple	0.902699143	0.637	No Cumple	
30	564.00	1.61	498.87		447.0446988	160.8899503	0.14151712	0.22	Cumple	0.899794417	0.637	No Cumple	
31	564.00	1.61	498.87		451.7585093	160.8899503	0.1457971	0.218	Cumple	0.917865203	0.637	No Cumple	
32	564.00	1.61	498.87		456.2226952	160.8899503	0.14988615	0.216	Cumple	0.954978148	0.637	No Cumple	
33	107.49	1.63	493.56		441.851923	162.7394663	0.13647768	0.214	Cumple	0.786909732	0.637	No Cumple	
34	456.00	1.65	495.14		442.7455343	165.0720238	0.13605761	0.212	Cumple	0.805242387	0.637	No Cumple	

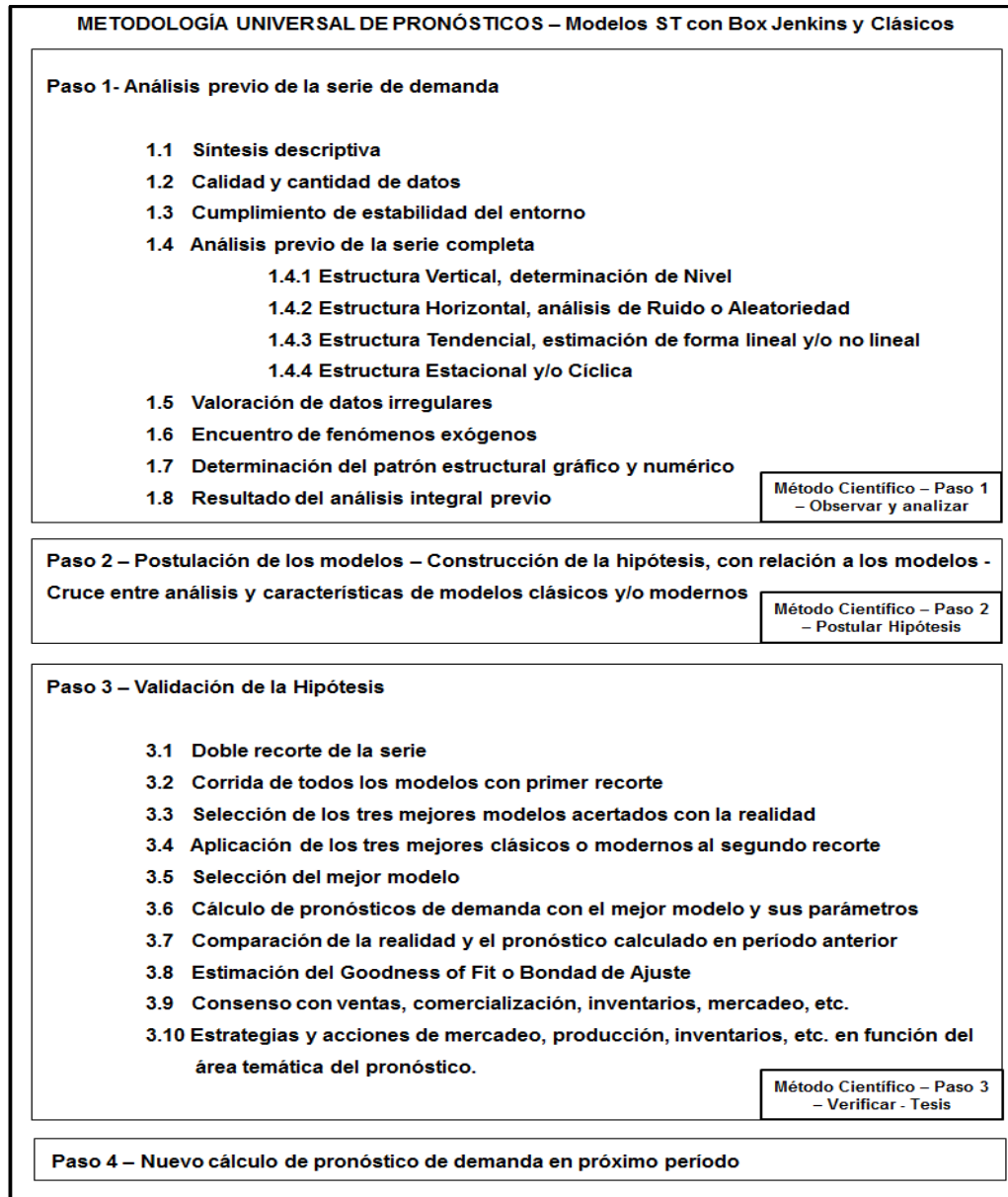
Ilustración 28 - Cálculos de parámetros Bondad de Ajuste, Eta  $\eta$  y beta Mantenibilidad Planeada

Mantenibilidad		Planeados						Bondades de Ajuste - Kolmogorov - Smirnov			Bondades de Ajuste - Anderson & Darling		
Dato Número	Tiempo	Parámetro 1 beta de Mantenibilidad	Parámetro 2 $\eta$ - Eta	Rho	Tiempo Calculado MTR o M <sub>p</sub>	beta de Mantenibilidad X 10	Tiempo Mantenibilidad Calculado MTRR o M <sub>p</sub> * 100	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No	Valor Prueba Real	Valor Crítico	Cumple o No
1	2.1250					0							
2	0.7833					0							
3	0.7833	1.38	1.52		1.39	13.77465163	139.2863848	0.0000	0.642	Cumple	0.45721224	0.637	Cumple
4	6.0000	0.93	2.80		2.89	9.292212818	289.3545587	0.0281	0.564	Cumple	0.358430581	0.637	Cumple
5	6.0000	0.93	2.80		3.77	9.292212818	376.8556456	0.0743	0.51	Cumple	0.400200161	0.637	Cumple
6	1.0000	0.98	3.16		3.19	9.823659231	293.7211061	0.0437	0.47	Cumple	0.489902377	0.637	Cumple
7	1.0000	0.98	3.16		2.83	9.823659231	283.3544594	0.0242	0.44	Cumple	0.661731891	0.637	No Cumple
8	1.0000	0.98	3.16		2.60	9.823659231	259.5437678	0.0112	0.41	Cumple	0.885553109	0.637	No Cumple
9	1.0000	0.98	3.16		2.42	9.823659231	242.3074671	0.0022	0.39	Cumple	1.144650711	0.637	No Cumple
10	1.0000	0.98	3.16		2.29	9.823659231	229.2197002	0.0040	0.37	Cumple	1.428941484	0.637	No Cumple
11	1.0000	0.98	3.16		2.19	9.823659231	218.9239962	0.0085	0.35	Cumple	1.731946819	0.637	No Cumple
12	1.0000	0.98	3.16		2.11	9.823659231	210.6000058	0.0117	0.34	Cumple	2.049295137	0.637	No Cumple
13	1.0000	0.98	3.16		2.04	9.823659231	203.7211581	0.0140	0.33	Cumple	2.377918805	0.637	No Cumple
14	1.0000	0.98	3.16		1.98	9.823659231	197.9354119	0.0156	0.31	Cumple	2.715950043	0.637	No Cumple
15	1.3833	1.24	2.04		1.90	12.36546973	190.3514434	0.0231	0.30	Cumple	2.795829474	0.637	No Cumple
16	1.3833	1.24	2.04		1.85	12.36546973	184.738664	0.0275	0.30	Cumple	2.899454249	0.637	No Cumple
17	1.3833	1.24	2.04		1.80	12.36546973	180.414639	0.0299	0.29	Cumple	3.023972816	0.637	No Cumple
18	1.3833	1.24	2.04		1.77	12.36546973	176.9798688	0.0311	0.28	Cumple	3.167127988	0.637	No Cumple
19	1.3833	1.24	2.04		1.74	12.36546973	174.1845255	0.0314	0.27	Cumple	3.32694505	0.637	No Cumple
20	1.3833	1.24	2.04		1.72	12.36546973	171.8642745	0.0312	0.26	Cumple	3.501720314	0.637	No Cumple
21	1.3833	1.24	2.04		1.70	12.36546973	169.9065787	0.0306	0.26	Cumple	3.689989577	0.637	No Cumple
22	1.3833	1.24	2.04		1.68	12.36546973	168.2317931	0.0298	0.25	Cumple	3.890492135	0.637	No Cumple
23	1.3833	1.24	2.04		1.67	12.36546973	166.7819791	0.0290	0.25	Cumple	4.102137021	0.637	No Cumple
24	0.6667	1.71	1.80		1.60	17.07029972	160.3626556	0.0283	0.24	Cumple	4.026139988	0.637	No Cumple
25	0.6667	1.71	1.80		1.56	17.07029972	155.5508155	0.0273	0.24	Cumple	3.96363657	0.637	No Cumple
26	0.6667	1.71	1.80		1.52	17.07029972	151.9616863	0.0264	0.24	Cumple	3.924920852	0.637	No Cumple
27	0.6667	1.71	1.80		1.48	17.07029972	148.1144788	0.0255	0.23	Cumple	3.911985223	0.637	No Cumple
28	0.3333	1.73	1.59		1.42	17.34020455	141.5553302	0.0248	0.23	Cumple	3.488421361	0.637	No Cumple
29	0.3333	1.73	1.59		1.37	17.34020455	136.960333	0.0238	0.22	Cumple	3.130932141	0.637	No Cumple
30	0.3333	1.73	1.59		1.330967797	17.34020455	133.0967797	0.02297786	0.22	Cumple	2.854000758	0.637	No Cumple
31	0.3333	1.73	1.59		1.296666362	17.34020455	129.6666362	0.0223798	0.218	Cumple	2.646520425	0.637	No Cumple
32	0.3333	1.73	1.59		1.265498057	17.34020455	126.5498057	0.02154363	0.216	Cumple	2.496025225	0.637	No Cumple
33	0.3333	1.73	1.59		1.236832343	17.34020455	123.6832343	0.02089148	0.214	Cumple	2.392330304	0.637	No Cumple
34	0.3333	1.73	1.59		1.210275421	17.34020455	121.0275421	0.02027824	0.212	Cumple	2.327581846	0.637	No Cumple

La Confiabilidad y la Mantenibilidad Planeadas cumplen a cabalidad con KS y no así con AD. Es suficiente que las cuatro cumplen con KS, se prosigue con seguridad.

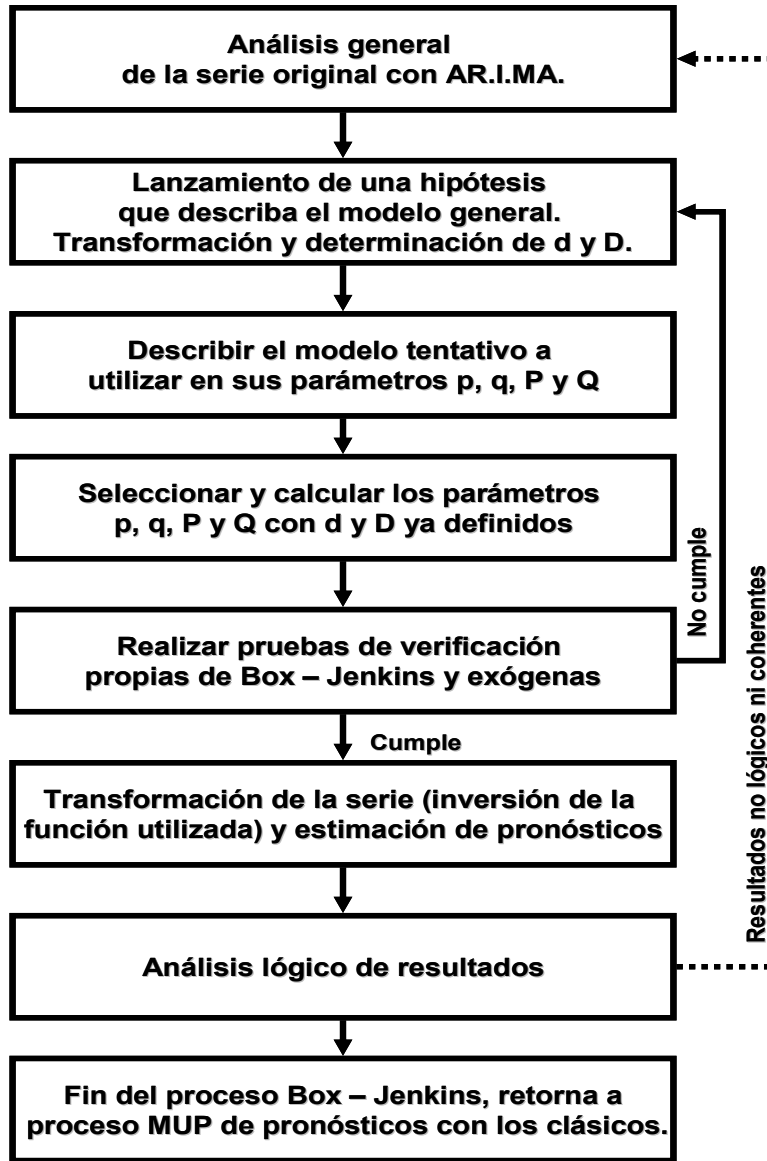
Al asumir que los datos son estadísticamente trabajables, se procede ahora a realizar los pronósticos del siguiente año, es decir doce (12) meses, para ello se utiliza la Metodología Universal de Pronósticos, de Modelos Clásicos y AR.I.MA: (*Auto-Regresive - Integratived - Moving Average*) junto con la Metodología Box – Jenkins (Mora, 2012), aunado a los softwares PROM, Statgraphics, Minitab, Forecast Pro XE 4.5, POM 2, Excel, otros.

Ilustración 29 - Metodología Universal de Pronósticos



(Mora, 2014)

Ilustración 30 - Metodología AR.I.MA. - Box & Jenkins



(Mora, 2012).

La metodología consiste en la utilización de Modelos clásicos, entre los cuales sobresalen: los modelos de regresión lineal o no (Cuadráticos, Curva en S, Exponencial, Regresión en X y Y), los de suavización: Brown, Holt y por descomposición como Holt's Winter, junto con los Modelos AR.I.MA.<sup>13</sup> (AR *Auto Regressive* (Auto Regresivo) - I *Integrated or Integratived* (Integración o Diferenciación) - MA *Moving Average* (Medias Móviles y en ocasiones denominado Promedios Móviles)) con su metodología Box-Jenkins.

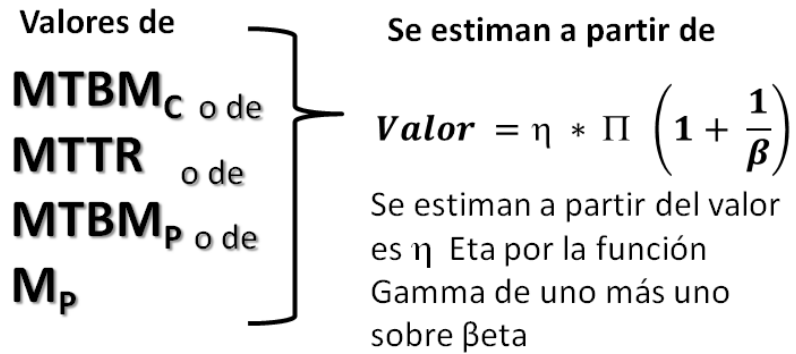
<sup>13</sup> Conocidos como modelos modernos.

