

**IMPLEMENTACIÓN DE LOS ÍNDICES CMD EN LOS  
EQUIPOS ROTATIVOS DE LA PLANTA DE CRACKING UOP I  
DE LA GRB ECOPETROL S.A.**

**STEVEN ALNER PINEDA MARTÍNEZ**

**LUISA JIMENA SILVA PLATA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2008**

**IMPLEMENTACIÓN DE LOS ÍNDICES CMD EN LOS  
EQUIPOS ROTATIVOS DE LA PLANTA DE CRACKING UOP I  
DE LA GRB ECOPETROL S.A.**

**STEVEN ALNER PINEDA MARTÍNEZ  
LUISA JIMENA SILVA PLATA**

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Director:  
**CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ**  
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2008**

A Dios por ser mi guía y mi protector,  
A mis Padres, por darme todo lo que soy y educarme  
en un hogar de amor,  
A mis hermanas, por alegrarme mis días,  
A mi Javito, que conoció de mis esfuerzos, por animarme  
y darme su amor incondicional.

***Luisa Jimena Silva Plata***

A Dios por darme la fuerza para seguir cada día y ayudarme a levantarme  
en cada tropiezo,

A mi madre, por esforzarse diariamente para que fuera lo que hoy soy, y  
por su apoyo incondicional,

A mi familia, por creer siempre en mis capacidades, y celebrar todos mis  
logros, en especial a mi tío Alfonso, pieza fundamental en este logro

Dedicatoria muy especial a la memoria de mi padre, inspiración  
permanente para cumplir mis metas, y quien estoy seguro que desde  
donde esté, celebra mis triunfos como si fueran suyos.

Gracias Papá

***Steven Alner Pineda Martínez***

## CONTENIDO

	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO ORGANIZACIONAL</b>	<b>3</b>
1.1 NATURALEZA DEL NEGOCIO	3
1.2 RESEÑA HISTÓRICA	3
1.3 MARCO ESTRATÉGICO	4
1.4 CULTURA ORGANIZACIONAL	5
1.4.1 Misión.	5
1.4.2 Visión 2015.	6
1.5 UBICACIÓN	6
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	7
1.7 PRODUCTOS	8
1.8 COBERTURA DEL PROYECTO	9
1.8.1 Evaluación de Aspectos para seleccionar planta.	10
1.8.2 Resultados de la evaluación de aspectos para seleccionar planta.	15
1.9 PROCESO DE LA PLANTA CRACKING UOP I	16
1.10 EQUIPOS ROTATIVOS EN LA PLANTA CRACKING UOP I	17
1.10.1 Bombas Centrifugas	18
1.10.2 Compresores Centrifugos	19
1.10.3 Modos de Falla en equipos Rotativos	23
<b>2. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO</b>	<b>26</b>
2.1 NIVELES DE MANTENIMIENTO	26
2.2 MODOS DE GESTIÓN.	27
2.2.1 Mantenimiento preventivo.	27
2.2.2 Mantenimiento correctivo.	28
2.2.3 Mantenimiento predictivo.	28

2.2.4	Mantenimiento Proactivo.	29
2.3	MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL – WORLD CLASS MAINTENANCE – WCM.	29
2.4	ÍNDICES INTERNACIONALES.	34
2.5	INDICADORES CMD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, Y DISPONIBILIDAD.	35
2.5.1	Confiabilidad.	36
2.5.2	Mantenibilidad.	45
2.5.3	Disponibilidad.	48
2.6	DISTRIBUCIONES MÁS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO DE CMD	56
2.6.1	Distribución exponencial.	57
2.6.2	Distribución normal.	57
2.6.3	Distribución Weibull.	57
3.	ESTUDIO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	61
3.1	SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA.	61
3.2	REGISTRO DE DATOS EN ELLIPSE	64
3.3	CONCEPTOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.	66
3.3.1	Intervenciones Planeadas	66
3.3.2	Intervenciones No Planeadas	67
3.3.3	Estados de demora.	68
3.4	INDICADORES	68
3.4.1	Down Time o Tiempo no operativo (DT).	69
3.4.2	Mean Time To Repair o tiempo medio para reparar (MTTR).	69
3.4.3	Mean Time Between Maintenance o tiempo medio entre mantenimientos (MTBM).	70
3.4.4	Mean Active Maintenance Time o tiempo medio de mantenimiento activo (M).	70
3.4.5	Mantenimientos Planeados (Mp).	71
4.	IMPLEMENTACIÓN DE ÍNDICES CMD	72
4.1	ANÁLISIS DE FALLAS	72
4.2	ADQUISICIÓN Y MANEJO DE DATOS	74

<b>4.3</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS</b>	<b>75</b>
<b>4.4</b>	<b>DISPONIBILIDAD FACTIBLE DE UTILIZAR</b>	<b>75</b>
<b>4.5</b>	<b>CALCULO DE INDICADORES CMD</b>	<b>77</b>
4.5.1	Descripción de la aplicación de Excel y sus Módulos	77
4.5.2	Reporte de resultados en la Aplicación “Cálculos CMD Ecopetrol S.A.”	82
<b>5.</b>	<b>PRONÓSTICOS</b>	<b>94</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
	<b>A N E X O S</b>	<b>107</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Productos de la Refinería de Barrancabermeja.	9
Tabla 2. Factor analizado Cantidad de Información existente	11
Tabla 3. Factor Analizado Tasa de Falla.	12
Tabla 4. Factor analizado Cantidad Equipos rotativos por planta	13
Tabla 5. Factor analizado pérdidas económicas.	14
Tabla 6. Resultados de la evaluación de aspectos.	15
Tabla 7. Modos de Falla en Equipos Rotativos.	23
Tabla 8. Niveles de Mantenimiento.	26
Tabla 9. Gestión de Mantenimiento Clase Mundo	31
Tabla 10. Tipos de disponibilidad.	50
Tabla 11. Parámetro de forma de la distribución de Weibull.	59
Tabla 12. Estados que representan tiempos operativos y de falla.	65
Tabla 13. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos.	76
Tabla 14. Estados para la Bomba SP2704A.	83
Tabla 15. Datos para la bomba SP2704A.	85
Tabla 16. Parámetros para confiabilidad con datos correctivos	86
Tabla 17. Parámetros para confiabilidad con datos Planeados.	87
Tabla 18. Parámetros de Mantenibilidad para datos correctivos	89
Tabla 19. Parámetros de mantenibilidad para datos Planeados.	90
Tabla 20. Indicadores para el cálculo de Disponibilidad.	91
Tabla 21. Resultados índices CMD para el equipo SP2704A.	93

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Marco Estratégico Ecopetrol S.A.	5
Figura 2. Ubicación de Refinería de Barrancabermeja.	6
Figura 3. Organigrama ECOPETROL S.A.	7
Figura 4. Organigrama Refinería de Barrancabermeja	8
Figura 5. Descripción del proceso de Cracking UOP I.	17
Figura 6. Bomba Centrifuga disposición esquema y perspectiva.	19
Figura 7. Corte de un Compresor centrifugo multietapas.	22
Figura 8. Curva de compresión para una maquina centrifuga.	22
Figura 9. Tipos de Mantenimiento	28
Figura 10. Perfil de funcionalidad	38
Figura 11. Tiempos de fallas de funcionamiento y demás; que impiden la funcionalidad del sistema o equipo.	40
Figura 12. Dos curvas típicas de confiabilidad.	42
Figura 13. Curva de Davies o de la bañera.	43
Figura 14. Dos curvas de mantenibilidad típicas.	47
Figura 15. Etapas de recopilación e Interpretación de datos.	62
Figura 16. Pantalla de entrada ELLIPSE	64
Figura 17. Tiempos que intervienen en la funcionalidad o no de la máquina.	69
Figura 18. Módulos de Trabajo	79
Figura 19. Botón Datos de Tiempo.	80
Figura 20 Botón Matriz de Regresión	81
Figura 21 Botón Resumen Cálculos	82
Figura 22. Perfil de Funcionalidad SP2704A	84
Figura 23. MTBMc con distribución Weibull.	87
Figura 24. MTBmp obtenido por distribución Weibull.	88
Figura 25. MTTR obtenido con distribución Weibull.	89
Figura 26. MP obtenido con distribución Weibull	90
Figura 27. Pronóstico para la bomba SP2704A	96

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Probabilidad de ocurrencia de un evento.	36
Ecuación 2. Representación matemática de la función de confiabilidad.	41
Ecuación 3. Representación matemática de la función de Mantenibilidad.	46
Ecuación 4. Disponibilidad en relación con la mantenibilidad y la confiabilidad.	49
Ecuación 5. Ecuación general de disponibilidad.	49
Ecuación 6. Disponibilidad Genérica ( $A_G$ ).	51
Ecuación 7. Disponibilidad genérica con mantenimiento preventivo.	51
Ecuación 8. Disponibilidad Inherente ( $A_I$ )	52
Ecuación 9. Disponibilidad alcanzada ( $A_A$ ).	53
Ecuación 10. MTBM: Tiempo medio entre mantenimientos.	53
Ecuación 11. Tiempo medio de mantenimiento activo.	54
Ecuación 12. Disponibilidad operacional ( $A_o$ ).	55
Ecuación 13. Disponibilidad operacional generalizada ( $A_{GO}$ ).	56
Ecuación 14. Función de densidad de la distribución de Weibull.	59
Ecuación 15. Función de confiabilidad de la distribución de Weibull.	59
Ecuación 16. Función de tasa de fallas de la distribución de Weibull.	59
Ecuación 17. Esperanza matemática de la distribución de Weibull.	60
Ecuación 18. Varianza de la distribución de Weibull.	60

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Data Sheet de Compresores y Bombas centrifugas de la planta de Cracking UOP I.

Anexo B. Perfil de funcionalidad de los equipos analizados en la planta de Cracking UOP I.

Anexo C. Instructivo Aplicación en Excel “Cálculos CMD Ecopetrol S.A.”

Anexo D. Resultados del análisis para los equipos Rotativos de la planta Cracking UOP I.

Anexo E. Pronósticos generados para los equipos Rotativos de la planta Cracking UOP I.

## RESUMEN

### TITULO:

IMPLEMENTACIÓN DE LOS ÍNDICES CMD EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA PLANTA DE CRACKING UOP I DE LA GRB ECOPETROL S.A.<sup>i</sup>

### AUTORES:

STEVEN ALNER PINEDA MARTÍNEZ

LUISA JIMENA SILVA PLATA<sup>ii</sup>

### PALABRAS CLAVES:

Índices CMD, sistema de información, tasa de falla, perfil de funcionalidad, distribución Weibull.

### DESCRIPCIÓN:

Este proyecto parte de la necesidad de implementar indicadores clase mundo para la coordinación de confiabilidad de equipo rotativo en la refinería de Barrancabermeja. La implementación de los Índices CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad), se hizo con el objetivo de determinar el estado actual de funcionamiento de los equipos rotativos y optimizar la estrategia de mantenimiento que se tiene para ellos en la planta Cracking UOP I, según los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores, y los parámetros que puede brindar una herramienta estadística.

La metodología que se siguió para la implementación de los índices CMD, fue el cálculo de indicadores (tiempo medio entre fallas, tiempo medio entre mantenimientos, tiempo medio para reparar y tiempo de intervenciones planeadas) por medio de la distribución Weibull, ya que brinda gran flexibilidad en el análisis gracias sus parámetros "Factor de forma" y "Factor de Escala". Esta es reconocida como una metodología Universal en cálculo de indicadores internacionales para la ingeniería de confiabilidad, y es ampliamente utilizada en las empresas catalogadas como "mejor en su clase".

El resultado es una estrategia para la gestión del mantenimiento, que sigue los estándares internacionales de medición de Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, los cuales ubicarán a Ecopetrol S.A. como una empresa de energía y petroquímica de clase mundial altamente competitiva.

---

<sup>i</sup> Trabajo de Grado

<sup>ii</sup> Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Carlos Ramón González

## SUMMARY

### TITLE:

IMPLEMENTATION OF RAM INDICATORS IN THE ROTATING EQUIPMENT OF CRACKING UOP I PLANT OF GRB ECOPETROL S.A.<sup>iii</sup>

### AUTHORS:

STEVEN ALNER PINEDA MARTÍNEZ  
LUISA JIMENA SILVA PLATA<sup>iv</sup>

### KEY WORDS:

RAM indicators, information system, failure rate, functionality profile, Weibull distribution.

### DESCRIPTION:

This project departs from the need to implement indicators world-class for the coordination of Reliability of Rotating Equipment in Barrancabermeja's refinery. The implementation of the indexes RAM Indicators (Reliability, Availability and Maintainability), was done by the aim to determine the current condition of functioning of the rotary equipments and to optimize the strategy of maintenance that is had for them in the Cracking UOP I plant. according to the results obtained for each of the indicators, and the parameters that a statistical tool can offer.

The methodology that followed for the implementation of the indexes RAM Indicators, was the calculation of indicators (mean time between failures, mean time between maintenance, mean time to repair and mean time to planned interventions) by the Weibull distribution, as it provides great flexibility in the analysis because its parameters " Shape Factor" and "Scale Factor." This is recognized as a international methodology in calculating Universal indicators for the reliability engineering, and is widely used in businesses classified as "best in its class."

The result is a strategy for the management of maintenance, which follows international standards of measurement of reliability, maintainability and availability, which will locate Ecopetrol S.A. as an energy and petrochemical company, with world-class practices and highly competitive.

---

<sup>iii</sup> Degree Work

<sup>iv</sup> Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering School, Eng Carlos Ramón González.

## INTRODUCCIÓN

La Coordinación de mejoramiento de la confiabilidad de equipo rotativo en la Refinería de Barrancabermeja tiene como objetivos primordiales la práctica de ingeniería de confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores, y la reducción de los costos de mantenimiento. Debido al avance técnico, tecnológico y científico; los procedimientos de mantenimiento que hoy se erigen son mucho más especializados, analíticos, prácticos y rigurosos que los realizados años atrás en la empresa, y requieren un conjunto de indicadores claves como herramienta útil para el desarrollo de una buena gestión de calidad.

Las tendencias mundiales de gestión de mantenimiento a través de indicadores y su impacto en la industria de bienes y servicios en aspectos gerenciales, tecnológicos, productivos, medioambientales, normativos y educativos, es cada vez mayor y busca acceder a la más avanzada información en este campo. Esta es la tendencia que Ecopetrol sigue en su política para convertirse en una empresa de clase mundial.

Con el desarrollo de este proyecto se busca situar a la empresa en un marco de conocimientos ingenieriles para la aplicación de técnicas avanzadas de mantenimiento y la implementación de índices CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), para cuantificar el comportamiento de los equipos, efectuar un seguimiento permanente y preciso, y ejecutar tareas de mantenimiento que ayuden a preservar la función de los equipos rotativos.

Como proyecto piloto se seleccionó la planta Cracking UOP I, la cual se encarga de la ruptura catalítica de hidrocarburos pesados de donde se obtienen los productos de la unidad: Gas combustible, Etano-Etileno, GLP,

Gasolina, Aceite liviano de ciclo y Slurry, productos que son parte de los principales ingresos de la compañía; éste cálculo de indicadores permite conocer el estado presente y futuro de los equipos y ayuda en la toma de decisiones para la gestión del mantenimiento de la coordinación.

La metodología que se siguió para la implementación de los índices CMD, fue el cálculo de indicadores (tiempo medio entre fallas, tiempo medio entre mantenimientos, tiempo medio para reparar y tiempo de intervenciones planeadas), aplicando un modelo universal e integral para la medición de CMD por medio de una aplicación en el programa Excel que utiliza el historial de tasa de falla registrado en el sistema de información de la empresa y emplea distribución Weibull para el cálculo de indicadores, ya que ésta brinda gran flexibilidad en el análisis gracias sus parámetros “Factor de forma” y “Factor de Escala”.

El resultado es una estrategia para la gestión del mantenimiento, que sigue los estándares internacionales de medición de Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad que llevan a obtener beneficios como: lograr un buen control de la gestión de mantenimiento ya que se conoce el estado actual y la fase en la que se encuentran los equipos en su evolución en el tiempo frente a la tasa de falla, y es posible seleccionar si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, predictivas o preventivas. También permite predecir el comportamiento que tendrán los equipos para tener una base real y actualizada en la planeación de las tareas de mantenimiento con el ánimo de obtener planes de mejoramiento, tendencias e implementar acciones necesarias útiles para el logro de los objetivos de la empresa encaminados a ubicar a Ecopetrol S.A. como una empresa de energía y petroquímica de clase mundial altamente competitiva.

## **1. MARCO ORGANIZACIONAL**

### **1.1 NATURALEZA DEL NEGOCIO**

ECOPETROL S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 35 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica. Tiene la participación mayoritaria de la infraestructura de transporte y refinación del país, posee el mayor conocimiento geológico de las diferentes cuencas, cuenta con una respetada política de buena vecindad entre las comunidades donde se realizan actividades de exploración y producción de hidrocarburos, es reconocida por la gestión ambiental y tanto en el upstream<sup>1</sup> como en el downstream<sup>2</sup>, ha establecido negocios con las más importantes petroleras del mundo.

Ecopetrol S.A. cuenta con campos de extracción de hidrocarburos en el centro, el sur, el oriente y el norte de Colombia, dos refinerías, puertos para exportación e importación de combustibles y crudos en ambas costas y una red de transporte de 8.124 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional, que intercomunican los sistemas de producción con los grandes centros de consumo y los terminales marítimos.

### **1.2 RESEÑA HISTÓRICA**

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos, que había sido creada en 1948 mediante la Ley 165 de ese año.

---

<sup>1</sup> Negocios referentes a la Exploración y Producción de hidrocarburos.

<sup>2</sup> Negocios referentes a Refinación, Transporte y Comercialización de productos.

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación. En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja.

En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser un país exportador de petróleo.

A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial.

### **1.3 MARCO ESTRATÉGICO**

El nuevo marco estratégico mostrado en la figura 1, representa un desafío para todos los trabajadores de la empresa, generándoles la posibilidad de crecer profesional y personalmente. Requerirá una mayor exigencia en cuanto a la gestión empresarial, estableciendo importantes lineamientos para garantizar la consolidación organizacional, lo que implica que se deberán adoptar las medidas necesarias para que los procesos de soporte apalanquen la estrategia eficazmente.

Como resultado de esta estrategia, se proyecta la empresa como una compañía global de energía, ubicada entre las 30 petroleras integradas más grandes del mundo.

Figura 1. Marco Estratégico Ecopetrol S.A.



(IRIS (Intranet de Ecopetrol), 2008)

## 1.4 CULTURA ORGANIZACIONAL

La cultura organizacional de Ecopetrol S.A. resume su sueño a alcanzar y razón de ser y existir, a través de su visión y misión.

### 1.4.1 Misión.

Descubrimos fuentes de energía y las convertimos en valor para nuestros clientes y accionistas, asegurando el cuidado del medio ambiente, la seguridad de los procesos e integridad de las personas, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operamos, con personal comprometido que

busca la excelencia, su desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con nuestros grupos de interés.

#### **1.4.2 Visión 2015.**

Ecopetrol será una empresa global de energía y petroquímica, con énfasis en petróleo, gas y combustibles alternativos; reconocidos por ser competitiva, con talento humano de clase mundial y socialmente responsable.

#### **1.5 UBICACIÓN**

La refinería se encuentra ubicada a orillas del río Magdalena, en la ciudad de Barrancabermeja región del Magdalena Medio en el departamento de Santander como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Ubicación de Refinería de Barrancabermeja.



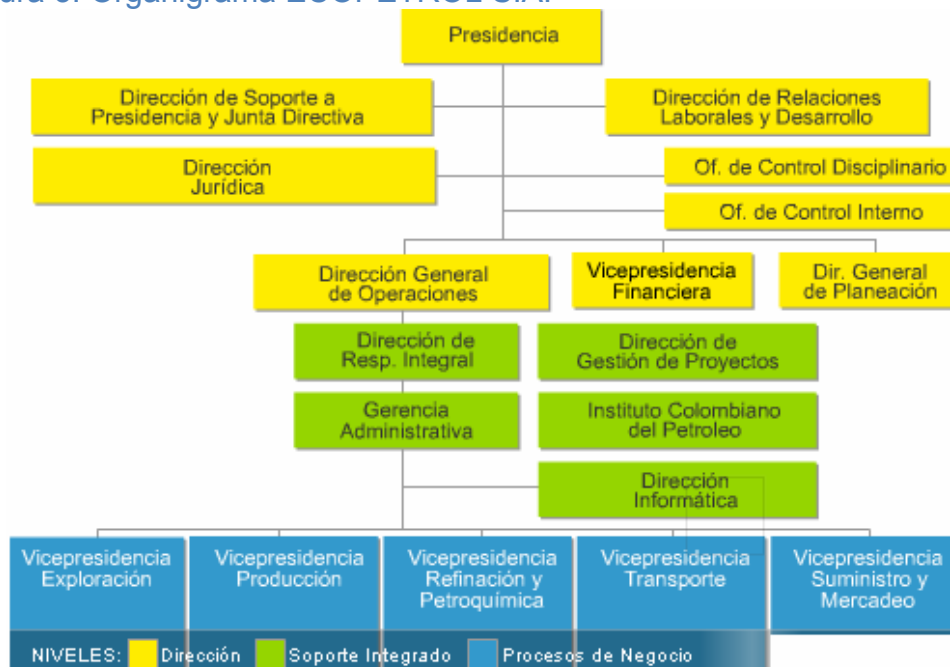
(IRIS (Intranet de Ecopetrol), 2008)

## 1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Mediante el Decreto 409 del 8 de febrero de 2006 el Gobierno Nacional modificó la actual Estructura de Ecopetrol S.A., que rige desde el 10 de febrero de 2006, fecha en la cual se publicó el decreto en el diario oficial. En adelante, la Sociedad tendrá la estructura y funciones contempladas en el decreto, sin perjuicio de las establecidas en las disposiciones legales vigentes. El organigrama de la empresa se muestra en la figura 3.

Los cambios introducidos atienden a los principios de eficiencia y racionalidad en los que se enmarca la gestión pública de acuerdo con las necesidades, planes y programas de la Organización, determinando para ello las tareas y responsabilidades a cargo de las dependencias, sin que en ningún momento se vea afectada la naturaleza jurídica de Ecopetrol S.A. que continúa siendo una Sociedad Pública por Acciones del Orden Nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía.

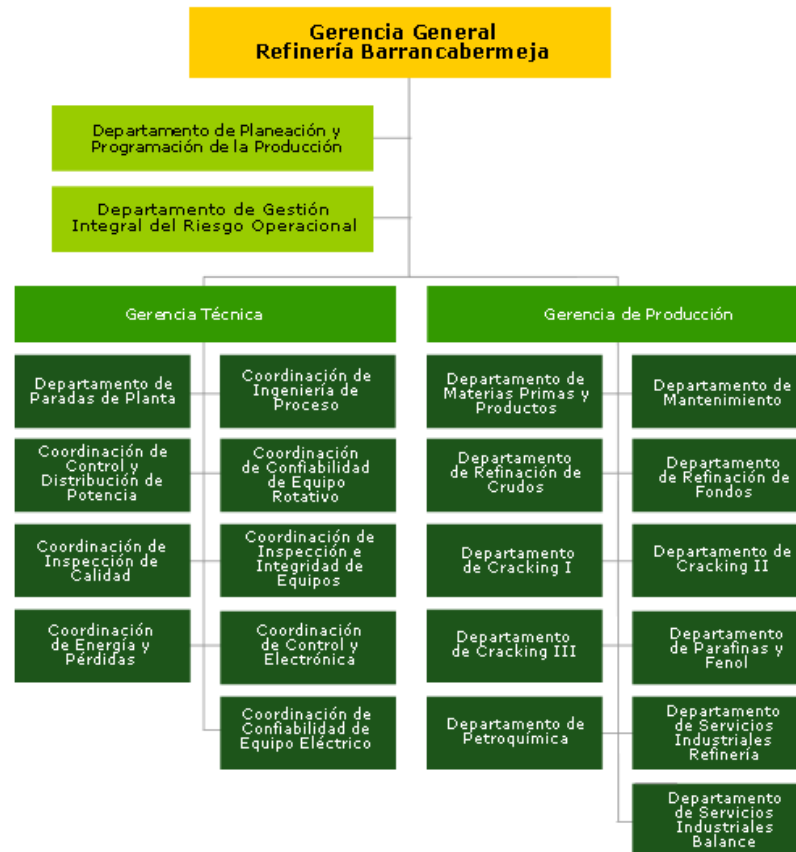
Figura 3. Organigrama ECOPETROL S.A.



(IRIS (Intranet de Ecopetrol), 2008)

La Refinería de Barrancabermeja recientemente presentó su mapa de estructura de cargos sujeto a los lineamientos del decreto 409 del 8 de febrero de 2006, el cual se muestra en la figura 4.

Figura 4. Organigrama Refinería de Barrancabermeja



(IRIS (Intranet de Ecopetrol), 2008)

## 1.7 PRODUCTOS

A través de los diferentes procesos de refinación de hidrocarburos la refinería de Barrancabermeja produce los diferentes combustibles líquidos, productos petroquímicos e industriales y gases industriales y domésticos que suplen las necesidades energéticas del país y ayudan a su desarrollo. Los productos de la refinería de Barrancabermeja se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Productos de la Refinería de Barrancabermeja.

<b>COMBUSTIBLES LÍQUIDOS</b>	
Gasolina Corriente	Gasolina Extra
Diesel Corriente	Diesel Extra
Bencina	Queroseno
Combustóleo	Jet 1 <sup>a</sup>
Diesel Marino	Gasolina de Aviación grado 100
IFOs 380 y 180	
<b>PETROQUÍMICOS E INDUSTRIALES</b>	
Disolventes alifáticos	Benceno
Tolueno	Xilenos Mezclados
Ortoxileno	Ciclohexano
Bases lubricantes	Ceras parafinicas
Asfaltos	Arotar
Azufre Petroquímico	Polietileno de baja densidad (Polifén)
<b>GASES INDUSTRIALES Y DOMÉSTICOS</b>	
Gas licuado de petróleo GLP	

(IRIS (Intranet de Ecopetrol), 2008)

## **1.8 COBERTURA DEL PROYECTO**

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto sobre implementación de índices CMD y teniendo en cuenta que se trata de un proyecto piloto fue necesario limitar el ejercicio y escoger una planta para realizar en los equipos rotativos de ésta el estudio y cálculo de indicadores.

Éste estudio se desarrolló teniendo en cuenta 4 aspectos, los cuales se evalúan independientemente, dándoles una puntuación de 1 a 5. Donde 5 es el punto más alto y de mayor interés a considerar y 1 el punto más bajo y de menor importancia en el rango. Los aspectos analizados son los siguientes:

- 1) **INFORMACIÓN EXISTENTE:** Este factor es el punto de partida para hacer la implementación de los índices de CMD y obtener los datos

que por historial se tengan registrados en los sistemas de información de la empresa de cada uno de los equipos en las plantas. Este aspecto fue considerado como el más relevante en la evaluación, ya que es la cantidad y calidad de información de la que depende el éxito del análisis.

- 2) FACTOR TASA DE FALLA<sup>3</sup>: Este aspecto indica en cual planta se presenta la mayor cantidad de eventos de falla en los equipos y que por lo tanto requiere con mayor necesidad que haya una mejora en cantidad de equipos confiables.
- 3) CANTIDAD DE EQUIPOS ROTATIVOS EN CADA PLANTA: Se debe analizar este factor para contar con la posibilidad de censurar aquellos equipos que no muestran un orden lógico en los estados registrados, y por lo tanto no brindan un dato confiable para el análisis de los parámetros asociados a los indicadores CMD.
- 4) FACTOR ECONÓMICO: Para este factor se debe tener en cuenta cual es la planta que genera más pérdidas económicas si se llega a parar el proceso. Esto se mide teniendo en cuenta la ecuación de pérdidas para cada planta suministrada por el departamento de planeación de la producción de la empresa.

### **1.8.1 Evaluación de Aspectos para seleccionar planta.**

- 1) INFORMACIÓN EXISTENTE: Para hacer este análisis se revisó la información existente por planta en el Portal RIS<sup>4</sup> de el historial de

---

<sup>3</sup> TASA DE FALLA: Cantidad de equipos que pasan al estado en falla por unidad de tiempo, para la empresa este factor se mide por semana.

<sup>4</sup> RIS: Portal integrado del sistema de información de la Refinería

estado de equipos desde enero del 1998 a la fecha y se evaluó la cantidad y calidad de los registros y cambios de estados en los equipos, dándoles una valoración de 1 a 5, siendo 5 el valor donde se encontró mayor cantidad de información y 1 el valor donde menos información hay registrada. Los resultados se aprecian en la Tabla 2.

Criterio de evaluación: Datos encontrados antes del año 2000 valoración 5, datos encontrados entre Enero de 2000 y Diciembre de 2002 valoración 4, entre enero de 2003 y diciembre de 2003 valoración 3, datos entre enero de 2004 y diciembre de 2004 valoración 2 y datos de enero de 2005 a la fecha valoración 1.

Tabla 2. Factor analizado Cantidad de Información existente

PLANTA	INFORMACIÓN DESDE	VALORACIÓN CALIDAD
2000,2100,Soda, Especial	Julio-1999	5
Cracking Uop I	Enero-1998	5
Serv. Ind. Balance	Mayo-2000	4
Demex, Visco.II, Hidrogeno,	Mayo-2000	4
Parafinas y fenol	Febrero-2002	4
150,200,250,Visco.I	Febrero-2002	4
Modelo IV, Alquilación, Acido	Octubre-2001	4
Poliolefinas	Marzo-2003	3
Aromáticos	Abril-2003	3
Orthoflow	Marzo-2003	3
Mp Y Productos	Junio-2004	2
Cracking Uop II	Junio-2004	2
Vapor y TTO aguas	Enero-2004	2
AMBIENTAL Y GLP	Agosto-2004	2

2) FACTOR TASA DE FALLA: según la información registrada en el portal RIS para el año 2007 del comportamiento de la tasa de falla para cada una de las plantas es el mostrado en la **Tabla 3**. Este aspecto se evalúa con el siguiente criterio: Para las plantas con tasa de falla de 20 equipos por semana en adelante valoración 5, plantas con tasa de falla entre 10 y 19 valoración 4, para tasa de falla entre 5 y 9 valoración 3, para tasas de falla entre 2 y 4 valoración 2 y para plantas con tasa de falla menor a 2 valoración 1.

Tabla 3. Factor Analizado Tasa de Falla.

PLANTA	TASA FALLA 2007	VALORACIÓN
Parafinas Y Fenol	26	5
Poliolefinas	17	4
Vapor Y Energía	12	4
Tto Aguas Refinería	11	4
Visco II, Demex, Unibon	10	4
Serv. Industrial Balance	9	3
150,200,250,Y Visco I	8	3
2000,2100,Soda Y Especiales	8	3
Cracking Uop I	8	3
Modelo Iv Y Acido	8	3
Ambiental Y Glp	6	3
Aromáticos	6	3
Alquilación Y Uop II	5	3
Orthoflow	4	2
Crudos Y Prod. Internos	3	2
Productos	1	1

(Portal RIS, 2008)

3) CANTIDAD EQUIPOS ROTATIVOS POR PLANTA: Se tomó la información registrada en el sistema de información de la empresa ELLIPSE y se totalizó el número de equipos en cada planta, los

resultados se muestran en la Tabla 4. Este aspecto se evalúa según el siguiente criterio: Las plantas con mayor cantidad de equipos (de 300 en adelante) tendrán valoración 5, Las plantas que tengan entre 200 y 299 valoración 4, entre 100 y 199 equipos valoración 3, entre 50 y 99 equipos valoración 2 y plantas con menos de 50 equipos valoración 1.

Tabla 4. Factor analizado Cantidad Equipos rotativos por planta

PLANTA	CANT. EQUIPOS ROTATIVOS	VALORACIÓN
Vapor y TTO aguas	346	5
Poliolefinas	202	4
Serv. Ind. Balance	198	3
Mp Y Productos	189	3
Parafinas y fenol	188	3
Cracking Uop II	181	3
150,200,250,Visco.I	151	3
Cracking Uop I	148	3
2000,2100,Soda, Especial	124	3
Demex, Visco.II, Hidrogeno,	119	3
AMBIENTAL	116	3
Aromáticos	111	3
Orthoflow	98	2
Etileno	81	2
Alquilación	68	2
Modelo IV	43	1
Ácido	26	1
GLP	20	1

(Sistema de Informacion ELLIPSE, 2008)

4) FACTOR ECONÓMICO: Este factor se analizó teniendo la información de las ecuaciones de pérdida<sup>5</sup> para las plantas y tomando como valor las pérdidas económicas si la planta se detiene por 30 días. Estos valores se muestran en la Tabla 5. El criterio de evaluación para este aspecto es priorizar la planta que mayores pérdidas genera para la refinería en caso de una parada, por tal motivo las plantas que pierdan por encima de kUS\$5000 tendrán valoración 5, las plantas que estén entre kUS\$3000 y kUS\$5000 valoración 4, entre kUS\$1000 y kUS\$3000 valoración 3, entre kUS\$500 y kUS\$1000 valoración 2 y las plantas que tengan pérdidas por debajo de kUS\$500 valoración 1.

Tabla 5. Factor analizado pérdidas económicas.

PLANTA	Pérdidas económicas	VALORACIÓN
	kUS\$/mes	
Servicio Industrial Balance	11520	5
Cracking UOP II	10019	5
U2000	5400	5
Cracking Uop I	4372	4
U200	4250	4
Orthoflow	3166	4
Poliolefinas	3000	3
U2100	2860	3
Demex, Visco.II, Hidrogeno,	1886	3
Modelo IV y Acido	1580	3
Aromáticos	650	2
Viscorreductora I	243	1
Vapor y TTO aguas	100	1
Ambiental y GLP	100	1
Materias primas	NA	-

( Departamento de Planeación de la producción., 2007)

<sup>5</sup> Ecuaciones de pérdidas: Define las pérdidas económicas de la producción en un tiempo determinado si la planta para la producción.

### 1.8.2 Resultados de la evaluación de aspectos para seleccionar planta.

Los resultados del análisis para de los aspectos evaluados se muestran de forma comparativa en la Tabla 6, incluyendo el total de puntos obtenidos en la evaluación de cada uno de los aspectos.

Tabla 6. Resultados de la evaluación de aspectos.

PLANTA	Información existente	Tasa de falla	Cantidad de equipos	Pérdida Económica	SUMA TOTAL
PARAFINAS Y FENOL	4	5	3	3	15
SERV. INDUST. BALANCE	4	3	3	5	15
POLIOLEFINAS	3	4	4	3	14
VAPOR Y TTO DE AGUAS	2	4	5	1	12
VISCO II, DEMEX, UNIBON	4	4	3	3	14
150,200,250,Y VISCO I	4	3	3	4	14
2000,2100,SODA Y ESPECIALES	5	3	3	3	14
CRACKING UOP I	5	3	3	4	15
MODELO IV Y ACIDO	4	3	1	3	11
AMBIENTAL Y GLP	2	3	1	1	7
AROMÁTICOS	3	3	3	2	11
ALQUILACION Y UOP II	2	3	3	5	13
ORTHOFLOW	3	2	2	4	13

Los aspectos analizados: Tasa de falla, Cantidad de equipos, impacto económico e información existente, muestran para las plantas Parafinas y Fenol, Servicios industriales balance y Cracking UOP I un total de quince (15) puntos en su valoración. Para efectos de la selección de la planta, se le da un mayor reconocimiento a Cracking UOP I por tener la mayor puntuación en el aspecto referente a la cantidad de información ya que es el punto de partida para realización de este proyecto de grado.

Es por esto que se selecciona ésta planta para desarrollar como proyecto piloto el cálculo de índices CMD en sus equipos rotativos.

## **1.9 PROCESO DE LA PLANTA CRACKING UOP I**

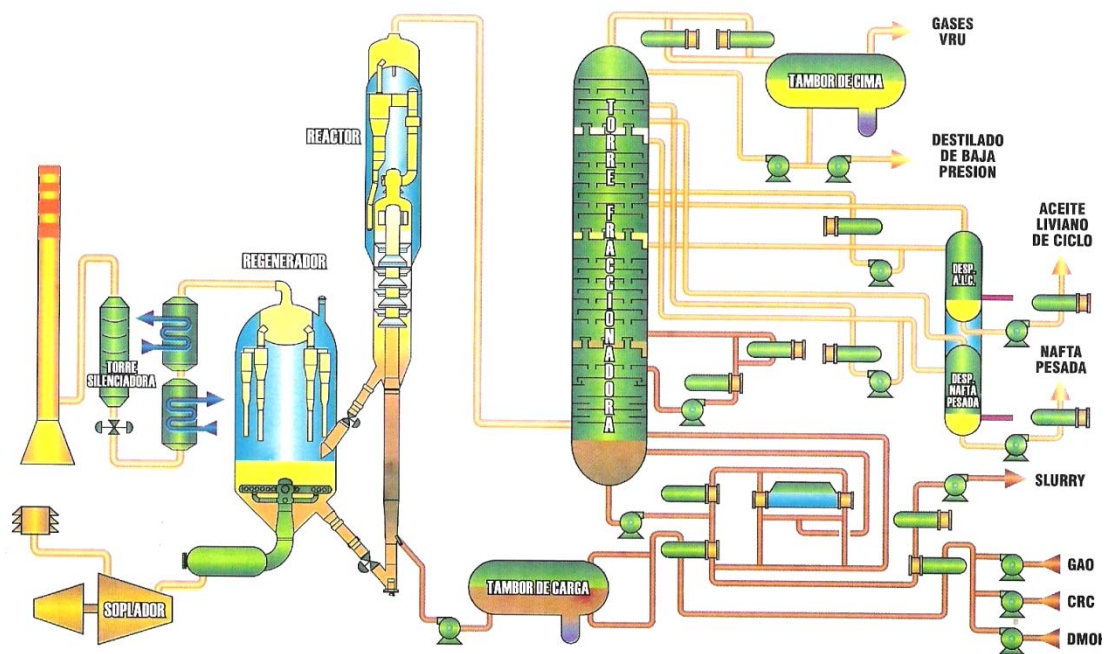
La unidad de ruptura catalítica UOP I, fue diseñada en 1974 como parte de la unidad de balance, fue puesta en funcionamiento en 1979 y tiene como objetivo general maximizar la obtención de productos líquidos blancos a partir de corrientes de hidrocarburos pesados, manteniendo una adecuada distribución de dichos productos para optimizar el rendimiento económico de la unidad y asegurar el suministro de combustibles para el país, en especificaciones y oportunidad, minimizando el impacto ambiental de la producción y dentro de un ambiente seguro de trabajo.

La ruptura catalítica o cracking catalítico, es una reacción química mediante la cual se rompen moléculas de hidrocarburo grandes para producir fragmentos más pequeños de estas moléculas. Estas moléculas pequeñas, dependiendo de su tamaño, peso molecular, punto de ebullición, etc.; se pueden separar en 6 corrientes principales que constituyen los productos de la unidad: Gas combustible, Etano-Etileno, GLP, Gasolina, Aceite liviano de ciclo y Slurry.

El rompimiento de estos enlaces se puede hacer de dos formas: Rompimiento Térmico (alta temperatura), que es una operación con poca selectividad a productos valiosos y con alta generación de coque; y por medio de la Ruptura Catalítica, donde gracias al uso de un catalizador (una Zeolita depositada en una estructura cristalina de aluminio llamada Matriz) se hace necesaria una menor cantidad de energía (temperatura) para romper los enlaces y se logra una mayor selectividad a productos valiosos.

El diagrama del proceso de la planta de Cracking UOP I se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Descripción del proceso de Cracking UOP I.



(Departamento de Cracking, Ecopetrol S.A.)

### 1.10 EQUIPOS ROTATIVOS EN LA PLANTA CRACKING UOP I

La planta de ruptura catalítica Cracking UOP I cuenta para su funcionamiento con ciento cuarenta y ocho (148) equipos rotativos entre compresores y bombas centrífugas, distribuidos en siete (7) compresores y ciento cuarenta y una (141) bombas, su identificación para el sistema de información de la refinería es SP (system pump) para los equipos de bombeo y SC (system compressor) para los compresores.

### 1.10.1 Bombas Centrifugas

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Los elementos de que consta una instalación son:

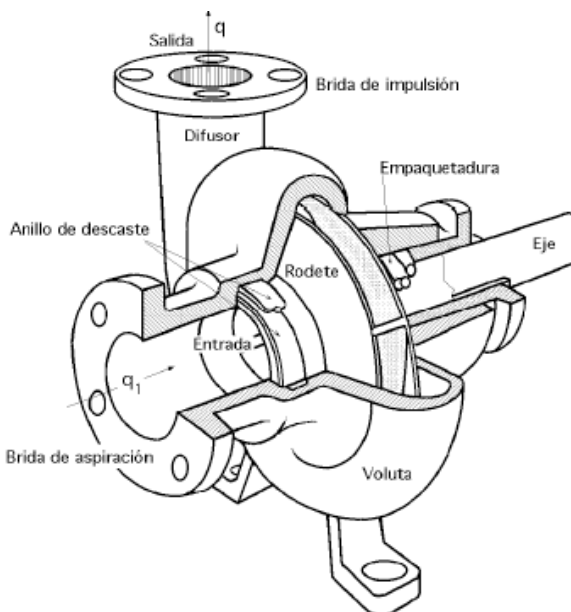
- a) **Una tubería de aspiración**, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
  
- b) **El impulsor o rodete**, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo.
  
- c) **La voluta**, es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el

rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.

- d) **Una tubería de impulsión**, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

La disposición típica de una bomba centrífuga se observa en la Figura 6.

Figura 6. Bomba Centrífuga disposición esquema y perspectiva.



(Diez, Pedro Fernandez;)

### 1.10.2 Compresores Centrífugos

El compresor centrífugo es muy usado para la compresión de gases y vapores. Se ha demostrado su economía en muchas aplicaciones, particularmente cuando se manipulan grandes volúmenes a presiones moderadas. Este compresor es particularmente adaptable a turbinas a vapor

o a otros dispositivos de velocidad constante, así los dos principios fundamentales de operación y control son compatibles. También es adaptable a motor eléctrico, maquinas a gas y turbinas a gas siendo cada instalación para un proceso específico particular. La operación puede ser a costos razonablemente económicos.

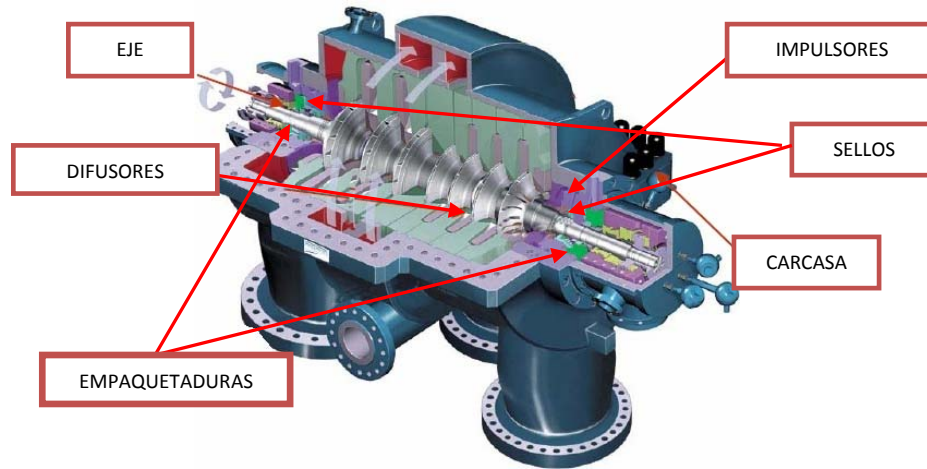
- **Consideraciones mecánicas.** Un compresor centrífugo eleva la presión del gas mediante la aceleración del gas a medida que este fluye radialmente a través del impulsor, y convierte esta energía de velocidad en presión al pasar a través de la sección del difusor. El casco es estacionario y el impulsor montado en el eje es rotado por un motor. Las unidades son usualmente montadas horizontalmente con cascos aplanados horizontalmente para presiones bajas y aplanados verticalmente para altas presiones alrededor de 800 psi.

En general la configuración de un compresor centrífugo parece una bomba centrífuga. Sin embargo, la diferencia significativa está en la operación debido a la compresibilidad del gas. Una analogía dinámica entre estos dos equipos podría usarse para simplificar los principios fundamentales involucrados. Ambos reciben energía mecánica de una fuente externa, y por rotación del impulsor esta se transforma en energía de presión en el fluido bombeado. La fuerza centrífuga depende de la velocidad periférica del impulsor y la densidad del fluido. El funcionamiento de un compresor centrífugo depende más de la densidad del fluido y características del material manipulado que para un compresor reciprocante. La velocidad periférica y la columna desarrollada es limitada por la velocidad acústica, de tal manera que la velocidad periférica no debe exceder la velocidad del sonido en el fluido manipulado.

Las partes más significantes del compresor centrífugo se muestran en la Figura 7 y son:

- a) Casco:** La cubierta exterior o casco es usualmente adaptada para presiones sobre los 800 psi. Los sopladores de etapa simple operan como un compresor centrífugo, pero son limitados a razones de compresión de 2 a 3,5. sobre estas razones de presión se recomienda compresores de múltiple etapa siendo más económicos y con mejores características de diseño para presiones tan altas como 5000 psi. Para las situaciones usuales las conexiones de entrada y salida del gas pueden hacerse ya sea en el tope o en el fondo, y algunas veces en ubicaciones horizontales.
- b) Diafragmas y difusores:** Los diafragmas pueden ser con o sin enfriamiento estos son insertados en el casco entre los impulsores o etapas. Los diafragmas forman las paredes del difusor y guían la entrada del gas a la entrada del siguiente impulsor.
- c) Empaquetaduras:** Para sellar la conexión en el eje entre etapas para aislar las presiones entre etapas.
- d) Impulsor:** Los principales tipos de impulsor son con aspas radiales y con aspas encorvadas hacia atrás.

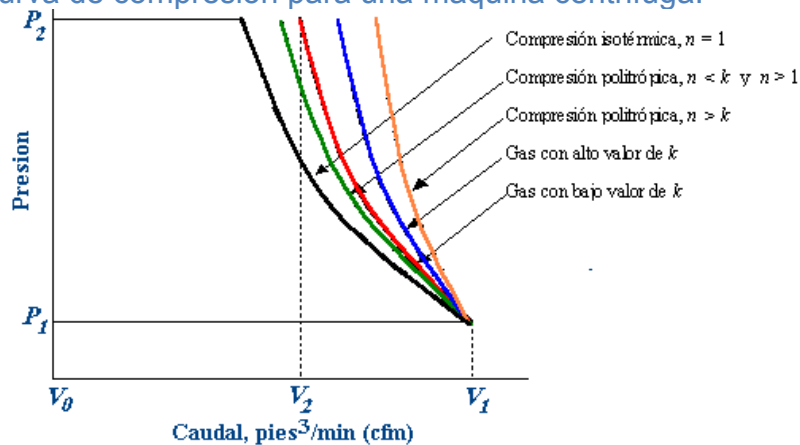
Figura 7. Corte de un Compresor centrífugo multietapas.



(Ecopetrol, Manual Compresores)

- Características de operación** Las características fundamentales de compresión son las mismas para compresores centrífugos y reciprocantes. La manera como estos fundamentos son interpretados debe adaptarse al tipo particular de máquina y característica de operación, y esto considera la diferencia en los procedimientos de diseño. Las curvas características de operación de un compresor centrífugo se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Curva de compresión para una maquina centrífuga.



(Turbomaq@2008)

La operación general de un compresor centrífugo es similar a una bomba centrífuga, excepto que el fluido es compresible. Teóricamente la columna desarrollada por un impulsor o rueda es igualmente independiente de las características del gas involucrado. Esto es más estrictamente cierto para unidades de simple etapa que para múltiple etapa. Es importante recordar que el impulsor actúa solamente en términos del número de pies<sup>3</sup> por minuto actuales, y no el número de libras de gas o moles de gas, o incluso pies<sup>3</sup> estándar por minuto.

### 1.10.3 Modos de Falla en equipos Rotativos

Un modo de falla es una descripción cualitativa de cómo un elemento puede fallar en función del tiempo. En su forma más simple consiste del descriptor de la falla y el nombre del componente, por ejemplo: cojinete desgastado, filtro tapado, carcasa rota, etc. Un equipo puede presentar diferentes modos de falla los cuales pueden causar pérdida de la funcionalidad del equipo.

Las principales causas de pérdida de funcionalidad de los equipos rotativos de la planta Cracking UOP I (bombas y compresores centrífugos), se resumen en los modos de falla mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Modos de Falla en Equipos Rotativos.

	MODOS DE FALLA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA
<b>BOMBAS CENTRIFUGAS</b>	aceite contaminado	Si el aceite se contamina, falla el acople hay caída súbita de presión y se dispara la alarma por baja presión.
	falla acople	Se presenta rotura del acople (lainas), el equipo queda sin suministro de potencia y esto conlleva a la caída de flujo y presión en la bomba.
	falla de sello mecánico	Se presenta escape de productos a la atmosfera por fugas en el sello. En la mayoría de los casos se debe a la vida útil del elemento e influye el producto que maneja el equipo. Pero también el sobrepresionamiento en la operación de la maquina puede generar este daño.

<b>COMPRESOR CENTRIFUGO</b>	Falla de rodamiento	<p>Se presenta desgaste del elemento rodante, rayando la carcasa del equipo y generando altas vibraciones con desajuste de elementos internos.</p> <p>Esta falla se presenta cuando el rodamiento cumple con su tiempo estimado de servicio, aunque en ocasiones las deficiencias en el sistema de lubricación generan temperaturas altas al punto de fundir las pistas o los elemento rodantes llevando al evento descrito anteriormente. En el caso más crítico, se puede llegar a rotura del eje, daño en anillos de desgaste y daño en las lainas del acople.</p>
	Falla en Sistema de Enfriamiento	<p>Se produce ensuciamiento en los conductos del sistema de enfriamiento, problemas de flujo del líquido refrigerante, llegando a aumento crítico de temperatura. Esto afecta los elementos en movimiento relativo del equipo debido al calor generado por roces. Se puede llegar a la consecuencia de la <i>Falla de Rodamientos</i></p>
	Falla en internos	<p>Se presenta desgaste de los componentes en movimiento relativo del equipo. Esta falla aumenta la recirculación en la bomba bajando su flujo, presión y su eficiencia. Se presenta también presionamiento interno en la carcasa, y posible daño de sello Mecánico.</p>
	Falla en Filtro de Succión	<p>Se produce ensuciamiento en el filtro de succión por paso del producto que se bombea. Se puede generar taponamiento del filtro trayendo consigo variación de flujo, pérdida de presión, y cavitación segura de la bomba.</p>
	falla acople	<p>Se presenta rotura del acople (lainas), el equipo queda sin suministro de potencia y esto conlleva a la caída de flujo y presión en la bomba o compresor (dependiendo del caso).</p>
	Falla Chumacera Compresor	<p>Se pega el componente, y genera alta vibración. En el caso de los compresores existe el Vibra Switch que es un disparo por alta vibración que evita una falla catastrófica derivada del daño de chumaceras. Al presentarse esta falla, se puede presentar contaminación de producto con el aceite procedente del sistema de lubricación.</p>
	Falla disparo mecánico	<p>Si falla el disparo mecánico, se presenta alta vibración en la turbina, actúa el corte de vibración sacando de servicio el equipo.</p>
	Falla en internos del compresor	<p>Se presenta roce de elementos internos del compresor, donde se pueden ver afectados el rotor, los diafragmas o las chumaceras. Se genera a partir de esto alta vibración en el compresor y posterior disparo del sistema de seguridad.</p>
	Falla de Apoyos Deslizantes	<p>Se pega el mecanismo de apoyo deslizante por corrosión o soldaduras mecánicas. Esto puede generar altas vibraciones del compresor en el arranque después de una parada y demora en la puesta en marcha del equipo, acarreado pérdidas de producción significativas para la planta.</p>

(Ecopetrol, Equipo Rotativo)

En el anexo A, se pueden ver los Data Sheet y curvas de operación típicas de los equipos rotativos de la planta de Cracking UOP I.

## 2. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

En éste capítulo se tratará los temas referentes al desarrollo del mantenimiento de clase mundo, indicadores internacionales y su modelamiento matemático, así como los procedimientos estadísticos (distribución Weibull, Normal y Exponencial) más usados en la determinación de funciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Esto permite comprender los conceptos fundamentales para el cálculo CMD.

### 2.1 NIVELES DE MANTENIMIENTO

El enfoque sistémico kantiano de mantenimiento<sup>6</sup> explica que la gestión de mantenimiento de quinta generación terotecnológica<sup>7</sup> implica el desarrollo secuencial de cuatro niveles: instrumental, operacional, táctico y estratégico como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Niveles de Mantenimiento.

NIVEL	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
1	Instrumental	Es de orden real, se estudian y optimizan en tiempo real los tres elementos fundamentales del mantenimiento: recursos humanos y físicos, el entorno fabril y el parque industrial donde se aplica. Procura el manejo sistémico de toda la información (Mora, 2003, 25).

<sup>6</sup> Propuesto por el Dr. Luis Alberto Mora en su libro Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Editorial AMG. 2006

<sup>7</sup> Terotecnología: se resume en el cuidado integral de la tecnología y su propósito es plantear las bases y reglas para la creación de un modelo de la gestión y operación de mantenimiento orientada por la técnica y la logística integral de los equipos (Mora, 2006, 27).

2	Operacional	Es de orden mental, involucra todas las acciones mentales que el hombre pueda desarrollar sobre la máquina, pues sólo el hombre es el que diferencia los tipos de tareas (de mejora, correctiva o preventiva) (Mora, 2006, 259).
3	Táctico	Es de orden real, es donde se diferencian notoriamente las tácticas entre sí, son las diferentes formas de organización que adoptan las empresas para manejar y operar el mantenimiento.
4	Estratégico	Es de orden mental, ya que las situaciones que maneja son indicadores o cifras; permiten medir el grado de éxito alcanzado de todo lo realizado en los tres niveles previos y valorar el grado de gestión y operación integral de mantenimiento en una empresa (Mora, 2006, 286).

## **2.2 MODOS DE GESTIÓN.**

Los programas de mantenimiento modernos establecen cuatro tipos o clases de mantenimiento (Mantenimiento correctivo, Preventivo, Predictivo y proactivo) como se muestra en la Figura 9.

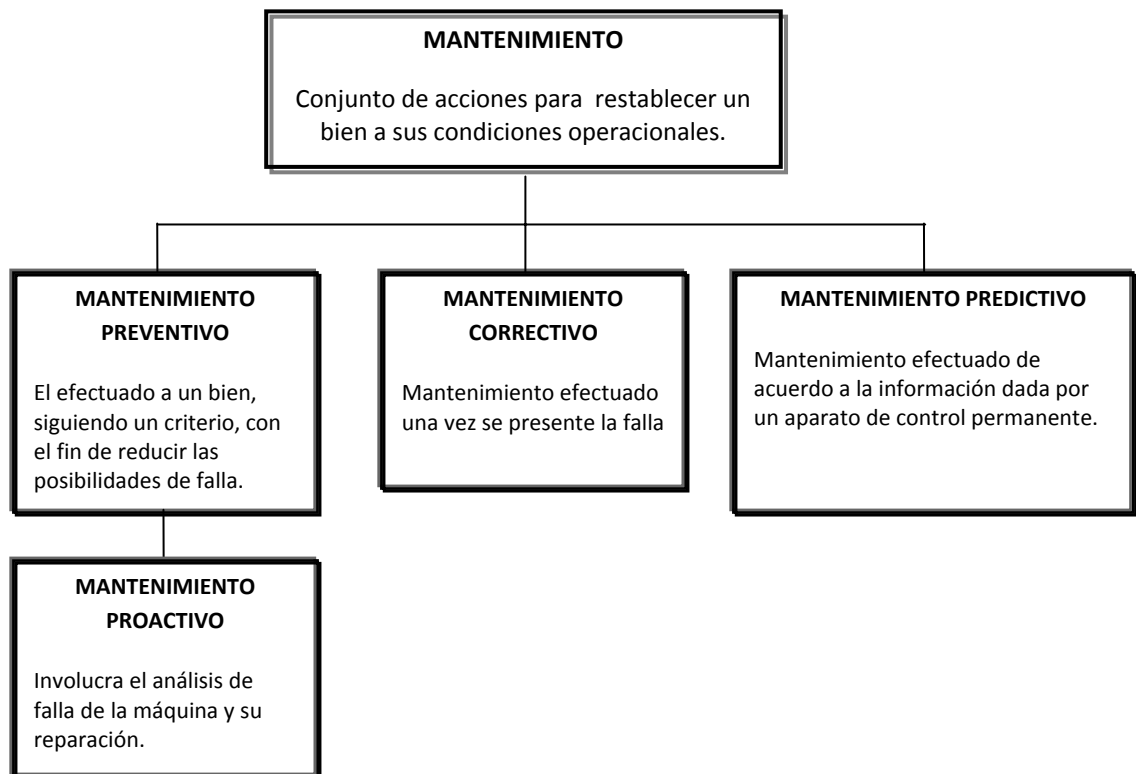
### **2.2.1 Mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento preventivo, analiza cada máquina y se programan intervenciones periódicas antes de que ocurran los problemas, es decir, en tiempos inferiores a los que estadísticamente podrían fallar.

### 2.2.2 Mantenimiento correctivo.

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

Figura 9. Tipos de Mantenimiento



(Adaptación EIE@,2008)

### 2.2.3 Mantenimiento predictivo.

La tecnología de mantenimiento tuvo como siguiente avance la llegada del mantenimiento predictivo, basado en un análisis detallado del estado o condición de operación de las máquinas monitoreadas. El estado de la máquina puede obtenerse mediante varias pruebas no destructivas.

#### **2.2.4 Mantenimiento Proactivo.**

El mantenimiento predictivo tuvo como última innovación el mantenimiento proactivo, que usa gran cantidad de técnicas para alargar la disponibilidad de las máquinas. La idea principal de un mantenimiento proactivo es el análisis de las causas fundamentales de las fallas en las máquinas.

### **2.3 MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL – WORLD CLASS MAINTENANCE – WCM.**

Un anhelo de las áreas de mantenimiento es llegar a ser una organización de clase mundial lo cual denota y se define como el mantenimiento sin desperdicio, donde éste es la diferencia entre cómo se realizan las diferentes acciones en la actualidad y el deber ser óptimo de las mismas. Se basa en anticiparse a lo que suceda en el futuro, su función básica es convertir cualquier clase de reparación o modificación en actividades planeadas que eviten fallas a toda costa. Una organización de clase mundial no solo se basa en el hacer, también en el pensar (Idhammar, 1997b).

La Tabla 9 muestra los niveles en que se puede ubicar a una organización de mantenimiento según sus modos de gestión y cómo el mantenimiento requiere cada vez más del desarrollo de índices y de costos, rendimientos e indicadores que permitan medir el caso particular con otros de diferentes industrias locales, nacionales o internacionales.

El desarrollo de éste proyecto ayuda a posicionar a la planta Cracking UOP I según la medida de desempeño en el nivel de “mejor en su clase”, dirigiéndola a prácticas de mantenimiento de clase mundial.

La orientación de la gestión de mantenimiento hacia clase mundial exige cambiar de actitud y de cultura en la organización; requiere que se tenga un alto nivel de prevención y planeación, soportado en un adecuado sistema gerencial de información de mantenimiento (CMMS), muy orientado hacia las metas y objetivos fijados previamente y realizando las cosas que haya que hacer en la forma más correcta posible con el mayor grado de profundidad científica.

Tabla 9. Gestión de Mantenimiento Clase Mundo

CLASE	ESTRATEGIA DE MTTO	ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	TÉCNICAS DE MTTO	MEDIDAS DE DESEMPEÑO	TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	ANÁLISIS DE PRONÓSTICOS	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES
<b>CLASE MUNDIAL</b>	Estrategia corporativa de mantenimiento	Organización de alto desempeño	Ingeniería de mantenimiento y planeación de largo plazo (vista a tres años mínimo)	Todas las técnicas derivadas de un análisis estructurado	Cálculo de efectividad de equipos y de planta, Benchmarking y excelente base de datos de costos implementada	Base de datos totalmente integradas	Equipos de trabajo autónomos	Programa total de confiabilidad (predicción y ajuste de estrategia de mantenimiento con base en estudios de confiabilidad)	Registro regular de los procesos de costo, tiempo y calidad, certificación ISO 9000 de los procesos de mantenimiento	Fuente única de información con toda la infraestructura de equipos, componentes, jerarquizada para realizar la gestión de mantenimiento
<b>MEJOR EN SU CLASE</b>	Plan de mantenimiento a largo plazo	Administración y organización del mantenimiento "ampliada" (integrada) con proveedores de bienes y servicios externos	Buena planeación del trabajo, programación y soporte de ingeniería de mtto implementado (Pvos con base en RCM, Análisis de fallas, soporte Técnico)	CBM formal y dando resultados. PMS con base en RCM. Inspecciones basadas en riesgo	MTBF/MTTR, disponibilidad, confiabilidad costos de mtto muy estructurados y gestionados	CMMS convencional y ligado a financiero y materiales	Equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando	Modelamiento de confiabilidad	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estratégicos, tácticos y operativos)	Infraestructura de equipos y componentes estandarizada en las diferentes bases de datos con las cuales se realiza la gestión de mantenimiento
<b>AWARNESS</b>	Plan estratégico de mantenimiento a un año	Estructura organizacional del mtto integrada con logística, financiera, recursos humanos, gerencia y demás áreas de la compañía	Grupos de planeación a ingeniería de mantenimiento establecidos formalmente	Algo de CBM algo de NDT	Tiempos de parada con modo, causa y elementos de falla. Costos de mantenimiento disponibles	CMMS convencional no ligado a otros paquetes, operando y produciendo resultados	Comités de mejoramiento ad-hoc	Buena base de datos de falla, en uso y utilización de RCFA y FMEA	revisiones periódicas de procesos o procedimientos técnicos y documentación de los procesos administrativos	Infraestructura jerarquizada y clasificada de manera que permita realizar gestión administrativa y técnica
<b>NO SATISFACTORIO</b>	Plan de mejoramiento de mantenimiento preventivos	Mantenimiento organizado como respuesta a la necesidad corporativa del proceso productivo principal	Soporte para detección de fallas y programación elemental (no balanceo, planeación no profunda)	Inspecciones basadas en tiempo	Algunos registros de fallas y costos de mantenimiento no segregados	Algunos programas y registros de repuestos	Algunas reuniones de mejoramiento en seguridad	Registro de fallas poco usado	Procesos técnicos (procedimientos) revisados por lo menos una vez	Se dispone de la infraestructura de equipos y componentes debidamente estructurada en algún medio magnético
<b>INOCENTE</b>	Mantenimiento Reactivo	Organización y administración funcional	No planeación. La programación es elemental y no existe la ingeniería de mantenimiento.	Paradas anuales de inspección únicamente	Ninguna aproximación sistemática a costos de mantenimiento y falla de equipos	Manual y registro ad-hoc	Solo reuniones con el personal para tocar temas sindicales o sociales	No existe registro estructurado de fallas	procedimientos técnicos y procesos administrativos de mtto no documentados y nunca revisados	No existe ningún registro de la infraestructura de equipos y componentes

Los pasos fundamentales para implementar una táctica de clase mundial son: planeación, prevención, programación, anticipación, fiabilidad, análisis de pérdidas de producción y de repuestos, información técnica y cubrimientos de los turnos de operación, todo ello soportado en una organización adecuada y apoyada por sistemas de información computarizado, con un cambio de actitud y cultura hacia el cliente (producción o cualquier departamento interno o externo que añada valor agregado) (Idhammar, 1997<sup>a</sup>, 52-55).

Herman Ellis en su artículo sobre los principios de la transformación de la función de mantenimiento a las normas de categoría mundial de funcionamiento, describe textualmente (ELLIS@1999):

“El mantenimiento de clase mundial representa los niveles de funcionamiento del mantenimiento. Al transformar el mantenimiento a uno de clase mundial se debe tener en cuenta sus principios básicos, el entrenamiento de la mano de obra enfocado hacia una nueva actitud de las personas involucradas en mantenimiento y la estratificación del mantenimiento. Si se quiere que la función de mantenimiento alcance sus objetivos y se desarrolle en categoría de clase mundial no se deben bajar las finanzas de sus sistemas de apoyo (administración del mantenimiento, instrumentos, piezas de recambio, planificación, control, cultura, etc), ya que las relaciones entre ellos depende la formación de una acción dinámica para establecer la función de mantenimiento firmemente sobre el camino para hacerla de clase mundial. La transformación de las personas (cambio de actitud) es uno de los puntos más complejos para implementar el WCM, ya que se deben entrenar en las profesiones específicas que se van a desarrollar en el WCM y se debe recompensar el esfuerzo hecho por estas personas.”

Algunos principios estratégicos que se deben tener en cuenta en la táctica de clase mundial son:

- Es un proceso de largo plazo, no se deben esperar resultados inmediatamente.
- Implementar el mantenimiento de clase mundial sobre la situación real de la empresa.
- Los sistemas que se basan en cambios estructurales, culturales y organizaciones de la empresa, duran más tiempo y son de mediano y largo plazo.
- Un modelo bien estructurado simple es más efectivo que uno complejo, ya que es más duradero y necesita menos entrenamiento.
- Los cambios de actitud y cultura requieren mucha capacitación, entrenamiento y práctica por parte de las personas de la empresa.
- Mientras mejor sea la estrategia, mejores son los resultados.
- Ninguna iniciativa de clase mundial debe ser lanzada de forma imprevista, urgente y con apremio.
- La táctica de clase mundial se centra en las normas y en la solución de problemas.
- El WCM requiere la estratificación del mercado objetivo en función de continentes, países, regiones, normas y costumbres.
- Debe haber un alto compromiso de los empleados y un alto nivel de apropiación de todas las personas que forman parte del proceso de clase mundial. Todas las personas que participan en la implementación de la táctica de clase mundial lo hacen en forma voluntaria, impulsados más por la motivación que por obligación.

## **2.4 ÍNDICES INTERNACIONALES.**

La mayoría de las casas mundiales que tratan el mantenimiento como SAE, OREDA, EREIDA, ESREDA, ALADON, Military Standard, AFNOR, British Standard, etc., aceptan tres indicadores básicos: Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), como las medidas más estandarizadas que permiten evaluar el grado de gestión y operación por parte de los elementos estructurales de mantenimiento, así:

- Confiabilidad: valora las acciones que ejecuta producción sobre el manejo y operación de los equipos, desde la óptica de fabricación y explotación de los mismos, las medidas fundamentales en que se apoya son las cantidades y los tiempos de fallas inherentes a los equipos.
- Mantenibilidad: mide las actividades de reparaciones y tareas proactivas que realizan el área de mantenimiento sobre los equipos, sus medidas básicas son el volumen de reparaciones (o tareas planeadas) y los tiempos efectivos de realización y sus demoras, en el caso de la mantenibilidad la evaluación se asocia a los grupos de personas que hacen los mantenimientos o las reparaciones.
- Disponibilidad: es una relación que muestra la proporción de tiempo útil efectivo frente al tiempo total disponible.

La utilización de los parámetros directos y asociados al CMD permite la comparación contra equipos similares o afines a nivel mundial o también establece una relación de comportamiento en el tiempo consigo mismo, es decir permite la valoración de la misma máquina en el tiempo para conocer su evolución.

De la interpretación, uso y análisis de las curvas características CMD, de sus pronósticos y de todos los cálculos asociados se desprenden las estrategias a realizar para lograr las metas, objetivos, misión y visión de las empresas a través del uso intensivo de estos instrumentos en la gestión y operación de mantenimiento.

Indudablemente los valores CMD son de índole operativo y de mantenimiento como de gestión integral de una fábrica, ellos en sí mismos no tienen en cuenta los aspectos económicos y monetarios, es indispensable relacionar los valores calculados CMD con la inversión en dinero realizada para alcanzarlos, para ello se utiliza a nivel universal el concepto de LCC<sup>12</sup> y de costos de mantenimiento.

## **2.5 INDICADORES CMD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, Y DISPONIBILIDAD.**

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

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis y posterior evaluación. Para su mejor comprensión los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son explicados individualmente a lo largo de este capítulo.

---

<sup>12</sup> LCC: (Life Cycle Cost): Costo del Ciclo de Vida.

### 2.5.1 Confiabilidad.

Se entiende por confiabilidad ( $R(t)$  "Reliability") de una pieza o equipo la probabilidad de que éste cumpla, sin fallo, su función a lo largo de un tiempo dado cuando opera en el entorno para el cual ha sido diseñado (Nachlas, 1995, 17-18), (Navarro, 1997, 14). Si no hay fallas, el equipo es ciento por ciento (100%) confiable; si la tasa de falla es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la tasa de falla es muy alta, el equipo es poco confiable.

Se destacan en ésta definición los siguientes componentes: la probabilidad, el desempeño adecuado, el tiempo y el entorno o condición de operación.

La probabilidad de ocurrencia de un evento de acuerdo con el método clásico, es considerada como el resultado de dividir los casos favorables, que pueden ocurrir en un suceso, por el total de casos posibles. La probabilidad obtenida tiende a ser más exacta cuanto mayor sea el número de intentos, logrando ser determinada cuando éstos tienden a ser infinitos (Ramakumar, 1993,13). De esta manera se puede suponer que la estimación es cercana a un valor real cuando el número de intentos es lo suficientemente grande<sup>13</sup>.

Ecuación 1. Probabilidad de ocurrencia de un evento.

$$P_f = \frac{n}{N} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{n}{N} \right)$$

$$R_s = 1 - P_f$$

(Mora 2005,72)

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

N: Es el número total de eventos posibles.

$P_f$ : Es la probabilidad de Falla

---

<sup>13</sup> Algunos autores recomiendan tomar mínimo 30 datos.

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

El segundo componente de la definición de confiabilidad es el desempeño de la función, éste no implica una falla completa, sino la condición de un desempeño no satisfactorio, por ejemplo, una bomba puede estar entregando caudal pero no bombea la cantidad de fluido para la que fue seleccionada y/o requiere el proceso. Por lo tanto se requiere una definición clara de lo que es una falla, es decir, debe haber claridad acerca de las condiciones de desempeño (Ramakumar, 1993,3).

El fallo del sistema puede ser definido como un suceso cuya realización provoca, o bien la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos de desempeño especificados (Knezevic, 1996,18).

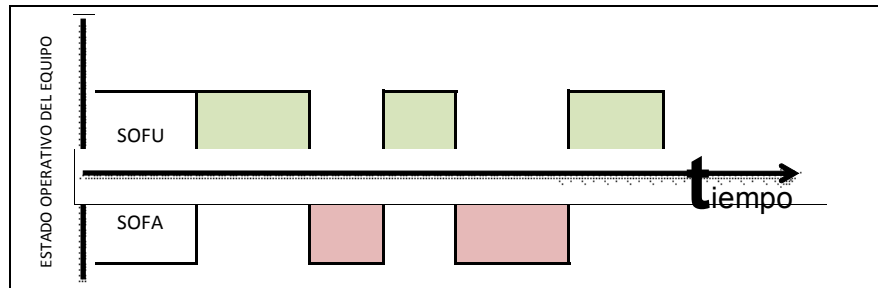
El punto de partida para el estudio de la confiabilidad es el funcionamiento correcto, el opuesto del funcionamiento correcto es el fallo. Por tanto, su estudio trata la dicotomía de que un dispositivo o bien funciona correctamente o está en falla, es decir, reconoce que solo se asumen dos estados posibles y mutuamente excluyentes que son: estado de funcionamiento SOFU<sup>14</sup> y estado de fallo SOFA<sup>15</sup> (Nachlas, 1995,19). (Ver Figura 10.)

---

<sup>14</sup> La abreviación en ingles de SOFU es "State of Functioning"

<sup>15</sup> La abreviación en ingles de SOFA es "State of Failure"

Figura 10. Perfil de funcionalidad



(Adaptación Knezevic, 1996,21)

El tiempo, el tercer componente, es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida. La medición de la confiabilidad incluye el tiempo determinado, lo que implica el uso de las distribuciones de probabilidad las cuales deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida (Nachlas, 1995,58)

El cuarto elemento de la definición de confiabilidad, que es la condición de operación, debe incluir la naturaleza y cantidad de la carga y las condiciones ambientales tales como humedad, temperatura, visibilidad, etc., durante la operación (Ramakumar, 1993,4)

- Indicadores de Confiabilidad. Los indicadores de confiabilidad deben reflejar las propiedades esenciales de operación del sistema, deben ser entendibles desde el punto de vista físico<sup>16</sup> (científico), simples de calcular desde el diseño y simples de utilizar (Gnedenko y otro, 1995, 86)

Las descripciones de confiabilidad en términos cuantitativos son:

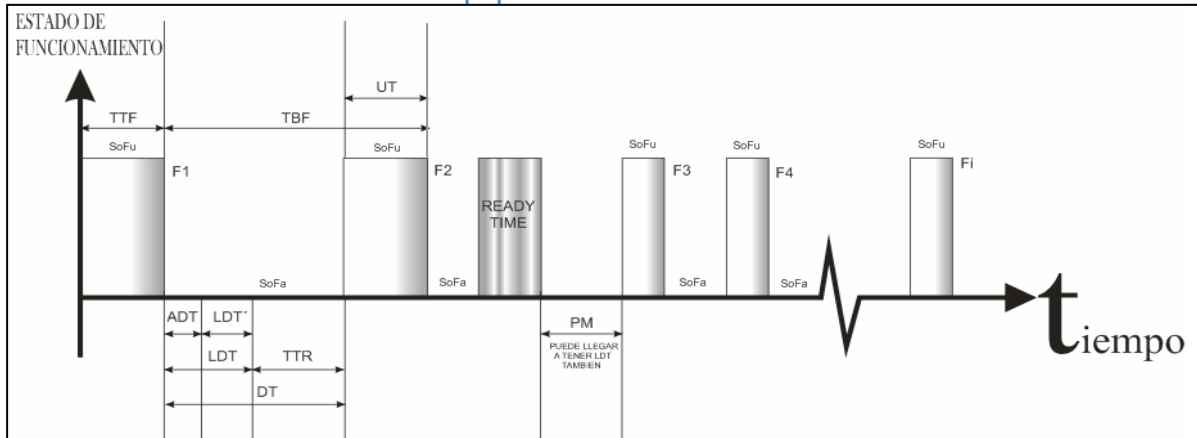
Tiempo medio entre fallas (MTBF)

<sup>16</sup> En este contexto se asume físico como fórmulas o conceptos comprobables.