Ilustración 31 - Históricos más Pronósticos de los parámetros beta y  $\eta$  Eta de las 4 variables

Dato Número	Año - Mes - Calendario	Planeada				No Planeada			
		Confiabilidad		Mantenibilidad		Confiabilidad		Mantenibilidad	
		beta $MTBM_P$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_P$	beta $M_P$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_P$	beta $MTBM_C$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_C$	beta $MTRR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTRR$
1	Mes 1 Año 1	--	--	--	--	--	--	--	--
2	Mes 2 Año 1	--	--	--	--	--	--	--	--
3	Mes 3 Año 1	3.11	224.30	1.38	1.52	0.78	14.07	0.78	14.07
4	Mes 4 Año 1	2.84	259.85	0.93	2.80	0.94	14.35	0.94	14.35
5	Mes 5 Año 1	1.58	380.29	0.93	2.80	1.06	14.56	0.94	14.35
6	Mes 6 Año 1	1.77	366.24	0.98	3.16	1.24	12.68	1.24	12.68
7	Mes 7 Año 1	1.93	356.98	0.98	3.16	1.37	11.62	1.24	12.68
8	Mes 8 Año 1	1.73	416.48	0.98	3.16	1.46	10.93	1.24	12.68
9	Mes 9 Año 1	1.69	459.83	0.98	3.16	1.54	10.43	1.24	12.68
10	Mes 10 Año 1	1.84	455.23	0.98	3.16	1.59	11.02	1.59	11.02
11	Mes 11 Año 1	1.84	455.23	0.98	3.16	1.59	11.02	1.63	11.62
12	Mes 12 Año 1	2.01	437.08	0.98	3.16	1.64	10.88	1.64	10.88
13	Mes 1 Año 2	1.95	467.67	0.98	3.16	1.30	10.13	1.30	10.13
14	Mes 2 Año 2	1.96	489.79	0.98	3.16	1.35	9.74	1.35	9.74
15	Mes 3 Año 2	1.95	473.04	1.24	2.04	1.41	9.64	1.41	9.64
16	Mes 4 Año 2	1.95	473.04	1.24	2.04	1.59	11.02	1.46	9.71
17	Mes 5 Año 2	1.95	473.04	1.24	2.04	1.59	11.02	1.39	10.72
18	Mes 6 Año 2	1.95	473.04	1.24	2.04	1.36	11.58	1.36	11.58
19	Mes 7 Año 2	2.01	439.43	1.24	2.04	1.40	11.58	1.40	11.58
20	Mes 8 Año 2	2.01	439.43	1.24	2.04	1.40	11.58	1.42	11.15
21	Mes 9 Año 2	2.01	439.43	1.24	2.04	1.40	11.58	1.45	11.31
22	Mes 10 Año 2	2.01	439.43	1.24	2.04	1.40	11.58	1.42	12.00
23	Mes 11 Año 2	2.23	457.07	1.24	2.04	1.42	11.52	1.42	11.52
24	Mes 12 Año 2	2.30	454.15	1.71	1.80	1.37	11.03	1.37	11.03
25	Mes 1 Año 3	2.26	468.63	1.71	1.80	1.38	10.67	1.38	10.67
26	Mes 2 Año 3	2.26	479.18	1.71	1.80	1.41	10.56	1.41	10.56
27	Mes 3 Año 3	1.55	483.72	1.71	1.80	1.40	10.22	1.40	10.22
28	Mes 4 Año 3	1.59	480.90	1.73	1.59	1.35	9.84	1.35	9.84
29	Mes 5 Año 3	1.59	492.76	1.73	1.59	1.27	9.45	1.27	9.45
30	Mes 6 Año 3	1.61	498.87	1.73	1.59	1.29	9.36	1.29	9.36
31	Mes 7 Año 3	1.61	498.87	1.73	1.59	1.29	9.36	1.30	9.59
32	Mes 8 Año 3	1.61	498.87	1.73	1.59	1.29	9.36	1.32	9.44
33	Mes 9 Año 3	1.63	493.56	1.73	1.59	1.30	9.92	1.30	9.92
34	Mes 10 Año 3	1.65	495.14	1.73	1.59	1.28	10.39	1.30	9.92
<b>PRONÓSTICOS SERIES TEMPORALES</b>									
35	Mes 11 Año 3	1.68	506.21	1.70	1.47	1.25	9.74	1.27	9.31
36	Mes 12 Año 3	1.71	490.65	1.80	1.46	1.32	10.24	1.30	9.22
37	Mes 1 Año 4	1.69	509.31	1.75	1.41	1.38	10.42	1.19	9.80
38	Mes 2 Año 4	1.73	516.36	1.72	1.53	1.20	10.92	1.21	10.58
39	Mes 3 Año 4	1.60	465.52	1.81	1.32	1.24	10.89	1.25	10.56
40	Mes 4 Año 4	1.73	458.92	1.73	1.52	1.24	10.84	1.29	10.11
41	Mes 5 Año 4	1.49	528.47	1.73	1.62	1.34	10.05	1.22	10.31
42	Mes 6 Año 4	1.59	511.85	1.74	1.66	1.33	10.47	1.40	10.07
43	Mes 7 Año 4	1.69	494.84	1.75	1.68	1.33	10.63	1.40	10.28
44	Mes 8 Año 4	1.66	485.62	1.75	1.70	1.32	10.50	1.36	9.89
45	Mes 9 Año 4	1.64	512.67	1.74	1.72	1.18	10.08	1.18	9.51
46	Mes 10 Año 4	1.66	524.13	1.73	1.76	1.22	9.91	1.26	9.39

Los valores de los tiempos  $MTBM_C$ ,  $MTTR$ ,  $MTBM_P$  y  $M_P$ , se obtienen a partir de la fórmula de Weibull para confiabilidad y mantenibilidad.

Ilustración 32 - Fórmula de distribución Weibull



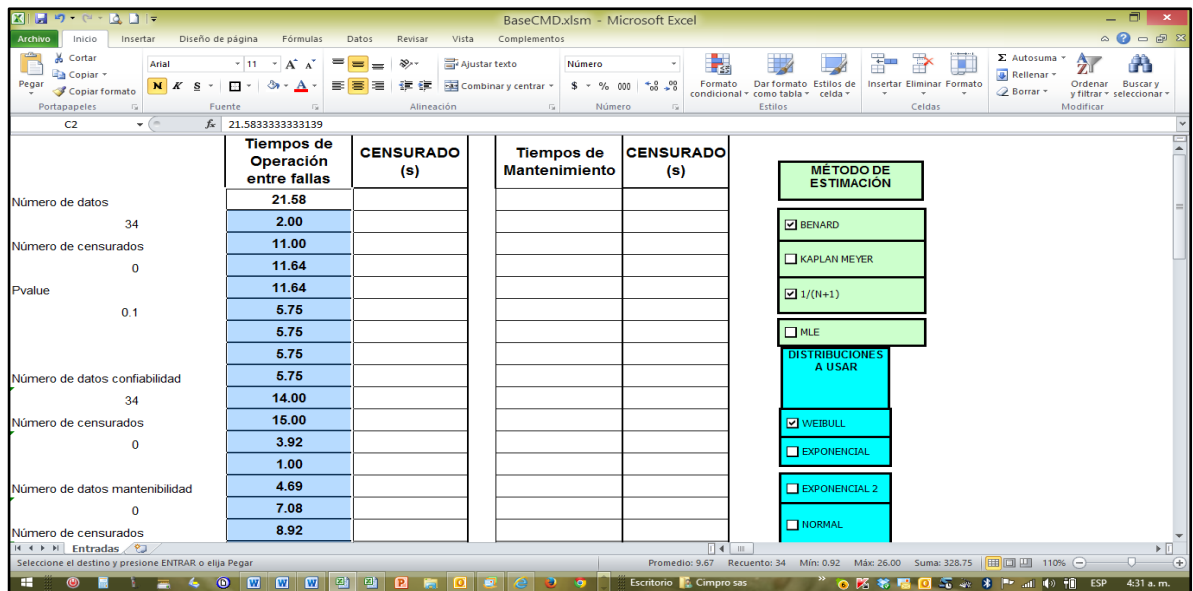
#### 4.3.1.2 Cálculos CMD con diferentes programas informáticos

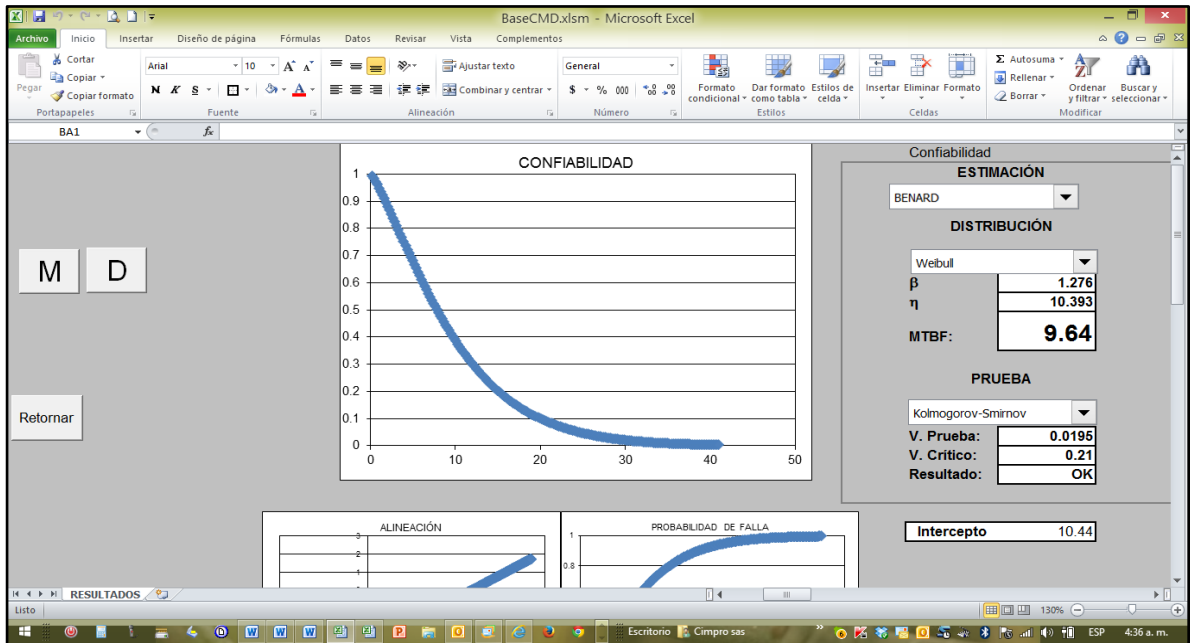
El primero a usar es el Programa BaseCMD, con él se obtienen los siguientes valores.

Inicialmente se calcula lo no Planeado, el  $MTBM_C$ , esta parte se trabaja con datos reales hasta antes de pronósticos.

##### 4.3.1.2.1 Cálculo Confiabilidad No Planeada $MTBM_C$

Ilustración 33 -  $MTBM_C$  con Weibull y Programa Excel BaseCMD





### BaseCMD y CMD Múltiple da

Confiabilidad - No Planeada (Correctiva)								
MTBM <sub>c</sub>								
Año	Mes	Año - Mes	Dato Número	Tiempo	beta MTBM <sub>c</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBM <sub>c</sub>	Rho	Tiempo Confiabilidad Calculado MTBM <sub>c</sub>
3	9	Año 3 - Mes 9	33	24.50	1.30	9.92		9.170731469
3	10	Año 3 - Mes 10	34	24.50	1.28	10.39		9.636436677
3	11	Año 3 - Mes 11	35		1.25	9.74		9.071586532
3	12	Año 3 - Mes 12	36		1.32	10.24		9.42981865
4	1	Año 4 - Mes 1	37		1.38	10.42		9.513562351
4	2	Año 4 - Mes 2	38		1.20	10.92		10.27595475
4	3	Año 4 - Mes 3	39		1.24	10.89		10.16246956
4	4	Año 4 - Mes 4	40		1.24	10.84		10.12015581
4	5	Año 4 - Mes 5	41		1.34	10.05		9.23442239
4	6	Año 4 - Mes 6	42		1.33	10.47		9.618047363
4	7	Año 4 - Mes 7	43		1.33	10.63		9.771450746
4	8	Año 4 - Mes 8	44		1.32	10.50		9.661519542
4	9	Año 4 - Mes 9	45		1.18	10.08		9.510185256

Variable y cálculos con Función Weibull											
		Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Variabilidad	Validación	
No Planeada	Confiabilidad	β	1.2800	1.3898	1.2600	1.2750	1.2527	1.2915	0.0561	4.3%	Bien es menor al 50%
		η Eta	10.3390	10.2525	10.3993	10.4583	9.7447	10.2376	0.2857	2.8%	Bien es menor al 50%