Tiempo medio para fallar (MTTF) y  
Tiempo medio entre mantenimientos (MTBM)  
(Vallejo, 2004, 27). (Ver Figura 11.)

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

Figura 11. Tiempos de fallas de funcionamiento y demás; que impiden la funcionalidad del sistema o equipo.



**MTR** = *Mean Time To Repair* = Tiempo Medio para Reparar =  $\square TTR / m$

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

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

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

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

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

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

**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

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

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

**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.

(Mora, 2006,60)

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática. La ecuación o representación matemática de la función de confiabilidad viene dada por la Ecuación 2 y tiene dos curvas típicas que se pueden apreciar en la Figura 12 donde su forma depende de los parámetros de la distribución de probabilidad, los cuales a su vez dependen de los tiempos que se tienen en el registro histórico de fallas, reparaciones, mantenimientos, demoras entre otros.

Ecuación 2. Representación matemática de la función de confiabilidad.

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

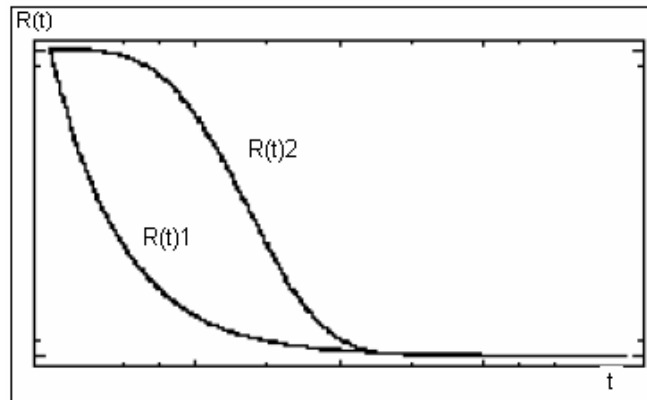
(Leemis, 1995, 46); (Ebeling, 1997, 23).

Donde: R(t): Es la función de confiabilidad o supervivencia  
t: es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento de la maquina.  
T: Es el tiempo total de funcionamiento.

El análisis de la Ecuación 2 muestra como la función de confiabilidad decrece a medida que incrementa el tiempo de operación y como todo elemento antes de iniciar su funcionamiento ( $t = 0$ ) tiene una confiabilidad máxima, del cien por ciento (100%).

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

Figura 12. Dos curvas típicas de confiabilidad.

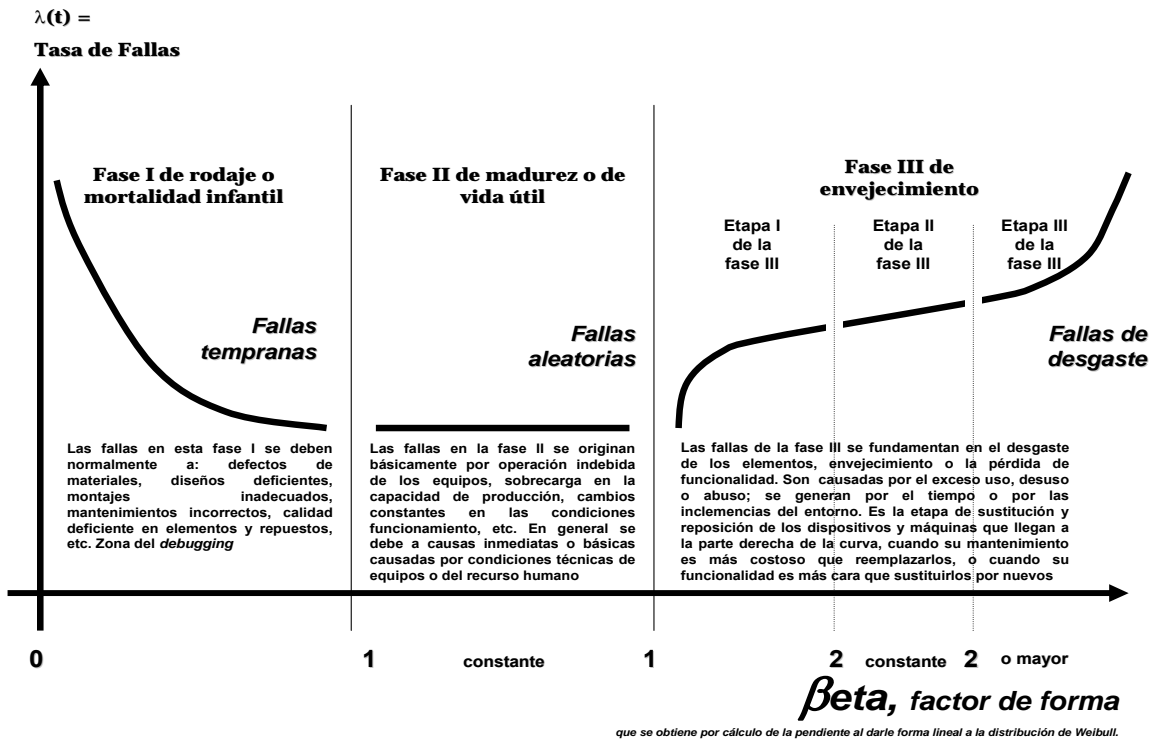


(Leemins, 1995,47)

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

La confiabilidad distingue tres tipos característicos de fallas (excluyendo daños por manejo inadecuado, almacenamiento u operación inapropiada de los usuarios), que son inherentes al equipo, que ocurren sin ninguna falla por parte del operador y están relacionadas con cada una de las regiones de vida del elemento y el tipo de falla que en ella ocurren; estas fallas son las tempranas, las aleatorias y las de envejecimiento como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Curva de Davies o de la bañera.



(Mora, 2006,80)

El comportamiento de la Tasa de Fallas en la fase I es decreciente, en la medida que pasa el tiempo, la probabilidad de que ocurra una falla disminuye, las operaciones sugeridas en esta fase son las de tipo correctivo y modificativo, en especial esta última, dado que las fallas que aparecen habitualmente son diferentes, la eliminación de fallas sucesivas recurrentes normalmente se logra mediante la aplicación de la metodología análisis de fallas FMECA. Las acciones modificativas permiten corregir cualquier defecto de diseño o montaje, calidad de materiales, métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier otra falla característica de esta fase.

La fase II se tipifica por fallas enmarcadas en origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos, las acciones que más se adaptan a esta etapa son de las de tipo correctivo, cuando las fallas son esporádicas; en el evento de ser fallas crónicas se actúa con FMECA y acciones modificativas. La probabilidad de falla en esta fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra.

Durante la fase III se observa un incremento paulatino de la tasa de fallas en la medida que aumenta el tiempo, en esta fase se presentan varias etapas; en la etapa I de la fase III, la tasa de fallas empieza a aumentar en forma suave, es decir su incremento es bajo y crece hacia la derecha en forma leve, las fallas que aparecen son conocidas y se empieza a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, son debidas a los efectos del tiempo por causas de uso, abuso, o desuso; en esta fase ya se pueden empezar a utilizar acciones planeadas de tipo preventivo ya que las fallas se conocen y se tiene algún control sobre ellas, es la etapa donde la ingeniería de confiabilidad principia a tener dominio sobre el sistema, es la zona de ingeniería por excelencia; en la etapa II de la fase III se incrementa la tasa de fallas en forma constante con pendiente positiva en forma rectilínea, en esta etapa se inicia la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas, el comportamiento de las fallas empieza a ser predecible, es la franja donde se logra implementar de una forma sólida las acciones preventivas, por último aparece la etapa III de la fase III de envejecimiento puro, donde la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente, en esta etapa normalmente se estabiliza el uso de acciones predictivas y cuando estas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina se usa la reposición o sustitución como única alternativa, en esta etapa aun se

continúa con el uso de técnicas preventivas y eventualmente correctivas y modificativas, la mayoría de las fallas son causadas por acción del tiempo (Mora, 2006,79-80).

### **2.5.2 Mantenibilidad.**

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

El consenso general de los autores define la mantenibilidad como la probabilidad de poder reparar un equipo y llevarlo a su condición de funcionamiento dentro de un periodo definido de tiempo después de una falla y realizarlo al nivel de confianza deseado, con un personal con las habilidades necesarias y el equipo indicado.

Cuándo el mantenimiento programado es ejecutado con éxito, se puede decir que una máquina o equipo es mantenible cuando es fácil de reparar, en el buen sentido de la palabra: cantidad y disponibilidad de los repuestos, cantidad de mano de obra, complejidad de la tarea a realizar, seguridad de recuperación, facilidad de prueba y localización física del elemento, herramientas y personal calificado, etc. (Dounce, 1998,135) (Knezevic, 1996, 51)

La mantenibilidad se mide de forma clara en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de

las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad (Mora, 2006, 75).

- Curva de mantenibilidad. El tratamiento de la curva de mantenibilidad es similar al de la curva de confiabilidad, como se muestra en la Figura 14, su forma al igual, depende de los parámetros de la distribución de probabilidad; esta función se representa por  $M(t)$  e indica la probabilidad de que la función del sistema sea recuperada y el equipo sea reparado dentro de un tiempo definido  $t$  antes de un tiempo especificado total  $T$  como muestra la Ecuación 3. (Rodríguez, 2004, 16).

Ecuación 3. Representación matemática de la función de Mantenibilidad.

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

(Mora, 2006,80)

Donde:  $M(t)$ : Función de mantenibilidad o de reparación

$T$ : Es el tiempo máximo o límite superior total.

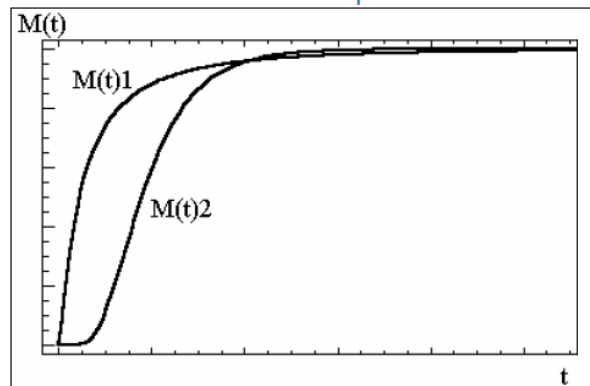
$t$ : Es el tiempo determinado para realizar la acción de mantenimiento

El análisis de la Ecuación 3 muestra que la función de mantenibilidad es creciente, va aumentando en la medida que se incrementa el tiempo  $t$  y denota que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero ( $t = 0$ ) es cero.

La evaluación de  $\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$  denota que a medida que se amplía el tiempo de realización de la reparación, la curva de mantenibilidad aumenta para volverse máxima en un tiempo mayor o infinito; esto revela que en la medida que se asigne un tiempo más grande para realizar un mantenimiento, la probabilidad exitosa de realizarlo en un tiempo  $t$  crece, es

decir, cualquier elemento tiene una probabilidad tendiente al 100% de ser bien reparado en un tiempo infinito.

Figura 14. Dos curvas de mantenibilidad típicas.



(Knezevic, 1996,59)

- Indicadores de mantenibilidad. Los indicadores de mantenibilidad se aplican tanto para mantenimientos planeados como no planeados. El mantenimiento planeado cuyo principal propósito es el establecimiento de sistemas de control del mantenimiento de los equipos para la eliminación de los problemas, buscando siempre el mejoramiento continuo, aplicando las mejores técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo pasando siempre por las fases de inspección y diagnóstico, planeación, programación, ejecución, control y retroalimentación, capacitación, análisis de fallas, etc., que busquen prolongar la vida útil del componente, disminuir el número de fallas e incrementar el MTBF del sistema (INGENIERIAYMANTENIMIENTO@2006).

El mantenimiento no planeado o correctivo, consiste en la reparación de las averías o fallas, cuando éstas se presentan por acciones extrañas o imprevistas y no programadas. Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que

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

### **2.5.3 Disponibilidad.**

Desde el punto de vista del mantenimiento se define como disponibilidad, la posibilidad de que un equipo opere satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables. Es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograr que un equipo esté disponible, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el otro es que sean confiables, y por lo tanto, demasiado costosos.

La disponibilidad también es una medida relevante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionalidad. (Mora, 2006,55).

La relación entre confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, se puede apreciar en la Ecuación 4.

Ecuación 4. Disponibilidad en relación con la mantenibilidad y la confiabilidad.

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

(Mora, 2006,59)

La frecuencia con la cual un sistema se encuentra disponible se expresa básicamente como la relación de sus tiempos de funcionamiento y sus tiempos de parada y presenta diferentes variantes. El tiempo de funcionamiento y el tiempo de parada son mutuamente excluyentes por la condición dicotómica de los estados de un sistema; el tiempo de funcionamiento se refiere a la capacidad de desempeñar una tarea, en tanto que el tiempo de parada se refiere a la imposibilidad de desempeñarla (Barringer, 1997,4).En la Ecuación 5.

Ecuación 5. Ecuación general de disponibilidad.

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo en que el dispositivo opera o puede operar correctamente y funcionando}}{\text{Tiempo en que el elemento o maquina podría operar}}$$

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

(Vallejo, 2004, 44)

Donde: UT: Tiempo de funcionamiento.

DT: Tiempo de parada.

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

La disponibilidad recibe varias clasificaciones, de acuerdo a la clase de registros de tiempos que la empresa contemple. Según el Modelo Sistémico Kantiano planteado por el Doctor Luis Alberto Mora Gutiérrez en su libro *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*, se usan cinco tipos de disponibilidad descritas en la Tabla 10.

Tabla 10. Tipos de disponibilidad.

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

(Adaptado Mora, 2006, 57)

Disponibilidad Genérica ( $A_{Gp}$ ). Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no disponibilidad, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, otros. (Ver Ecuación 6).

Ecuación 6. Disponibilidad Genérica ( $A_G$ ).

$$\text{Disponibilidad Genérica} = A_G = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

(Mora, 2006,68)

Los  $MUT^{17}$  en la  $A_G$  solo consideran los tiempos en que el equipo funcionan correctamente, como a su vez los  $MDT^{18}$  contemplan todo lo que genere no disponibilidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento (u otra causa) deben desconectarse del tiempo en el que el equipo puede operar. Por ejemplo en el evento en que se tuviera un equipo que tiene tiempo útil UT, otro tiempo DT por fallas que generan reparaciones y además de lo anterior se tiene tiempo invertido en mantenimiento preventivo PM, con un tiempo total TT, se calcula la disponibilidad como se muestra en la Ecuación 7 (Vallejo,2004).

Ecuación 7. Disponibilidad genérica con mantenimiento preventivo.

$$A_G = \frac{\text{Tiempo Funcionamiento}}{\text{Tiempo en que puede operar}} = \frac{TT - \sum PM - \sum DT}{TT - \sum PM}$$

(Mora, 2006,68)

---

<sup>17</sup> MUT: Mean Up Time: Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallas.

<sup>18</sup> MDT: Mean Down Time: Tiempo Medio de Indisponibilidad o no funcionamiento entre fallas.

Disponibilidad Inherente o Intrínseca ( $A_i$ ). La  $A_i$  (Disponibilidad Inherente) no contempla los mantenimientos planeados (preventivos o predictivos). Está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación (Ebeling, 1997, 255). Como su palabra lo expresa solo reconoce actividades de reparaciones inherentes al sistema, no exógenas. (Ver Ecuación 8).

Las empresas que invierten tiempos relevantes en actividades planeadas de mantenimiento (preventivo y/o predictivo), pueden utilizar esta disponibilidad que tiene en cuenta las tareas proactivas de mantenimiento que generan no disponibilidad (Mora, 2006, 69).

Ecuación 8. Disponibilidad Inherente ( $A_i$ )

$$\text{Disponibilidad Inherente} = A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

(Mora, 2006,69)

Donde: MTBF: Mean time between failures (tiempo medio entre fallas).

MTTR: Mean time to repair (tiempo medio para reparar).

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

planeadas de mantenimiento, se conoce como disponibilidad alcanzada ( $A_A$ ) como se muestra en la Ecuación 9.

Ecuación 9. Disponibilidad alcanzada ( $A_A$ ).

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

(Mora, 2006,69)

Donde: MTBM: mean time between maintenance o sea el tiempo medio entre mantenimientos (tanto reparaciones correctivas o modificativas, como también mantenimientos planeados, sean de orden preventivo o predictivo).

M: Mean time active maintenance (MTM): tiempo medio de mantenimiento (correctivo y planeado).

Más que un índice de confiabilidad el MTBM es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos (Ver Ecuación 10); es función de la frecuencia de los mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivos) y no planeados (correctivos), en ausencia de mantenimiento preventivo el MTBM se aproxima al MTBF (Blanchard y otros, 1994,111).

Ecuación 10. MTBM: Tiempo medio entre mantenimientos.

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

(Mora, 2006,70)

Donde: MTBM<sub>C</sub>: tiempo medio entre mantenimientos no planeados (correctivo), se aproxima al MTBF.

MTBM<sub>p</sub>: tiempo medio entre mantenimientos planeados.

Ahora, para el cálculo del  $\bar{M}$  se usa la expresión de la Ecuación 11.

Ecuación 11. Tiempo medio de mantenimiento activo.

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

(Mora, 2006,70)

Donde: MTTR: Es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, sin incluir demoras logísticas ni retrasos administrativos, es el mismo definido para las anteriores disponibilidades.

$M_p$ : Es el tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

$\bar{M}$ : Es el tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento.

El tiempo medio de mantenimiento activo  $\bar{M}$  es función de los tiempos medios de mantenimiento correctivo y preventivo y sus frecuencias relativas; sólo considera los tiempos activos de mantenimiento y no considera los tiempos administrativos y logísticos (Blanchard y otros, 1994; 108) (Vallejo, 2004, 46).

Disponibilidad operacional ( $A_o$ ). La disponibilidad operacional se emplea cuando se tienen en cuenta los tiempos logísticos y administrativos de demoras en la gestión del mantenimiento y en la operación de equipos, antes o después de una intervención correctiva o planeada y, se expresa mediante la Ecuación 12.

Ecuación 12. Disponibilidad operacional (Ao).

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

(Mora, 2006,72)

Donde: MTBM: Mean time between maintenance: Tiempo Medio entre Mantenimientos y se calcula igual que en la Disponibilidad Alcanzada (Ver Ecuación 10) tanto para reparaciones correctivas como para mantenimientos planeados, en este elemento no inciden para nada: ADT (Administrative Delay Times), LDT' (Logistics Delay Time) ni LDT (logistics Down Time).

$\bar{M}$ : Incluye los LDT = ADT+LDT', y se calcula exactamente igual que el  $\bar{M}$ , sólo que al momento de calcular el MTTR no solo se toman los correspondientes TTR1, TTR2,...,TTRn (Time to Repair) netos, sino que se le suman respectivamente sus LDT pertinentes a cada una de las reparaciones. Al igual al momento de calcular el Mp se le debe sumar a cada tiempo de mantenimiento planeado su respectivo LDT en caso de existir.

Disponibilidad operacional generalizada. ( $A_{GO}$ ). Los dispositivos, las máquinas, los sistemas y empresas que quieran tener en cuenta en la disponibilidad, el tiempo en que el equipo está disponible pero no produce (Ready Time) pueden usar la disponibilidad Operacional Generalizada (Ver Ecuación 13).

$A_{GO}$  ó disponibilidad operacional generalizada, es útil cuando los tiempos en que los equipos están disponibles y no producen (Aven, 1999,45).

Ecuación 13. Disponibilidad operacional generalizada ( $A_{GO}$ ).

$$\text{Disponibilidad Operacional Generalizada} = A_{GO} = \frac{MTBM^r}{MTBM^r + M^r}$$

(Mora, 2006,74)

Donde: MTBM<sup>r</sup>: Es el tiempo medio entre mantenimientos; el cálculo se hace de la misma manera que se hace el cálculo del MTBM de la disponibilidad operacional, solo que los Ready Time se les suman a los tiempos útiles que los anteceden o siguen (el que esté más cercano), de tal forma que los tiempos útiles correspondientes aumentan en el valor del tiempo de alistamiento (Ready Time) y por ende aumenta también el MTBM<sup>c</sup> o MTBM<sup>p</sup> en cada caso, tanto en reparaciones (correctivos) como en las tareas proactivas (mantenimientos planeados).

Para la estimación numérica de AGO, se mantienen todas las premisas y paradigmas de la disponibilidad operacional.

## **2.6 DISTRIBUCIONES MÁS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO DE CMD**

Las distribuciones más frecuentemente usadas para el cálculo de la confiabilidad y la mantenibilidad, son la exponencial, la normal y la de Weibull. A continuación se hace una breve explicación de cada una de ellas, enfocándose por la distribución de Weibull, la cual es la más indicada para realizar los cálculos ya que posee algunas ventajas sobre las otras dos

distribuciones y por lo cual fue escogida para el desarrollo de este proyecto de grado.

### **2.6.1 Distribución exponencial.**

Esta distribución se utiliza para componentes eléctricos y electrónicos principalmente y no para elementos mecánicos en los que el desgaste se va acumulando desde su puesta en marcha (Navarro, 1997,18).

El índice de fallo resulta constante, por lo que se adapta bien a la zona de vida útil del equipo.

### **2.6.2 Distribución normal.**

Es una distribución discreta que se presenta con frecuencia cuando la vida útil de los componentes se ve afectada desde un comienzo por el desgaste, sirve para describir muy bien los fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En esta distribución las fallas tienden a distribuirse de una forma simétrica alrededor de la vida media. (Díaz, 1992,20)

### **2.6.3 Distribución Weibull.**

Esta distribución está siendo utilizada con frecuencia para representar la vida de los componentes, ya que posee una serie de ventajas sobre los demás<sup>19</sup>, también se ha usado para representar la vida de servicio de tubos y otros equipo electrónicos (céspedes y Toro, 2001,54).

Una de las ventajas significativas que posee la distribución Weibull es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o

---

<sup>19</sup> Ventajas como técnicas graficas sencillas para su aplicación práctica y que es la única función de probabilidad que puede utilizarse par representar cualquier tipo de tasa de falla (Ebellling, 1977,58)(Kelly y otro,1998,24).

vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies. La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad; ellos son:

- Parámetro de posición ( $\gamma$ ): El más difícil de estimar y por este motivo se supone con frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula. (Forcadas,1983,42)
- Parámetro de escala o característica de vida ( $\eta$ ): Su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Parámetro de forma ( $\beta$ ): Refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

El parámetro beta permite a la distribución de Weibull tomar diversas forma: cuando  $\beta$  es inferior a 1 se le denomina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); los valores cercanos a uno se le describe a la fase con el nombre de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria) y en el evento del  $\beta$  tomar valores mayores a 1 se le conoce a la fase como de envejecimiento o de desgaste<sup>20</sup> (tasa de falla creciente) (Díaz, 1992,21)

Esta distribución puede emplearse para cualquier tipo de componente y en cualquiera de sus etapas, seleccionando distintos valores de  $\beta$ , por lo anterior, y por la facilidad de aplicación de la distribución, es la seleccionada para realizar los cálculos del capítulo 4.

---

<sup>20</sup> A mayor  $\beta$ , mayor desgaste. Esta característica puede ser usada para construir formulas de valorización de equipos; aplicando el valor del equipo (estimado según cualquier modelo), el factor  $1/\beta$  (Díaz, 1992, 21).

En la Tabla 11 se muestra un resumen de los periodos de la curva de Davies, asociados con el parámetro  $\beta$  de la distribución Weibull.

Tabla 11. Parámetro de forma de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera.

Valor ( $\beta$ )	Característica
$\beta < 1$	Tasa de falla decreciente (Mortalidad Infantil)
$\beta = 1$	Tasa de falla constante (Vida útil)
$\beta > 1$	Tasa de falla Creciente (Desgaste)

(Díaz, 1992,21)

Las ecuaciones que se utilizan en la distribución de Weibull se muestran a continuación:

Ecuación 14. Función de densidad de la distribución de Weibull.

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

(Ramakumar, 1993,108)

Ecuación 15. Función de confiabilidad de la distribución de Weibull.

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

(Ramakumar, 1993,108)

Ecuación 16. Función de tasa de fallas de la distribución de Weibull.

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

(Ramakumar, 1993,108)

Donde:  $\beta$ : parámetro de forma de la distribución de Weibull.  
 $\eta$ : parámetro de escala de la distribución de Weibull.  
 $f(t)$ : Función de densidad de fallas.

R(t): Función de confiabilidad.

h(t): Función de tasa de fallas.

Ecuación 17. Esperanza matemática de la distribución de Weibull.

$$[E] = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

(Ramakumar, 1993,108)

Ecuación 18. Varianza de la distribución de Weibull.

$$[E^2] = \eta \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]$$

(Ramakumar, 1993,108)

Donde:  $\Gamma$ : función gamma.

$\beta$ : parámetro de forma de la distribución de Weibull.

$\eta$ : parámetro de escala de la distribución de Weibull.

$E^2$ : segundo momento o varianza de la distribución.

### **3. ESTUDIO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

El estudio del sistema de adquisición y registro de datos de un departamento de mantenimiento se considera el primer peldaño para entender de manera clara cómo se maneja la información de los activos pertenecientes a una planta. El siguiente paso, después de estudiar el manejo de la información dentro de un departamento, es lograr desarrollar un historial de tiempos de fallos y reparaciones, basados en la captura de datos en las máquinas y los reportes de los operarios encargados de cada una.

Existe la necesidad de obtener datos completos y exactos correspondientes al funcionamiento de equipos, accidentes y sus consecuencias, operaciones de mantenimiento y sus costos. El mejor caso se presenta cuando dicha información se recolecta del mismo equipo (datos específicos de falla) o de equipos análogos en condiciones similares de operación (Jaramillo y González, 2002).

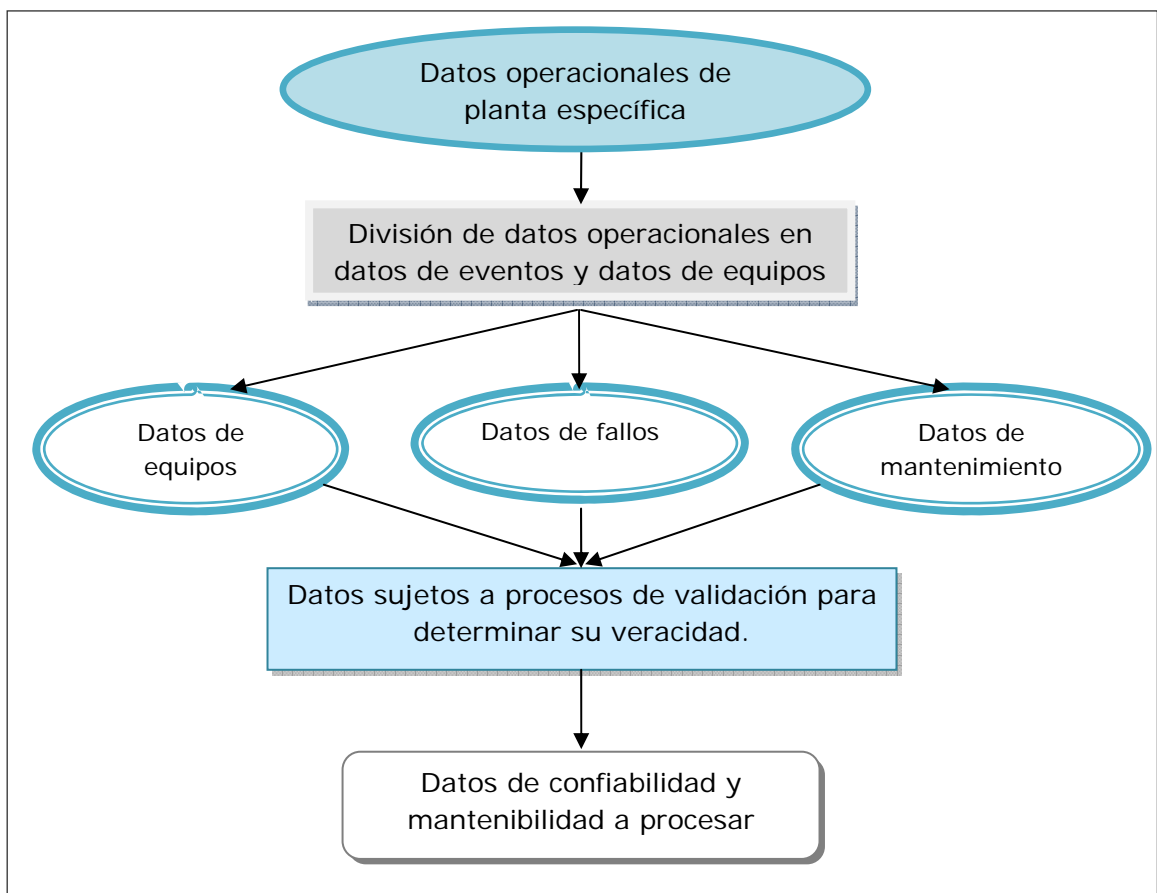
Para realizar el proceso de adquisición de datos de los sistemas de información de la empresa se utilizó el proceso descrito en la Figura 15. El cual describe las etapas de recolección e interpretación de datos.

#### **3.1 SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA.**

Un sistema de información de mantenimiento, más que un software, es una metodología de gestión y administración, que permite a las empresas obtener resultados en cuanto a:

- Definición de procesos óptimos.
- Normalización de procedimientos.
- Análisis de eventos.
- Conocimiento de los costos.
- Obtención de indicadores de gestión.

Figura 15. Etapas de recopilación e Interpretación de datos.



Los software de administración del mantenimiento CMMS<sup>21</sup> de alto nivel son

aparentemente similares en contenido; su diferencia es la profundidad de la información de algunos registros y funciones, y la capacidad de apoyo e innovación.

Ecopetrol S.A. cuenta con el software ELLIPSE como herramienta para la planeación y control del mantenimiento, este sistema trabaja con datos compartidos e interrelacionados, lo que permite que la información fluya entre distintas dependencias en tiempo real. Los datos ingresados, una vez almacenados en la base de datos están disponibles para cualquier usuario que tenga acceso al sistema.

En el sistema ELLIPSE se puede encontrar una descripción concerniente del equipo, una historia de incidentes en los que el equipo se ha visto envuelto y una historia del uso del equipo. La pantalla principal del programa ELLIPSE se muestra en la Figura 16.

El programa permite conocer como está la empresa en mantenimiento y saber que problemas se presentan, lo cual permite hacer con facilidad análisis que admitan tomar medidas y crear un plan de acción para atacar problemas y eliminarlos. Este plan de acción se incorpora al Plan de Mantenimiento. De esta forma se produce la mejora continua y se mejoran los índices de rendimiento del departamento.

Figura 16. Pantalla de entrada ELLIPSE



(Ecopetrol S.A.)

### **3.2 REGISTRO DE DATOS EN ELLIPSE**

Por medio de la inspección en campo de los equipos a través del personal de confiabilidad, de operaciones y mantenimiento se hace un seguimiento permanente del estado de funcionamiento de los equipos y es registrado cualquier cambio, evento o falla del equipo en el sistema ELLIPSE.

Los datos que se adquieren actualmente para el control de la gestión en la empresa de la totalidad de máquinas existentes, se realiza con base en las “solicitudes de servicio” u “órdenes de trabajo” las cuales son llenadas por el personal técnico de mantenimiento, personal de planeación o personal de apoyo técnico a la producción a través del software.

Cabe resaltar que esta solicitud de servicios no sólo se usa para adquirir información sobre fallos imprevistos o mantenimientos correctivos, sino también para mantenimientos programados.

Estos eventos generan cambios en la condición de los equipos registrados en el sistema, estados que pueden variar entre los siguientes:

- OP. El equipo se encuentra operando correctamente.
- SB. El equipo se encuentra Stand by listo para operar.
- OF. El equipo se encuentra operando pero presenta alguna falla.
- SF. El equipo se encuentra disponible como relevo del equipo principal pero presenta alguna falla.
- MT. El equipo se encuentra en un mantenimiento planeado.
- MC. El equipo se encuentra en mantenimiento correctivo.
- EF. El equipo se encuentra detenido por presentar falla y está a la espera de la programación del mantenimiento.
- FS. El equipo se encuentra fuera de servicio.

Los estados que representan tiempos útiles de funcionamiento y tiempos de falla según el perfil de funcionalidad se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Estados que representan tiempos operativos y de falla.

SOFU	SOFA
OP	EF
OF	MT
SF	MC

Para una mejor comprensión del manejo actual de la captura de datos, es acertado que se evalúe toda la información que se obtiene de Ellipse, para comprobar su validez, veracidad y utilidad futura para cálculo de CMD y de indicadores generales de gestión de mantenimiento, los cuales serán evaluados cuantitativamente en el capítulo 4.

### **3.3 CONCEPTOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.**

La adquisición de datos incluye los registros de tiempos operativos, tiempos de intervenciones planeadas e intervenciones no planeadas.

Los tiempos que impiden el correcto funcionamiento del equipo se le denominan tiempos de falla, pueden ser debido a reparaciones o a la no disponibilidad del mismo. La confiabilidad de un componente depende del tiempo que el equipo haya estado en servicio. En los estudios de confiabilidad es muy importante la distribución de los tiempos de falla, esto es, la distribución del tiempo transcurrido durante la falla de un componente en unas condiciones ambientales específicas (SELINC@2008).

#### **3.3.1 Intervenciones Planeadas**

Las intervenciones planeadas se pueden clasificar en dos grupos:

- **Tareas predictivas.**

Las tareas predictivas son las que se deben definir previamente ya que la frecuencia de cualquier forma de mantenimiento "a condición de" se basa en el hecho de que la mayoría de las fallas no ocurren repentinamente. En la mayoría de los casos es posible detectar que la falla ha comenzado a ocurrir, durante los estudios finales del deterioro, a estas tareas programadas de análisis y chequeo en lugares críticos se les denomina tareas predictivas, que como su nombre lo indica buscan predecir las fallas.

- **Mantenimientos planeados o mantenimiento preventivo.**

El desarrollo de un enfoque sistemático para todas las actividades de mantenimiento, se denominan acciones planeadas. Esto significa identificar la naturaleza y el nivel de mantenimiento preventivo para cada parte del

equipo, la creación de estándares y la definición de las responsabilidades del personal operativo y de mantenimiento.

La necesidad de rebajar el correctivo en una compañía y todo lo que éste representa, da lugar al mantenimiento preventivo, que pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y a los datos históricos obtenidos de la misma. Se establece posteriormente un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se explican los procedimientos, revisiones y acciones necesarias para mantener la máquina a punto.

Las intervenciones planeadas en los equipos rotativos de la refinería se registran en el sistema de información Ellipse como estados MT.

### **3.3.2 Intervenciones No Planeadas**

Las actividades orientadas hacia la restitución de las características de funcionamiento de un equipo o sistema después de ocurrida la falla se le denominan acciones correctivas. Por lo general estas fallas acarrearán retrasos en la productividad y por consecuencia pérdidas para la empresa en general. El mantenimiento de emergencia (reparación de roturas), debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

Las intervenciones no planeadas o mantenimiento correctivo en los equipos rotativos de la refinería se registran en el sistema de información Ellipse como estados MC.

### **3.3.3 Estados de demora.**

Los tiempos de demora por aspectos administrativos o de logística, son todos los tiempos registrados por falta de suministros, repuestos, personal, manuales, etc., que impiden la coordinación del mantenimiento y retrasan la reparación de la máquina.

Al presentar una falla, los equipos cambian de estado a EF, el tiempo que transcurre desde este cambio de estado, hasta cuando el personal de mantenimiento toma en custodia el equipo, es considerado como tiempo de demora logística.

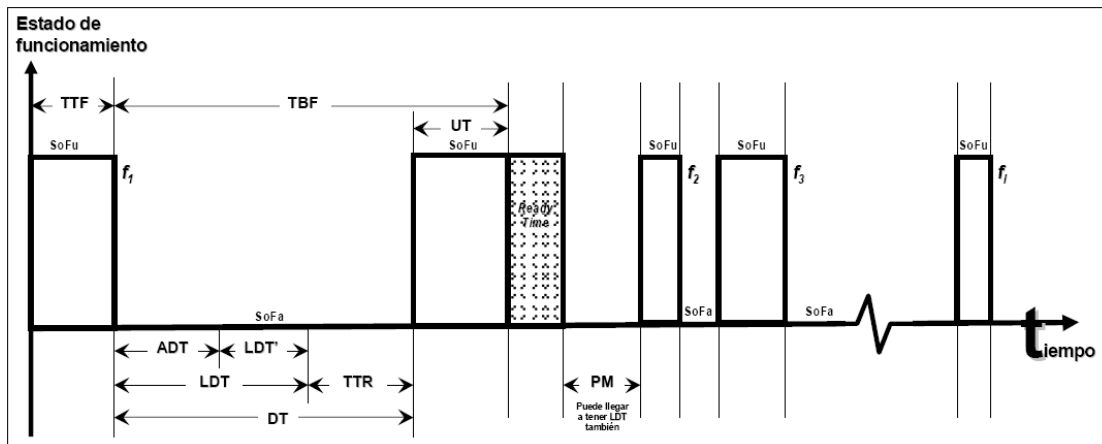
### **3.4 INDICADORES**

La preocupación por la gestión de activos en una empresa, presenta diferentes y diversas formas de ser alcanzada, entre las más relevantes, sobresalen: la inversión en I&D<sup>22</sup> procurando disminuir los tiempos de reparación y los de mantenimientos planeados, los cuales se manifiestan con una reducción tangible de los tiempos que impiden la funcionalidad de los equipos, como DT o MTTR, MTBM, MTBMC, MTBMP Mp y M (Ver Figura 17).

Los indicadores mencionados anteriormente permiten conocer el estado de la máquina desde el punto de vista de los tres conceptos que se han venido tratando (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad; CMD); ayudan además a reconocer dos aspectos importantes dentro del perfil de funcionalidad de la máquina, como lo son: cada cuánto se realiza una acción de mantenimiento y cuánto demora. Entiéndase por acción de mantenimiento, cualquier intervención o manifestación de la máquina como

una acción correctiva, preventiva, o cualquier paro causado por una fuerza exógena.

Figura 17. Tiempos que intervienen en la funcionalidad o no de la máquina.



(Mora, 2006, 59).

### 3.4.1 Down Time o Tiempo no operativo (DT).

El equipo se encuentra en estado de falla y no funciona correctamente (State of Failure SoFa); se conoce como DT o Down Time, el tiempo no operativo de la máquina.

### 3.4.2 Mean Time To Repair o tiempo medio para reparar (MTTR).

La medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema, se conoce como MTTR. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El tiempo medio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La

mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño (KLARON@2006).

#### **3.4.3 Mean Time Between Maintenance o tiempo medio entre mantenimientos (MTBM).**

Es el lapso de tiempo entre mantenimientos tanto reparaciones correctivas o modificativas, como también mantenimientos planeados, sean de orden preventivo o predictivo. El tiempo medio entre mantenimientos (MTBM), más que un índice de confiabilidad es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos; es función de la frecuencia de los mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivos) MTBMP y no planeados (correctivos) MTBMC, en ausencia de mantenimiento preventivo el MTBMP se aproxima al MTBF (Mean Time Between Failures) (Blanchard y otros,1994,111).

#### **3.4.4 Mean Active Maintenance Time o tiempo medio de mantenimiento activo (M).**

El tiempo medio de mantenimiento activo, es el tiempo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento. Es función de los tiempos medios de mantenimiento correctivo y preventivo y sus frecuencias relativas; sólo considera los tiempos activos de mantenimiento y no considera los tiempos administrativos y logísticos (Blanchard y otros,1994;108).

### **3.4.5 Mantenimientos Planeados (Mp).**

El tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados, se conoce como Mp.

## **4. IMPLEMENTACIÓN DE ÍNDICES CMD**

Este capítulo tiene como propósito fundamental presentar los cálculos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, generados a partir de la base de datos suministrada por el sistema de información ELLIPSE, con el fin de determinar el estado actual y futuro de la máquina, utilizando la aplicación diseñada en el programa Excel para la implementación de medición de índices CMD en la Coordinación de equipo rotativo de la empresa.

Los índices permiten al personal de mantenimiento, conocer las condiciones bajo las cuales trabaja una máquina. Toda máquina debe ser fiable y disponible y ambos conceptos dependen explícitamente de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad. Para la mayoría de las personas encargadas de mantener el parque industrial en las mejores condiciones, las consideraciones de disponibilidad, confiabilidad y la capacidad de mantenimiento son vitales, ya que redundan significativamente en el costo total del ciclo de vida de la máquina.

### **4.1 ANÁLISIS DE FALLAS**

El análisis de fallas es un proceso sistémico que perdura en el tiempo, es de acción permanente, el grupo caza-fallas se reúne en forma constante y periódica, se debe mantener un registro activo en tiempo real de todos los hechos, acciones, análisis de fallas, evidencias, controles, registros, datos, etc.

Las consecuencias de una falla no solo son la falta de funcionalidad, en ocasiones pueden producir: daños al medio ambiente, pérdidas de vida humana, siniestros parciales o totales a personas, daños a bienes materiales o a servicios, entre otros.

La utilización de los parámetros directos y asociados al CMD permite la comparación contra equipos similares o afines a nivel; también establece una relación de comportamiento en el tiempo consigo mismo, es decir permite la valoración de la misma máquina en el tiempo para conocer su evolución.

La interpretación, uso y análisis de las curvas características CMD, de sus pronósticos y de todos los cálculos asociados se desprenden las estrategias a realizar para lograr alcanzar las metas, objetivos, misión y visión de las empresas a través del uso intensivo de estos instrumentos en la gestión y operación de mantenimiento.

Los valores CMD son de índole operativo y de mantenimiento como de gestión integral de una fábrica, ellos en sí mismos no tienen en cuenta los aspectos económicos y monetarios, para tener en cuenta este aspecto se hace indispensable relacionar los valores calculados CMD con la inversión en dinero realizada para alcanzarlos, para ello se utiliza a nivel universal el concepto de LCC<sup>23</sup> y de costos de mantenimiento.

Las consecuencias de las fallas se miden mediante la evaluación del impacto de ellas sobre: la organización o sus componentes; la función principal de mantenimiento es atenuar o eliminar estas consecuencias mediante la utilización de las herramientas básicas o avanzadas, con las operaciones, las tácticas y la estrategia integral de mantenimiento. Es probable que las consecuencias sean más importantes que las características técnicas de las

fallas en sí mismas. Consiste en la descripción de lo que ocurre en cada modo de falla.

En Ecopetrol el estudio de fallas en los equipos rotativos se hace a través de un seguimiento del reporte de fallas que se encuentra en el sistema de información de la empresa (ELLIPSE). Esta base de datos se constituye a partir de los registros históricos de cambio de estado en los equipos de la planta, este historial se obtiene por medio de la interfaz MIMSVU<sup>24</sup> que toma los registros de mantenimientos y acciones llevadas a cabo sobre los equipos de cada planta en un lapso de tiempo determinado y la organiza en tablas que se pueden exportar al programa Excel. Este reporte se conoce como Tasa de falla equipo Rotativo.

#### **4.2 ADQUISICIÓN Y MANEJO DE DATOS**

El reporte Tasa de falla equipo rotativo obtenido para el estudio de este proyecto, contiene el historial de estados de los equipos rotativos de la planta de Cracking UOP I desde el 1 de Enero de 2000 hasta el 8 de Febrero de 2008, este reporte está compuesto por dos mil cuatrocientos diecinueve (2419) registros, que tienen información acerca de los estados operativos OP OF SB y SF y los estados no operativos EF MC MT y FS, así como la fecha en la que fueron registrados.

Obtenida la información del reporte Tasa de falla, se filtran los datos por medio de una tabla dinámica donde se muestra el nombre del equipo, la OT generada, la fecha de novedad y el cambio de estado del equipo; con el fin de preparar la información y establecer los datos de entrada con los cuales

se determinarán los indicadores MTBMc, MTBMp, MTTR y Mp para cada equipo en la aplicación diseñada en Excel

#### **4.3 ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis de los datos se hace para cada equipo por lo que cada uno es independiente y tiene un comportamiento característico. Para este análisis, el primer paso es calcular los tiempos de funcionamiento de cada equipo que corresponden al UT (Up Time) y el tiempo de paradas DT (Down Time). Para la determinación de éstos, se hace una estimación teniendo en cuenta que los tiempos que suman al UT son los estados OP, SB, OF y SF y los tiempos que suman al DT son los estados EF, MC, MT y FS.

Los tiempos operativos y de paradas para cada equipo analizado, se muestran gráficamente en el Anexo B.

#### **4.4 DISPONIBILIDAD FACTIBLE DE UTILIZAR**

La disponibilidad es una medida importante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad (Toro y otro, 2003, 21).

La disponibilidad de los equipos se ve afectada por diversos factores de tiempo que se analizan con detalle en las diferentes maneras de cálculo de la disponibilidad, donde cada empresa asume aquella que más le conviene, de acuerdo a los datos que posee (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran.

FACTORES QUE DISMINUYEN LA FUNCIONALIDAD DEL DISPOSITIVO, EQUIPO O SISTEMA		Tiempo de no disponibilidad de Down Time de cualquier índole	Fallas que implican reparación correctiva	Mantenimientos planeados preventivos o predictivos	Tiempos Admon	Retrasos Logísticos de insumos repuestos o recursos humanos	Tiempos logísticos que generan indisponibilidad = suma de ADT+LDT'	Ready Time tiempo en que el equipo está disponible pero no produce
Termino		DT	TTR	PM	ADT	LDT'	LDT	RT
disponibilidad que considera el concepto	Genérica AG	X						
	Inherente AI		X					
	Alcanzada AA		X	X				
	Operacional Ao		X	X	X	X	X	
	Operacional Generalizada AGO		X	X	X	X	X	X

(Mora, 2006,70)

La disponibilidad requerida por la empresa debe permitir establecer y diseñar las estrategias, tácticas y las acciones pertinentes de mantenimiento; que se realizan en el corto, mediano y largo plazo sobre el sistema o equipos que se analizan, tanto en la gestión como en la operación de mantenimiento y producción (Mora, 2006, 79).

Los factores que más afectan la disponibilidad son la confiabilidad y la mantenibilidad. Éstas son características inherentes al equipo, pues se definen en la fase de diseño y posteriormente afectan la carga de trabajo de mantenimiento (Jaramillo y otro, 2004, 28).

De la Tabla 13, se puede seleccionar el tipo de disponibilidad factible de utilizar, según los datos suministrados se debe trabajar con la disponibilidad Operacional, ya que en el sistema de información empleado (ELLIPSE), se

registran los tiempos de reparaciones correctivas, tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivos) y tiempos de demoras en la ejecución de los mantenimientos; necesarios para el cálculo de la disponibilidad operacional. Por lo tanto es éste tipo de disponibilidad la que se utiliza en el desarrollo del cálculo del proyecto.

#### **4.5 CALCULO DE INDICADORES CMD**

Todos los cálculos realizados de CMD, se basan en un archivo creado específicamente para este proyecto dentro del programa Excel llamado “Cálculos CMD Ecopetrol S.A.”. Esta hoja de cálculo fue creada para que los indicadores CMD puedan ser implementados con facilidad en cualquier planta de la Gerencia Refinería Barrancabermeja, para cualquier número de equipos.

Esta aplicación tiene la capacidad de hacer el análisis de los datos para calcular la confiabilidad y la mantenibilidad utilizando el método i-Kaesimo para estimación de parámetros, y distribución Weibull. También efectúa el cálculo de disponibilidad operacional generalizada recomendada para utilizar en la empresa.

##### **4.5.1 Descripción de la aplicación de Excel y sus Módulos**

El Procedimiento de los cálculos CMD, se programó en diferentes módulos utilizando las siguientes herramientas:

- ✓ Microsoft office Excel
- ✓ Lenguaje de programación Microsoft Visual Basic 6.3

MICROSOFT VISUAL BASIC 6.3. Es un lenguaje de programación que se ha diseñado para facilitar el desarrollo de aplicaciones de un entorno gráfico (GUI, Graphical User Interface) como Windows 98, NT o superior<sup>25</sup>.

Con este lenguaje es posible escribir aplicaciones con elementos gráficos (ventanas, cuadros de dialogo, menús, barras de herramientas, botones de opción, cuadros de lista, informes y páginas Web, entre otros); entre las características de visual Basic están:

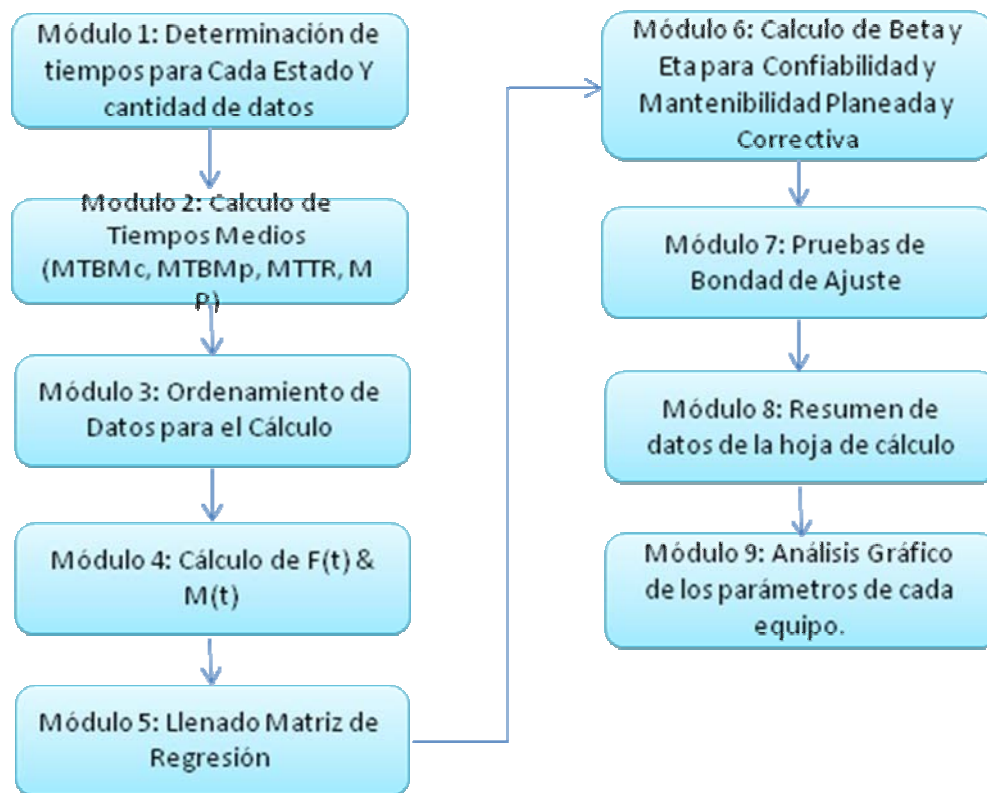
- ✓ Diseñador de entorno de datos genera conectividad entre otros controles y datos mediante la acción de arrastrar y colocar sobre formularios o informes.
- ✓ El asistente para los formularios genera automáticamente formularios que administran registros de tablas o consultas pertenecientes a una base de datos, hoja de cálculo u objeto ADO (Active Data Object).
- ✓ Asistente para barras de herramientas es factible incluirlas y personalizarlas, donde el usuario selecciona los botones que desea visualizar durante la ejecución de la aplicación.
- ✓ Vista de datos proporciona acceso a la estructura de una base de datos, al diseñador de consultas y de bases de datos para administrar tablas y registros.

MICROSOFT OFFICE EXCEL, mejor conocido sólo como Microsoft Excel, es una aplicación para manejar hojas de cálculos. Este programa fue y sigue siendo desarrollado y distribuido por Microsoft, y es utilizado normalmente en tareas financieras y contables. Es una hoja de cálculo está organizada en columnas y filas. La planilla contiene textos y números. A esos valores los denominamos datos sin procesar. La intersección de una columna y una fila se llama celda. El nombre se compone de su letra de columna seguida de su número de fila. En Excel las planillas de cálculo se llaman hojas de cálculo. Los componentes de la ventana de aplicación de Excel son: La pequeña

barra de título, la barra de menú, la barra de herramientas, la barra de formulas y la barra de estado. (Wikipedia@2008)

Los módulos de trabajo de la aplicación de Excel se muestran en la Figura 18.

Figura 18. Módulos de Trabajo



La secuencia de los cálculos se lleva por medio de botones, que facilitan el entendimiento de la metodología por el usuario de la aplicación. La descripción de estos botones se muestra a continuación:

- **Botón 1 : DATOS DE TIEMPO**

Abarca los Módulos 1, 2, 3 y 4 como se muestra en la Figura 19.

El primer paso es el cálculo de los tiempos para cada estado en cada uno de los equipos, y la cuenta de estos eventos para el posterior cálculo de promedios:

- Determinación de tiempos entre fallas TBF
- Determinación de tiempos entre reparaciones TBMc
- Determinación de tiempos entre mantenimientos TBMp
- Determinación de tiempos de reparación TTR
- Determinación de tiempos de mantenimiento planeado Mp
- Determinación de número de datos N

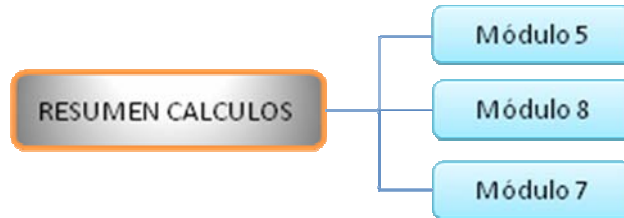
Paso siguiente es el cálculo de los tiempos medios de forma puntual (promedios) en los equipos a analizar:

- Cálculo de MTBMc
- Cálculo de MTBMP
- Cálculo de MTTR
- Cálculo de Mp

Posteriormente se efectúa un ordenamiento de los datos en forma ascendente con el fin de calcular la función de no confiabilidad  $F(t)$  y de Mantenibilidad  $M(t)$  tanto para eventos correctivos, como para eventos planeados:

- Ordenamiento de datos para confiabilidad correctiva TBMC
- Ordenamiento de datos para Mantenibilidad correctiva TTR
- Ordenamiento de datos para confiabilidad planeada TBMP
- Ordenamiento de datos para Mantenibilidad planeada MP
- Cálculo de  $F(t)$  Y  $M(t)$  (Para Confiabilidad y Mantenibilidad correctiva y planeada) por el método i-Kaésimo<sup>26</sup>.

Figura 19. Botón Datos de Tiempo.



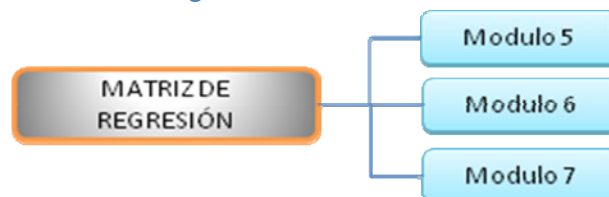
- **Botón 2: MATRIZ DE REGRESIÓN**

Abarca los módulos 5, 6 y 7 como se muestra en la Figura 20.

Con este Botón se llena una tabla con los datos de la regresión necesarios para efectuar el cálculo por distribución de Weibull, para obtener de esta manera los parámetros de distribución Beta y Eta:

- Llenado de la tabla de regresión
- No confiabilidad correctiva (Beta, Eta)
- Mantenibilidad correctiva (Beta, Eta)
- No confiabilidad planeada (Beta, Eta)
- Mantenibilidad planeada (Beta, Eta)

Figura 20 Botón Matriz de Regresión



- **Botón 3: RESUMEN CÁLCULOS**

El botón de Resumen cálculos toma los índices de confiabilidad y Mantenibilidad de la hoja de cálculo para cada equipo, así como la disponibilidad, calculados de manera puntual (promedio) y por distribuciones, y lo muestra en una nueva hoja de una manera ordenada y sintetizada. Ver Figura 21.

Figura 21 Botón Resumen Cálculos



- **Botón 4: ANÁLISIS GRÁFICO**

El Botón Análisis Grafico toma los parámetros Beta y Eta tanto para confiabilidad como para Mantenibilidad correctiva y planeada y los grafica según las ecuaciones que describen la distribución Weibull. Estos resultados se muestran para cada equipo en hojas de cálculo individuales.

El instructivo de funcionamiento para la aplicación en el programa Excel “Cálculos CMD Ecopetrol S.A.” se muestra en el anexo C.

#### **4.5.2 Reporte de resultados en la Aplicación “Cálculos CMD Ecopetrol S.A.”**

A modo de ejemplo se muestran el procedimiento de los cálculos realizados para el equipo de bombeo SP2704A. Los resultados para los equipos analizados restantes se muestran en el anexo D.

Según el historial de estados de los equipos para la planta Cracking UOP I, se obtienen los tiempos que el equipo permaneció en cada uno de ellos; estos cambios de estados con la fecha en que fueron reportados se encuentran organizados cronológicamente en la Tabla 14.

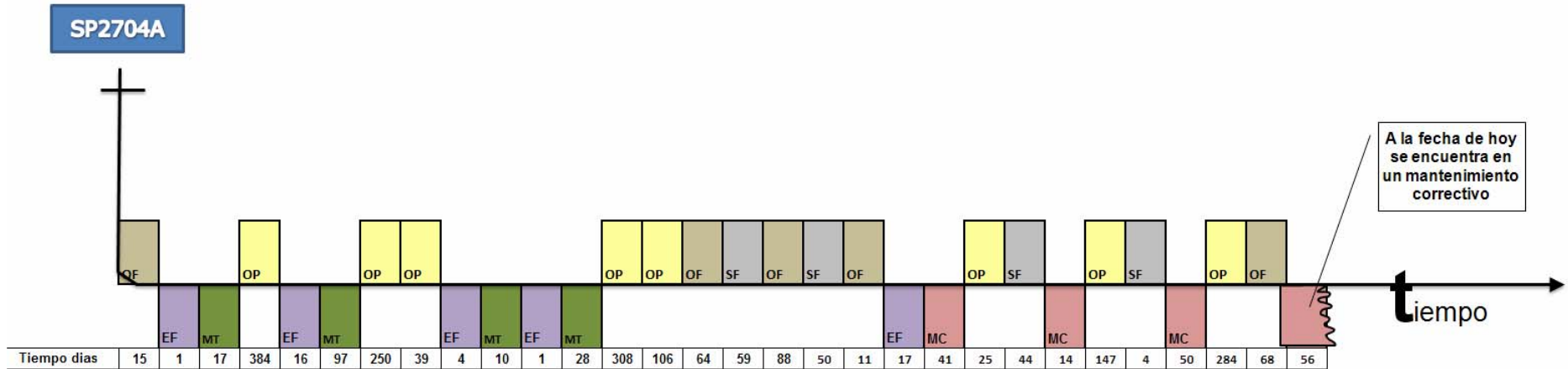
Tabla 14. Estados para la Bomba SP2704A desde 1 de Enero de 2000 al 8 de Febrero de 2008

ESTADO	FECHA
OF	11-ago-01
EF	26-ago-01
MT	27-ago-01
OP	14-sep-01
EF	8-oct-02
MT	24-oct-02
OP	31-ene-03
SB	10-oct-03
OP	22-oct-03
EF	1-dic-03
MT	5-dic-03
EF	15-dic-03
MT	16-dic-03
OP	14-ene-04
OP	15-ene-04
SB	22-nov-04

OP	22-dic-04
OF	8-abr-05
SF	12-jun-05
OF	11-ago-05
SF	9-nov-05
OF	29-dic-05
EF	10-ene-06
MC	27-ene-06
OP	8-mar-06
SF	3-abr-06
MC	17-may-06
OP	31-may-06
OF	27-oct-06
MT	31-oct-06
OP	20-dic-06
OF	4-oct-07
MC	12-dic-07

Del historial de tiempo de los equipos se crean los perfiles de funcionalidad para cada uno de ellos, con los tiempos operativos y en falla, (Ver anexo B). El perfil de funcionalidad para la bomba SP2704A se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Perfil de Funcionalidad SP2704A



<b>OP</b>	El equipo se encuentra operando correctamente
<b>SB</b>	El equipo se encuentra Stand By listo para operar
<b>OF</b>	El equipo se encuentra operando pero presenta alguna falla.
<b>SF</b>	El equipo se encuentra disponible como relevo del equipo principal pero presenta alguna falla.
<b>MT</b>	El equipo se encuentra en un mantenimiento planeado.
<b>MC</b>	El equipo se encuentra en un mantenimiento correctivo.
<b>EF</b>	El equipo se encuentra con una falla funcional y espera ser programado para mantenimiento.

Los datos de tiempos que arroja la aplicación de Excel para los parámetros de no confiabilidad y mantenibilidad tanto correctivos como planeados son los mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15. Datos para la bomba SP2704A.

DATOS CORRECTIVOS		DATOS PLANEADOS	
NO CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD	NO CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD
15	1	15	10
25	1	289	17
289	4	352	28
384	14	384	50
503	16	753	97
577	56		
	58		

Al tener estos datos, se procede con la aplicación de la metodología de Weibull, con la cual obtenemos los parámetros Beta, Eta, y los tiempos medios por distribuciones para el equipo analizado, lo que nos permite determinar la fase de la curva de la bañera sobre la cual el equipo está operando, para luego recomendar una estrategia de mantenimiento apropiada para estas circunstancias de operación. Asimismo este análisis permite generar un pronóstico del comportamiento del equipo a un 10% del tiempo evaluado y calculado como máximo (MORA, 2006,146).

- **CÁLCULO DE CONFIABILIDAD**

La Confiabilidad en el caso de los datos correctivos, se ve influenciada por el Tiempo medio entre Reparaciones o MTBMc. Los resultados obtenidos para

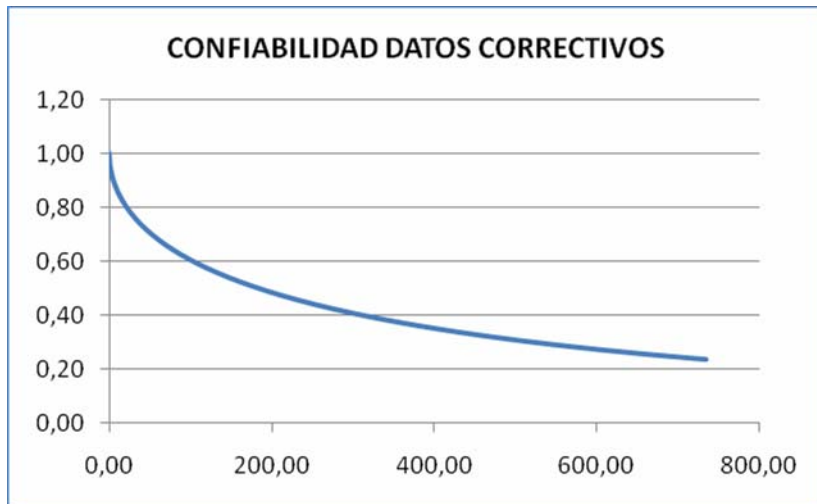
el equipo ejemplo se muestran en la Tabla 16. Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 22 meses (670 días), con una probabilidad de 25,34%. El resultado de  $\beta = 0.53$  demuestra que el equipo se encuentra en la fase 1 o de mortalidad infantil en la curva de Davies, lo que es característico de una probabilidad de falla decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallas de una forma correctiva hasta estabilizar su tendencia, para controlar fallas por materiales defectuosos o ensambles inadecuados y poder concentrarse en tareas proactivas.

Tabla 16. Parámetros para confiabilidad con datos correctivos

MTBMc distribución (días)	BETA	ETA	Probabilidad
669,67	0,53	368,30	25,34%

El comportamiento del indicador MTBMc se puede observar en la curva de confiabilidad para el equipo ejemplo en la Figura 23.

Figura 23. MTBMc con distribución Weibull.



Para el caso de los datos planeados, la confiabilidad se ve influenciada por el Tiempo medio entre Mantenimientos Planeados o MTBMc. Los Parámetros para la confiabilidad en este caso se pueden observar en la Tabla 17.

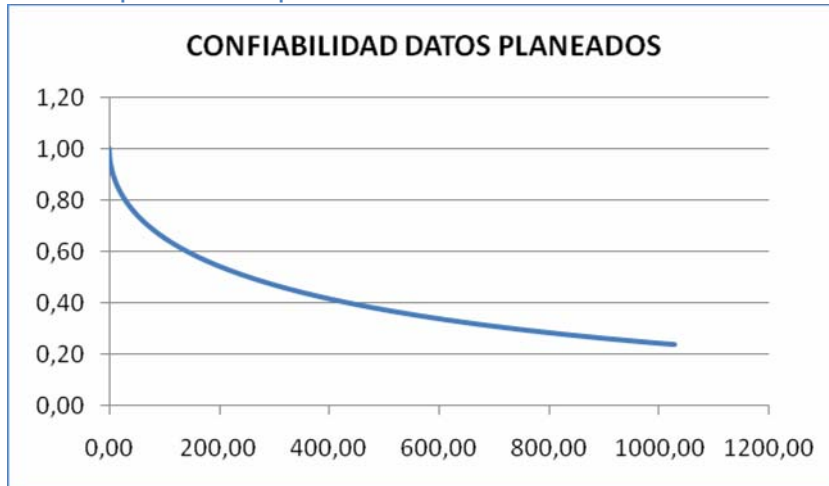
Los resultados muestran que con una probabilidad de 25% los mantenimientos planeados se programan cada 32 meses (961 días), éste es un tiempo muy largo y es evidente que el mantenimiento planeado actual no alcanza a prevenir o predecir las fallas imprevistas que ocurren. Se debe trabajar en esta mejora ya que esto inevitablemente generará decrecimiento en la vida útil del equipo.

Tabla 17. Parámetros para confiabilidad con datos Planeados.

MTBMc distribución (días)	BETA	ETA	Probabilidad
960,74	0,52	515,27	25.09%

El comportamiento de este indicador se puede observar en la Figura 24.

Figura 24. MTBMp obtenido por distribución Weibull.



- CÁLCULO DE MANTENIBILIDAD

El parámetro que refleja la mantenibilidad del equipo para los resultados correctivos, es el tiempo medio para reparar o MTTR. En la Tabla 18, se pueden observar los parámetros obtenidos para la bomba SP2704A.

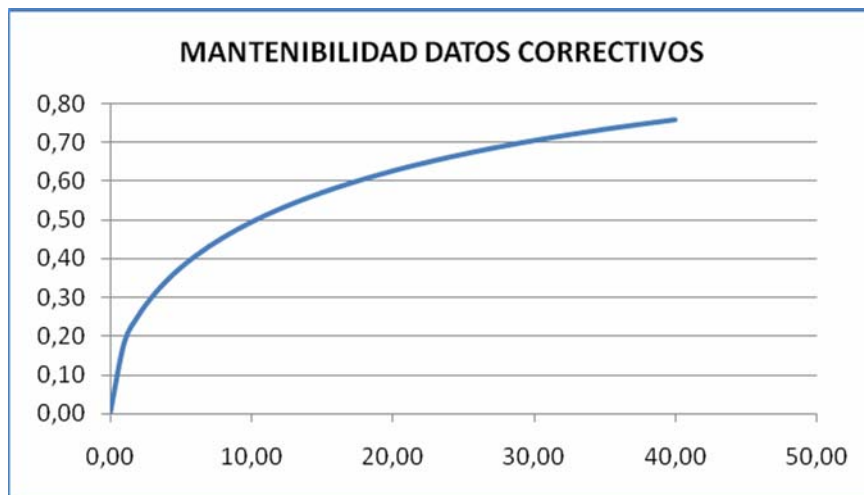
El equipo presenta alrededor de 38 días como tiempo medio de reparación, con una probabilidad de 74,57%. Es decir, existe una probabilidad de cerca del 25% de que los mantenimientos correctivos no se terminen antes de 1 mes y medio. El hecho de encontrarse en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallas que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente con estrategias como análisis de causa raíz y de esta manera reducir el tiempo para reparar.

Tabla 18. Parámetros de Mantenibilidad para datos correctivos

<b>MTTR distribución (días)</b>	<b>BETA</b>	<b>ETA</b>	<b>Probabilidad</b>
37.4	0.53	20.65	74.57%

En la Figura 25 podemos observar la tendencia que tiene este indicador en el tiempo, después de aplicar la distribución Weibull.

Figura 25. MTTR obtenido con distribución Weibull.



Para el caso de los cálculos planeados, el parámetro que refleja la mantenibilidad del equipo, es el tiempo de mantenimientos programados MP. Los parámetros obtenidos en este caso para la bomba SP2704A se muestran en la Tabla 19.

Se puede observar que existe una probabilidad del 63,5% de que los mantenimientos programados terminen antes de 48 días aproximadamente.

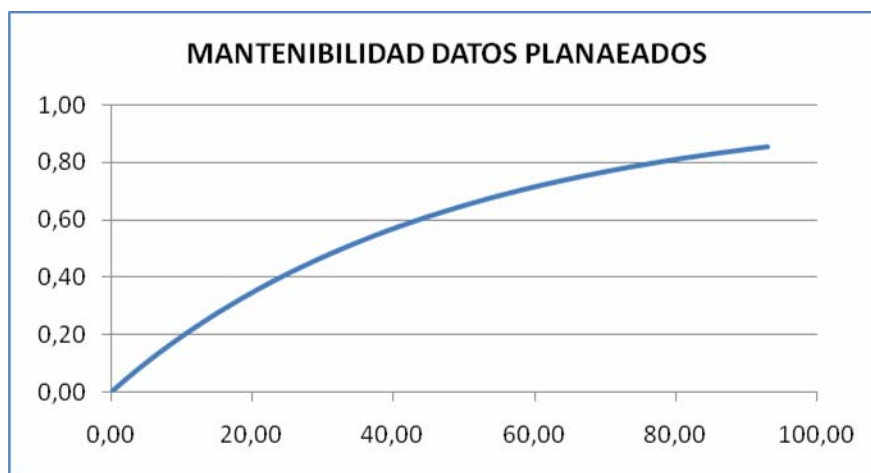
Por el valor del  $\beta$ , se puede observar que se está empleando intervalos de tiempo constantes en la intervención programada de la bomba; Se recomienda reforzar la inspección y monitoreo del equipo para prevenir las fallas características de mantenimientos incorrectos y montajes defectuosos.

Tabla 19. Parámetros de mantenibilidad para datos Planeados.

MP distribución (días)	BETA	ETA	Probabilidad
47.72	0.98	47.36	63,5%

En la Figura 26 podemos observar la tendencia que tiene este indicador en el tiempo, después de aplicar la distribución Weibull.

Figura 26. MP obtenido con distribución Weibull



- CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD

Como se mencionó en este capítulo, la Disponibilidad a utilizar es la Disponibilidad Operacional, que se caracteriza por tener en cuenta los mantenimientos correctivos y programados, y los tiempos de demoras.

La disponibilidad Operacional está determinada por la ecuación 12 y sus términos están definidos por las ecuaciones 10 y 11 como se citó en el capítulo 2, las cuales se muestran a continuación.

$$\text{Disponibilidad Operacional} = A_o = \frac{MTBM}{MTBM + M'}$$

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

$$M' = \frac{\frac{MTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

Los indicadores utilizados para el cálculo de disponibilidad para el equipo del ejemplo se sintetizan en la Tabla 20.

Tabla 20. Indicadores para el cálculo de Disponibilidad.

INDICADOR	VALOR (Días)	DEFINICIÓN
MTBM <sub>c</sub>	669,67	Tiempo medio entre mantenimientos correctivos
MTBM <sub>p</sub>	960,74	Tiempo medio entre mantenimientos programados
MTTR	37,4	Tiempo medio para reparar
MP	47,72	Tiempo medio de mantenimientos
MTBM	394,61	Tiempo medio entre mantenimientos
M'	41,64	Tiempo activo de mantenimiento

Remplazando en la ecuación para disponibilidad operacional se obtiene como resultado para el equipo SP2704A una disponibilidad de 90.45% la cual es una disponibilidad relativamente alta, lo que muestra una buena gestión de mantenimiento, esto se debe probablemente a que comparados los tiempos entre mantenimientos (correctivos o programados) y los tiempos en que el equipo es intervenido, estos últimos son cortos; es decir, el equipo recupera rápidamente su estado de funcionamiento después de salir a una reparación o intervención programada.

A manera de reporte se muestra un resumen de los resultados para el equipo SP2704A en la siguiente tabla:

Tabla 21. Resultados índices CMD para el equipo SP2704A.