Ilustración 34 - MTBM<sub>C</sub> con Reliasoft Versión 6 + y Función Weibull

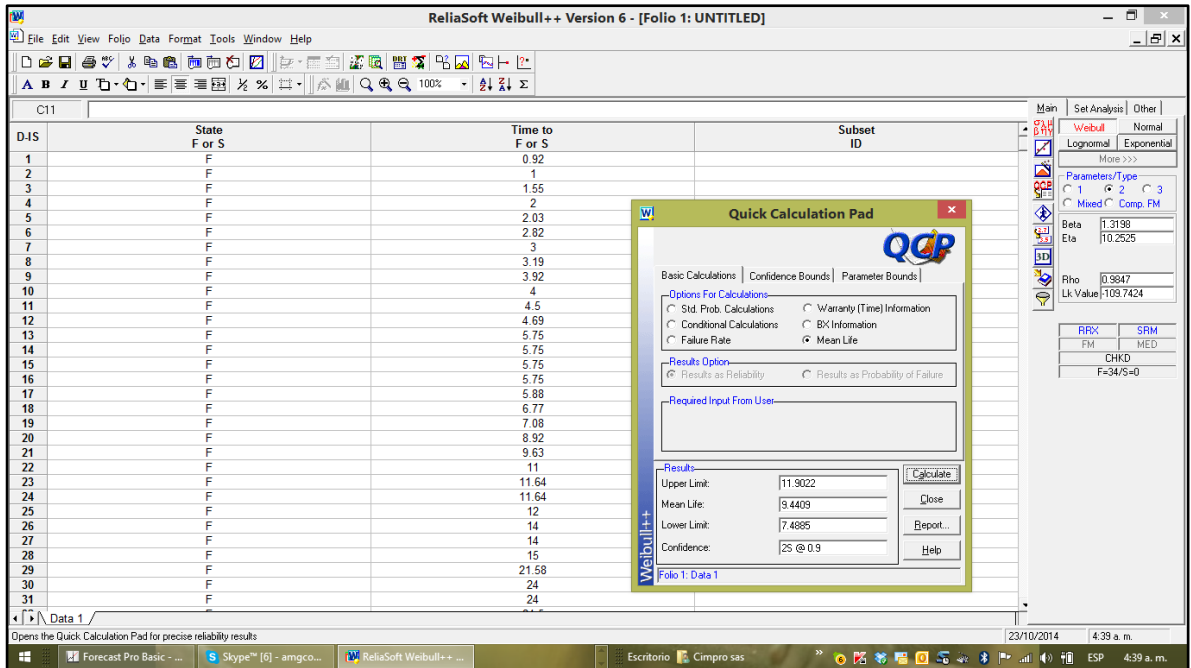
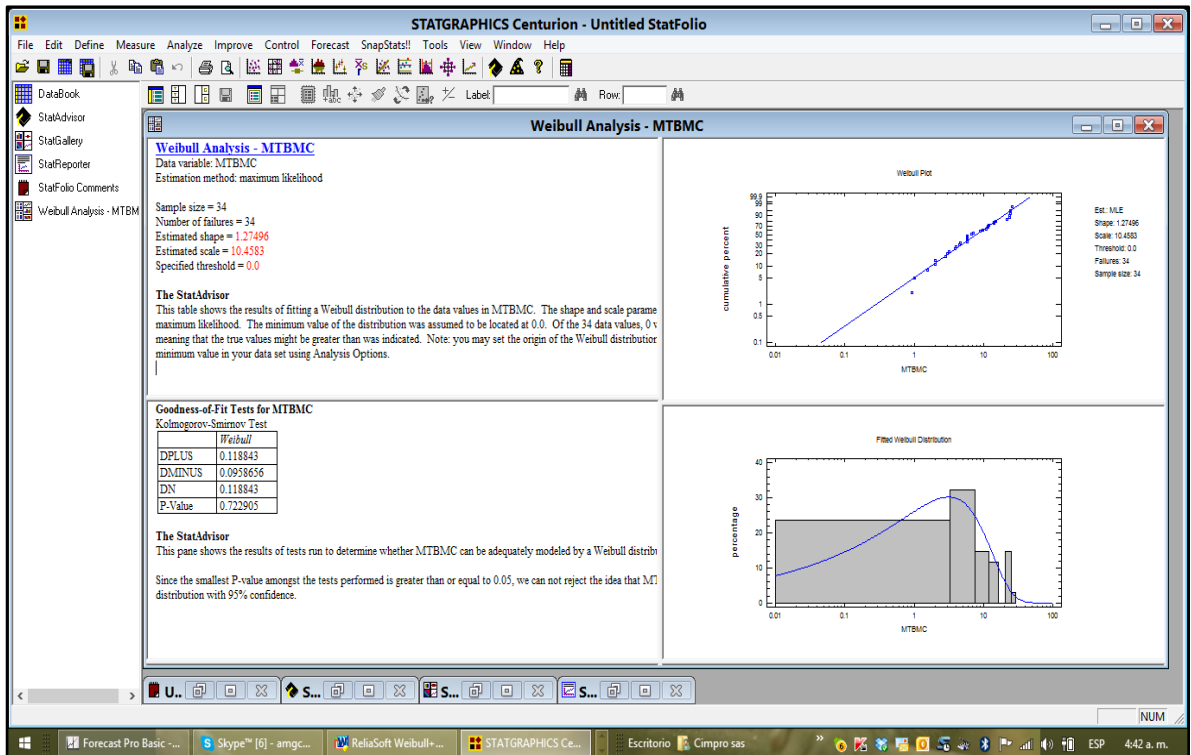
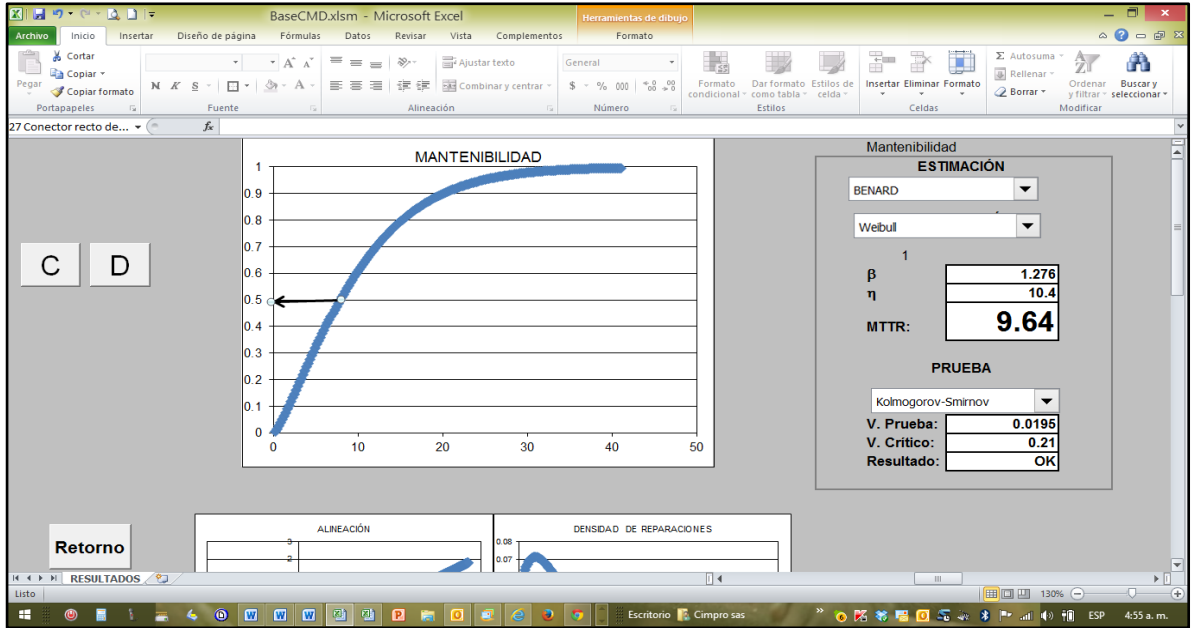


Ilustración 35 - MTBM<sub>C</sub> con Statgraphics y Función Weibull



### 4.3.1.2.2 Cálculo Mantenibilidad No Planeada MTTR

Ilustración 36 - MTBM<sub>C</sub> con Weibull y Programa Excel BaseCMD



### BaseCMD y CMD Múltiple da

The screenshot shows the CMDMultiple Excel interface with a data table for 'Mantenibilidad - No Planeada (Correctiva)'. The table has the following structure:

Mantenibilidad - No Planeada (Correctiva)								
MTTR								
Año	Mes	Año - Mes	Dato Número	Tiempo	$\beta$ MTTR de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada MTTR	Rho	Tiempo Mantenibilidad Calculado MTTR
3	9	Año 3 - Mes 9	33	24.50	1.30	9.92		9.170731469
3	10	Año 3 - Mes 10	34	24.50	1.30	9.92		9.170731469
3	11	Año 3 - Mes 11	35		1.27	9.31		8.62971602
3	12	Año 3 - Mes 12	36		1.30	9.22		8.519952006
4	1	Año 4 - Mes 1	37		1.19	9.80		9.241462669
4	2	Año 4 - Mes 2	38		1.21	10.58		9.941950928
4	3	Año 4 - Mes 3	39		1.25	10.56		9.832476355
4	4	Año 4 - Mes 4	40		1.29	10.11		9.353017308
4	5	Año 4 - Mes 5	41		1.22	10.31		9.667394571
4	6	Año 4 - Mes 6	42		1.40	10.07		9.176932891
4	7	Año 4 - Mes 7	43		1.40	10.28		9.371306322
4	8	Año 4 - Mes 8	44		1.36	9.89		9.050341991

Ilustración 37 - MTTR con Reliasoft Versión 6 + + y Función Weibull

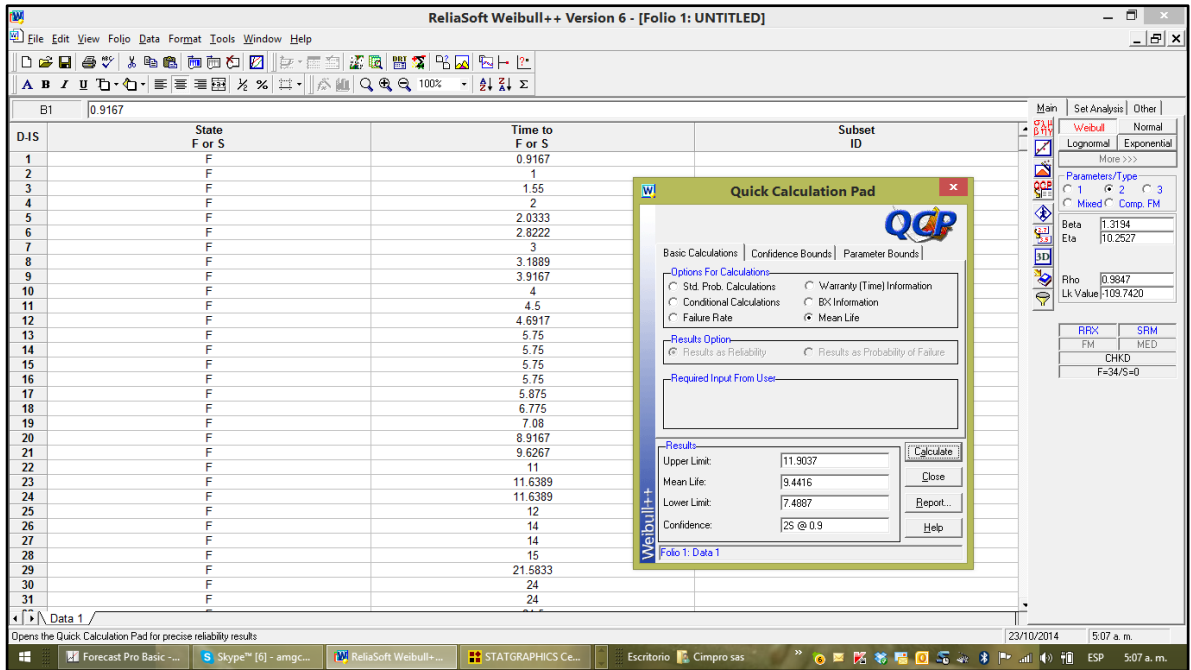
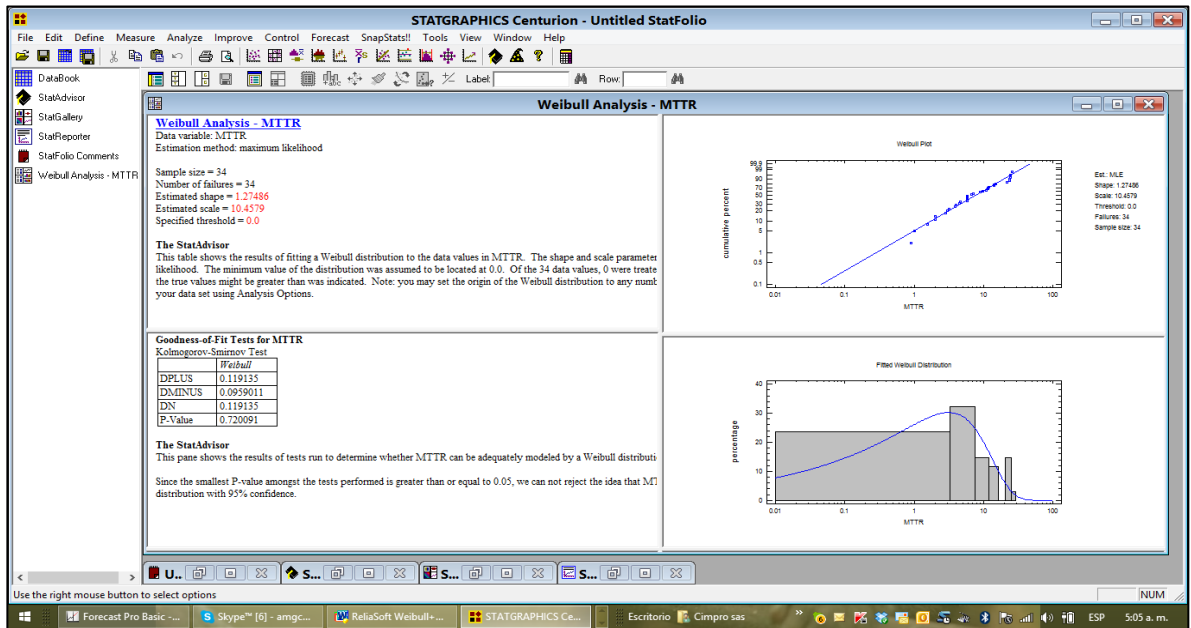


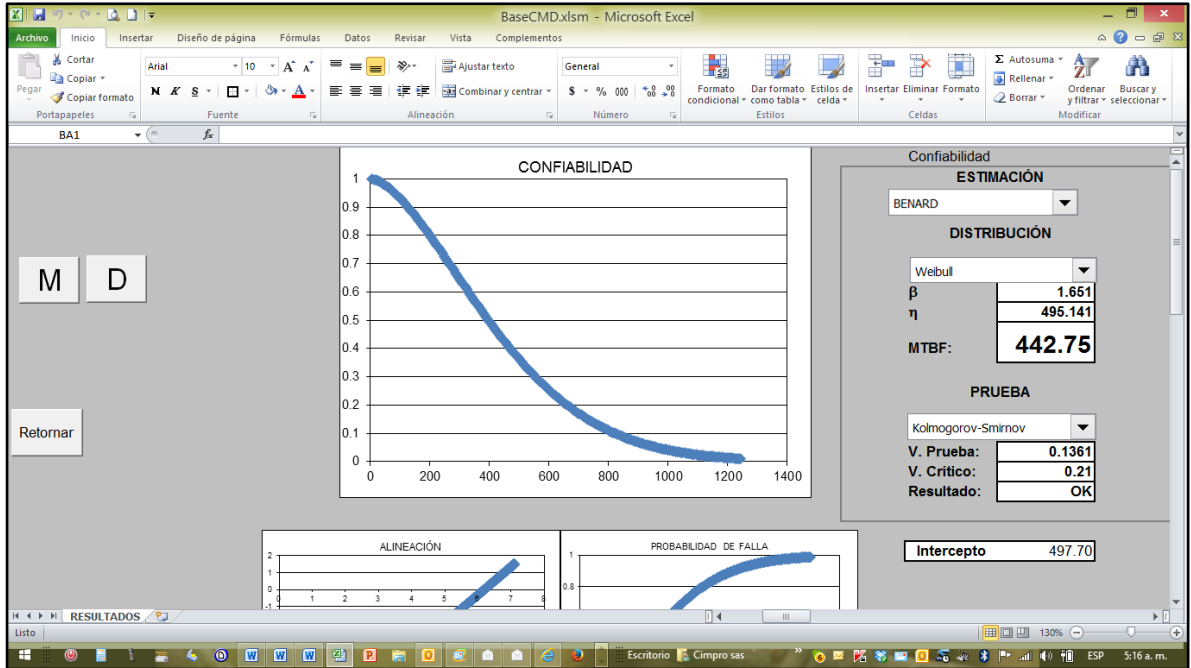
Ilustración 38 - MTTR con Statgraphics y Función Weibull



		BaseCMD Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Variabilidad	Validación
No Planeada	Mantenibilidad	Beta	1.2960	1.3194	1.3000	1.2749	1.2930	0.0188	1.5%	Bien es menor al 50%
		$\eta$ Eta	9.9233	10.2527	9.9200	10.4579	9.3057	9.9719	0.4370	4.4%