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2704A		MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIA- BILIDAD	669,67	22	0,53	368,3	25,34%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 22 meses, con una probabilidad de 25,34%. Este equipo presenta una tendencia de tasa de fallas decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallas de una forma correctiva para controlar fallas por materiales defectuosos ensambles inadecuados, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
	MAN- TENIBILIDAD	MTR' 37,40	MTR' 125	BETA 0,53	ETA 20,65	Probabilidad 74,57%		La curva de mantenibilidad muestra que los mttos correctivos demoraran alrededor de 1 mes y medio con una probabilidad de 75%. Aunque el TTR es alto, en relación con los tiempos operativos es corto, lo que se refleja en una buena disponibilidad. Se recomienda disminuir un poco los tiempos por medio de catalogación y gestión de repuestos, y estandarizarlos para una óptima disponibilidad.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIA- BILIDAD	960,74	32,02	0,52	515,27	25,09%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 25% los mttos planeados se programan cada 32 meses, éste es un tiempo muy largo y no es conveniente para predecir las fallas q puedan ocurrir, lo que puede reflejarse en tiempos muy largos del equipo operando en estados de falla. Se debe trabajar en esta mejora ya que esto podría generar decrecimiento en la vida útil del equipo.
	MAN- TENIBILIDAD	Mp' 47,72	Mp' 159	BETA 0,98	ETA 47,36	Probabilidad 63,49%		La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado para el equipo, se puede observar que existe una probabilidad del 63,5% de que los mantenimientos programados terminen antes de 48 días aproximadamente. Se tiene buen control de los tiempos, e ejecuciones muy cortas lo cual es muy bueno para tener una alta disponibilidad.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				90,5%				

## 5. PRONÓSTICOS

Los directores, gerentes y directivos y responsables de procesos industriales en las empresas centran gran parte de sus preocupaciones en conocer el estado futuro de sus ventas, de su demanda, de sus insumos, etc., y de todo aquello que signifique riesgo u oportunidad de alguna manera conocer dicho futuro, para lo cual invierten importantes cantidades de tiempo y dinero, con el fin de conocer cualquier tipo de signos del futuro que les permitan conocer el porvenir de sus organizaciones.

Las decisiones empresariales se toman de una forma acertada cuando se tiene un amplio conocimiento del estado futuro de sus compañías en los temas en los cuales se realizan las acciones gerenciales; es por esto que se requiere un tratamiento serio, pragmático y fácil de implementar por parte de los ejecutivos y directores de las áreas logísticas, de ingeniería financiera y demás relevantes en la compañía, de tal forma que la realización de estudios futurísticos sea una práctica al alcance de los industriales y/o comerciantes de bienes y servicios. (Mora,2007,17)

Los pronósticos son predicciones de lo que puede suceder o esperar que suceda, son premisas o suposiciones básicas en que se basan la planeación y la toma de decisiones; existen aquellos que se basan en un sin número de datos históricos que permiten conocer la tendencia futura; otros en cambio son empíricos y basados netamente en la experiencia. Las premisas a través de las cuales se establecen los pronósticos, permiten elaborar planes de acción y control. El pronóstico basado en un análisis de series de tiempo, recurre a las tendencias pasadas o presentes a fin de proyectar los acontecimientos futuros. Así, los registros de fallas en los últimos años

podrían servir para proyectar el patrón de fallas para el próximo año y ayudará a establecer en la máquina el control más adecuado según su comportamiento (ITLP@2006).

Los valores hallados de  $MTBMc$ ,  $MTBMp$ ,  $MTTR$ ,  $MTBM'$ ,  $MP$  y  $M'$ , permiten construir el futuro cercano que ocurre con el equipo analizado, se recomienda estimar hasta un 10% del tiempo evaluado y calculado, como máximo.

La forma de estimar el futuro cercano simulado, se hace con base en los tiempos entre reparaciones y mantenimientos obtenidos, respetando el evento que se dé primero si una reparación (correctiva o modificativa) o un mantenimiento planeado (preventivo o correctivo). (MORA, 2006,146).

Se debe tener en cuenta que cualquier evento nuevo que ocurra, trátase de un  $UT$ , de un  $TTR$  o de  $M_P$  puede cambiar significativamente los valores de los parámetros  $MTBMc$ ,  $MTBMp$ ,  $MTTR$  o  $M_P$  estimados en el cálculo previo anterior, como también pueden variar los  $\beta$ etas,  $E_{tas}$ ,  $MTBF$  o  $MTTR$ , lo que significa estar ante una situación muy diferente, que requiere nuevas estimaciones futuras de corto plazo.

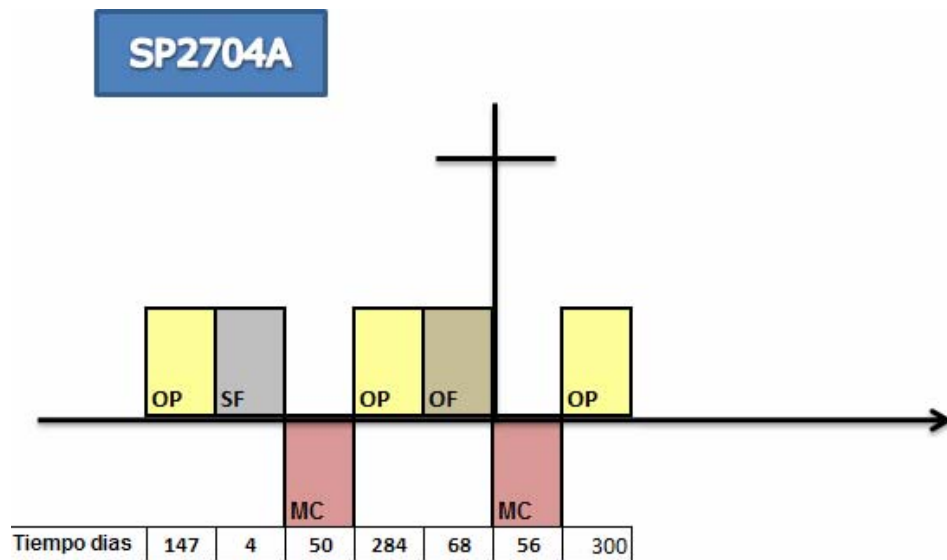
Se recomienda hacer nuevos cálculos cada vez que ocurre un nuevo ciclo que incluya al menos un  $UT$ , un  $MTTR$  y un  $M_P$ , o cada vez que se incremente el tiempo estudiado al menos en un diez por ciento. (Mora, 2007,144)

Algunas empresas avanzadas en el tema prefieren desarrollar paquetes informáticos que calculen siempre en tiempo real que en definitiva es lo más

recomendable, aunque todo depende de las necesidades en particular o de los recursos que se dispongan.

El pronóstico del 10% del tiempo evaluado para la bomba SP2704A se realizó teniendo en cuenta el hecho de que el equipo sale de un mantenimiento correctivo, y debería cumplir su tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) antes de la siguiente intervención; es decir, el equipo debería operar correctamente durante 616 días. Ya que el periodo evaluado (1 de enero de 2000 a 8 de febrero de 2008) corresponde a 2918 días, el pronóstico solo se hace alrededor de 300 días (10%) como se muestra gráficamente en la Figura 27.

Figura 27. Pronóstico para la bomba SP2704A



Se puede apreciar que la bomba a la fecha de los cálculos se encontraba en una reparación, siguiendo la tendencia de los tiempos medios entre mantenimientos tanto planeados como correctivos, se puede decir que la bomba debería operar sin problemas por los próximos 300 días (alrededor de 10 meses).

Los pronósticos para los equipos analizados en la planta de Cracking UOP I se muestran en su totalidad en el anexo E.

En el caso de mantenimiento, los pronósticos deben tratarse como una herramienta técnica y operativa, no siempre de estricto cumplimiento, ya que no dejan de ser aproximaciones futuristas de los sucesos que pueden ocurrir; pero que conllevan a planear estratégicamente las acciones que deben efectuarse en el presente para enfrentar las amenazas futuras o aprovechar las oportunidades pronosticadas.

## 6. CONCLUSIONES

- Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto y teniendo en cuenta que se trató de un proyecto piloto fue necesario limitar el ejercicio escogiendo una planta y seleccionando un número determinado de equipos para realizar el estudio y cálculo de indicadores CMD. La planta seleccionada fue la planta de Cracking UOP I la cual cuenta con 148 equipos rotativos de los cuales el análisis se realizó a 23 de ellos; fueron seleccionados por tener la mejor calidad de datos y mayor cantidad de eventos registrados en el historial de mantenimiento.
- Se realizó un estudio del sistema de información para la administración del mantenimiento de la Refinería de Barrancabermeja analizando la calidad de los registros y la confiabilidad de los mismos, donde se identificaron debilidades y carencias para la información registrada antes del año 2000; por lo cual, para el desarrollo, se trabajó con reportes desde 1 de enero de 2000 al 8 de febrero de 2008.
- A partir de la información obtenida del reporte tasa de falla para los equipos rotativos de la empresa, se seleccionó la disponibilidad operacional para realizar los cálculos de índices CMD, debido a que en el sistema de información Ellipse se discrimina los mantenimientos correctivos de los planeados y registra tiempos de demora en la intervención del mantenimiento; lo cual cumple con los requerimientos para utilizar ésta disponibilidad.

- A partir de los tiempos en estado de funcionamiento y estados de falla registrados en Ellipse para los equipos analizados, se elaboró el perfil de funcionalidad para cada uno de ellos, lo cual permitió ver de forma gráfica el comportamiento de los equipos y hacer un mejor análisis de las prácticas de mantenimiento que se ejecutan sobre cada uno de ellos.
- Se desarrolló una aplicación en el programa Excel para traducir la información del reporte tasa de falla a tiempos demarcados por el perfil de funcionalidad del equipo, y calcular índices CMD utilizando distribución Weibull, la cual brinda una alta exactitud por tratarse de una herramienta estadística mucho más fundamentada que un cálculo por promedios. Esta aplicación muestra como resultado los parámetros propios de la distribución Weibull (Beta y Eta), los indicadores de confiabilidad MTBMc y MTBMp, los indicadores de mantenibilidad MTTR y Mp, las gráficas de confiabilidad y mantenibilidad para eventos correctivos y planeados y el resultado de la disponibilidad operacional para cada equipo.
- Se realizaron recomendaciones de la estrategia de mantenimiento a seguir para cada equipo estudiado, con base en la interpretación de los resultados obtenidos para los parámetros Beta ( $\beta$ ) y Eta ( $\eta$ ) de la distribución Weibull, para los tiempos entre mantenimientos correctivos y planeados (MTBMc y MTBMp), para los tiempos de reparaciones (MTTR) y para los tiempos de duración mantenimientos programados Mp.

- Se realizaron estimaciones del futuro cercano (pronósticos) para los equipos analizados con base en los tiempos operativos y tiempos en falla resultantes del cálculo de indicadores, respetando el evento que se dé primero si una reparación (correctiva o modificativa) o un mantenimiento planeado (preventivo o predictivo).
- La estimación de los índices CMD presenta la virtud de poder planear las actividades de mantenimiento, basados en un análisis estadístico confiable, lo que permite disminuir los costos en la planeación de actividades. Igualmente para la producción es ventajoso, pues se puede saber con antelación los tiempos en que se tendrá una disponibilidad estimada para generar bienes con el equipo analizado.
- Este trabajo de grado, permitió un contacto directo con la industria petrolera y negocios afines, y la aplicación de técnicas modernas de mantenimiento para hacer a la empresa más competitiva aplicando los conocimientos adquiridos en la academia y así contribuir con una participación más activa de la universidad en el campo industrial.

## BIBLIOGRAFÍA

Clásica

**MORA, Luis Alberto.** Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: Un enfoque Sistémico Kantiano. Medellín: AMG Editores. 2006. ISBN: 958-33-8218-3.

\_\_\_\_\_, **Alberto Gutiérrez. - Toro, Juan C. - Céspedes, Pedro.** - Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación. II Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI. – Quito – Ecuador. - Julio 23, 2001

**CÉSPEDES, Pedro Alejandro – TORO OSORIO, Juan Carlos – MORA, GUTIÉRREZ, Luis Alberto** (Director). Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica – Universidad EAFIT – Medellín – Colombia – 2003.

**AVEN, T.** Availability Formula for Stand By Systems of similar Units that are presently maintained. IEEE Vol 39 No. 5. Diciembre de 1999.

**BARRINGER H, Paul.** Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. P.E. Barringer & Associates. Inc. Humble. – TX. – New York. - NY. – USA. - 1996.

**BLANCHARD, Benjamín S. – VERMA, Dinesh – PETERSON, Elmer – A** Key To Effective Serviceability And Maintenance Management. Edit. Wiley

Interscience -Wiley, John & Sons, Incorporated. Series nuevas dimensiones en Ingeniería. USA – December – 1995 - ISBN: 0486438678.

**DÍAZ, Ángel Matalobos.** Confiabilidad en mantenimiento. Ediciones IESA, C.A. Caracas – Venezuela. 1992 – ISBN: 980-271-068-2.

**DOUNCE, Enrique Villanueva.** La productividad en el mantenimiento Industrial. Compañía Editorial Continental, S.A. de CV. Segunda Edición. México, DF. México. 1998 – ISBN: 968-26-1089-3.

**EBELING, Charles E.** An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Waveland Press, Inc. New York. USA. 2005. ISBN: 1577663861.

**GNEDENKO, Boris Vladimirovich - USHAKOV, Igor A.** (Traductor). Probabilistic Reliability Engineering. Editorial John Wiley & Sons, Inc. New York. USA. 1995. ISBN 0471305022.

**JARAMILLO, Juan Felipe Álvarez. – GONZÁLEZ, Germán Esteban Calle.** Implementación de un Sistema CMD en la Máquina Formadora de Cristalería Peldar S.A. Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia 2004.

**VALLEJO, Juan Santiago Jaramillo–** mora, Alberto Gutiérrez (director) - desarrollo,  
Validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD - trabajo de fin de carrera de  
de  
Ingeniería mecánica – universidad eafit – Medellín – Colombia – 2004.

**MEDINA, Sandra Milena.** - Implementación de los Índices CMD en la engomadora Sucker Muller de Textiles Fabricato Tejicolor S.A. – Medellín. – Colombia. - 2006. - Trabajo De Grado ( Ingeniería Mecánica).- Universidad EAFIT.

**CÉSPEDES, Lucas y MEJÍA Santiago** – Implementación de un sistema de indicadores para la gestión de mantenimiento de una empresa textilera - Medellín. – Colombia. - 2005. - Trabajo De Grado ( Ingeniería Mecánica).- Universidad EAFIT.

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

**NACHLAS, Joel.** Fiabilidad. Madrid, España: Isdefe. 1995.

**NAVARRO, Luis Elola – PASTOR, Ana Clara Tejedor – MUGABURU, Jaime Miguel Lacabrea.** Gestión integral de mantenimiento. Marcombo Boixerau Editores. Colección Productiva. Barcelona. España.1997. ISBN: 84-26711219.

**RAMAKUMAR, Ramachandra.** Engineering Reliability. Fundamentals and Applications. Editorial Prentice-Hall Professional Technical. New Jersey. USA. December. 1996 ISBN: 0132767597.

**RODRÍGUEZ, Alberto García. - HENAO, John Harvey. - GONZÁLEZ, Juan Camilo. -VALLEJO JARAMILLO, Juan Santiago – GONZÁLEZ, Juan Sebastián Duque. – CASTAÑEDA, Leonel Francisco Heredia – MORA,**

**Alberto Gutiérrez.** Diseño Para La Medición De Confiabilidad, Mantenibilidad Y Disponibilidad De Equipos En Mantenimiento Industrial. Informe Final de Investigación. Medellín. Colombia. Universidad Eafit. 2004.

**VALLEJO, Juan Santiago Jaramillo – MORA, Alberto Gutiérrez (Director).** Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD. Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia 2004.

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

**FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro.** Bombas Centrifugas y Volumétricas – Universidad de Cantabria - Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética – PDF.

Internet

**EIE@2008.**

Tomado de las páginas web:

<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Gestion%20de%20la%20calidad/Mantenimiento%20industrial.pdf>

<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Gestion%20de%20la%20calidad/mantenimiento-industrial.doc>

[http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Gestion%20de%20la%20calidad/AMFE\\_Analisis%20modal%20de%20fallos%20y%20efectos.pdf](http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Gestion%20de%20la%20calidad/AMFE_Analisis%20modal%20de%20fallos%20y%20efectos.pdf)

**CYBERTESIS@2008**

Disponible en las páginas:

[http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/alarcon\\_m/html/index-frames.html](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/alarcon_m/html/index-frames.html)

[http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/masias\\_i/html/index-frames.html](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/masias_i/html/index-frames.html)

### **INGENIERÍAYMANTENIMIENTO@2008.**

Tomado de la página web:

<http://www.ingenieriyantenimiento.com/index.php?id=10>

### **KLARON@2008**

Indicadores de Confiabilidad Propulsores en la Gestión del Mantenimiento. Luis Amendola, Ph.D. Universidad Politécnica Valencia España. Dpto. Proyectos De Ingeniería. Publicado en [www.klaron.net](http://www.klaron.net).

### **SELINC@2008**

Indicadores de Falla y Análisis de Falla, 2006, disponible en la página:

<http://selinc.com.mx/indicadores.html>.

### **SOLOMANTENIMIENTO@2008**

Tomado de la página web:  
[http://www.solomantenimiento.com/m\\_correctivo.htm](http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm),

### **ELLIS@1999**

Ellis, Hernan. Principles of the transformation of the maintenance function to world class standards of performance – disponible en internet en:

<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezine/principles.htm>  
- USA

### **MMP@2008**

Productos de mantenimiento moderno

<http://www.mmpvenezuela.com/mmp/terotecnologia.html>



### **RAE @, 2006.**

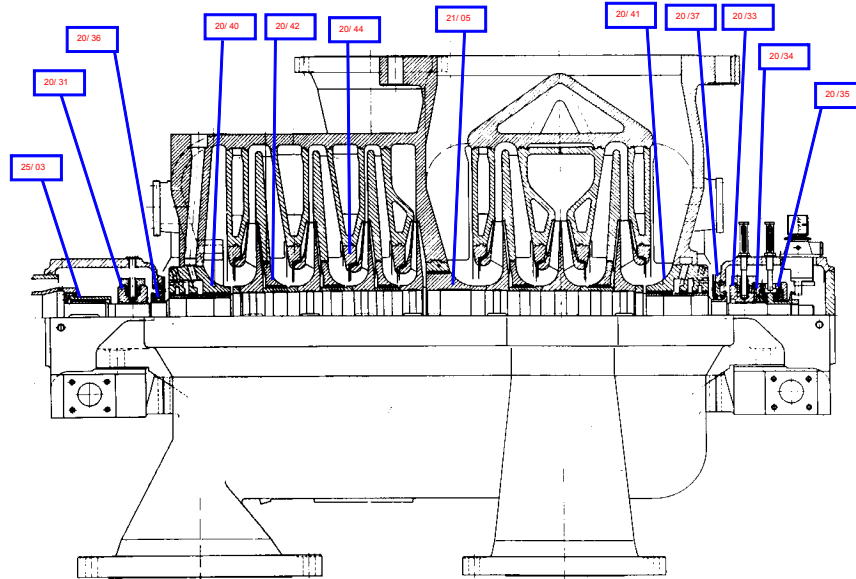
Tomado de la página web de la Real Academia de la Lengua Española,  
<http://www.rae.es/>



## **ANEXOS**

Anexo A. Data Sheet de Compresores y Bombas Centrifugas de la planta UOP I

		PIT-00-F-075		DATA SHEET PARA COMPRESORES CENTRIFUGOS																																																																											
GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA				PLANT: CRACKING UOP I		TAG SC2752A																																																																									
PROJECT:	UNIT: 2700	DOC. TYPE:	PROGR:	SHEET 1 OF 1	DATE:																																																																										
<b>ACCESSORIES</b>																																																																															
<b>Coupling and Guards</b> <b>Note: See Rotating Elements-Shaft Ends</b> <input type="checkbox"/> See Attached API-671 Coupling Furnished by <u>THOMAS DBZ</u> MFR <u>KOP-FLEX</u> Type <u>Engranajes Flexibles</u> Coupling Guard Furnished by <u>GHH</u> Type <u>GDZ 5.6/6</u>				<b>Mounting Plates</b> Baseplate furnished by <u>GUTTE HOFFNUNGSHUTTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> Compressor Only <input checked="" type="checkbox"/> Driver <input type="checkbox"/> Gear <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/> Drip Rim <input type="checkbox"/> Leveling Pads <input type="checkbox"/> Column Mounting <input type="checkbox"/> Sub-Sole Plates Req'd <input checked="" type="checkbox"/> Stainless Steel Shim Thickness Primer For Epoxy Grout Req'd _____ Type _____ Soleplates Furnished by <u>GHH</u> Thickness _____ in <input type="checkbox"/> Subsole Plates Req'q <input type="checkbox"/> Leveling(chock)Blocks required Stainless Steel Shim Thickness-Inches _____ <input checked="" type="checkbox"/> Driver <input type="checkbox"/> Gear <input type="checkbox"/> Compressor <input type="checkbox"/> Primer for Epoxy Grout Req'd _____ Type _____																																																																											
<b>Coupling Details</b> Max. OD _____ in Hub Weight _____ Lbs Spacer Length _____ in Spacer Weight _____ Lbs Vendedor Mount Half Coupling _____ Lubricating Requirements <input type="checkbox"/> Non Lube <input checked="" type="checkbox"/> Grease <input type="checkbox"/> Cont.Oil Lube <input type="checkbox"/> Other				<b>UTILITIES</b>																																																																											
<b>Utility Conditions</b> See Project Design Data				<b>Total Utility Consumption</b> See Utility Data Sheet																																																																											
<b>Shop Inspection and Test</b> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="text-align: center; width: 5%;">Req'd</td> <td style="width: 45%;"></td> </tr> <tr> <td>Cleanlines</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hydrostatic</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Impeller Overspeed</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mechanical Run</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Contract Coupling <input type="checkbox"/> Idling Adaptador(s)</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Contract Probes <input checked="" type="checkbox"/> Shop Probes</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vary Lube &amp; Seal Oil Pressures and Temperatures</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Polar Form Vib Data</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tape Record Vib Data</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tape Data to Purchaser</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>					Req'd		Cleanlines	<input checked="" type="checkbox"/>		Hydrostatic	<input checked="" type="checkbox"/>		Impeller Overspeed	<input type="checkbox"/>		Mechanical Run	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Contract Coupling <input type="checkbox"/> Idling Adaptador(s)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Contract Probes <input checked="" type="checkbox"/> Shop Probes	<input type="checkbox"/>		Vary Lube & Seal Oil Pressures and Temperatures	<input checked="" type="checkbox"/>		Polar Form Vib Data	<input checked="" type="checkbox"/>		Tape Record Vib Data	<input checked="" type="checkbox"/>		Tape Data to Purchaser	<input type="checkbox"/>		<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="text-align: center; width: 5%;">Req'd</td> <td style="width: 45%;"></td> </tr> <tr> <td>Shaft Ends Seal Insp.</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gas Leak Test Disch Press</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Before <input checked="" type="checkbox"/> After Post Test Inspection</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Performance test(Gas)(Air)</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Complete Unit Test</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torsional Vib Meas</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tandem Test</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gear Test</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Helium Leak Test</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sound Level Test</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Full Load/Speed/Press Test</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hydraulic Coupling Insp</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>					Req'd		Shaft Ends Seal Insp.	<input checked="" type="checkbox"/>		Gas Leak Test Disch Press	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Before <input checked="" type="checkbox"/> After Post Test Inspection	<input type="checkbox"/>		Performance test(Gas)(Air)	<input checked="" type="checkbox"/>		Complete Unit Test	<input type="checkbox"/>		Torsional Vib Meas	<input type="checkbox"/>		Tandem Test	<input type="checkbox"/>		Gear Test	<input type="checkbox"/>		Helium Leak Test	<input checked="" type="checkbox"/>		Sound Level Test	<input type="checkbox"/>		Full Load/Speed/Press Test	<input type="checkbox"/>		Hydraulic Coupling Insp	<input type="checkbox"/>	
	Req'd																																																																														
Cleanlines	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Hydrostatic	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Impeller Overspeed	<input type="checkbox"/>																																																																														
Mechanical Run	<input type="checkbox"/>																																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> Contract Coupling <input type="checkbox"/> Idling Adaptador(s)	<input type="checkbox"/>																																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> Contract Probes <input checked="" type="checkbox"/> Shop Probes	<input type="checkbox"/>																																																																														
Vary Lube & Seal Oil Pressures and Temperatures	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Polar Form Vib Data	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Tape Record Vib Data	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Tape Data to Purchaser	<input type="checkbox"/>																																																																														
	Req'd																																																																														
Shaft Ends Seal Insp.	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Gas Leak Test Disch Press	<input type="checkbox"/>																																																																														
<input type="checkbox"/> Before <input checked="" type="checkbox"/> After Post Test Inspection	<input type="checkbox"/>																																																																														
Performance test(Gas)(Air)	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Complete Unit Test	<input type="checkbox"/>																																																																														
Torsional Vib Meas	<input type="checkbox"/>																																																																														
Tandem Test	<input type="checkbox"/>																																																																														
Gear Test	<input type="checkbox"/>																																																																														
Helium Leak Test	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																														
Sound Level Test	<input type="checkbox"/>																																																																														
Full Load/Speed/Press Test	<input type="checkbox"/>																																																																														
Hydraulic Coupling Insp	<input type="checkbox"/>																																																																														
<b>Miscellaneous</b> <input type="checkbox"/> Recommended Straight Run of Pipe Diameters Befor Suction _____ <input checked="" type="checkbox"/> Vendedor's Review & Comments on Purchaser Piping & Foundation <input checked="" type="checkbox"/> Compressor to be Suitable For Field Run in on air <input type="checkbox"/> Vendedor's Review & Comments on Purchase'r Control System Provision for Liquid Injection _____ Extent of Proces Piping by Vendedor _____ <input type="checkbox"/> Shop Fitup of Vendor Process Piping Welding Hardness Testing _____ <input type="checkbox"/> Auxiliary equipment Motrs explosion proof				<b>Weights (Lbs)</b> Compr _____ Gear _____ Driver _____ Base _____ Rotors: Compr _____ Driver _____ Gear _____ Compressor Upper Case _____ Sour Seal Oil Traps _____ Lo.Console _____ So.Console _____ Overhead Seal Oil Tanks _____ Max for Maintenance (Identify) _____ Total Shipping Weight _____																																																																											
				<b>Space Requirements(ft &amp; in)</b> Complete Unit L _____ W _____ H _____ Lo.Console L _____ W _____ H _____ S.O.Console L _____ W _____ H _____ Sour Seal Oil Traps L _____ W _____ H _____ Overhead Seal Oil Tanks L _____ W _____ H _____																																																																											
<b>Notes:</b> (1) Datos a condiciones de diseño (2) Condiciones para máxima carga, datos del año 1987 (3) Condiciones actuales (Primer Semestre del 2000) (4) Realmente el dato es la velocidad mínima crítica (5) Realmente el dato es la velocidad máxima crítica. (6) Se ha recomendado cambiar el tipo de chumaceras, por el tipo dados oscilante. (7) Se ha recomendado utilizar Sello Seco (8) Los Sensores de Temperatura de las Chumaceras son tipo RTD (9) A condiciones actuales el peso molecular del gas manejado por el compresor es inferior al del gas de diseño, por tal razón fue necesario elaborar una curva de Caudal Vs Elevación de la presión, tomando como base los datos de la curva para los que originalmente se diseño el compresor. La nueva curva se encuentra como Anexo a este Data Sheet (10) Otras condiciones como: Alta temperatura ambiente y humedad, Gases, Vapores y atmosfera Corrosiva.																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">Rev</th> <th style="width: 25%;">Description</th> <th style="width: 5%;">Date</th> <th style="width: 5%;">Prd.</th> <th style="width: 5%;">Ckd.</th> <th style="width: 5%;">App.</th> <th style="width: 5%;">Rev</th> <th style="width: 25%;">Description</th> <th style="width: 5%;">Date</th> <th style="width: 5%;">Prd.</th> <th style="width: 5%;">Ckd.</th> <th style="width: 5%;">App.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>								Rev	Description	Date	Prd.	Ckd.	App.	Rev	Description	Date	Prd.	Ckd.	App.																																																												
Rev	Description	Date	Prd.	Ckd.	App.	Rev	Description	Date	Prd.	Ckd.	App.																																																																				



C-2752A LISTA GENERAL DE PARTES

ver dibujo: M60.2401.167

SELLOS Y LABERINTOS						
20/40	caja de sello, lado acople	M63.2041.73	1	453845	1	20/40 y 20/41 tienen el mismo plano; se
20/41	caja de sello, lado empuje	M63.2041.73	1	453852	1	pueden unificar en un solo código mins
20/36	deflector aceite lado acople		1	453779	0	
20/37	deflector aceite lado empuje		1	453787	2	verificar en bodega
20/42	laberintos del eje		1st	453753	0 st	1set = 5 laberintos. #1(4ea), #2(1ea). Verificar en bodega
	laberinto #1 (330 X 178 X 68)	M64.2042.100.01	4	.....		
	laberinto #2 (330 X 178 X 65)	M64.2042.100.02	1	.....		
20/44	laberintos succion impulsores		1 set	453761	0	1set = 8 laberintos. Verificar en bodega.
	laberinto #6 (430 X 292 X 40)	M64.2044.144.18	2	.....		
	laberinto #5 (430 X 304 X 40)	M64.2044.144.16	2	.....		
	laberinto #4 (430 X 302 X 40)	M64.2044.144.11	1	.....		
	laberinto #3 (430 X 285 X 40)	M64.2044.144.09	1	.....		
	laberinto #2 (430 X 266 X 40)	M64.2044.144.02	1	.....		
	laberinto #1 (430 X 256 X 40)	M64.2044.144.01	1	.....		
21/05	laberinto del tambor intermedio	M63.2105.93	1	453738	1	verificar en bodega

CHUMACERAS

Nota: el diámetro original del eje es 80.0 mm lado acople y 70.0 mm lado empuje; al parecer los diámetros tuvieron que ser maquinados. El rotor que reparó Mauro Cabano tiene los siguientes diámetros: LA 79.56 mm (2.7395") y LE 69.58 mm (3.1325"). Las chumaceras actuales son under-size. La chumacera 453696 tiene el diámetro original (70 mm) y no se debe reordenar.

20/33	chumacera axial-radial lado empuje		1	453704	8	SIDE UNDER SIZE 69,596 MM SHAFT DIA
20/34	dados chumacera axial interior		1 set	453712	2 set	Chequear el set
20/35	dados chumacera axial exterior		1 set	453720	2 set	Chequear el set
20/31	chumacera radial lado acople		1	453688	0	UNDER SIZE 79.527 mm. SHAFT DIAMETER
	20/33: chumacera axial-radial lado empuje		nota	453696	0	No reordenar. Dia: 70 mm. Esta chumacera era para el diámetro original del eje.
	RTD para chumaceras radiales		2	819920		una RTD por cada chumacera

ROTOR

	rotor					existe un rotor de repuesto pero no hay código Mins
--	-------	--	--	--	--	---

LAMINILLAS DE ACERO PARA LABERINTOS

20/40	caja de sello, LA (estacionario)					
20/40	caja de sello, LA (rotativo)					
20/41	caja de sello, LE (estacionario)					
20/41	caja de sello, LE (rotativo)					
20/42	laberintos del eje			453829	1set	chequear en bodega
20/44	laberintos succion impulsores			453837	1set	chequear en bodega
21/05	tambor intermedio (estacionario)					
21/05	tambor intermedio (rotativo)					

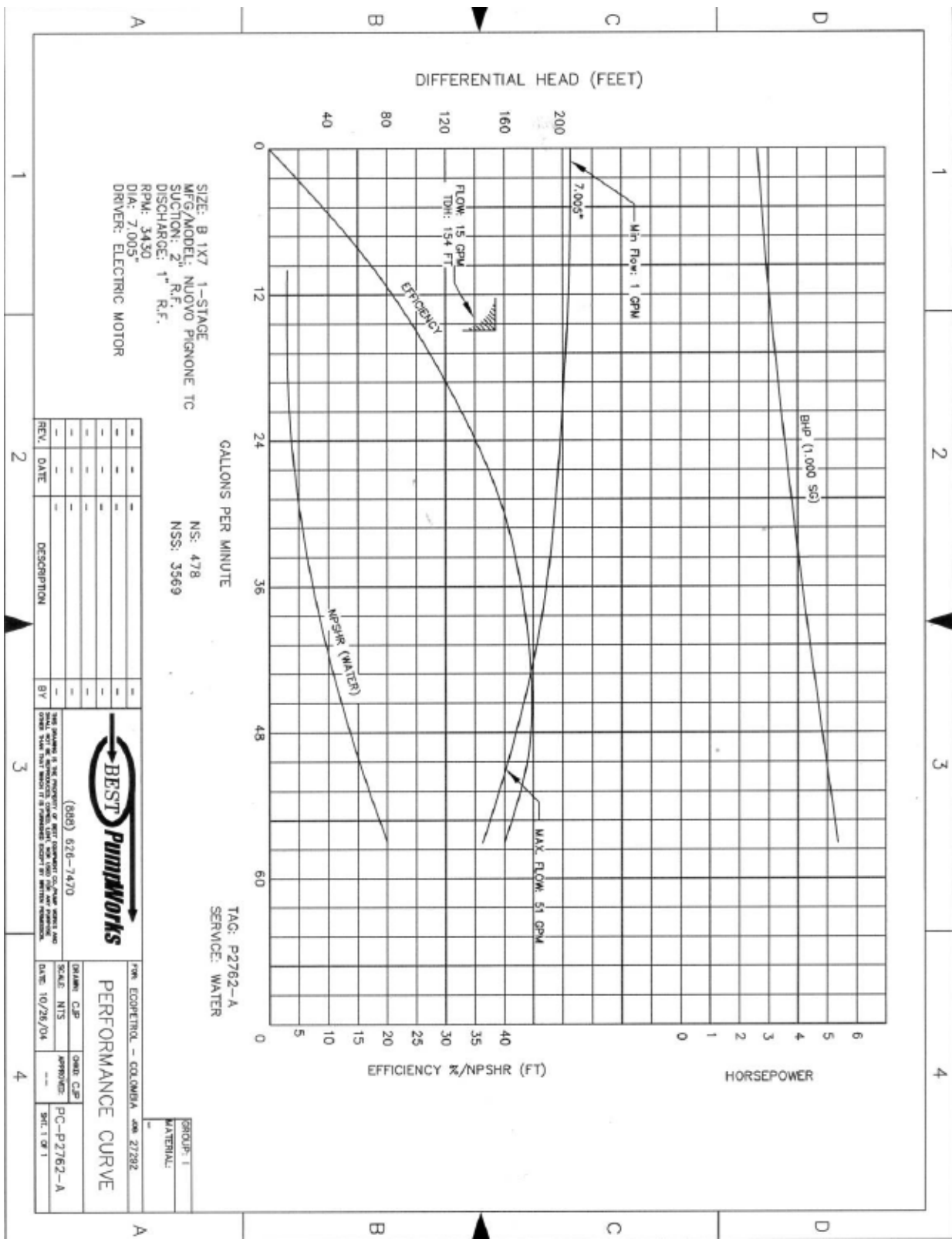


PIT-00-F-014

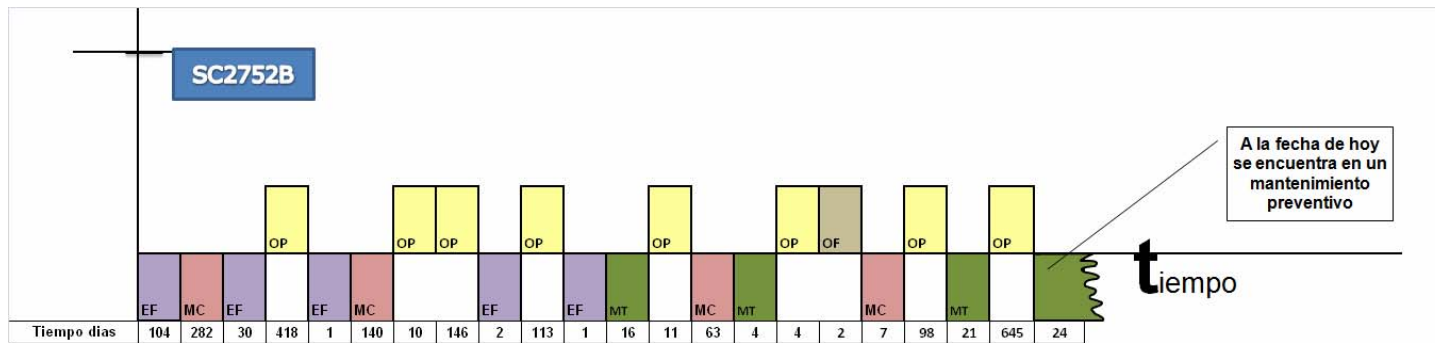
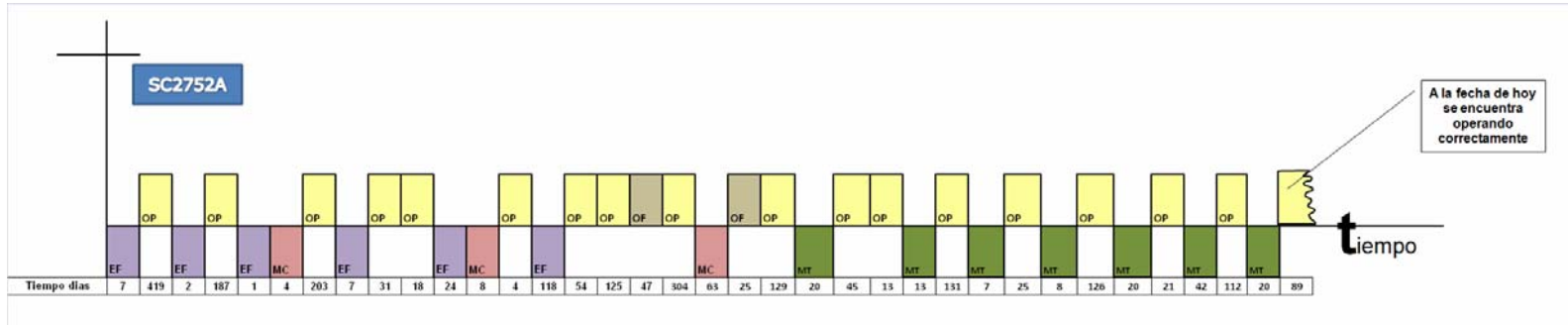
DATA SHEET PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

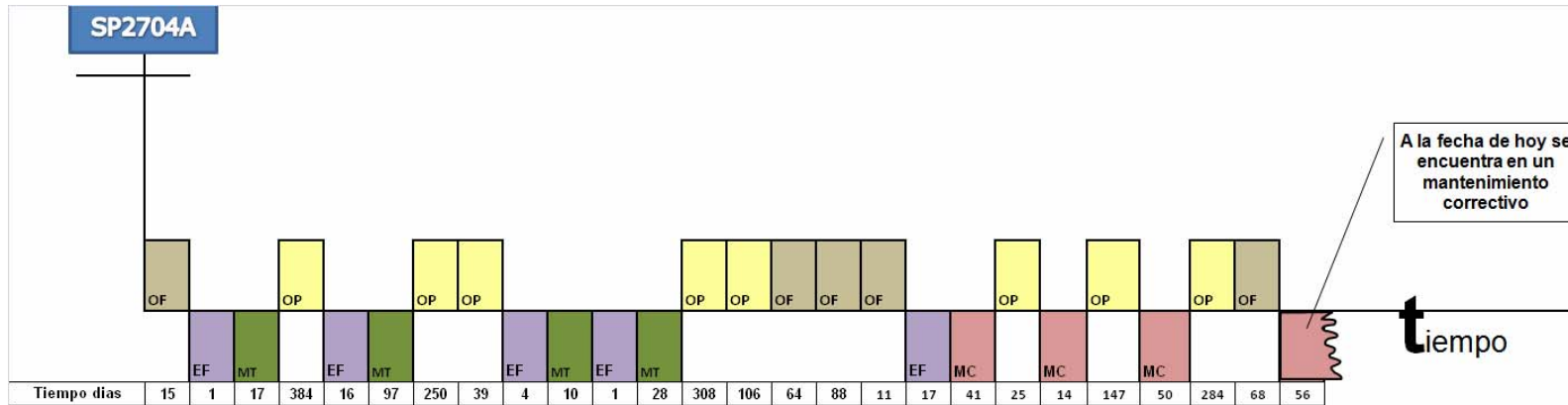
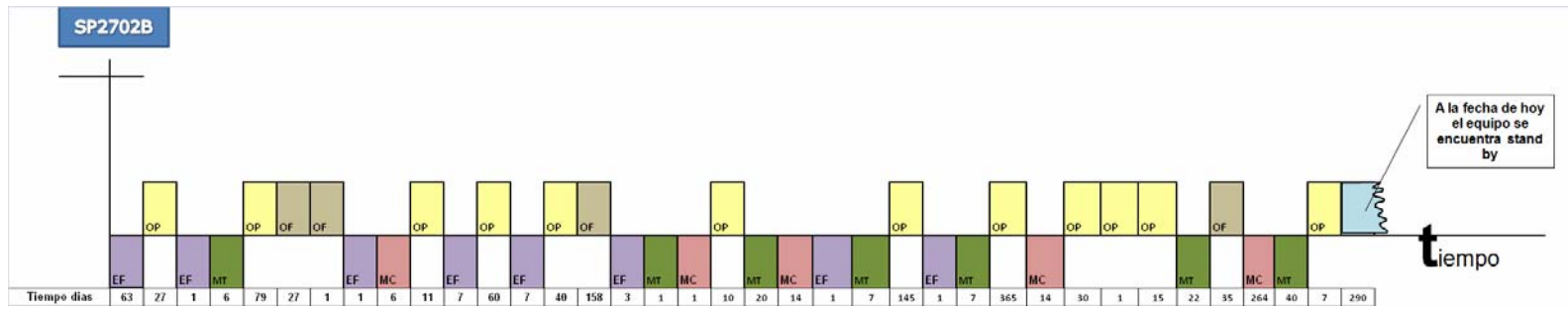
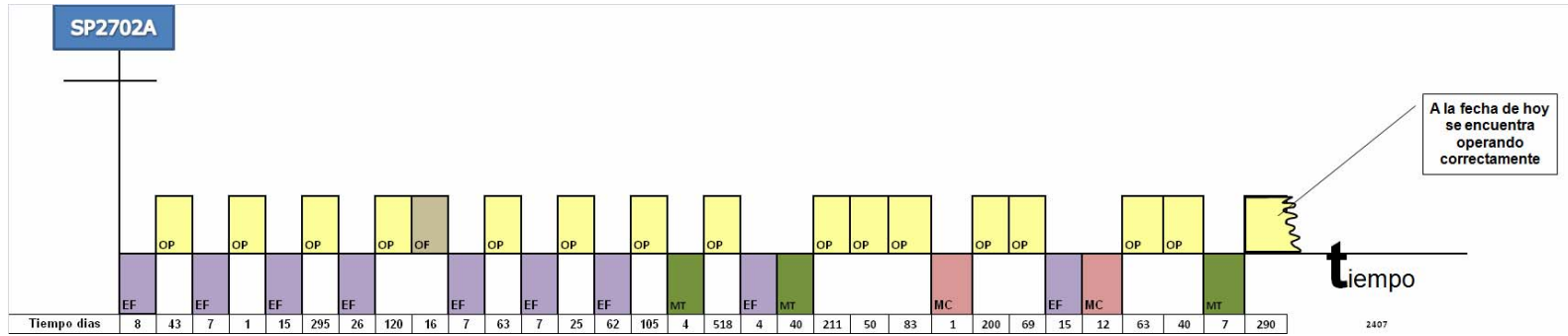


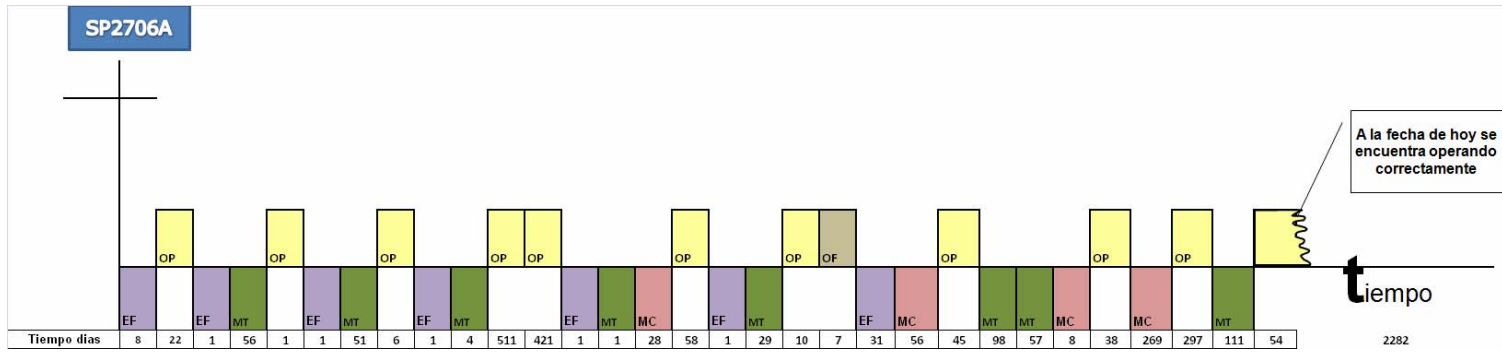
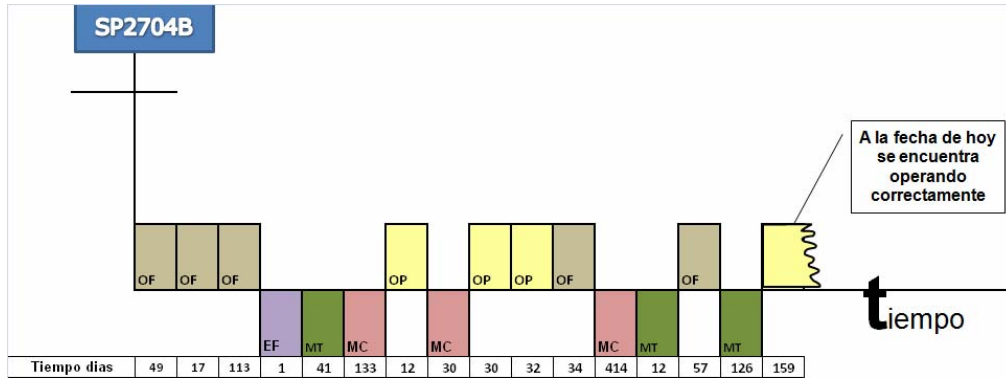
GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA				PLANT: CRACKING UOP I				TAG: P2762			
PROY	UNIT: CRK BAL	DOC. TYPE: XLS	PROGR:	REV. 7	SHEET 1	OF 1	DATE: Ene-01				
For RECIRCULACIÓN DE SODA No. Req. d. 2								Item P2762			
Main/Driver P2762A MOTOR		Spare/Driver P2762B STEAM TURBINE		MFR 0810-01							
Pump MFR GOULD		Size and Type 8"1*7 TC		<input checked="" type="checkbox"/> Horiz. <input type="checkbox"/> Vert. <input type="checkbox"/> In-line							
OPERATING CONDITIONS						PERFORMANCE					
Service Soda al 10%		Location <input checked="" type="checkbox"/> Indoor <input type="checkbox"/> Outdoor		Proposal Curve No. 501 / 74-47							
Disch Press. Psig 457		GPM at PT Norm. 12 Rated 15		NPSH Req.d. (water) F 3							
Diff. Press. Psi 25		Suct. Press Psig Max. Rated 432		No. of Stages 1 rpm 3430							
Diff. Head. Ft 55		NPSH Avail. Ft 20		Rated Power (BHP) 2,2 Eff % 22							
LIQUID						Max Power Rated Impeller Hp 1,3					
Type of liquid <input checked="" type="checkbox"/> Liquid <input type="checkbox"/> Hazardous <input type="checkbox"/> Flammable		Name of liquid Soda cáustica		Suction Specific Speed 11604,74							
Sp. Gr. at PT 1,05		PT °F 100		Min. Continuous Flow(GPM) 5							
Vis at PT cSt 1,09		V. Press. at PT psia 1		Allowable Operating Region(GPM)							
Corr./Eros. caused by Soda cáustica				Max. Head Rated Imp. Ft 62							
Flow Controlled by: <input type="checkbox"/> LC <input type="checkbox"/> TC <input type="checkbox"/> PC <input type="checkbox"/> FC				Rotation Facing Coupling end C.C.W							
CONSTRUCTION						Max Sound Press.Level.Requid					
Applicable standard <input checked="" type="checkbox"/> API 610 8th Edition <input type="checkbox"/> API 682 1rs Edition				Cooling Water Plan							
Casing Mounting <input checked="" type="checkbox"/> Centerline <input type="checkbox"/> Foot <input type="checkbox"/> Bracket				Total Water Flushing 11,62 Plan /62							
<input type="checkbox"/> Vertical <input type="checkbox"/> In line				External Fluid Seal Flush No Quench. Water							
Split <input type="checkbox"/> Axial <input type="checkbox"/> Radial				Aux. Piping by MFR <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Aux. Accessory by MF							
Type <input checked="" type="checkbox"/> Single Volute <input type="checkbox"/> Double Volute <input type="checkbox"/> Diffuser <input type="checkbox"/> Staggered				Stuffing Box Pressure psig							
Tapped Openings <input checked="" type="checkbox"/> Vent <input checked="" type="checkbox"/> Drain <input type="checkbox"/> Gage				Starting Torque Curve							
NOZZLES						MATERIALS : API CLASS					
Suction Size in. 2 Rating 300 Facing RF Position END				Impeller Cast Iron							
Discharge Size in. 1 Rating 300 Facing RF Position TOP				Inner Case Parts Cast Iron							
Impeller Diam. in. Rated 4 1/8 Max. 7 Min. 4 1/8 Type Closed				Sleeve (Packed)							
Impeller: <input type="checkbox"/> Overhung <input type="checkbox"/> Between Bearings <input type="checkbox"/> Single Suction <input type="checkbox"/> Double Suction				Casing / Barrel Cast steel							
Bearing: Radial SKF 6310 Thrust SKF 5310 NRWL				Sleeve (Seal) SS 316							
Lubr. <input type="checkbox"/> Lubrication Mist Facilitie				Wear Parts Casing Cast Steel							
Coupling: MFR Type Thomas DBZ 163 Flexible				Wear Parts Imp. Cast Iron							
Spacer Guard MDT by				Shaft AISI 4140							
<input type="checkbox"/> Packing :MFR Size in. No. of Rings				SHOP TEST							
<input checked="" type="checkbox"/> Mech. Seal :MFR SEALOL 670 LHC 1 3/4" Class Code				Running Perf. YES							
Vertical Shaft Trust lb. Max. Norm.				Disassembly YES							
Casing Min. Thick/Corr. Allow. in Baseplate				NPSH NO							
<input type="checkbox"/> Suction Pressure Regions Must Be Desing for MAWP(Max.Allowable Working Presure)				Hydro. PSIG 900							
AUXILIARY PIPING						Case MAWP PSIG 600 at 800 °F					
Flushing <input type="checkbox"/> Tubing <input type="checkbox"/> Pipe <input type="checkbox"/> Screwed <input type="checkbox"/> Seal Weld				Design: Press. PSIG 505 Temp. 250 °F							
<input type="checkbox"/> Carb. Steel <input type="checkbox"/> Stainl. Steel <input type="checkbox"/> Flanged				Weights: Pump lb. + Base LBS 500							
Cool. Water <input checked="" type="checkbox"/> Tubing <input type="checkbox"/> Pipe <input type="checkbox"/> Carb. Steel <input type="checkbox"/> Stainl. Steel				Motor lb. Turbine lb.							
Tot. lb.											
MOTOR DRIVER BY:			TURBINE DRIVER BY:			REQUIRE MFR FINAL DATA (AS BUILT)					
Item MP2762			Item NP2762			Actual Impeller Diam. in.					
HP 3 rpm 1750 Frame 182T			HP 2 rpm 3430 Mat'l			Test Curve No.					
MFR			MFR, Type COPPUS 12M			Outline Dwg No					
Type Enc. TEFC			Inlet Steam PSIG 150 °F 400			Pump Sect Dwg. No.					
Insul.			Exhaust PSIG 55 CW req.d			Seal Dim Dwg No.					
Volt/Phase/Cycle 460/3/60			Steam Rate Lb / HP h			Pump Serial No					
Bearings Lube			Bearings Lube OIL			W.R. Clearance Diam. in.					
<input type="checkbox"/> Lubrication Mist Facilitie			NOZZLES			(Mech. Seal)(Packing)shipped					
Full Load Amps 4,8			Inlet			<input checked="" type="checkbox"/> installed <input type="checkbox"/> Boxed Separately					
Serviced Factor			Exhaust								
NOTES: (1) MATERIAL CLASS S-3 EXCEPT IMPELLER											
(2) PROVIDE CLEAN WATER FLUSH THAN QUENCH AND DRAIN CONNECTIONS IN SEAL PLATE											
SAP	P2762	Feb-08									
Rev	Description	Date	Prd.	Ckd.	App.	Rev	Description	Date	Prd.	Ckd.	App.

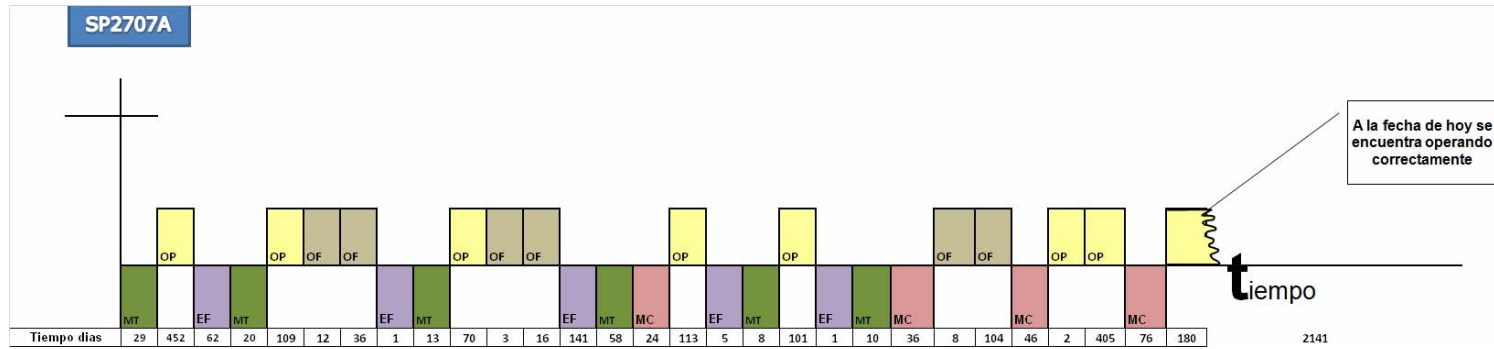
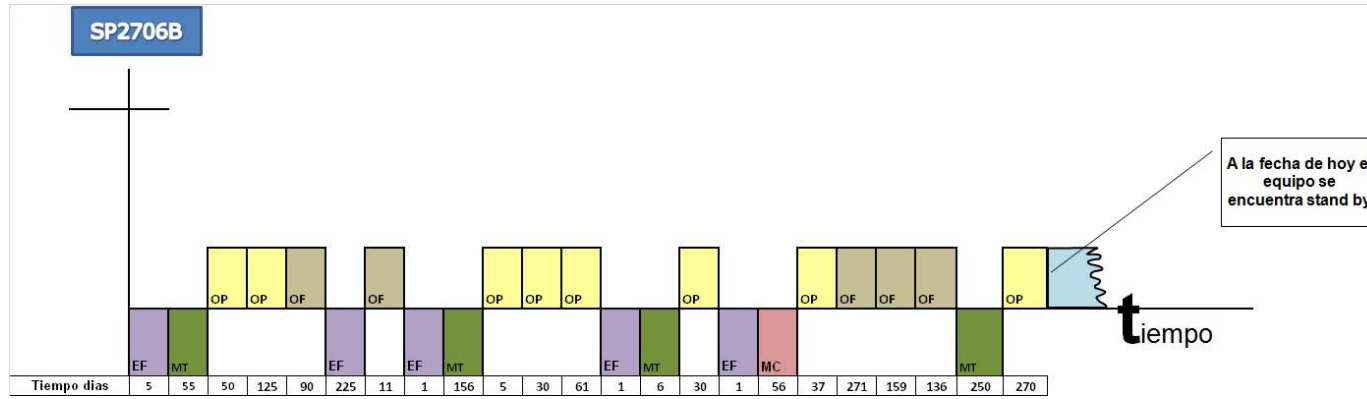


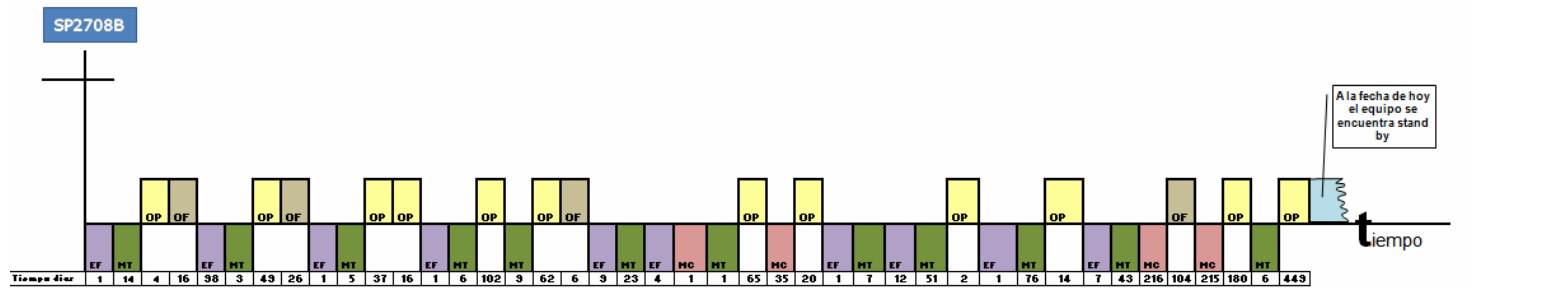
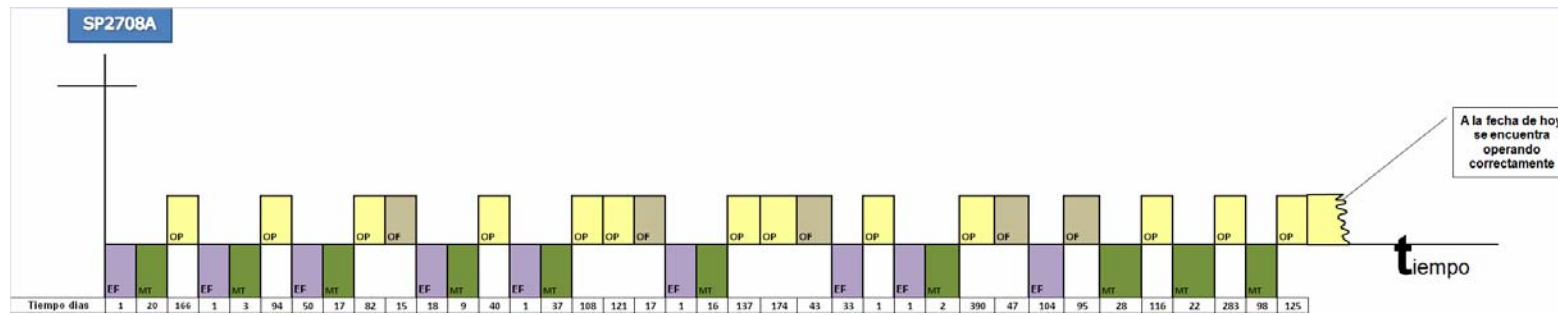
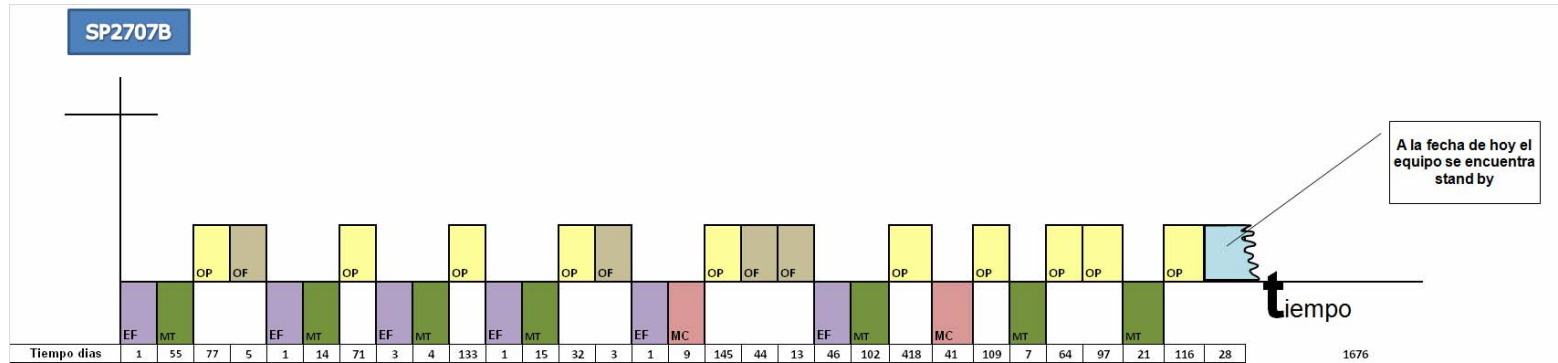
Anexo B. Perfil de funcionalidad de los equipos analizados en la planta de Cracking UOP I.



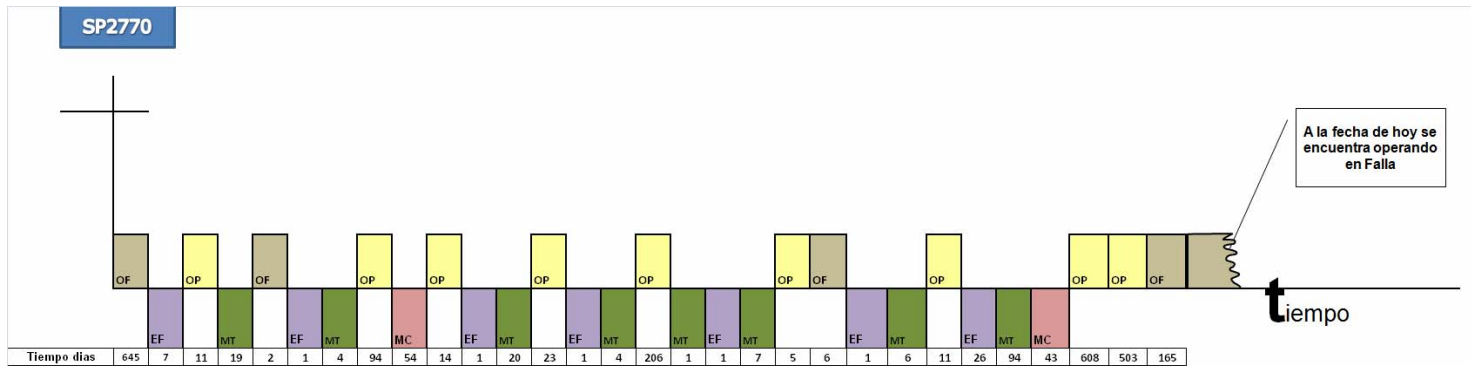
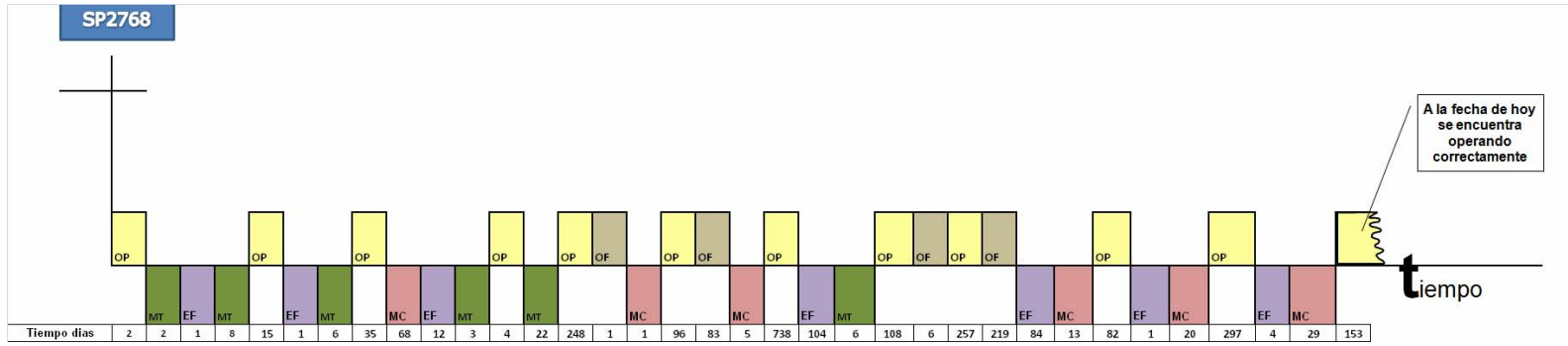


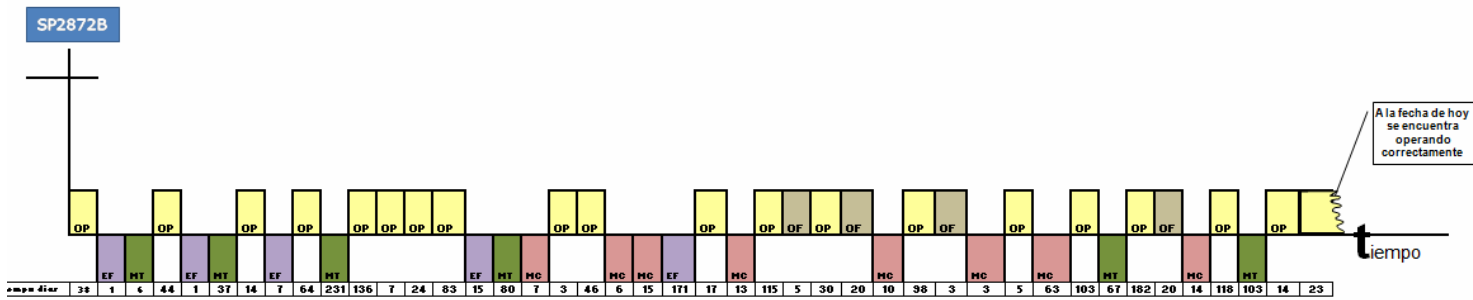
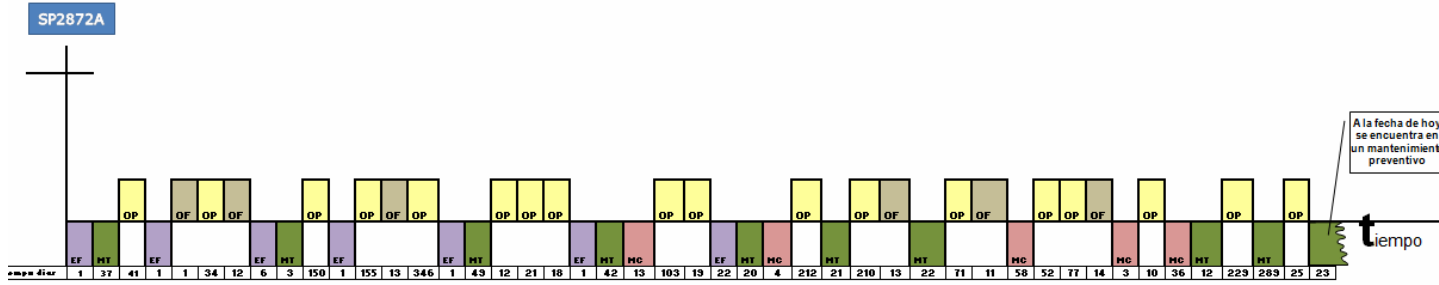
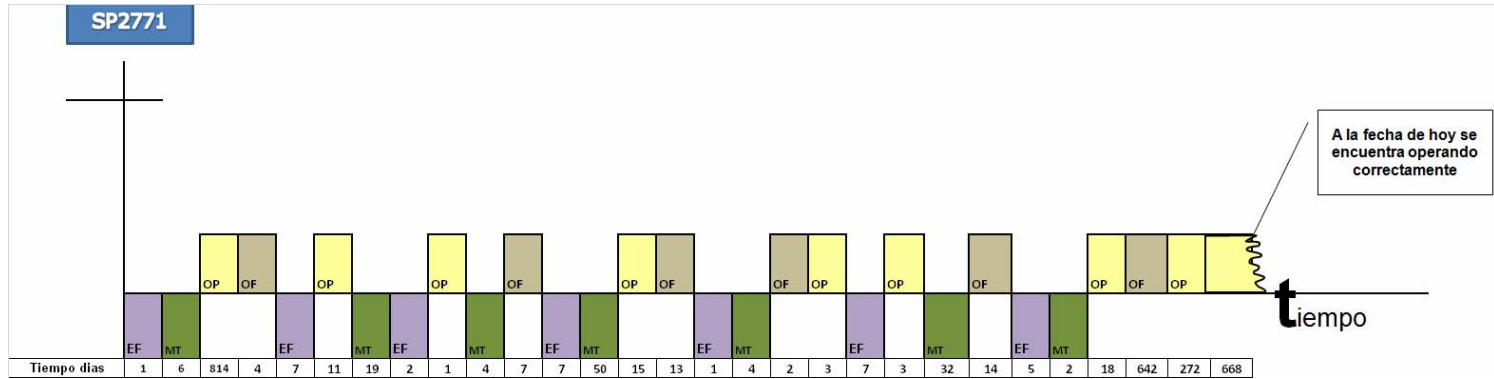


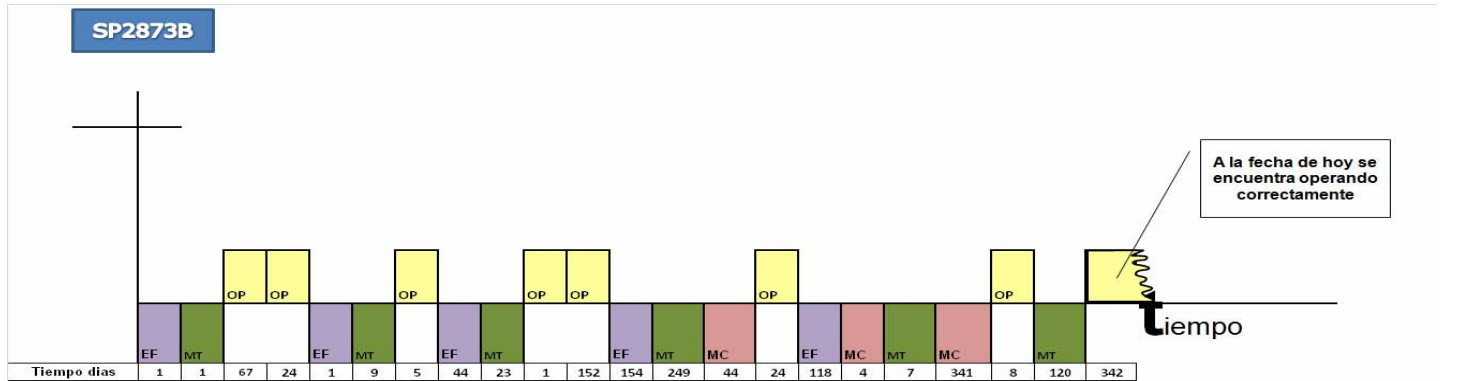
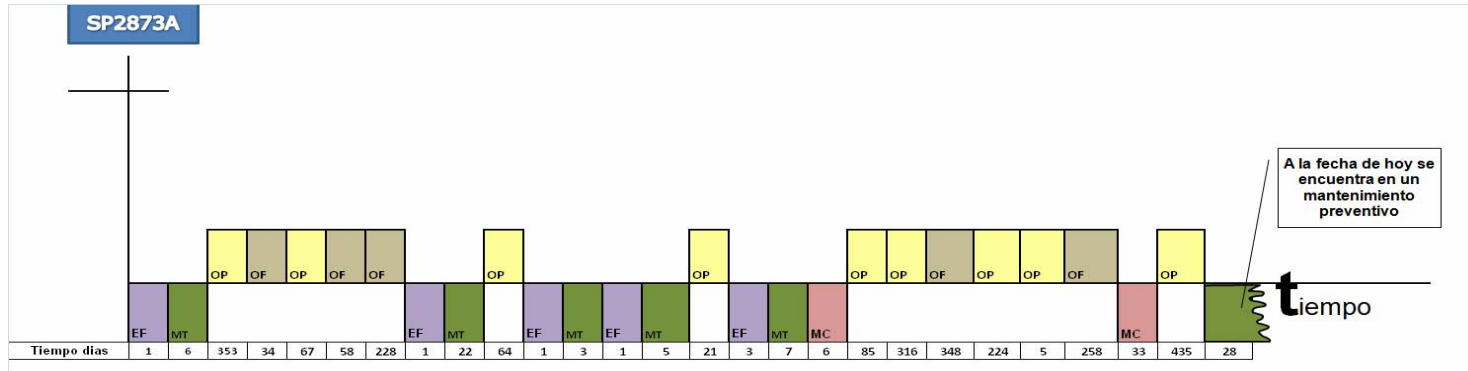


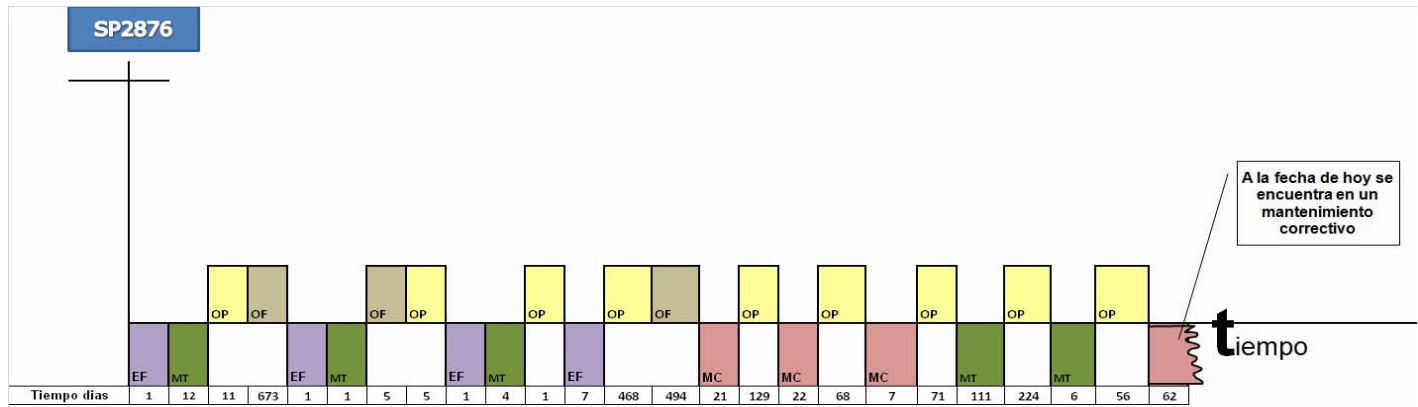








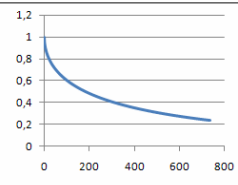
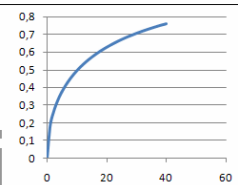
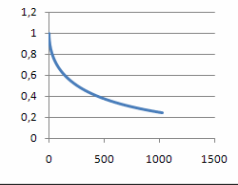
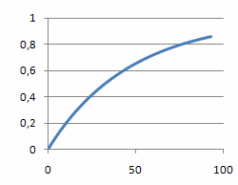


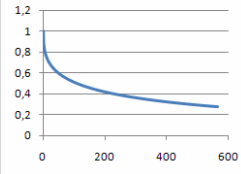
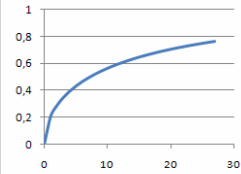
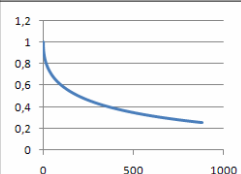
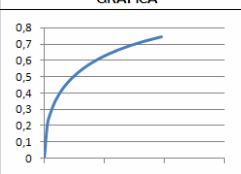


**PROCEDIMIENTO DE PARA OBTENER ÍNDICES CMD EN LA  
APLICACIÓN DE EXCEL “Cálculos CMD Ecopetrol S.A.”**

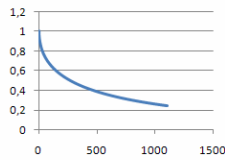
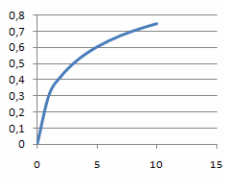
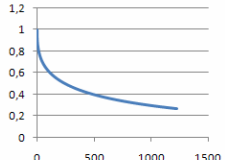
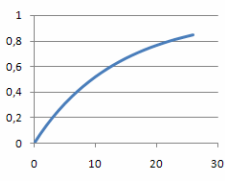
1. Descargar Reporte Tasa de Falla de MimsVu, para pegarlo en la hoja de cálculo llamada “TFalla”.
2. Actualizar la tabla dinámica en la hoja de cálculo “Ordenamiento Datos”.
3. Copiar las Columnas A, B, C y D de la tabla dinámica anterior, y pegarlas en la hoja “CÁLCULO”.
4. Extender los datos de la columna “Nº Equipo” y la Columna “Fecha Novedad” en el modo “copiar celdas” hasta encontrar el siguiente dato.
5. Ordenar Los registros en primer orden por N° de Equipo, y en segundo orden por Fecha de novedad.
6. Extender la formula en las columnas E, F, H e I, hasta donde existan registros.
7. Ingresar la fecha hasta la cual se pidió el reporte de MimsVu en la casilla G2.
8. Correr el programa con los botones “Datos de Tiempo”, “Matriz de Regresión” y “Resumen” en el orden mencionado. El resumen se muestra en la nueva hoja “Resumen” donde se encuentran los índices de confiabilidad, mantenibilidad y confiabilidad para los equipos analizados, así como el parámetro Beta de la distribución Weibull.
9. Para obtener el análisis gráfico de los parámetros Weibull, se debe pulsar “Control + F”, y se desplegarán las hojas de cálculo para cada equipo, con un resumen de sus indicadores, y gráficas obtenidas para confiabilidad y mantenibilidad.