### 4.3.1.2.3 Cálculo Confiabilidad Planeada MTBMP

Ilustración 39 - MTBMP con Weibull y Programa Excel BaseCMD



### BaseCMD y CMD Múltiple da

Ilustración 40 - MTBMP con Reliasoft Versión 6 + y Función Weibull

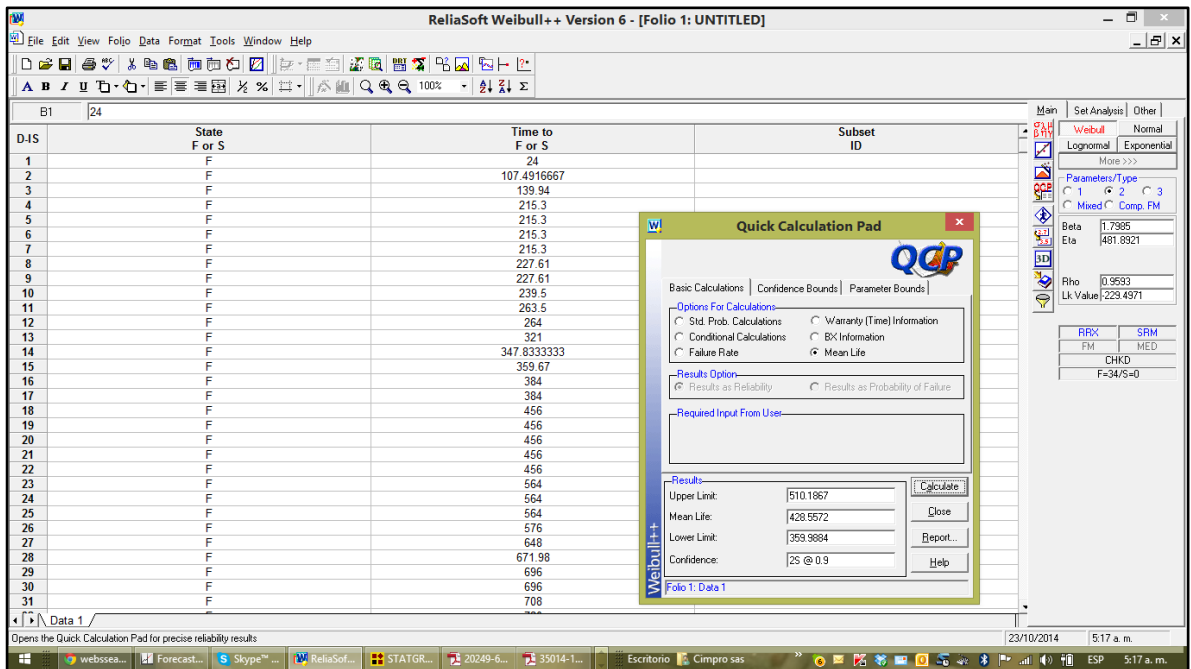
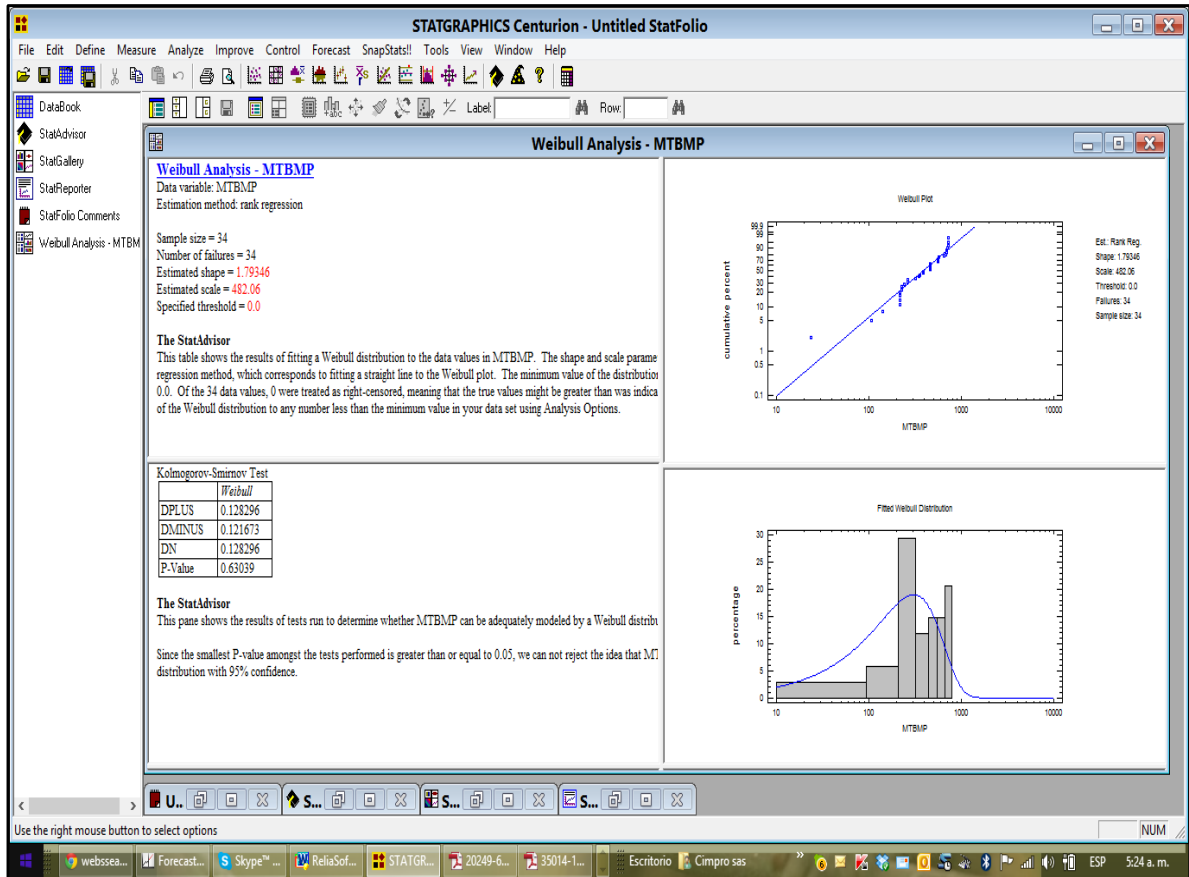


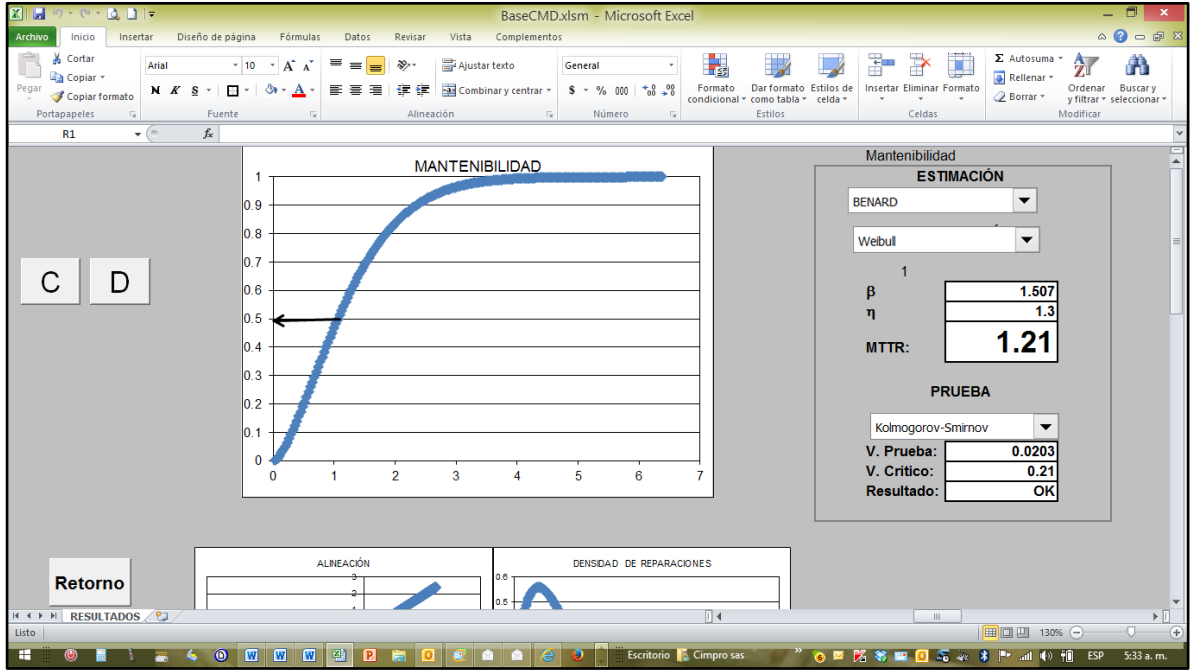
Ilustración 41 - MTBM<sub>p</sub> con Statgraphics y Función Weibull



			BaseCMD Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Variabilidad	Validación
Planeada	Confiabledad	$\beta$ beta	1.6507	1.7985	1.6507	1.7935	1.6755	1.7138	0.0757	4.4%	Bien es menor al 50%
		$\eta$ Eta	495.1407	481.8921	495.1407	482.0600	506.2101	492.0887	10.2785	2.1%	Bien es menor al 50%

### 4.3.1.2.4 Cálculo Mantenibilidad Planeada MP

Ilustración 42 -  $M_P$  con Weibull y Programa Excel BaseCMD



### BaseCMD y CMD Múltiple da

Mantenibilidad - Planeada (Preventiva y/o Correctiva)								
$M_P$								
Año	Mes	Año - Mes	Dato Número	Tiempo	$\beta$ eta $M_P$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada $M_P$	Rho	Tiempo Mantenibilidad Calculado $M_P$
3	9	Año 3 - Mes 9	33	3.00	1.73	1.59		1.41555302
3	10	Año 3 - Mes 10	34	2.00	1.73	1.59		1.41555302
3	11	Año 3 - Mes 11	35		1.70	1.47		1.314694436
3	12	Año 3 - Mes 12	36		1.80	1.46		1.297687965
4	1	Año 4 - Mes 1	37		1.75	1.41		1.255123213
4	2	Año 4 - Mes 2	38		1.72	1.53		1.361261034
4	3	Año 4 - Mes 3	39		1.81	1.32		1.172727638
4	4	Año 4 - Mes 4	40		1.73	1.52		1.356582152
4	5	Año 4 - Mes 5	41		1.73	1.62		1.441348892
4	6	Año 4 - Mes 6	42		1.74	1.66		1.479166346
4	7	Año 4 - Mes 7	43		1.75	1.68		1.491828432
4	8	Año 4 - Mes 8	44		1.75	1.70		1.515604452

Ilustración 43 -  $M_P$  con Reliasoft Versión 6 + + y Función Weibull

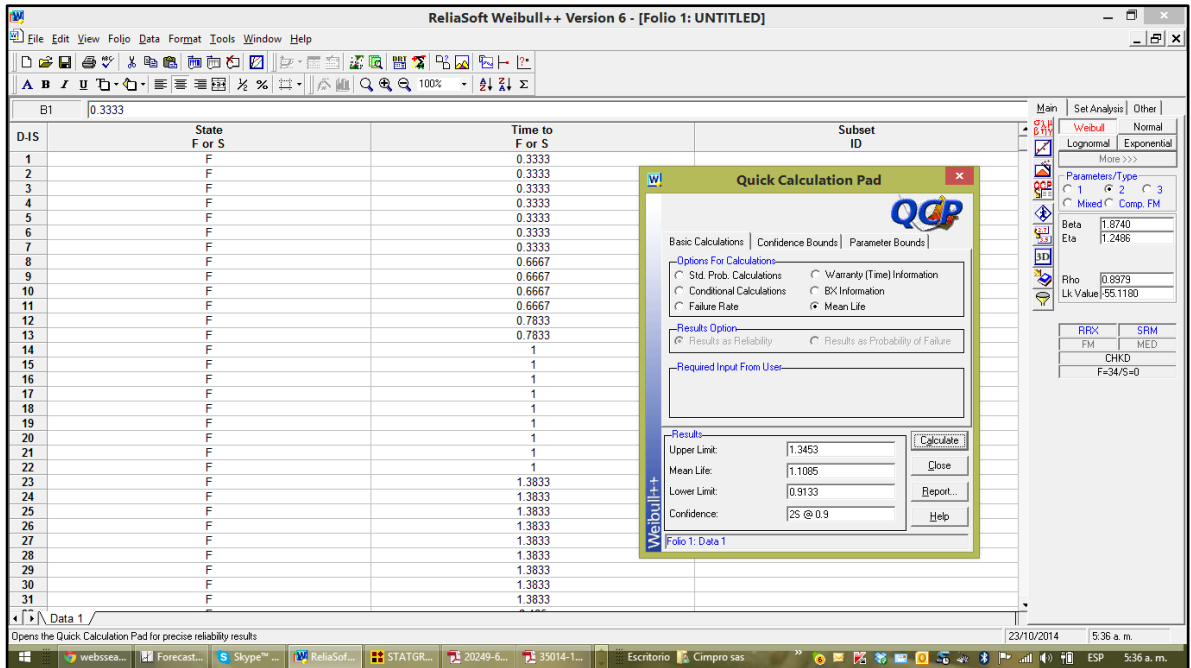
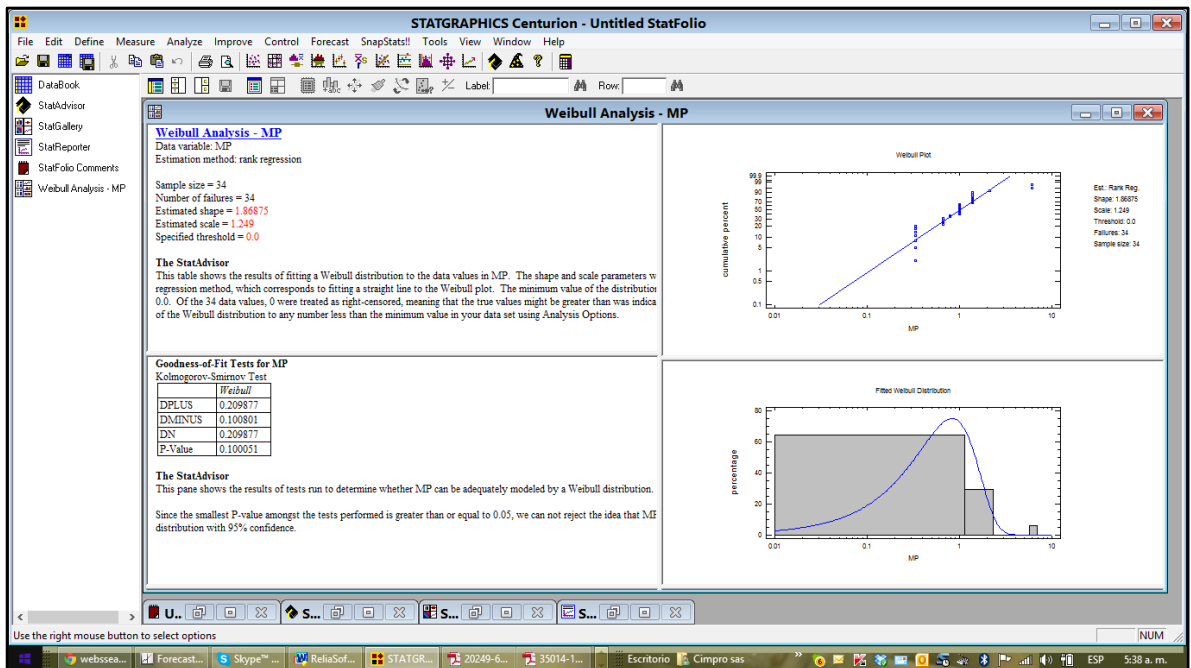


Ilustración 44 -  $M_P$  con Statgraphics y Función Weibull



Planeada	Mantenibilidad	β	BaseCMD	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series	Media	Desviación	Vabiabilidad	Validación
			Natural			temporales					
		η	1.5069	1.8740	1.7000	1.8688	1.7000	1.7299	0.1513	8.7%	Bien es menor al 50%
			1.3414	1.2486	1.4735	1.2490	1.4735	1.3572	0.1127	8.3%	Bien es menor al 50%

Después de revisar las cuatro variables  $MTBM_C$ ,  $MTTR$ ,  $MTBM_P$  y  $M_P$ , y determinar que la variabilidad es inferior a un dígito, todas inferiores al diez por ciento, se puede afirmar, que los parámetros  $\eta$  y  $\beta$  en Weibull de dos parámetros, tanto históricos como pronósticos futuros están perfectamente calculados y son estadísticamente válidos, al ser trabajados desde la fuente de cuatro (4) programas informáticos diferentes, con resultados similares y congruentes, esto da vía libre al análisis estratégico, para poder construir un plan de mejoras.