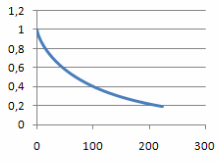
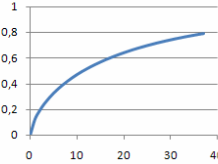
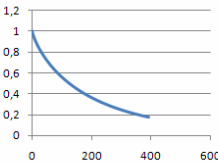
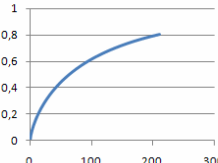
ANEXO D. Resultados del análisis para los equipos Rotativos de la planta Cracking UOP I.

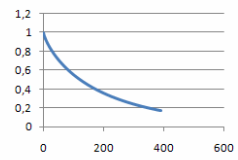
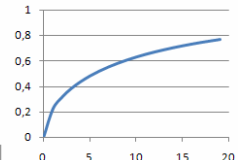
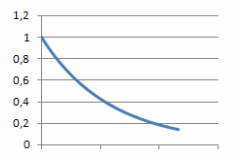
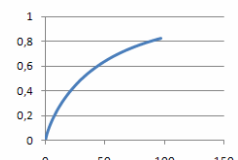
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		669,67	22	0,53	368,3	25,34%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 22 meses, con una probabilidad de 25,34%. Este equipo presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva para controlar fallos por materiales defectuosos ensamblados inadecuados, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		37,40	1,25	0,53	20,65	74,57%		La curva de mantenibilidad muestra que los mtos correctivos demoraran alrededor de 1 mes y medio con una probabilidad de 75%. Aunque el TTR es alto, en relación con los tiempos operativos es corto, lo que se refleja en una buena disponibilidad. Se recomienda disminuir un poco los tiempos por medio de catalogación y gestión de repuestos, y estandarizarlos para una óptima disponibilidad.
RESULTADOS PLANEAOS	CONFIDABILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		960,74	32,02	0,52	515,27	25,09%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 25% los mtos planeados se programan cada 32 meses, éste es un tiempo muy largo y no es conveniente para predecir las fallos q puedan ocurrir, lo que puede reflejarse en tiempos muy largos del equipo operando en estados de falla. Se debe trabajar en esta mejora ya que esto podría generar decremento en la vida útil del equipo.
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		47,72	1,59	0,98	47,36	63,49%		La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado para el equipo, se puede observar que existe una probabilidad del 63,5% de que los mantenimientos programados terminen antes de 48 días aproximadamente. Se tiene buen control de los tiempos, e ejecuciones muy cortas lo cual es muy bueno para tener una alta disponibilidad.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				90,5%				

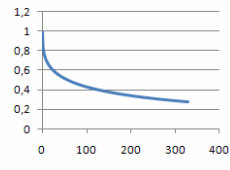
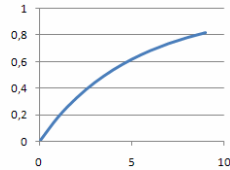
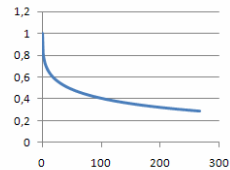
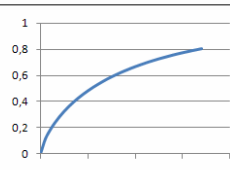
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						SP2876	
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		1121,58	37	0,38	282,901	18,65%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 37 meses, con una confiabilidad de 18,65%. Los parámetros indican claramente, que esta bomba presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.	
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		23,54	0,78	0,56	14,03	73,63%		El equipo presenta alrededor de 23 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 73,63%. El hecho de encontrarse en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallos que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente con estrategias como Análisis de Causa Raíz para lograr estabilizar los tiempos de reparación.	
RESULTADOS PLANEAOS	CONFIABILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		1078,29	35,94	0,45	441,28	22,34%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 36 meses con una probabilidad de 22,34%. Se puede apreciar una buena gestión en los mantenimientos planeados debido a la gran cercanía que tenemos en los tiempos entre reparaciones e intervenciones planeadas.	
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		42,88	1,43	0,49	20,41	76,21%		El equipo presenta una probabilidad de 76,21% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 43 días. Por el valor del B, se puede observar que se tienen tiempos muy dispersos para mto programado, esto es comprensible ya que el equipo tiene una tasa de fallos decreciente, característica de fallos en la fase de "mortalidad Infantil". Se recomienda seguir con esta estrategia de mantenimiento, hasta estabilizar la tasa de fallos.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				94,3%					

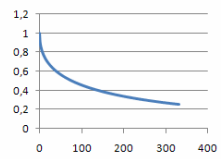
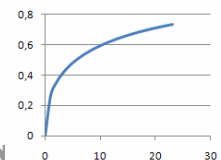
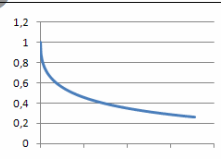
RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL								
EQUIPO ANALIZADO		SP2873B						
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIBILIDAD	MTBM <sup>c</sup> distribucion (días)	MTBM <sup>c</sup> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		245,83	8	0,53	135,17	25,38%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 8 meses, con una probabilidad del 25,38%. Este equipo presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallas de una forma correctiva, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MTR <sup>r</sup>	MTR <sup>r</sup>	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		403,83	13,46	0,37	99,33	81,52%		El equipo presenta alrededor de 14 meses como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 81,52%. El hecho de encontrarnos en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallas que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente, pero se tiene un tiempo muy alto para reparar, esto puede presentarse por demoras administrativas. Por lo tanto se debe trabajar en disminuir estos tiempos.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIBILIDAD	MTBM <sup>p</sup>	MTBM <sup>p</sup>	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		92,93	3,10	0,58	58,82	27,17%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 3 meses con una probabilidad de 27%. Se puede apreciar una buena gestión en los mantenimientos planeados debido a que tenemos un MTBMP menor que MTBMc. Esto sería de gran ayuda para una alta disponibilidad si se lograra reducir los tiempos no operativos del equipo.
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp <sup>r</sup>	Mp <sup>r</sup>	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		133,64	4,45	0,45	53,38	77,88%		El equipo presenta una probabilidad de 77,88% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 4,5 meses. Por el valor del B, se puede observar que los tiempos son muy dispersos entre sí, esto es comprensible ya que el equipo tiene una tasa de fallos decreciente, característica de fallas en la fase de "mortalidad infantil". Se recomienda seguir con esta estrategia de mantenimiento, hasta estabilizar la tasa de fallas. Pero se debe trabajar en la recomendación anterior de las demoras administrativas.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				24,5%				

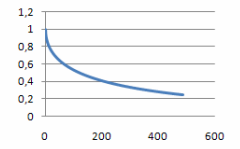
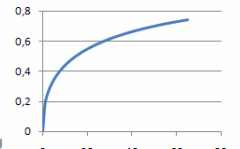
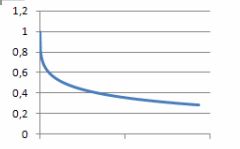
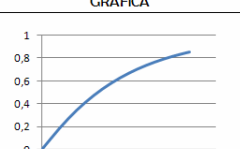
RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL								
EQUIPO ANALIZADO		SP2873A						
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		1098,63	37	0,50	552,97	24,38%		Este equipo presenta con una probabilidad de 24,38% un tiempo entre reparaciones de alrededor de 37 meses, el equipo presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente, por lo tanto se recomienda atacar los fallos de una forma correctiva, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		9,26	0,31	0,57	5,74	73,12%		El equipo presenta alrededor de 9 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 73,12%. El hecho de encontrarnos en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallos que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente, En esta bomba se tiene un tiempo de reparaciones bastante bajo, luego podemos decir que tenemos buen manejo del tiempo de reparaciones
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		2013,60	67,12	0,40	612,66	19,94%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 67 meses con una probabilidad de 19,94%. Esto es una mala señal, ya que la diferencia entre el tiempo entre fallos y el tiempo de intervención planeada es muy alta. Esto también nos dice que el equipo opera mucho tiempo en estado de falla, lo que se ve reflejado en una disminución significativa de su vida útil.
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		13,88	0,46	0,98	13,77	63,50%		El equipo presenta una probabilidad de 63,5% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 14 días. Por el valor del B, se puede observar tiempos cortos y estándares en la ejecución de los trabajos planeados lo que se refleja en la alta disponibilidad, Se recomienda continuar con esta gestión, para reducir al mínimo las intervenciones no programadas.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				98,5%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2872B		MTBM <sub>c</sub> ' distribucion (días)	MTBM <sub>c</sub> ' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	133,95	4	0,75	112,70	32,02%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 4 meses, con una confiabilidad de 32,02%. Este equipo presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente, características de fallos causadas por mortalidad infantil, por lo tanto se recomienda atacar las fallos con tareas correctivas, y análisis de causa raíz.
	MANTENIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		24,66	0,82	0,69	19,12	69,61%		El equipo presenta alrededor de 25 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 69,61%. El equipo se encuentra en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallos que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente. En esta bomba se tiene un tiempo de reparaciones alto. Se recomienda una mejor gestión en el tiempo de las reparaciones (eliminar demoras administrativas, de inventario etc...)
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIABILIDAD	MTBM <sub>p</sub> '	MTBM <sub>p</sub> '	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		222,31	7,41	0,80	196,21	33,12%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 7,4 meses con una probabilidad de 33,12%. Esto es una mala señal, ya que el tiempo entre fallos es menor que el tiempo de intervención planeada. Luego no estamos anticipándonos a la falla. Esto también nos dice que el equipo opera mucho tiempo en estado de falla, lo que se ve reflejado en una disminución significativa de su vida útil.
	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		131,99	4,40	0,72	106,37	68,87%		El equipo presenta una probabilidad de 68,9% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 4,4 meses. Por el valor del B, se puede observar que las intervenciones programadas cada vez duran menos. Se recomienda seguir procedimientos de detección y análisis de fallos para seguir disminuyendo estos tiempos para poder mejorar la confiabilidad del equipo de bombeo.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				56,2%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2872A		MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIA- BILIDAD	223,58	7	0,80	196,74	33,05%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 8 meses, con una confiabilidad de 36,65%. Este equipo presenta una tendencia de taza de fallos constante, características de fallos causados por aspectos operativos, por lo tanto se recomienda atacar las fallos con tareas modificativas en el proceso (revisión de ventanas y guías de control), y poder concentrarse en tareas proactivas.
	MANTENI- BILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		15,22	0,51	0,60	10,05	72,22%		El equipo presenta alrededor de 15 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 72,22%. El equipo se encuentra en la Fase I de la curva de Dawles, indica que las fallos que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente. Se recomienda implementación de equipos cazafallos con el fin de reducir al máximo las emergencias y los tiempos de recuperación de la función del equipo.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIA- BILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		233,78	7,79	0,99	232,69	36,62%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 7,8 meses con una probabilidad de 36,62%. Va que el tiempo entre fallos es cercano al tiempo de intervención planeada, se puede hablar de una de una buena gestión de mantenimiento; además el valor de Beta indica que los tiempos entre mantenimientos planeados comienzan a estabilizarse, lo que nos permite tener una buena planeación de actividades.
	MANTENI- BILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		55,80	1,86	0,80	49,19	66,91%		El equipo presenta una probabilidad de 66,91%, de que los mantenimientos planeados terminen antes de 1,9 meses. Por el valor del B, se puede observar que no se tienen tiempos de intervención planeada estables (cercano a 1), lo que repercute en la pérdida de disponibilidad del equipo. Se recomienda estabilizar los tiempos de mantenimiento programado, con planeación y análisis de fallos. También se debe trabajar en la recomendación de erradicar las demoras
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				76,5%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						SP2771	
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIBILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		785,68	26	0,36	164,85	17,51%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 26 meses, con una confiabilidad de 17,14%. Los parámetros indican claramente, que esta bomba presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente (fallos tempranos), por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.	
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		5,32	0,18	0,97	5,24	63,78%		El equipo presenta alrededor de 5,3 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 63,78%. Los TTR van en camino de estandarizarse pero se debe trabajar en esto. En esta bomba tenemos un tiempo de reparaciones bajo. Se recomienda seguir con esta gestión en el tiempo de las reparaciones.	
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIBILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		847,79	28,26	0,33	133,65	15,97%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 31 meses con una probabilidad de 15,67%. Se puede apreciar un MTBMp mayor que MTBM. Se debe trabajar en esta mejora, para poder adelantarse a la falla; sin embargo los tiempos entre fallos altos respaldan la gestión del mantenimiento programado	
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		21,23	0,71	0,74	17,64	68,24%		El equipo presenta una probabilidad de 68,24% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 21 días. Por el valor del B, e puede observar que las intervenciones programadas cada vez duran menos, esto es comprensible ya que el equipo tiene una tasa de fallos decreciente, característica de fallos en la fase de "mortalidad Infantil". Se recomienda seguir con esta estrategia de mantenimiento, hasta estabilizar la tasa de fallos.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				96,9%					

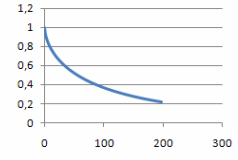
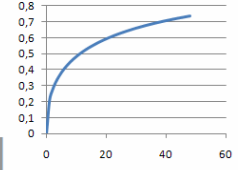
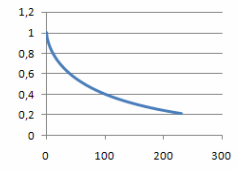
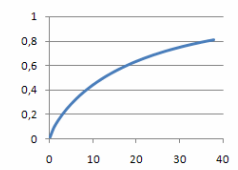
		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
EQUIPO ANALIZADO		SP2770						
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		379,80	13	0,47	166,82	23,00%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 13 meses, con una confiabilidad de 23%. Los parámetros indican claramente, que esta bomba presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente (fallos tempranos), por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MTTR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		28,71	0,96	0,46	12,21	77,31%		El equipo presenta un probabilidad de 77.31% de que las reparaciones terminen antes de 29 días. Se puede apreciar tiempos muy aleatorios para reparar, lo que puede deberse a fallos imprevistos características de la fase I. Se recomienda trabajar con el equipo "caza fallos" para encontrar las causas, y así estandarizar los TTR.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIABILIDAD	MTBmp'	MTBmp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		517,77	17,26	0,42	178,41	20,88%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 17,3 meses con una probabilidad de 20,88%, Esto es una mala señal, ya que el tiempo entre fallos es menor que el tiempo de intervención planeada. Luego no estamos anticipándonos a la falla. Se recomienda el análisis de falos en las intervenciones correctivas para determinar las causas y disminuir probabilidad atacando la causa Raíz.
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		22,56	0,75	0,67	17,16	69,96%		El equipo presenta una probabilidad de 70% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 23 días. Por el valor del B, se puede observar que los tiempos de intervenciones planeadas no son estables. Va que el equipo tiene una rata de fallos decreciente, característica de fallos en la fase de "mortalidad Infantil". Se recomienda seguir con esta estrategia de mantenimiento correctivo, hasta estabilizar la probabilidad de fallos y generar tareas proactivas; donde se podrá trabajar mejor en optimizar los tiempos de mantenimiento planeado
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				89,4%				

RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL								
EQUIPO ANALIZADO		SP2768						
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		476,94	16	0,51	244,00	24,56%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 16 meses, con una confiabilidad de 24,56%. Los parámetros indican claramente, que esta bomba presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente (fallos tempranos), por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva, mejorar los montajes luego de mantenimientos, optimizar calidad de repuestos
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		81,20	2,71	0,45	33,13	77,69%		Observando la curva se concluye que la probabilidad de que los mantenimientos correctivos se terminen antes de 3 meses es de 78%. Se hace la misma recomendación anterior por la fase I en la que se encuentra el equipo de atacar las fallos de forma correctiva y mejorar la gestión de mto para reducir el tiempo de reparación y estabilizarlo para mejorar la planeación.
RESULTADOS PLANEAOS	CONFIABILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		1430,69	47,69	0,31	187,37	15,08%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 48 meses con una probabilidad de 15,02%. Se puede apreciar en la gestión de mantenimientos que tenemos un MTBMp mayor que MTBMc lo que indica que llegamos tarde con el mantenimiento planeado a prevenir la falla. Se recomienda trabajar en bajar la probabilidad de falla con intervenciones correctivas, antes de dedicarse a las tareas proactivas ya que las fallos se presentan de una forma muy aleatoria.
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		8,85	0,30	1,06	9,04	62,40%		El equipo presenta una probabilidad de 62,4% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 8 días. Por el valor del B, se puede observar que se está trabajando con cierta estabilidad en las intervenciones planeadas lo que deja ver una buena planeación. Se recomienda reforzar la inspección y monitoreo de equipos para prevenir las fallas características de mantenimientos incorrectos y montajes defectuosos que generan fallos aleatorios, y así aprovechar la buena planeación que se observa en los mantenimientos planeados.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				85,0%				

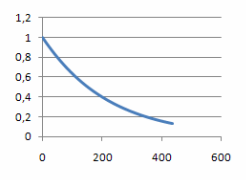
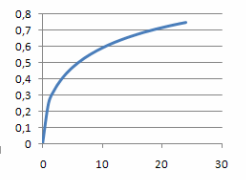
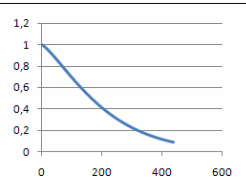
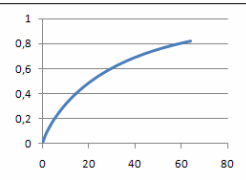
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2766B		MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	150,61	5	0,74	124,46	31,64%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 5 meses, con una probabilidad de 31,64%. Este equipo presenta una tendencia de tasa de fallas decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallas de una forma correctiva para controlar fallos por materiales defectuosos ensambles inadecuados, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		21,10	0,70	0,50	10,57	75,67%		El equipo presenta alrededor de 21 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 75,67%. El hecho de encontrarnos en la Fase I de la curva de Dawies, indica que las fallas que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente con estrategias como Análisis de Causa Raíz y oportunos mantenimientos correctivos. Se debe trabajar en estandarizar los tiempos de reparación, para obtener un aumento significativo en la disponibilidad.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		96,82	3,23	0,82	87,14	33,60%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 3,2 meses con una probabilidad de 33,6%. Se puede apreciar una buena gestión en los mantenimientos planeados debido a la gran cercanía que tenemos en los tiempos entre reparaciones e intervenciones planeadas. Se recomienda seguir con esta gestión, mejorando la planeación para estabilizar los tiempos entre fallas, y aumentar la disponibilidad del equipo.
	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		54,55	1,82	0,73	44,97	68,41%		El equipo presenta una probabilidad de 68,41% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 1,82 meses. Por el valor del B, se puede observar que no se han estandarizado los tiempos de intervención planeada, esto es aceptable ya que el equipo tiene una tasa de fallas decreciente, característica de fallas en la fase de "mortalidad Infantil". Se recomienda seguir con esta estrategia de mantenimiento, para erradicar las fallas por materiales o calidad de repuestos, y reducir las demoras que se reflejan en tiempos dispersos de mantenimiento y afectan la disponibilidad.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				58,7%				

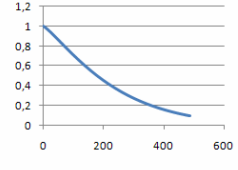
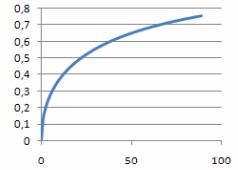
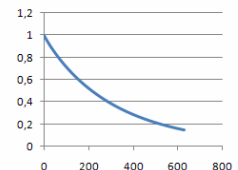
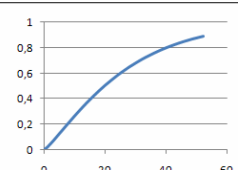
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2766A								
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	MTBM <sub>c</sub> distribucion (días)	MTBM <sub>c</sub> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		276,51	9	0,56	167,44	26,58%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 9 meses, con una confiabilidad de 26,6%. Este equipo presenta una tendencia de tasa de fallos decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva para controlar fallos por materiales defectuosos ensamblados inadecuados (como después de mantenimientos y montajes) hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		22,43	0,75	0,51	11,65	75,28%		El equipo presenta alrededor de 23 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de reparación de 75,28%. El hecho de encontrarse en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallos que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente con estrategias como Análisis de Causa Raíz y oportunos mantenimientos correctivos. El tiempo para reparar es alto, luego se recomienda trabajar en reducir las demoras mejorar gestión de repuestos y optimizar tiempos de mantenimiento.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	MTBM <sub>p</sub> '	MTBM <sub>p</sub> '	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		294,01	9,80	0,52	157,75	25,10%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 9,8 meses con una probabilidad de 25,1%. Se puede apreciar una gestión muy regular y arriesgada en los mantenimientos planeados debido a la gran cercanía que tenemos en los tiempos entre reparaciones e intervenciones planeadas. Se recomienda análisis de fallos para mejorar un poco la gestión de mantenimiento.
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		28,35	0,94	0,80	24,92	66,98%		El equipo presenta una probabilidad de 67% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 1 mes. Por el valor del B, se puede observar que los tiempos de mantenimiento planeado se están estabilizando, pero aún son dispersos. Se recomienda seguir con la planeación de las intervenciones para estabilizar los tiempos de mtto planeado y mejorar la disponibilidad del equipo.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				84,9%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						SP2713A	
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	MTBMc' distribución (días)	MTBMc' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		237,93	8	1,32	258,44	40,80%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 8 meses, con una confiabilidad de 40,8%. Este equipo presenta una probabilidad de falla creciente por lo que el equipo presenta fallas características de envejecimiento o desgaste. Se recomiendan tareas preventivas, de monitoreo y a condición para aumentar la confiabilidad del equipo.	
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MTTR'	MTTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		22,20	0,74	0,61	15,19	71,70%		El equipo presenta alrededor de 22 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 71,7%. Según el Beta, se puede observar que los tiempos de reparaciones cada vez duran menos. Pero aún se tienen tiempos de reparaciones muy dispensos. Se recomienda trabajar en los tipos de reparaciones, demoras y manejo de repuestos para estabilizar los tiempos y así mejorar la disponibilidad.	
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIABILIDAD	MTBmp'	MTBmp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		458,65	15,29	1,01	460,84	36,97%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 15 meses con una probabilidad de 37%. Tenemos un MTBmp mayor que MTBMc, así que se deben planear mejor las intervenciones para parar solo cuando el equipo en realidad lo necesite. Se debe seguro mejorando en estabilizar los tiempos entre mantenimientos ya que con mejor uniformidad en estos tiempos se pueden lograr tiempos operativos más largos.	
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		17,68	0,59	0,61	11,92	71,93%		El equipo presenta una probabilidad de 72% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 18 días. Por el valor del B, se puede observar que se debe mejorar en la estandarización de las tareas programadas. Además se debe hacer un mejor análisis de fallas ya que estas intervenciones no controlan totalmente las fallas imprevistas, esto se ven en que los tiempos entre reparaciones son menores a los de intervenciones planeadas.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				88,4%					

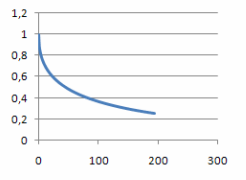
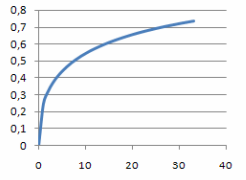
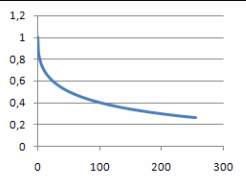
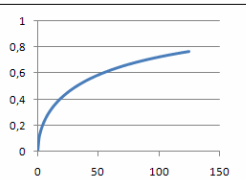
		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
EQUIPO ANALIZADO		SP27088						
R E S U L T A D O S	C O N F I A B I L I D A D	MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		142,88	5	0,62	99,27	28,54%		Los mantenimientos correctivos para este equipo se presentan aproximadamente cada 5 meses con una probabilidad de 28,54%. El equipo se encuentra en la fase I de la curva de Davies, lo que implica probabilidad de falla alta, pero decreciente. Se recomienda controlar con acciones correctivas y mucho análisis de fallas para estabilizar la probabilidad, y concentrarse en tareas proactivas.
C O R R E C T I V O S	M A N T E N I B I L I D A D	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		62,49	2,08	0,45	24,97	77,87%		El equipo presenta alrededor de 63 días como tiempo medio de reparación, con una mantenibilidad de 78%. Por encontrarse en la Fase I de la curva de Davies, indica que las fallas que se vienen presentando en el equipo se pueden controlar o erradicar definitivamente con estrategias como Análisis de Causa Raíz y oportunos mantenimientos correctivos.
R E S U L T A D O S	C O N F I A B I L I D A D	MTBmp'	MTBmp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		163,75	5,46	0,63	115,74	28,81%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 5,5 meses con una probabilidad de 28,81%. Se puede apreciar una gestión muy arriesgada en los mantenimientos planeados debido a la gran cercanía que tenemos en los tiempos entre reparaciones e intervenciones planeadas. Se recomienda estandarizar los MTBmp, en un valor menor que el MTBM.
P L A N E A D O S	M A N T E N I B I L I D A D	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		22,71	0,76	0,79	19,87	67,09%		El equipo presenta una probabilidad de 67% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 23 días. Por el valor del B, se puede observar que no se tienen estandarizados los tiempos de intervención planeada. Se recomienda trabajar en esta mejora para mejorar la disponibilidad del equipo.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				63,5%				

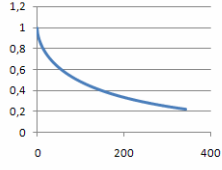
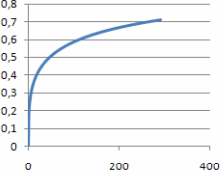
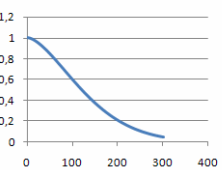
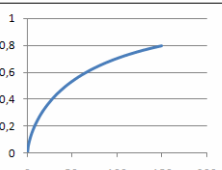
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2708A		MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	667,11	22	0,47	295,29	23,07%		La curva muestra que los correctivos se presentan aproximadamente cada 22 meses con una probabilidad del 23%. El Beta obtenido de los cálculos CMD, indica que el equipo se encuentra en la fase de mortalidad infantil, donde presenta probabilidad de falla alta, tendiendo a bajar. Esto se debe principalmente a errores en los montajes, repuestos inadecuados o errores en procedimientos de arrancada o parada. Se recomienda análisis de causas de falla de esta bomba y sus efectos, con el fin de erradicarlos definitivamente.
	MANTENIBILIDAD	MITR' 52,96	MITR' 1,77	BETA 0,41	ETA 17,27	Probabilidad 79,55%		El equipo presenta una probabilidad de 79% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de 52 días. Sin embargo los tiempos no se encuentran estandarizados. Se debe trabajar en la gestión de repuestos y demoras logísticas, para lograr tiempos de reparación uniformes, y aumentar la confiabilidad del equipo.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	232,42	7,75	1,21	247,72	39,63%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 7 meses con una probabilidad de 39.6%. Se puede apreciar una buena gestión en los mantenimientos planeados debido a que tenemos tiempos entre intervenciones planeadas menores a los tiempos entre fallas. Se recomienda seguir con esta gestión y el Beta también nos demuestra que ya se está trabajando en la zona de predictivos, con un buen control operativo (poca dispersión en los tiempos).
	MANTENIBILIDAD	Mp' 29,69	Mp' 0,99	BETA 0,85	ETA 27,24	Probabilidad 65,90%		El equipo presenta una probabilidad de 66% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 30 días. Por el valor del B, se puede observar que se está trabajando principalmente en tareas correctivas, esto es de esperarse ya que el equipo tiene una tasa de fallas decreciente, característica de fallas en la fase de "mortalidad infantil" o fallas tempranas. Ya que se tienen tiempos entre Mito planeado muy constantes, la mejor opción sería estandarizar también los tiempos de intervención programada.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				82,8%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						SP2707B	
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	MTBM <sup>c</sup> distribucion (días)	MTBM <sup>c</sup> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		217,19	7	1,01	218,51	37,01%		El equipo presenta un tiempo medio entre reparaciones de 7 meses con una confiabilidad del 37%. Se encuentra en la fase II de la curva de Davies, lo que indica que el equipo falla por mala operación, u operación fuera de sus guías de control. Por lo tanto se recomienda revisión de ventanas operativas y sensibilización del personal, para empezar a optimizar el comportamiento del equipo.	
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		25,88	0,86	0,49	12,58	75,99%		El equipo presenta un tiempo medio de reparación de 26 días aproximadamente lo cual significa que hay una probabilidad de 76% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de 26 días. El Beta obtenido ubica al equipo en la Fase I de la curva de Davies, indica que las reparaciones que se vienen presentando en el equipo se pueden optimizar estandarizando los tiempos de intervención correctiva, aprovechando el hecho de que hay una buena relación entre el tiempo entre fallas y el de reparaciones.	
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIABILIDAD	MTBM <sub>p</sub> '	MTBM <sub>p</sub> '	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		203,07	6,77	1,28	219,30	40,41%		El equipo presenta en promedio un tiempo entre mantenimientos planeados de alrededor de 6.7 meses con una probabilidad de 40.4%. Se puede ver una buena estandarización y control sobre las intervenciones planeadas (beta > 1). Pero el análisis de falla cobra importancia debido a que el mtto programado no logra erradicar o por lo menos aumentar en gran porcentaje el tiempo entre fallas.	
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	M <sub>p</sub> '	M <sub>p</sub> '	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		36,68	1,22	0,82	32,85	66,52%		El equipo presenta una probabilidad del 66% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 37 días. Por el valor del B, se puede observar que se está trabajando principalmente en tareas correctivas por los tiempos de intervención muy variables. Se debe mejorar tanto en estandarizar, como en disminuir los tiempos de intervención programada, controlando la demora logística y administrativa.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				76,9%					

		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
EQUIPO ANALIZADO		SP2707A						
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		229,93	8	1,21	244,71	39,55%		Esta bomba presenta un tiempo entre mantenimientos correctivos de alrededor de 8 meses con una probabilidad de cerca del 40%. El Beta > 1 indica que el equipo se encuentra en la fase III de la curva Davies, donde tenemos fallos por desgaste y envejecimiento. Se recomienda implementación de tareas de monitoreo, y actuar basados en la condición del equipo para de esta manera predecir la falla que se avecina.
	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		87,14	2,90	0,51	45,04	75,33%		La bomba presenta una probabilidad de 75,3% de terminar sus reparaciones en 2,9 meses. Se puede ver que es un tiempo muy largo para recuperar el estado de funcionamiento del equipo después de una falla. Se debe trabajar en reducir estos tiempos, y estandarizarlos por medio de la gestión de repuestos y eliminación de tiempos de demora, ya que el Beta indica una gran variabilidad de los tiempos de reparación.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIABILIDAD	MTBmp'	MTBmp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		322,90	10,76	0,95	315,20	35,95%		El equipo puede operar 10.8 meses antes que se programe su salida de servicio, con una probabilidad de 36%. Se aprecia que aunque se tienen tiempos muy estandarizados (Beta cercano a 1), estos no logran reducir la probabilidad de falla del equipo (que opera correctamente solo cerca de 8 meses). Se recomienda análisis de modos de falla, para poder direccionar los preventivos a estos problemas que sacan de servicio el equipo.
	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		25,31	0,84	1,19	26,83	60,67%		El equipo presenta una probabilidad de 61% de salir de una intervención planeada en 25 días. Se puede observar buena organización y control sobre las intervenciones planeadas en esta bomba (Beta > 1) en lo que se refiere a su tiempo de ejecución. Además son tiempos cortos, lo que ayuda a subir la confiabilidad del equipo. Se recomienda seguir con esta gestión sobre las intervenciones programadas.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				68,6%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2706B		MTBM' distribucion (días)	MTBM' distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIA BILIDAD	450,26	15	0,51	231,82	24,63%		Este equipo presenta un tiempo entre reparaciones de alrededor de 15 meses, con una probabilidad de 24.6% Este equipo presenta una tendencia de probabilidad de fallos alta pero decreciente, por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva para controlar fallos por materiales defectuosos ensambles inadecuados, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.
	MANTE NIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		388,28	12,94	1,05	396,23	62,43%		Presentamos alrededor de 7 meses como tiempo medio de reparación, con una probabilidad de 83,5%. Es una alta probabilidad, pero se debe a que el tiempo de reparaciones es supremamente alto también, lo que se refleja en la baja disponibilidad del equipo. Se recomienda primero bajar los tiempos para reparar con la administración de repuestos, inventarios y recurso. Y luego pensar en estandarizarlos para subir la disponibilidad.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIA BILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		551,74	18,39	2,10	622,95	46,09%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 37.5% los mtos planeados se programan cada 13 meses, éste es un tiempo inferior al MTBMc lo cual muestra que es evidente que el mantenimiento planeado actual no alcanza a prevenir o predecir las fallos. Se debe trabajar en esta mejora por medio de RCA y FMECA ya que esto inevitablemente generará decrecimiento en la vida útil del equipo y afecta directamente su disponibilidad.
	MANTE NIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		297,07	9,90	0,50	146,87	75,81%		El equipo presenta una probabilidad del 76% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 10 meses, Este es un tiempo supremamente alto por lo cual se recomienda trabajar en una estrategia de mtto que ayude a minimizar este tiempo de intervención planeada, al igual que el tiempo de reparación
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				45,1%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL							
SP2706A									
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	MTBM <sup>c</sup> distribucion (días)	MTBM <sup>c</sup> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		218,78	7	0,47	97,93	23,18%		Este equipo presenta con una probabilidad de 23,2% un tiempo entre reparaciones de alrededor de 7 meses, el equipo presenta una tendencia de probabilidad de fallos decreciente, característica de la Fase I de la curva de Davies donde tenemos fallos por errores de montaje, materiales de repuestos o deficientes procedimientos de parada o arrancada. Por lo tanto se recomienda atacar las fallos de una forma correctiva, hasta estabilizar su tendencia, y poder concentrarse en tareas proactivas.	
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		44,34	1,48	0,44	17,13	78,17%		De la grafica que tiene el mantenimiento correctivo, se observa que hay una probabilidad del 78% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de 1 mes y medio. Este es un tiempo largo respecto al tiempo que el equipo dura en operación sin falla. Además se tienen tiempos para reparar muy dispersos. Se recomienda más compenetración del equipo de trabajo para un buen análisis de Causa raíz, y poder así disminuir los tiempos de reparación al atacar la falla y erradicarla definitivamente.	
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	MTBM <sup>p</sup>	MTBM <sup>p</sup>	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		416,83	13,89	0,40	128,63	20,04%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 20% los mtos planeados se programan cada 14 meses, éste es un tiempo superior al MTBMc lo cual muestra que es evidente que el mantenimiento planeado actual no alcanza a prevenir o predecir las fallos. Se debe trabajar en esta mejora y en un mayor control operativo de estos tiempos, para estandarizarlos, y lograr un aumento de la disponibilidad.	
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		109,62	3,65	0,54	63,23	74,04%		El equipo presenta una probabilidad del 74% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 109 días, es un tiempo muy largo para intervención de un equipo, y más si esta se hace de una forma programada. Probablemente las demoras logísticas influyen en este tiempo. Se recomienda mejorar esta gestión: al igual que las reparaciones, estas intervenciones deben estandarizarse en cuanto a sus tiempos de duración.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				68,2%					