Ilustración 45 - Validación y comprobación de certeza en históricos y pronósticos CMD

Variable y cálculos con Función Weibull									
No Planeada Confiabilidad	Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Vabiabilidad	Validación
$\beta$	1.2800	1.3898	1.2600	1.2750	1.2527	1.2915	0.0561	4.3%	Bien es menor al 50%
$\eta$ Eta	10.3390	10.2525	10.3933	10.4583	9.7447	10.2376	0.2857	2.8%	Bien es menor al 50%
No Planeada Mantenibilidad	BaseCMD Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Vabiabilidad	Validación
$\beta$	1.2960	1.3194	1.3000	1.2749	1.2747	1.2930	0.0188	1.5%	Bien es menor al 50%
$\eta$ Eta	9.9233	10.2527	9.9200	10.4579	9.3057	9.9719	0.4370	4.4%	Bien es menor al 50%
Planeada Confiabilidad	BaseCMD Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Vabiabilidad	Validación
$\beta$	1.6507	1.7985	1.6507	1.7935	1.6755	1.7138	0.0757	4.4%	Bien es menor al 50%
$\eta$ Eta	495.1407	481.8921	495.1407	482.0600	506.2101	492.0887	10.2785	2.1%	Bien es menor al 50%
Planeada Mantenibilidad	BaseCMD Natural	Reliasoft	BaseCMD	Statgraphics	Pronóstico Series temporales	Media	Desviación	Vabiabilidad	Validación
$\beta$	1.5069	1.8740	1.7000	1.8688	1.7000	1.7299	0.1513	8.7%	Bien es menor al 50%
$\eta$ Eta	1.3414	1.2486	1.4735	1.2490	1.4735	1.3572	0.1127	8.3%	Bien es menor al 50%
<b>Promedios Globales</b>									
$\beta$	1.5070	0.0755	4.74%	Bien es menor al 50%					
$\eta$ Eta	128.4138	2.7785	4.39%	Bien es menor al 50%					
	Media	Desviación	Vabiabilidad						
	64.96	1.43	4.57%						

En promedio las variaciones de los parámetros  $\beta$  y  $\eta$  (Eta), no superan el 4.6%, lo que optimiza la bondad de ajuste y valida todos los cálculos y los procedimientos, se concluye que hay suficiencia estadística, con validez científica para proseguir con el análisis estratégico, para determinar las principales acciones futuras de mantenimiento a realizar.

### 4.3.2 Análisis estratégico a varios meses vista

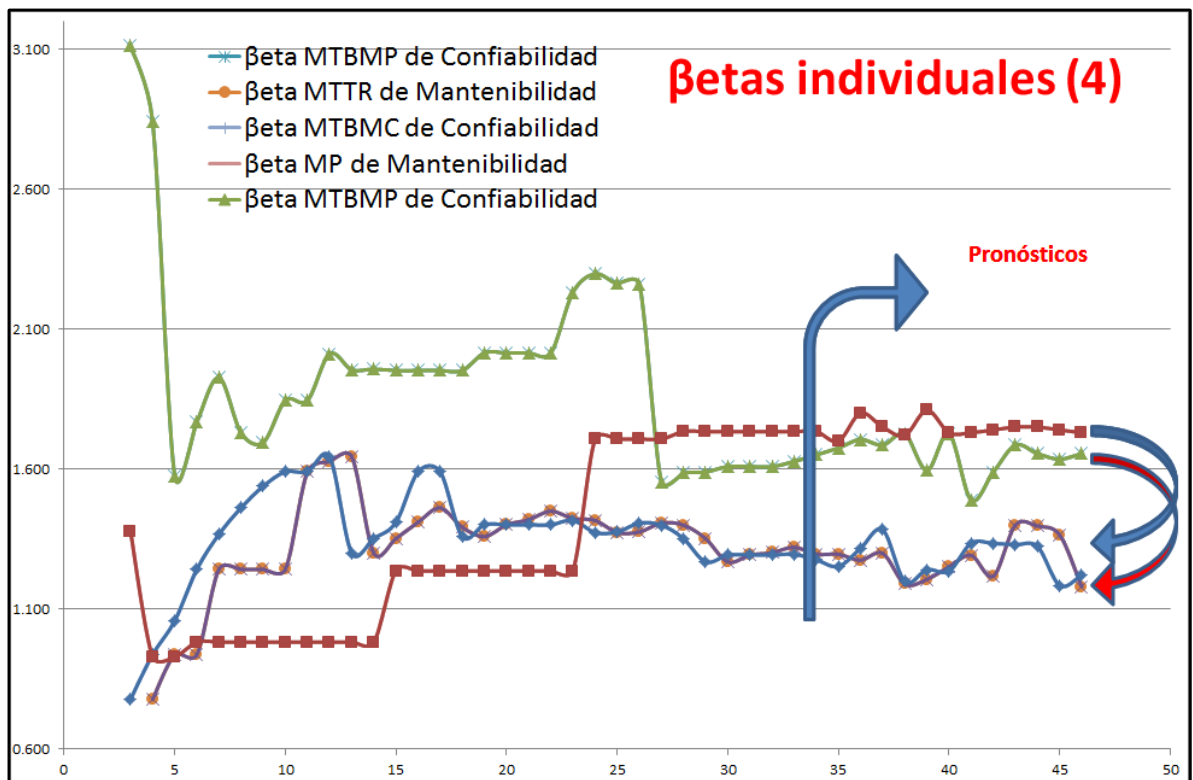
El estudio analítico de todos los resultados del proceso, permite lanzar ideas para configurar un plan de mejoras en cuanto a conseguir alzas en los tiempos de confiabilidad y de mantenibilidad, lo que se traduce en mejores y mayores tiempos útiles y en menores tiempos de mantenimiento, respectivamente.

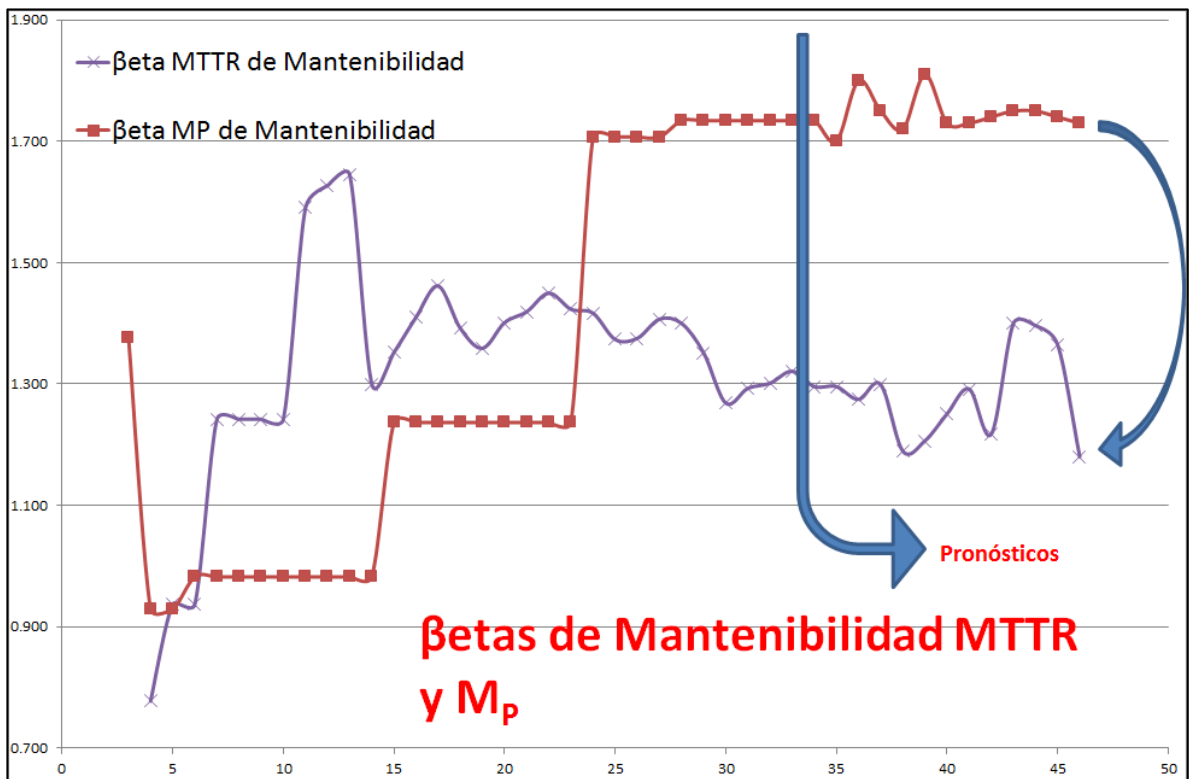
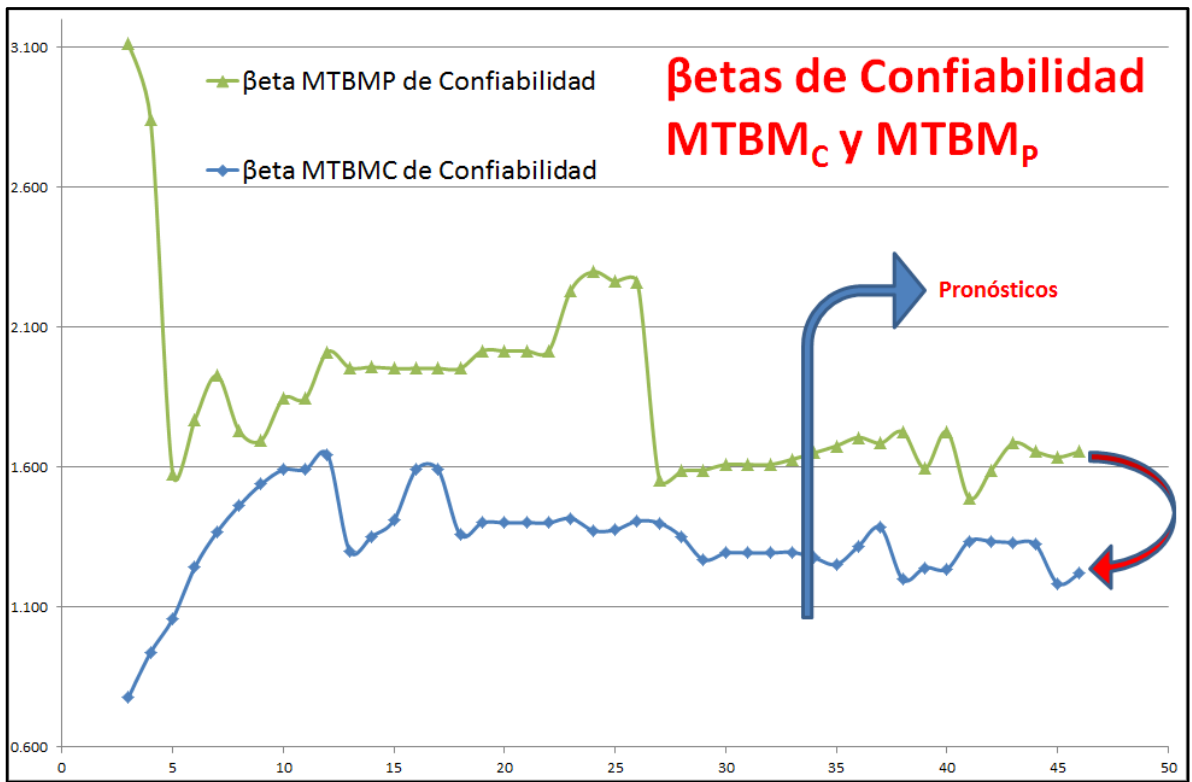
Para ello, se presentan en cuatro categorías, lo análisis:  $\beta$ eta,  $Eta \eta$ , Tiempos de Confiabilidad (útiles) y de Mantenibilidad (no funcionalidad) y por último los integrales.

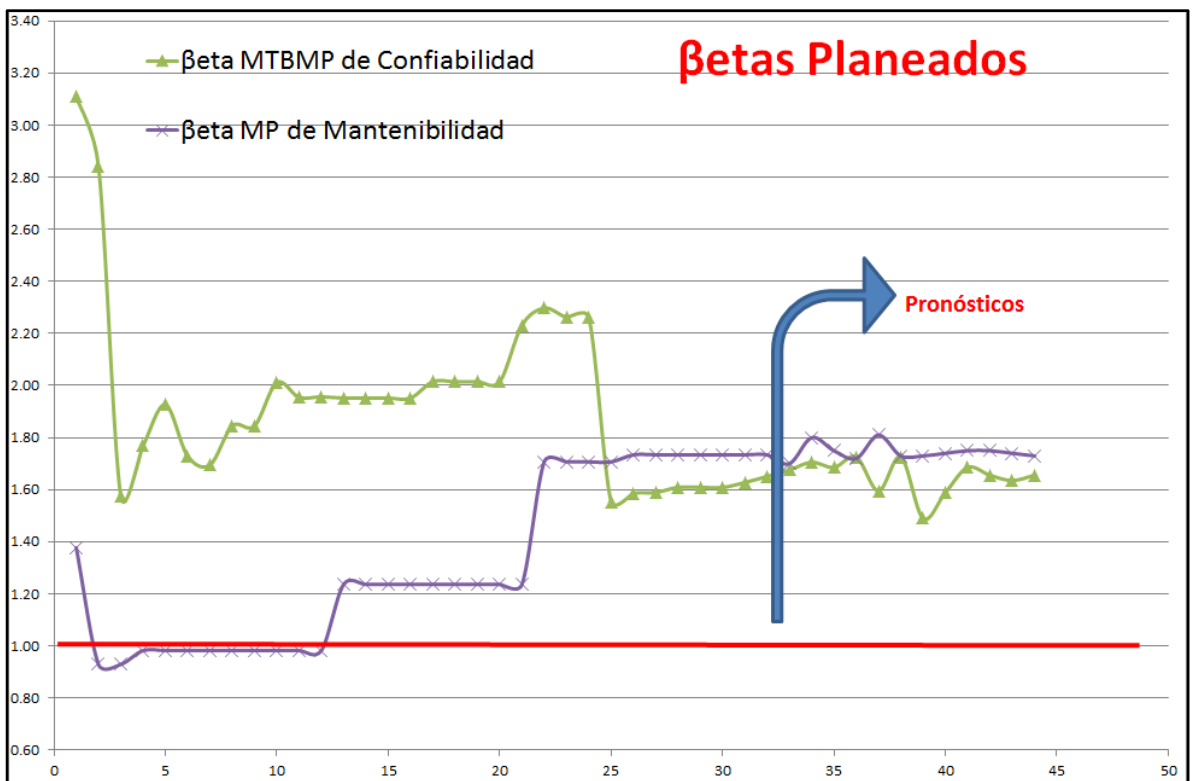
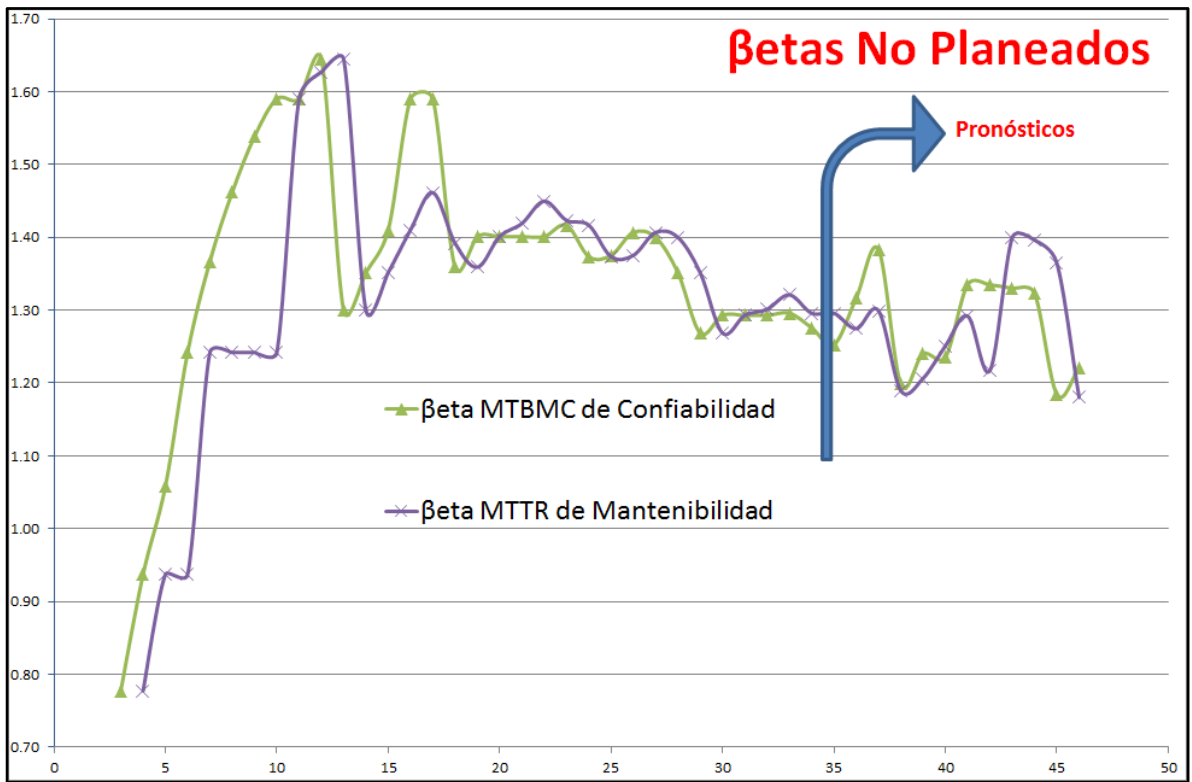
#### 4.3.2.1 Estudio del Factor de Forma $\beta$ eta

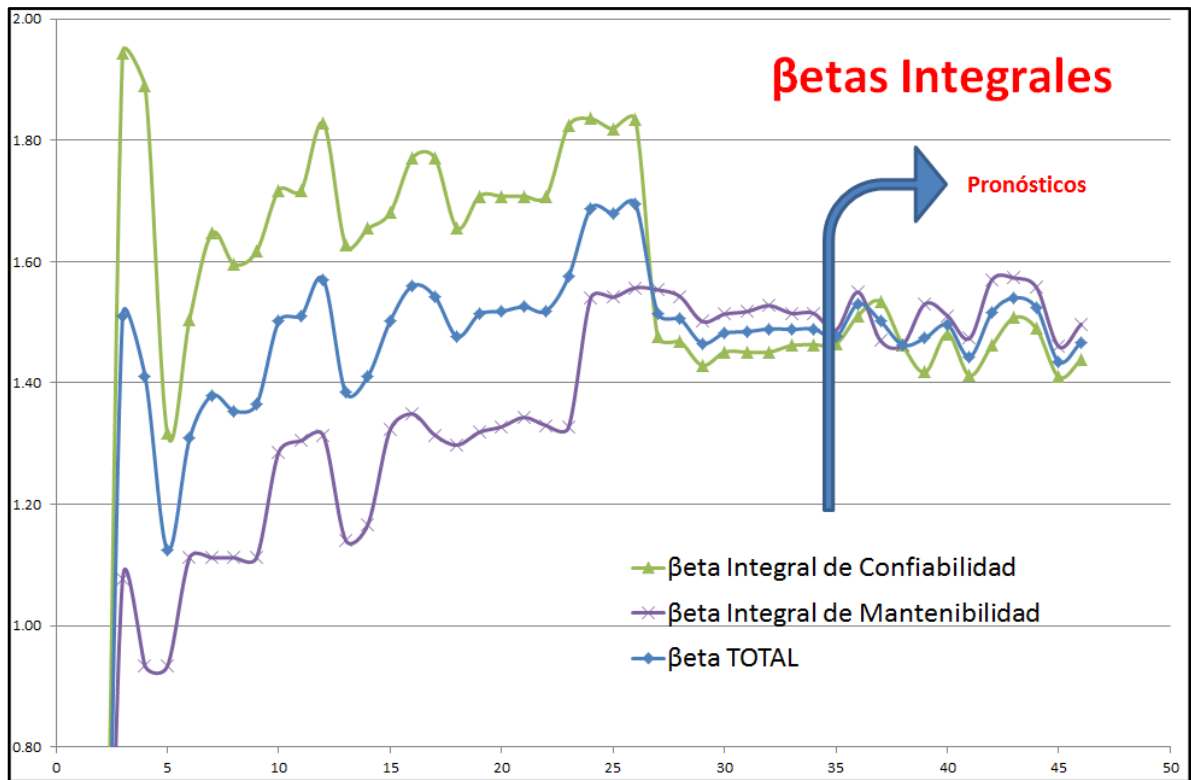
Es la forma de falla del equipo, en este se aportan las gráficas:

Ilustración 46 -  $\beta$ etas históricos y pronosticados









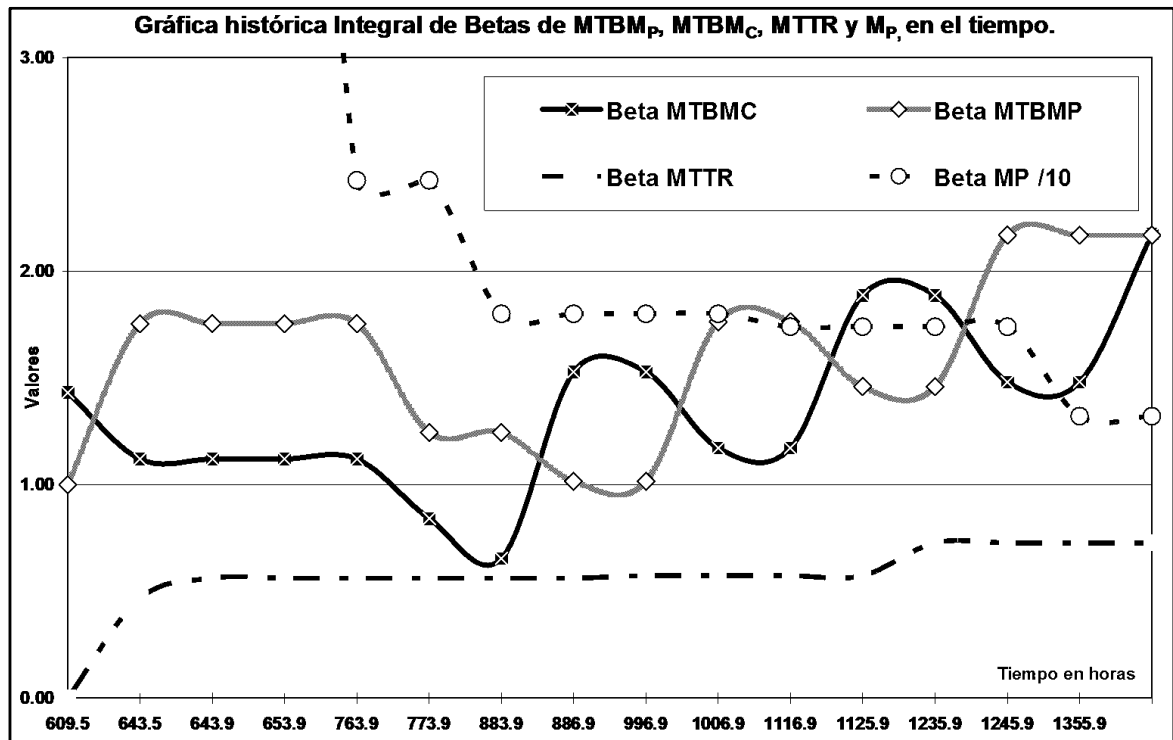
En cuanto a lo No Planeado, lo que se percibe como fuera de lo común es un  $\beta$  de Confiabilidad  $MTBM_C$  superior a uno, aunque cercano al 1.3, no está bien, pues debe situarse por debajo de uno, también el correctivo en el MTTR se observa como su  $\beta$  es de un valor aproximado de 1.3 también, debe estar debajo de uno, de aquí se deriva la primera estrategia que consiste en eliminar las causas raíces de los problemas que generan las fallas, es decir se debe hacer más énfasis en el Análisis de Falla y hallar la Causa Raíz de los problemas, para eliminar las reparaciones por no funcionalidades imprevistas. Al mejorar el correctivo, por ende aumentan los tiempos útiles entre correctivos.

Sobre lo Planeado, se determinan dos Betas en general bien, en el caos de la Confiabilidad es cercano al 1.66, la acción inmediata es empezar a sustituir las acciones preventivas (entre 1 y 3.44 en  $\beta$ ) por predictivas, para que se consolide hacia la derecha con valores siquiera cercanos al 4.0 y por ende mejoren los tiempos de utilidad entre planeados, por el otro lado el Beta de la mantenibilidad es cercano al 1.6, lo que implica exactamente lo mismo que lo anterior para el planeado en tiempos útiles.

En los cuatro los valores tienden a ser estables, lo que implica que las acciones deben ser inmediatas, antes de que prosigan la situación inadecuada sobre todo en lo no planeado.

También es notorio que los valores de  $\beta$  en Confiabilidad y mantenibilidad no son complementarios, es decir lo Normal, cuando la planeación de los trabajos de mantenimiento es certera, es decir que se trabaja en mantenimientos predictivos y preventivos que impactan las fallas que ocurren en lo correctivo, es notorio que cuando uno sube el otro baja, por ejemplo en la Gráfica siguiente de la Hidroeléctrica de San Carlos (Antioquia - Colombia) en Turbinas de ISAGEN

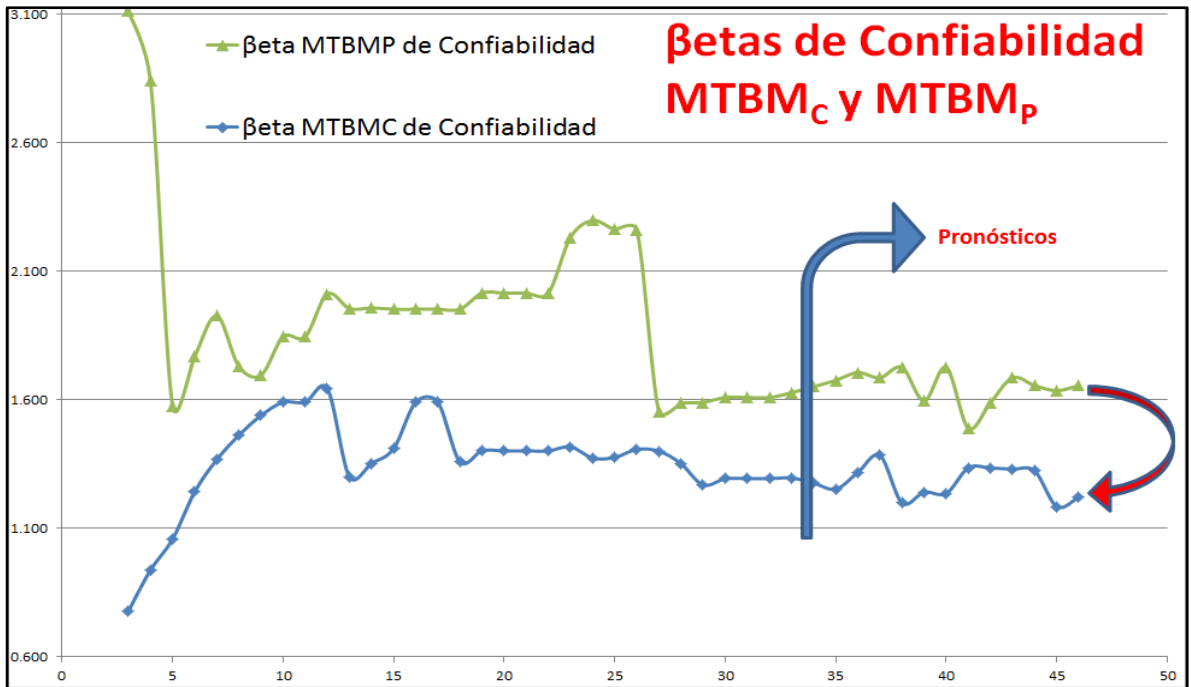
Ilustración 47 - Valores Beta Turbina ISAGEN



(Pachón, y otros, 2003)

Con se observa los dos valores Beta MTBM<sub>c</sub> y MTBM<sub>p</sub> son complementarios, directos, mas no así en los Mantenimientos, que no tan complementarios, es decir lo son pero son de efecto retardado, es decir es demasiado sensible en la Confiabilidad, en el caso particular de la BAAC, la misma información se presenta, así:

Ilustración 48 - betas Confiabilidad BAAC



Al ampliarla

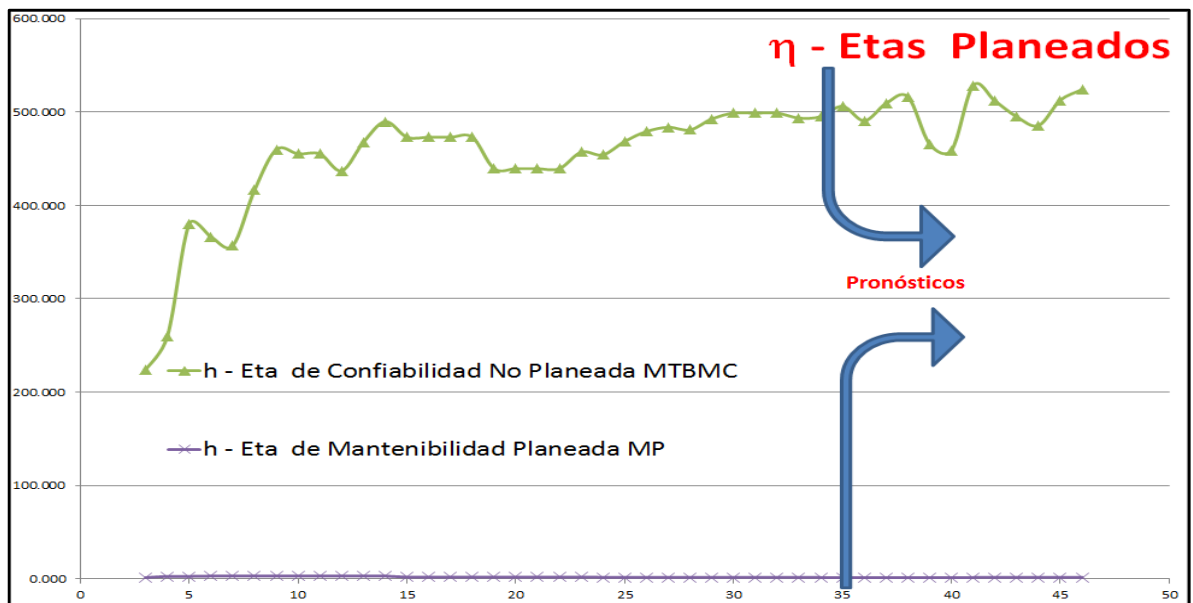
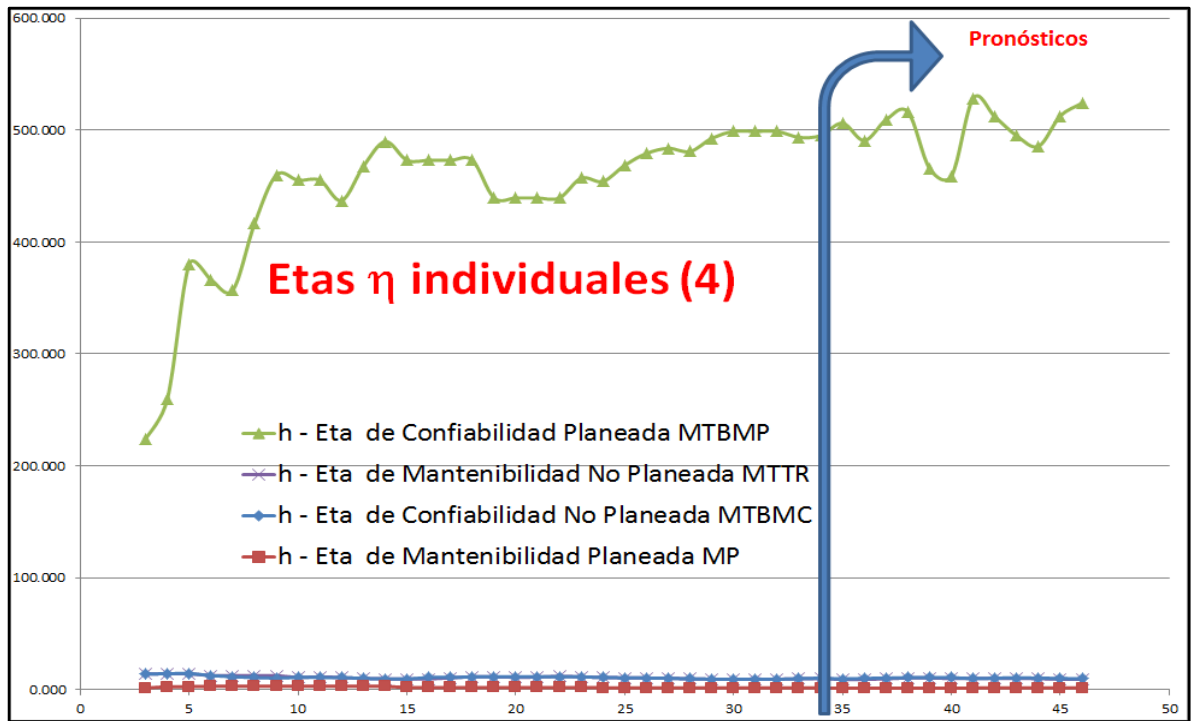


Si se ve un efecto complementario, pero muy poco sensible y no tan riguroso como en las Turbinas ISAGEN.

#### 4.3.2.2 Estudio del Factor de Escala Eta $\eta$

Si bien el  $\beta$  se asocia a Mantenimiento el Eta se asocia a Producción u Operación, es decir el Factor de Escala da la capacidad de que tan largos pueden ser los tirajes continuos de manufactura o explotación de la máquina.

Ilustración 49 -  $\eta$  Etas históricos y pronosticados



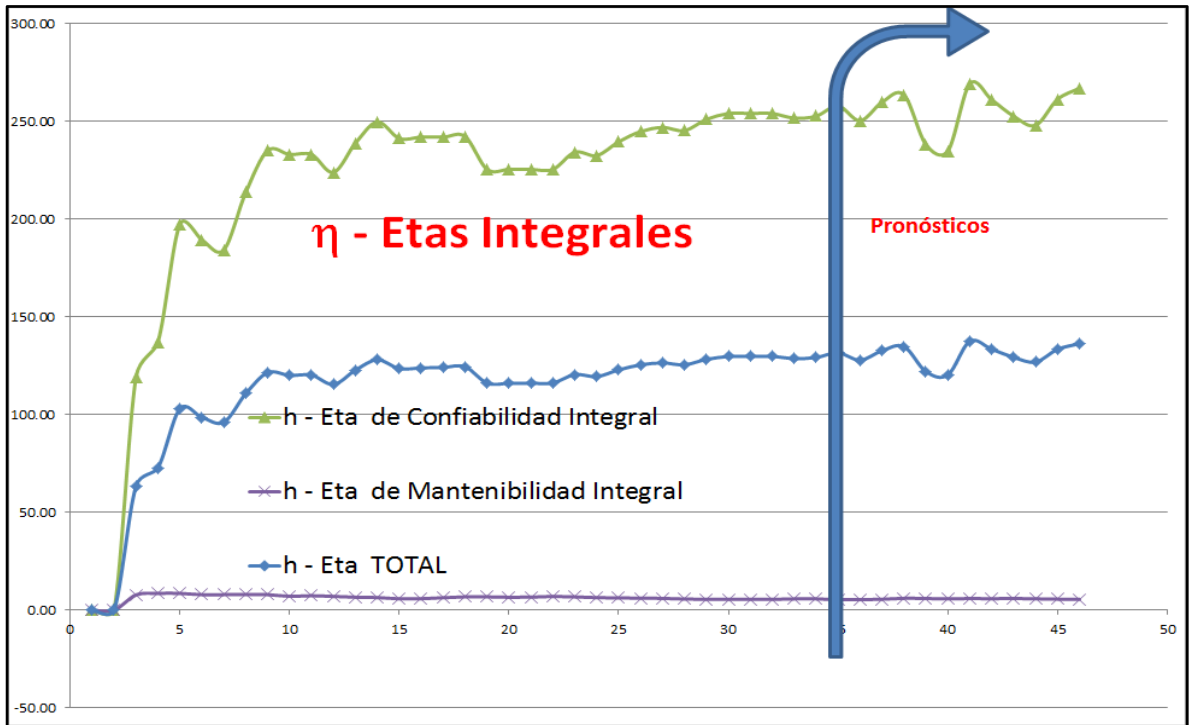
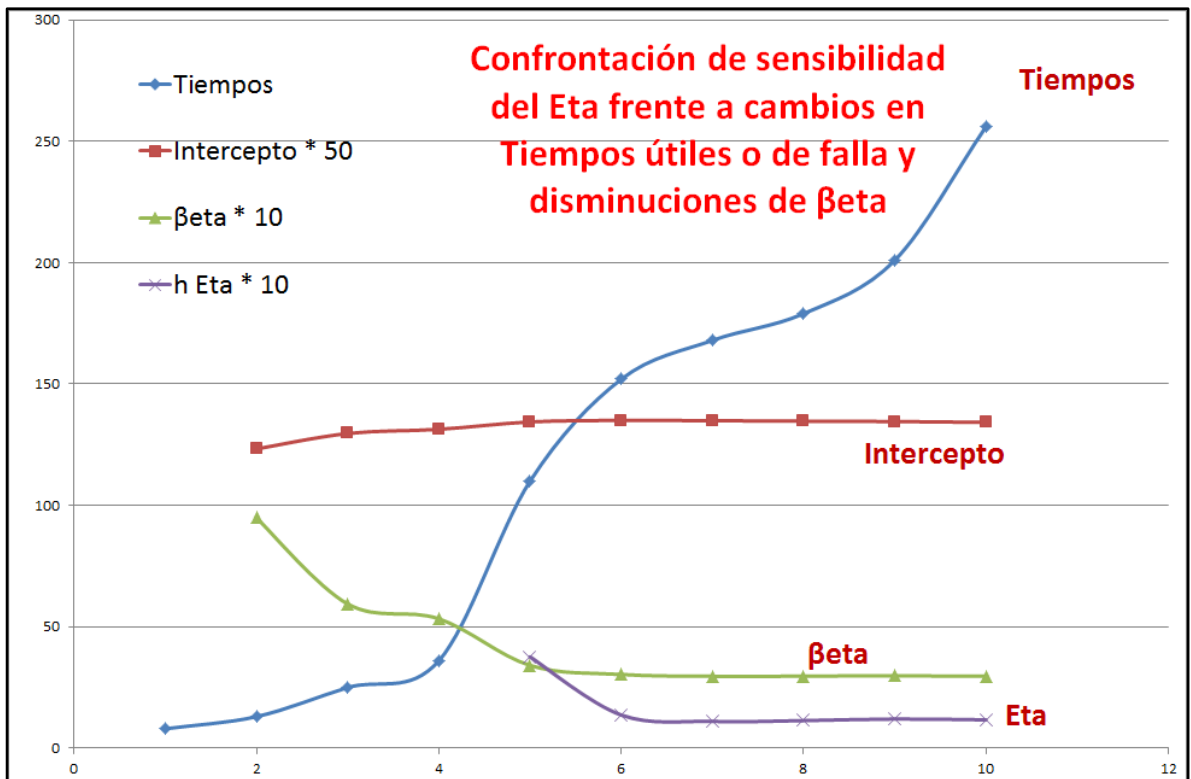


Ilustración 50 - Análisis de sensibilidad Eta frente Intercepto, Beta, Tiempos de falla o útiles

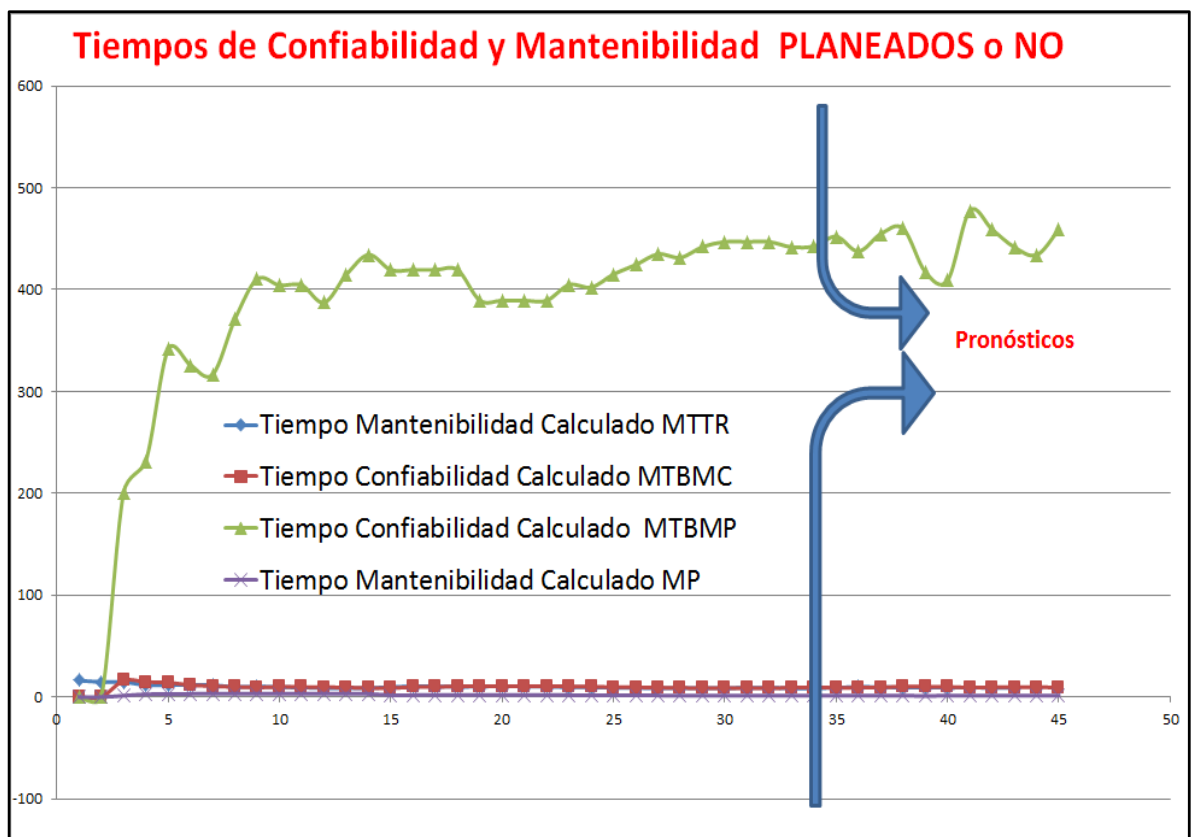


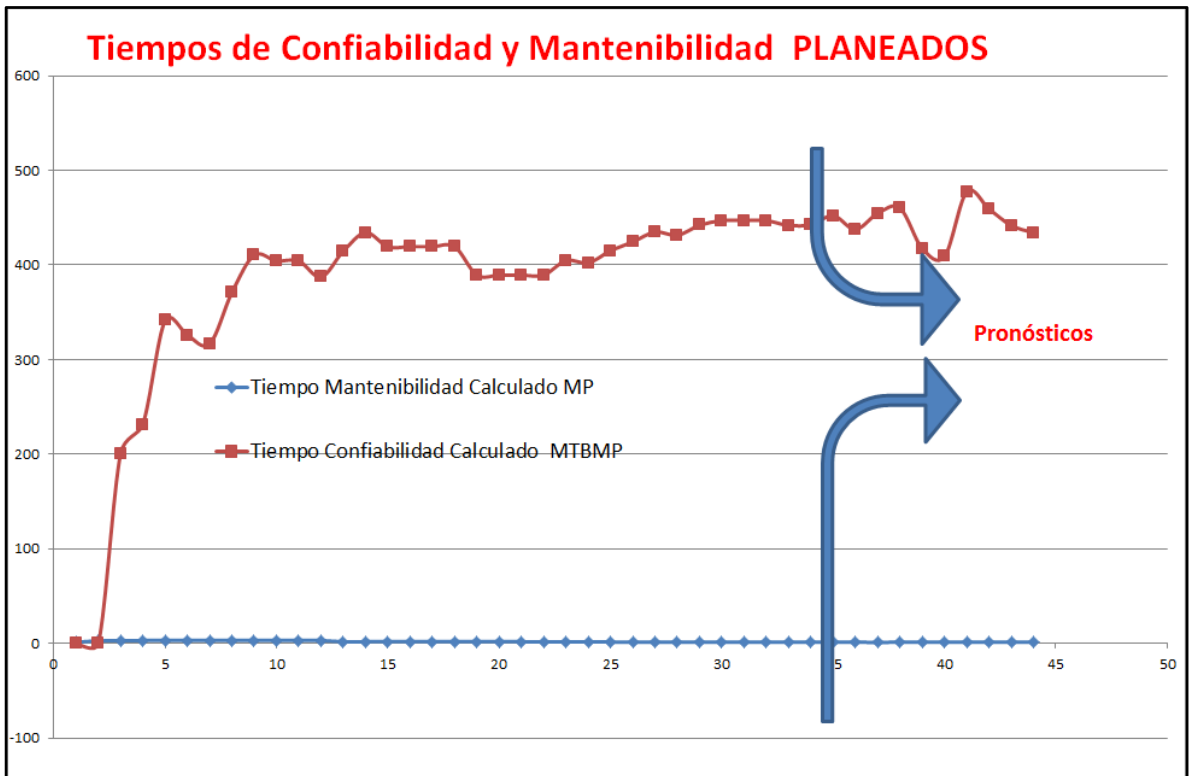
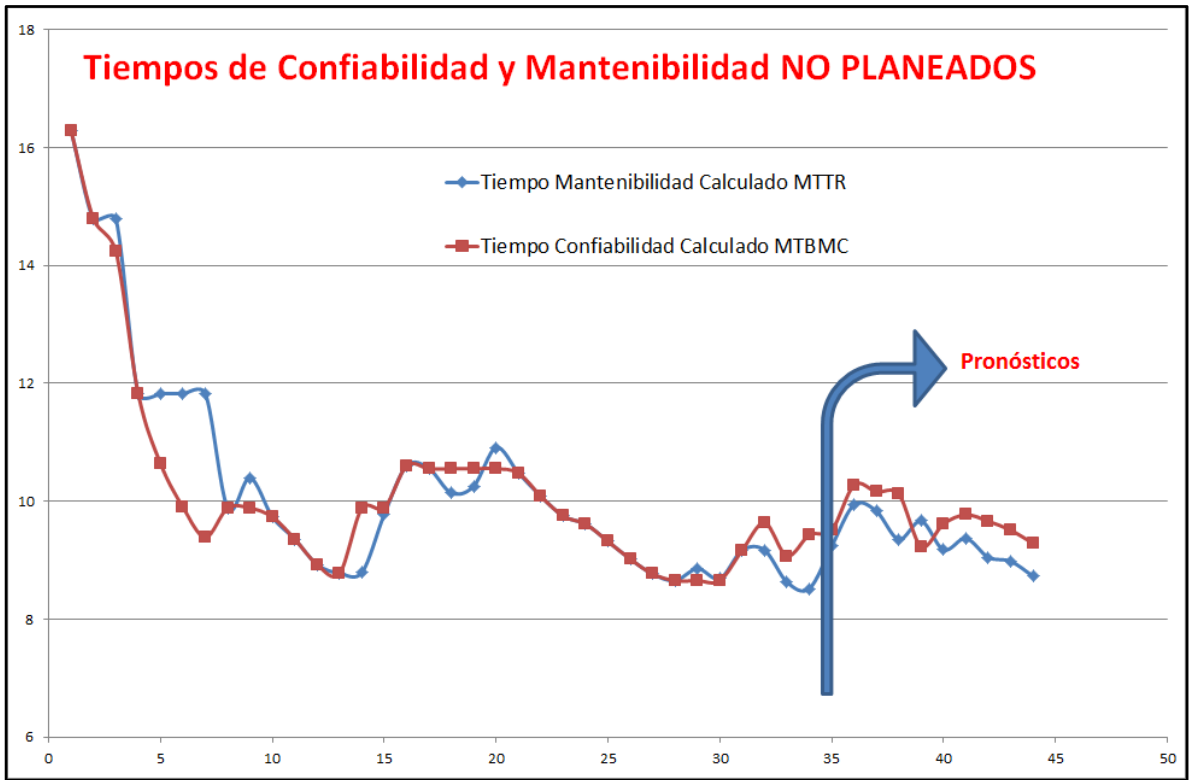
Indudablemente el  $\beta$  influye sensiblemente en el  $E_{ta}$  y debido a que también el  $\beta$  incide en los tiempos útiles por doble vía estos influyen en el  $E_{ta}$ , hay dos cosas sensibles, al tener tiempos bajos de  $MTBM_C$  con  $\beta$  altos en Mantenibilidad Correctiva, por un lado y por el otro Tiempos bajos en la Confiabilidad Planeada con unos  $\beta$  que si bien son superiores a uno, son bajos en su zona, que implican ambas cosas eliminar la causa raíz de las fallas (lo que otorga tiempos útiles correctivos  $MTBM_C$  más altos, menores tiempos de correctivos) y por el otro impulsar frenéticamente las prácticas predictivas, con menores tiempos de preventivos y más de número de predictivos, implicando esto más tiempos útiles planeados  $MTBM_P$ , indudablemente mejorarían los tiempos de producción entre correctivos, entre planeados, y en general el tiempo útil de la BAAC y por ende sus  $E_{tas}$  serán desproporcionadamente más altos.

#### 4.3.2.3 Estudio de los Tiempos Útiles $MTBM_C$ $MTBM_P$ y $MTBM$

A continuación se muestra el comportamiento histórico y futuro a un año vista de los tiempos útiles de los tres mapas: planeado, no planeado y general.

Ilustración 51 - Tiempos útiles y pronosticados





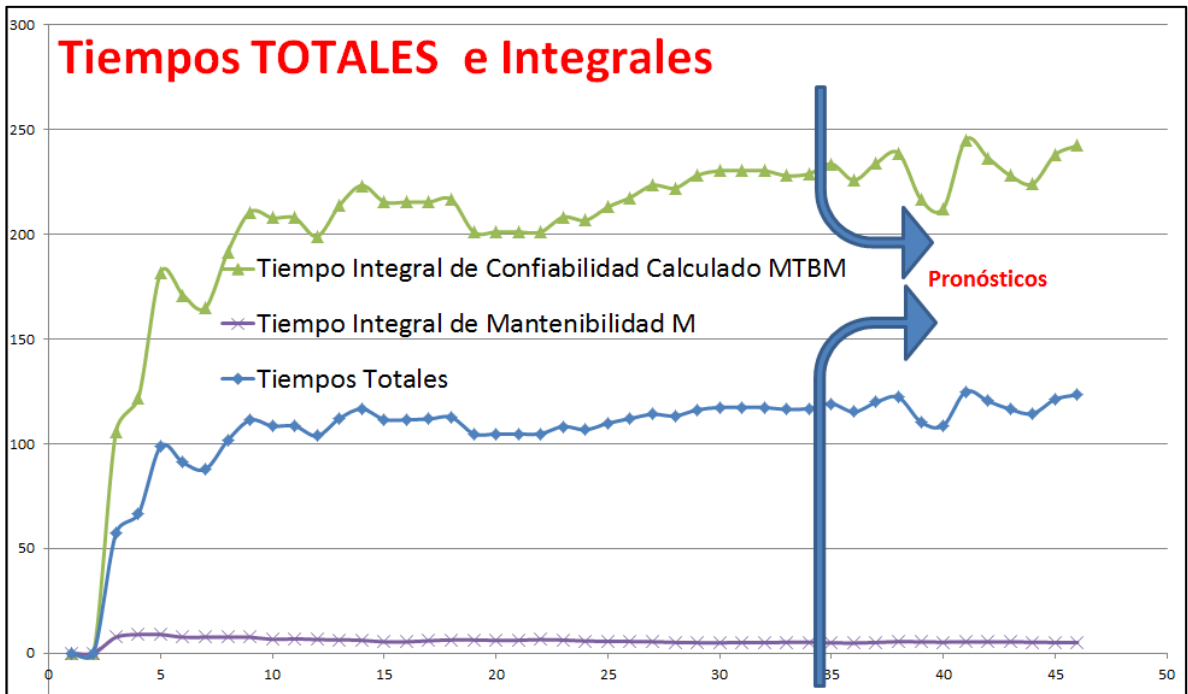


Ilustración 52 - Disponibilidad general



En general se aprecia que el MTTR va a la baja, esto está bien; el MTBM<sub>C</sub> va a la baja, esto no está bien (se debe mejorar eliminando causa raíz de los problemas de paradas imprevistas); el MTVBMP va al alza lento con vaivenes pero lentamente sube y esto está bien (aunque este crecimiento se debe acelerar incrementando lo predictivo frente a lo predictivo), el M<sub>P</sub> esta aproximadamente constante, con vaivenes también y lentamente a la baja, casi insensible.

El tiempo útil total MTBM de confiabilidad tiende a la suba insistentemente y va bien así, aunque puede mejorar ostensiblemente eliminando fallas e incrementando lo predictivo, pero por el otro lado el M de mantenibilidad también baja sutilmente en menor aceleración que el MTBM, pero se debe bajar drásticamente atacando fallas y metiendo más predictivo.

La disponibilidad se ve muy bien y a la suba, pero puede mejorar rápida y económicamente, haciendo las dos pautas principales, ya explícitas en párrafos anteriores a lo largo del capítulo de análisis estratégico a la mejora.

#### 4.4 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 4

El aparte cuatro de análisis estratégico o capítulo cuarto, logra con demasía todos sus propósitos, se fundamenta estadística, visual y matemáticamente, aportando dos grandes proyectos:

- Eliminar las fallas mediante un análisis intensivo de causa raíz creando un Grupo de Ataque de Análisis de Fallas con recurso y empoderamiento que pueda implementar soluciones científicas.
- Predictivos en vez de preventivos, cambiando lo preventivo por técnicas predictivas más avanzadas, para así mejorar los parámetros Betas, etas, Tiempos útiles y disminuir los tiempos de no funcionalidad y por ende lograr mejores indicadores CMD en el futuro cercano, sin grandes inversiones.

Las dos acciones estratégicas a futuro logra en el corto plazo efectivizar la BAAC, con inversiones mínimas.

## 5 CONCLUSIONES

### 5.1 OBJETIVO 5

Presentar las principales estrategias y acciones de mantenimiento y operación de la BAAC.

#### 5.1.1 Conceptuales de la revisión teórica aplicada

Para realizar análisis CMD de una máquina se requiere de información ampliada de funcionamiento, mantenimiento, operación y características técnicas, también conocer por medios directos las funciones (primarias y secundarias) y los principales componentes involucrados y su influencia en el desempeño del equipo; además contar con los criterios conceptuales, informáticos y técnicos para la evaluación de los datos y parámetros CMD.

El registro de información de funcionalidad y mantenimientos es el requisito mínimo de datos históricos en un análisis CMD, la validez de los resultados a obtener en estrategias, tácticas y acciones de mantenimiento y operación dependerá de la calidad de la información, por lo tanto si la organización desea llegar a mantenimiento clase mundial debe fortalecer (o enfocar) primero sus sistemas de información y el personal involucrado en estas actividades.

El uso del método estandarizado para la predicción CMD garantiza que la información (actual y futura) y la definición de variables y parámetros es completamente certera, por lo cual los planteamientos derivados de los resultados del análisis CMD, son una herramienta de peso para la generación de valor agregado a la compañía.

La definición del volumen de control, las funciones y componentes de la BAAC es uno de los procesos de mayor importancia para la finalidad del CMD, de allí se derivan las variables intrínsecas que afectan la disponibilidad y mantenibilidad de la BAAC y no atribuir de forma errónea situaciones externas indeseables.

Conocer la taxonomía e intervenciones para el reestablecer condiciones estándar de los componentes de la BAAC facilita la visualización para la definición de nuevas tareas o modificación de tareas que permitan optimizar los tiempos útiles de operación y reducir los tiempos de mantenimiento (planeado o no), para cambiar la filosofía de operar hasta la falla.

### 5.1.2 Derivadas del análisis numérico futurístico y estadístico CMD

Al aplicar la prueba ACF para los datos de funcionalidad y mantenimiento de la BAAC no se tienen valores cercanos a 1, lo cual indica aleatoriedad en la información de tiempos útiles y mantenimientos (planeados y no), así se corrobora la condición de operación hasta falla (correctivos) que se estudió en el capítulo 2. El hecho de tener valores aleatorios en los tiempos de operación entre intervenciones planeadas genera grandes posibilidades de optimizar los tiempos útiles de la BAAC con un mínimo de esfuerzo en implementaciones periódicas (no aleatorias) de actividades programadas.

El valor de 1.3 del factor de forma beta ( $\beta$ ) para los tiempos entre ejecución de actividades de origen correctivo (no planeado MTBMP) y la media de los tiempos para reparar (MTTR) indica que la BAAC se ubica en la fase III de la curva de Davies (de la bañera), para las variables no planeadas el factor de forma debe ser inferior 1, por lo cual se debe implementar metodologías para el análisis de causas de falla en la BAAC, y así mejorar los tiempos para reparar (disminuir), el número de eventos (disminuir) y el tiempo entre ejecución de correctivos (aumentar).

En el caso de los planeados el factor de forma  $\beta$  de 1.6 ubica a la BAAC en la etapa I de la fase III, aquí se debe empezar a mejorar la cantidad de técnicas predictivas y optimizar frecuencias de aplicación, estos análisis generan intervenciones a ejecutar de forma programada, aumentando la cantidad de actividades planeadas (con dirección a disminuir correctivos) y estabilizando MTBMP, de esta forma se pierde la aleatoriedad (no deseada en planeados) y se aumentan tiempos útiles de operación de la BAAC; a la vez que disminuye beta para no planeados y aumenta para los planeados.

El análisis de los tiempos útiles de operación y tiempos de mantenimiento totales arroja un comportamiento estable de la BAAC, pero con grandes oportunidades de optimización en ambas variables. Para los próximos 12 meses el tiempo de operación presenta ascenso (Ilustración 51) con dos meses bajos seguramente asociados al equipo fuera de operación (disponible sin operar) periodos muertos de estos meses; en el caso de los tiempos requeridos para ejecución de mantenimientos (planeados o no) se tiene pocas variaciones con leve tendencia a descender (Ilustración 51), aparentemente las condiciones mencionadas son muy buenas, sin embargo se ve en los datos y parámetros CMD de la BAAC que los no planeados generan gran influencia en la confiabilidad y mantenibilidad, por lo cual nuevamente se establece la urgencia de trabajar en detección de fallas para disminuir correctivos e implementar técnicas predictivas (para desprender tareas preventivas o no) con la finalidad de aumentar tiempos útiles de operación, disminuir eventos correctivos y optimizar tiempos de ejecución de mantenimientos planeados y no planeados.

Los resultados de tiempos del numeral 4.3.2.3 son aceptables, pero con toda certeza serán mejores al atender las recomendaciones aquí mencionadas.



## BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Blanchard, Benjamin S., Verma, Dinesh y Peterson, Elmer. 1994.** *Maintainability: A key to effective serviceability and maintenance management; New Dimensions in engineering.* [ed.] Stewart Rodney. Segunda. New York : Wiley, John and Sons, Incorporated, 1994. pág. 540. ISBN: 0-471-59132-7.
- Díaz, Matalobos - Ángel. 1992.** *Confiabilidad en mantenimiento.* Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.
- Domínguez, Gerardo. 1999.** *Indicadores de Gestión.* Medellín, Colombia : Biblioteca Jurídica, 1999. ISBN 958-9421-97-0.
- Ebeling, Charles E. 2005.** *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.* [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.
- Gonzales, Francisco Javier - Treviño. 2004.** *Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión.* Madrid : Fundación Confemetal, 2004. ISBN 84-96169-36-7.
- Halpern, Siegmund. 1978.** *The Assurance Sciences: An Introduction to Quality Control and Reliability.* New Jersey City : Editorial Prentice Hall, Inc Professional Technical, 1978. ISBN: 0130496014.
- 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.
- Kapur, Kailash C. y Lamberson, Leonard R. 1977.** *Reliability in engineering design.* [ed.] Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research Wayne State Univ. Primera. Detroit USA : John Wiley and Sons, Inc., New York, 1977. pág. 606. Org Wayne State Univ., Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research. ISBN-13: 978-0-471-51191-5.
- Kececioglu, Dimitri. 1995.** *Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering.* New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.

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

**Knezevic, Jezdimir. 1996.** *Mantenibilidad*. Primera. Madrid : Isdefe, 1996. ISBN-84-89338-08-6.

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

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

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

**Mora, Alberto - Gutiérrez. 2006.** *Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios*. Envigado : AMG, 2006. ISBN 958-33-8218-3.

—. **2009.** *Mantenimiento Planeación, ejecución y control*. Primera. Colombia : Alfaomega, 2009. ISBN-978-958-682-769-0.

—. **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.

—. **2014.** *Stock Cero*. Medellín : CIMPRO SAS, 2014. pág. 264. ISBN 978-958-583-61-0-5.

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

**Mora, Luis Alberto. 2009.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Envigado : Coldi, 2009. ISBN 978-958-98902-0-2.

—. **2009a.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Envigado : Coldi, 2009a. ISBN 978-958-98902-0-2.

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

**Nachals, Joel - A. 1995.** *Fiabilidad*. Primera. Madrid : Isdefe, 1995. ISBN-84-89338-07-8.

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

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

**Pachón, Graciliano - Toro, y otros. 2003.** *Estudio CMD ISAGEN realizado en la Universidad EAFIT.* Ingeniería Mecánica, EAFIT. Medellín : s.n., 2003. pág. 213, Asesoría EAFIT.

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

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

**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.

**Selivanov. 1998.** 1998.

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



## GLOSARIO

- ACF, 55, 60, 61  
análisis estratégico, 77  
Anderson-Darling AD, 62  
*Auto Regressive*, 66  
**BAAC**, 3, 5, 14, 17, 31, 33, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 55, 91  
Beta, 25  
BOMBA, 3, 5, 31  
Cálculo, 68, 71, 73, 75  
cero, 24  
CMD, 12, 13, 14, 18, 19, 22, 23, 26, 29, 31, 47, 55, 56, 68, 69, 71, 73, 75, 77  
Confiabilidad, 3, 12, 18, 63, 64, 68, 73  
Cronbach, 55, 59, 60  
datos reales, 68  
Disponibilidad, 3, 12, 14, 19, 20, 21, 22, 55, 56  
distribución, 22, 23, 24, 25, 37, 68  
distribuciones, 22, 24, 25, 26  
estratégico, 78, 89, 90  
Eta, 25, 63, 64, 67, 77  
Excel, 55, 63, 65, 68, 71, 73, 75  
fallas, 18, 23, 24  
Gamma, 24  
Kolmogórov- Smirnov KS, 62  
LogNormal, 22, 23  
Mantenibilidad, 3, 12, 14, 18, 55, 63, 64, 71, 75  
mantenimiento, 12, 13, 14, 17, 18, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 62, 77, 91  
Mapa, 56, 57, 58  
*Moving Average*, 66  
 $M_P$ , 55, 59, 61, 68, 75, 76, 77  
 $MTBM_C$ , 68, 70, 71, 77  
 $MTBM_P$ , 68, 73, 74, 77  
MTTR, 24, 68, 71, 72, 77  
objetivos, 13, 14, 15, 17  
parámetros  $\beta$ eta y  $\eta$  Eta, 67  
predicciones, 14, 55  
predictivo, 89  
preventivo, 22, 90  
Pronósticos, 26, 65, 67  
Reliasoft, 70, 72, 73, 76  
Reparaciones, 22  
Statgraphics, 55, 60, 65, 70, 72, 74, 76  
tareas, 18, 20, 21, 38, 91, 92  
Weibull, 22, 24, 25, 55, 63, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77