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						SP2704B	
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		257,84	9	0,60	171,61	27,89%		La curva muestra que con una probabilidad de 28% las fallas se presentaran cada 9 meses. Este equipo presenta una tendencia de probabilidad de fallas alta y decreciente. Se recomienda en este caso el análisis de causa raíz para erradicar definitivamente las fallas por malos materiales o por errores de montaje, que son las más características asociadas al resultado del Beta obtenido.	
RESULTADOS CORRECTIVOS	MANTENIBILIDAD	MITR'	MITR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		1047,64	34,92	0,32	145,53	84,65%		El equipo muestra alrededor de 34 meses como tiempo medio de reparación con una probabilidad de 84%. Este tiempo es demasiado alto luego se recomienda trabajar en reducir las demoras, mejorar la gestión de repuestos y la catalogación de estos en el sistema de información, de manera que el personal destinado a la tarea de reparación tenga todo el recurso disponible para reparar la función del equipo.	
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	MTBMp'	MTBMp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		136,20	4,54	1,60	151,94	43,20%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 43% los mtos planeados se programan cada 4 meses. Por el Beta podemos decir que los tiempos son muy estándares y se tiene buena planeación, se recomienda seguir con esta planeación una vez se solucionen las demoras por fallas imprevistas.	
RESULTADOS PLANEADOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		99,35	3,31	0,67	75,06	70,07%		El equipo presenta una probabilidad del 70% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 100 días. Se observa que aunque se planean bien las intervenciones, sus tiempos de ejecución son muy largos. Probablemente esto obedece a las mismas razones de las demoras en los mtos correctivos. Se debe ubicar cuanto antes esta oportunidad de mejora para subir la baja disponibilidad que tenemos para este equipo de bombeo.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				17,3%					

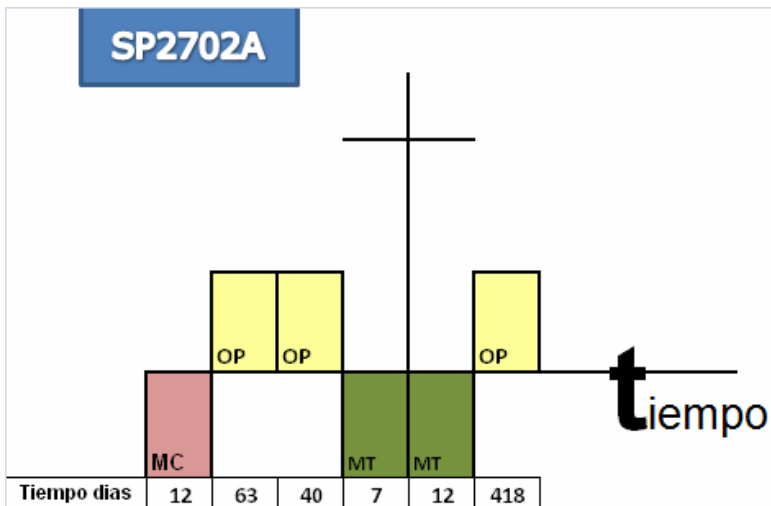
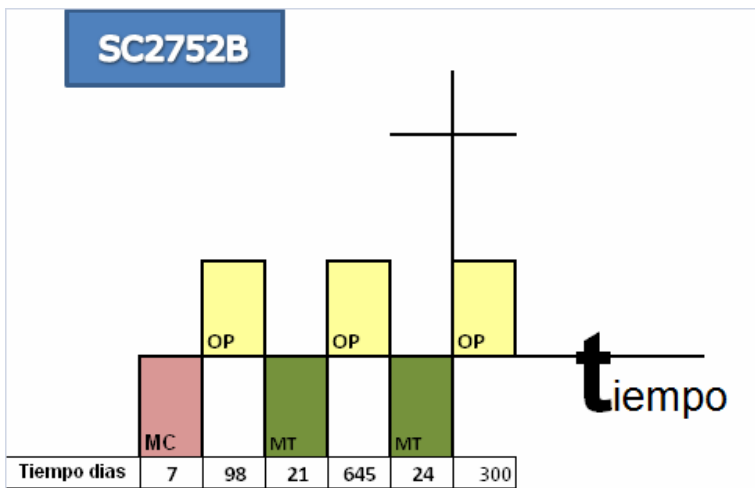
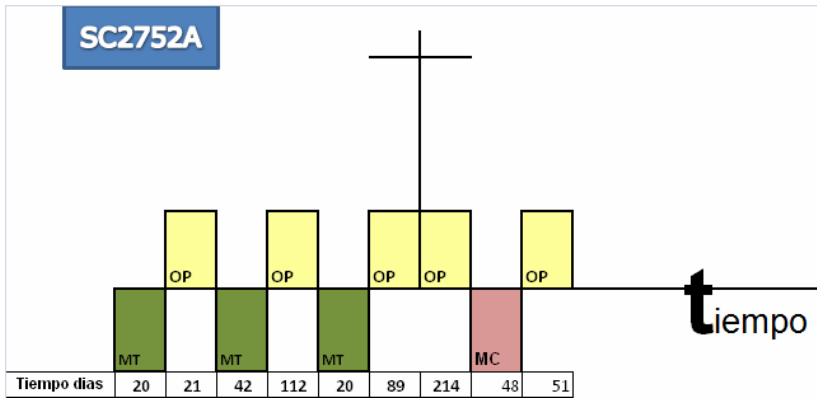
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SP2702B		MTBM <sup>c</sup> distribucion (días)	MTBM <sup>c</sup> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIABILIDAD	160,44	5	0,78	138,46	32,59%		El equipo se encuentra en la fase I donde la tasa de falla disminuye paulatinamente con el tiempo y las fallas son causadas por condiciones fuera de los estándares, componentes imperfectos, ensambles y procesos inadecuados, para lo cual se recomienda análisis de fallas y acciones correctivas oportunas. Los resultados muestran un tiempo entre reparaciones de 5 meses aproximadamente con una probabilidad de 32.6%
	MANTENIBILIDAD	MTTR'	MTTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		13,97	0,47	0,72	11,28	68,82%		El equipo muestra alrededor de 14 días como tiempo medio de reparación con una probabilidad de 69%. El tiempo de reparación es bajo en comparación con el MTBMc, lo cual brinda mucha confiabilidad en el equipo. Se recomienda optimizar esta gestión por medio de la estandarización de los TTR, para aumentar aun más la disponibilidad.
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIABILIDAD	MTBM <sup>p</sup>	MTBM <sup>p</sup>	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		359,43	11,98	0,51	188,57	24,84%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 24.8% los mttos planeados se programan cada 12 meses. Aunque es positivo por ser un tiempo largo, se puede ver por el MTBMc que las actividades planeadas no nos bajan la probabilidad de falla. Con implementación de equipos "caza fallas" se podrán direccionar mejor las tareas programadas y aumentar el tiempo entre fallas.
	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
		20,33	0,68	0,75	17,15	67,92%		El equipo presenta una probabilidad de 68% de que los mantenimientos planeados terminen antes de 20 días. Al igual que el TTR, las intervenciones planeadas pueden optimizarse más con un mejor control operativo (tiempos más estándar), y de esa manera aumentar la confiabilidad de la bomba
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				87,4%				

EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL							
SP2702A		MTBM <sub>c</sub> distribucion (días)	MTBM <sub>c</sub> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	521,04	17	0,50	257,88	24,20%		La curva muestra que los correctivos se presentan aproximadamente cada 17 meses con una probabilidad del 24.2%. El equipo se encuentra en la fase I de la curva de Dawies. Se recomienda continuar con las rutinas de control de mtto, hacer chequeos de funcionamiento y reconocer la falla para erradicarla definitivamente.	
	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		19,16	0,64	0,84	17,46	66,08%		La curva muestra la tendencia del mantenimiento correctivo de la cual se concluye que la probabilidad de que los mtos se terminen en 20 días es de 66%. Este tiempo es muy bueno si lo comparamos con el tiempo entre mtos correctivos pues después de una falla no se emplea mucho tiempo para restablecer la función de la máquina. Se podría optimizar la gestión con el análisis de fallas para poder erradicar las imprevistas, y estandarizar las demás tareas.	
RESULTADOS PLANEADOS	CONFIDABILIDAD	MTBM <sub>p</sub>	MTBM <sub>p</sub>	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		630,54	21,02	4,48	691,12	51,53%		Los resultados muestran que con una probabilidad de 51.5% los mtos planeados se programan cada 21 meses. Se puede ver que al igual que el MTBMc, este tiempo es largo, por lo que podemos decir que se hace un buen trabajo en las tareas basadas en la condición del equipo. Se recomienda seguir con este modo de gestión de mtto, ya que se tiene bastante estandarizado y con un excelente control operativo sobre esta bomba, lo que se refleja en alta confiabilidad y disponibilidad.	
	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		30,40	1,01	0,61	20,84	71,67%		La curva representa la tendencia del mtto planeado de la cual se tiene que con una probabilidad de 71% los mantenimientos se terminan antes de 30 días. Aunque es un tiempo largo, comparado con los tiempos operativos, tenemos una buena relación. Si se estandarizan estas intervenciones podríamos aumentar la confiabilidad del equipo.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				92,2%					

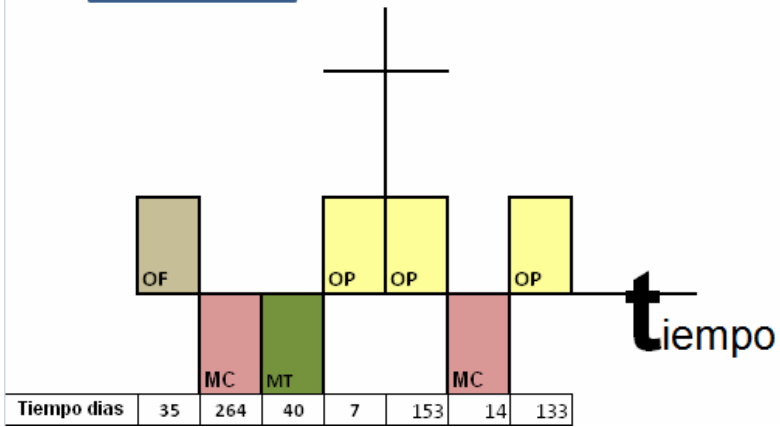
EQUIPO ANALIZADO		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL						
SC2752B		MTBM <sup>c</sup> distribucion (días)	MTBM <sup>c</sup> distribucion (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	550,90	18	0,46	233,73	22,67%		El equipo opera con una probabilidad de 22.7% alrededor de 18 meses antes de presentar una falla. Se encuentra según el Beta en la fase I de la curva de Davies, la cual se caracteriza porque se presentan fallos por errores humanos, de montaje o motto deficiente. Se recomienda análisis de falla hasta encontrar lo que esta haciendo perder la función al equipo para tomar los correctivos necesarios y poder concentrarse en tareas proactivas.
	MANTENIBILIDAD	MTR <sup>r</sup> 299,33	MTR <sup>r</sup> 9,98	BETA 0,37	ETA 69,41	Probabilidad 81,89%		Para la mantenibilidad la curva muestra que con una probabilidad de 82% el equipo se reparara antes de 10 meses, lo cual es un tiempo muy largo ya que se demora en reparación cerca de la mitad del tiempo que dura operando. Se debe trabajar en eliminar cualquier tipo de demoras, y en mejorar la gestión de repuestos para obtener un aumento en la disponibilidad del equipo.
RESULTADOS PLANEAOS	CONFIDABILIDAD	MTBM <sup>p</sup> 1293,46	MTBM <sup>p</sup> 43,12	BETA 0,42	ETA 436,37	Probabilidad 20,72%		La curva muestra que con una probabilidad de 20.7% los mantenimientos se programan cada 43 meses estos resultados manifiestan que las pérdidas de funcionalidad imputables a fallos que implican reparaciones son mayores que las pérdidas de producción generadas por la ejecución de mtos planeados, esto es muy evidente ya que el MTBmp > MTBMc. Pero igualmente estas intervenciones planeadas ayudan muy poco a erradicar las fallos imprevistos. Se recomienda monitoreo de la condición del equipo, para lograr una programación de tareas que ataque directamente los modos de falla más impactantes en la función del equipo.
	MANTENIBILIDAD	Mp <sup>r</sup> 21,93	Mp <sup>r</sup> 0,73	BETA 0,95	ETA 21,42	Probabilidad 64,04%		La curva muestra la tendencia del mantenimiento programado. Se puede observar que existe una probabilidad del 64% de que los mantenimientos programados terminen antes de 22 días aproximadamente. Por el Beta Cercano a 1, se puede decir que se está cerca de un buen control de los tiempos de ejecución, los cuales son cortos respecto a los tiempos operativos (buena señal). Se recomienda seguir trabajando en esta gestión para optimizarla.
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				64,1%				

		RESULTADOS INDICES CMD POR DISTRIBUCION WEIBULL							
EQUIPO ANALIZADO		SC2752A							
RESULTADOS CORRECTIVOS	CONFIDABILIDAD	MTBM' distribución (días)	MTBM' distribución (meses)	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		930,39	31	0,49	443,93	23,82%		El B indica que el equipo se encuentra en la fase I, donde fallos del tipo de materiales defectuosos, malos diseños o montajes incorrectos son predominantes en los eventos de falla del equipo. Para ello se recomienda fortalecer todos los preventivos e incorporar todas esas fallos repetitivos que son atendidos como correctivos, dentro del plan de mtto preventivo. También controlar calidad de materiales y chequeos de funcionamiento permanentes. La curva muestra que los correctivos se presentan en promedio cada 31 meses con una probabilidad de 23.82%	
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	MTR'	MTR'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		48,24	1,61	0,60	37,92	68,49%		Observando la curva se concluye que la probabilidad de que los mantenimientos correctivos se terminen antes de 48,2 días es de 68,48%. Se tiene una buena relación entre el tiempo operativo y el tiempo en falla, lo que ayuda a una alta disponibilidad del equipo. Se recomienda seguir con esta gestión en el tiempo para reparar, y estandarizarlos en la medida que las emergencias lo permitan.	
RESULTADOS PLANEAOS	CONFIDABILIDAD	MTBmp'	MTBmp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		354,01	11,80	0,58	225,09	27,23%		La curva muestra que con una probabilidad de 27,7% los mantenimientos se programan cada 13,6 meses. Esto deja ver una muy buena gestión en la programación de tareas, ya que el MP realmente se refleja en tiempos entre fallos altos (MTBMc). Se recomienda continuar programando los mantenimientos de esta manera, y procurar estandarizarlos para ratificar la gran disponibilidad que tenemos para este compresor.	
RESULTADOS PLANEAOS	MANTENIBILIDAD	Mp'	Mp'	BETA	ETA	Probabilidad	GRAFICA	COMENTARIO	
		19,85	0,66	1,46	21,90	57,95%		Analizando la curva se observa que existe una probabilidad de que los mantenimientos programados se terminen antes de 20 días del 57,95%. El control de los tiempos es muy bueno (Beta > 1), y es bajo comparado con los tiempos operativos. Se puede ver una muy buena gestión de Mantenimiento para el Compresor de la planta.	
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				90,3%					

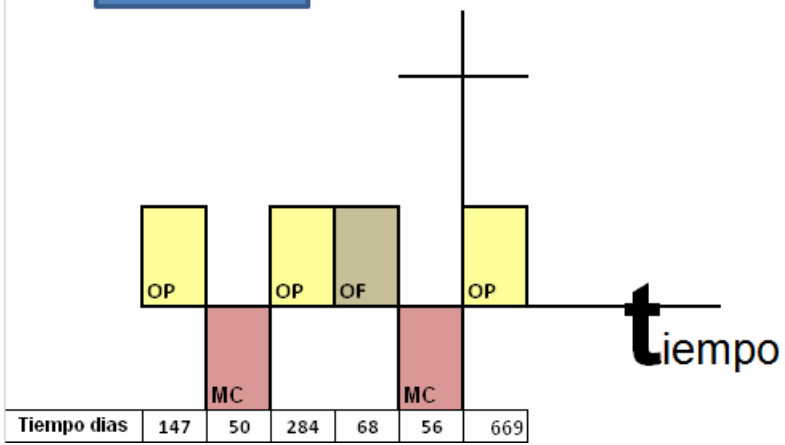
Anexo E. Pronósticos generados para los equipos Rotativos de la plante Cracking UOP I.



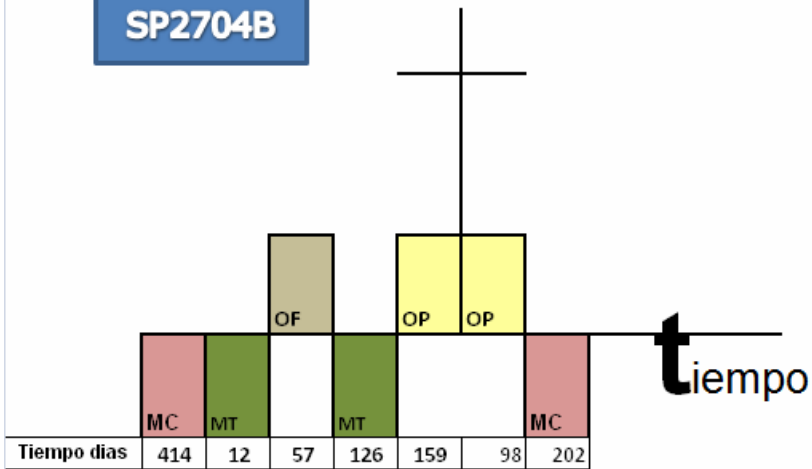
### SP2702B



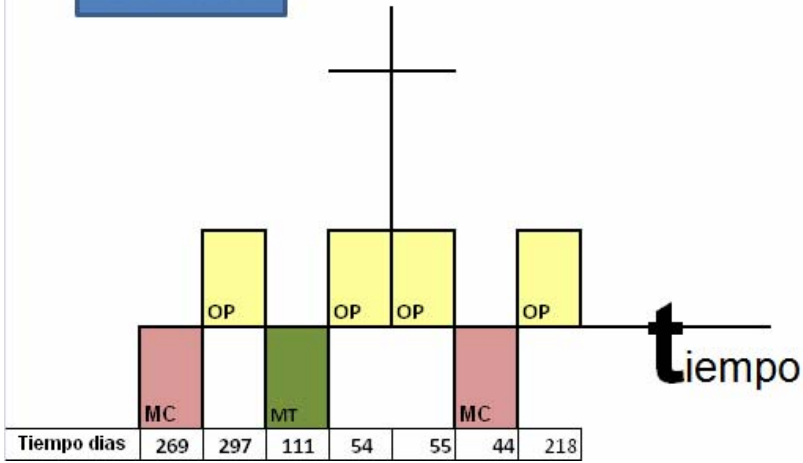
### SP2704A



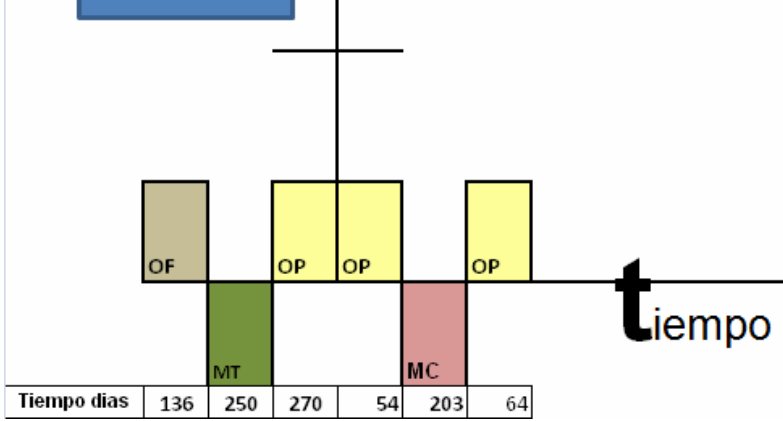
### SP2704B



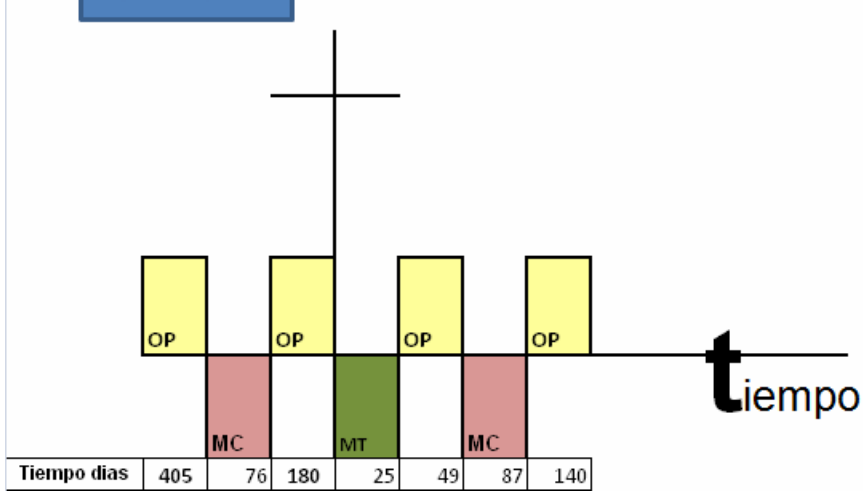
### SP2706A



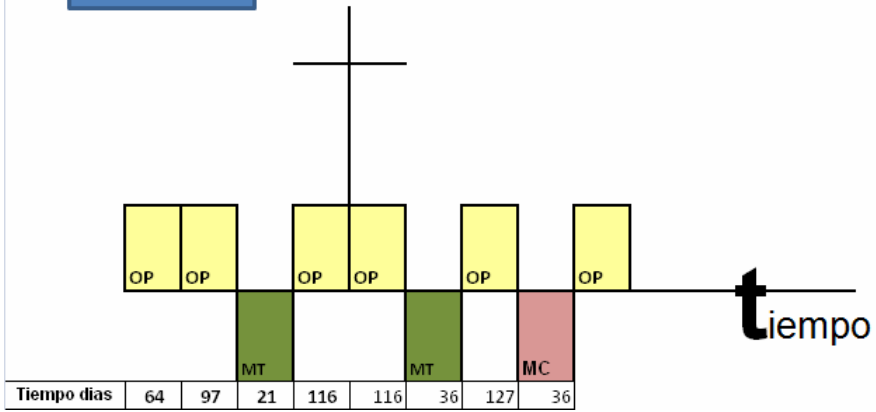
### SP2706B



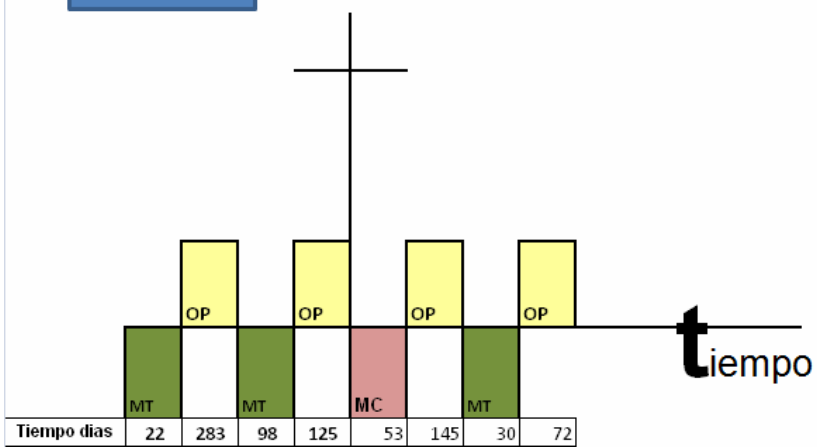
### SP2707A



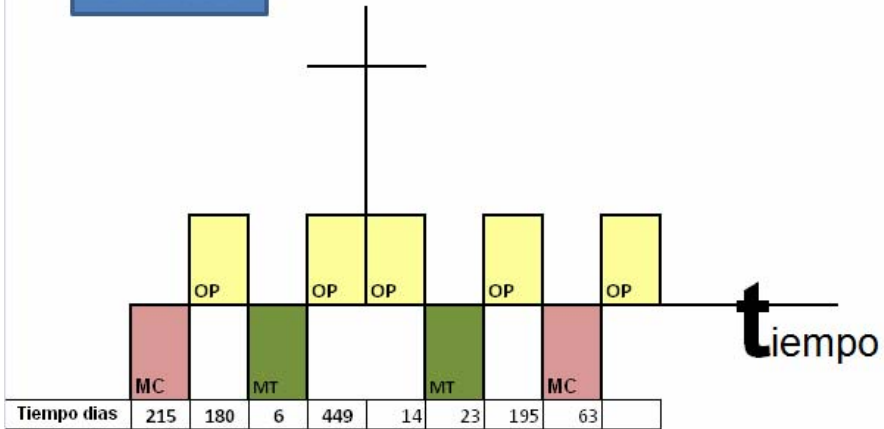
**SP2707B**



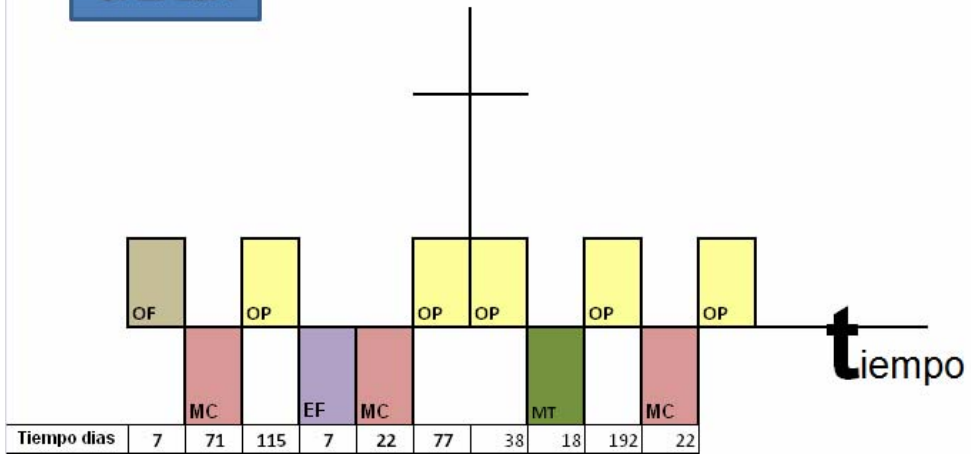
**SP2708A**



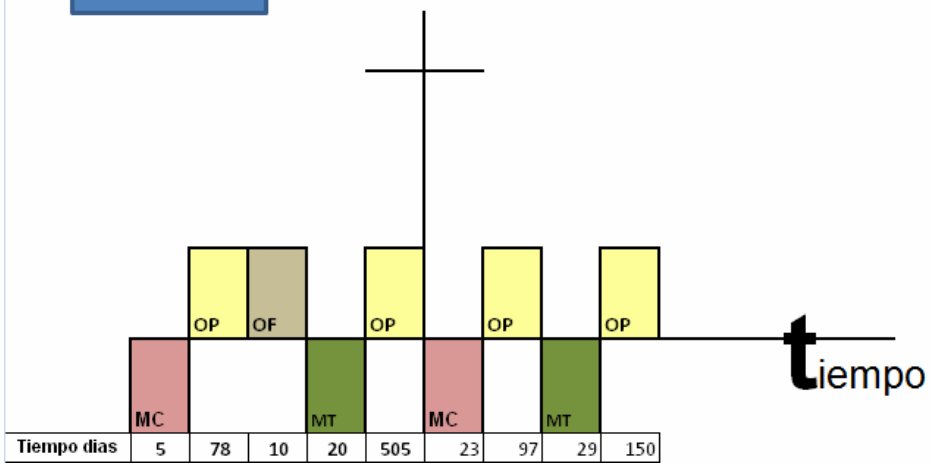
**SP2708B**



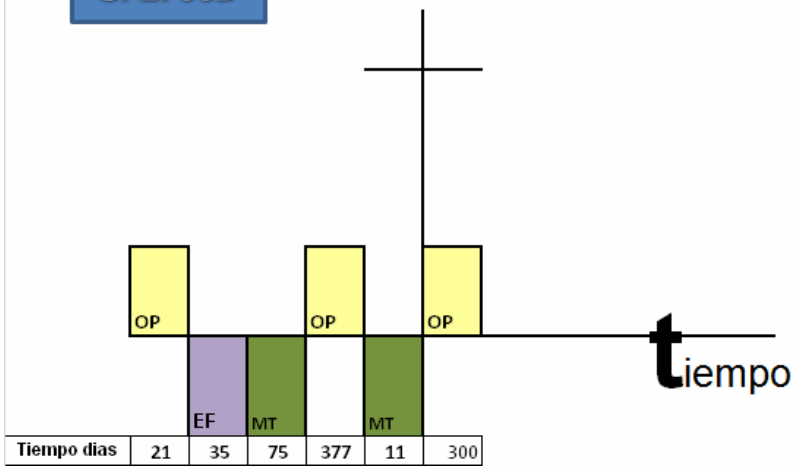
### SP2713A

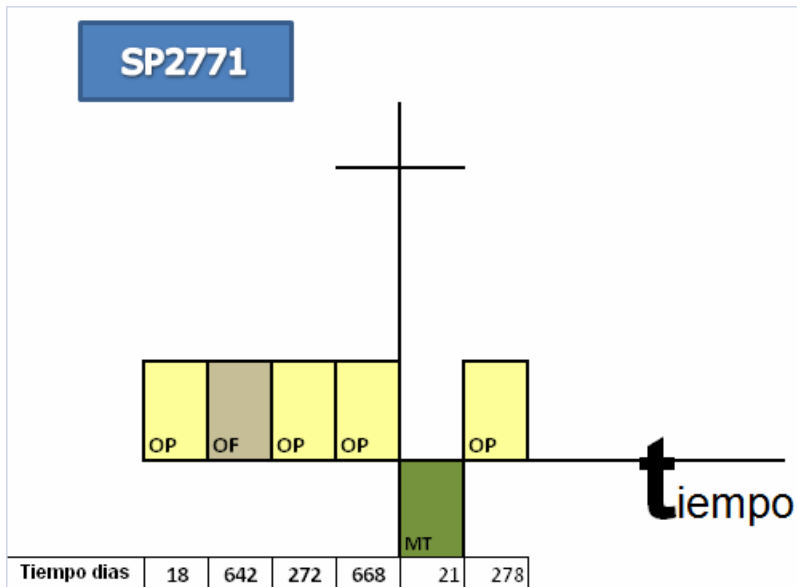
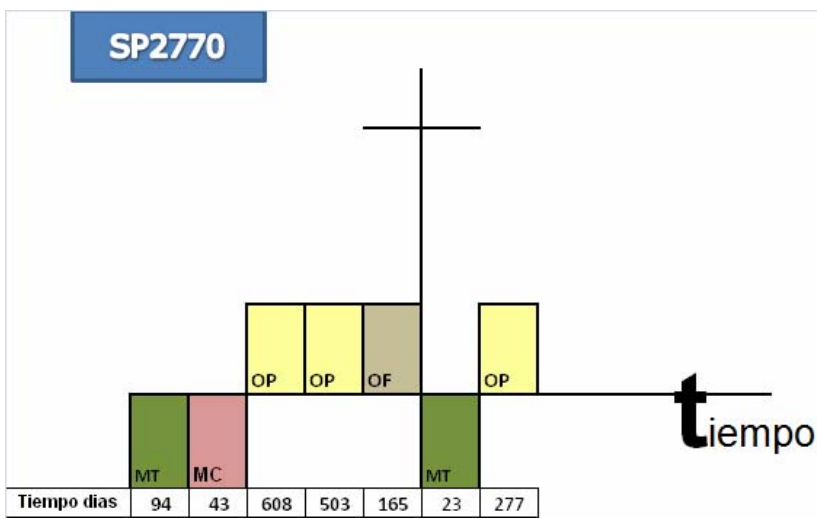
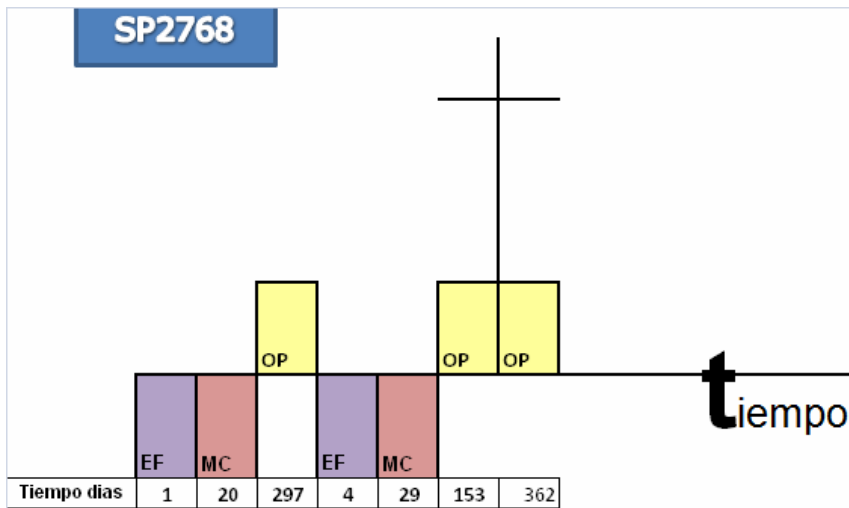


### SP2766A

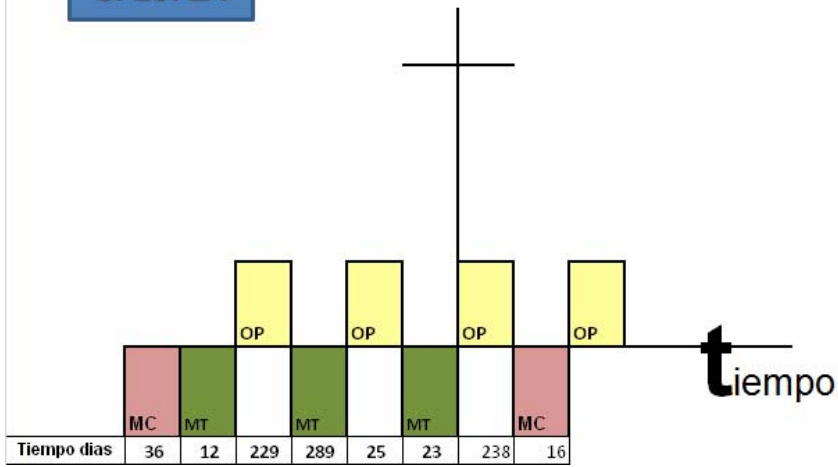


### SP2766B

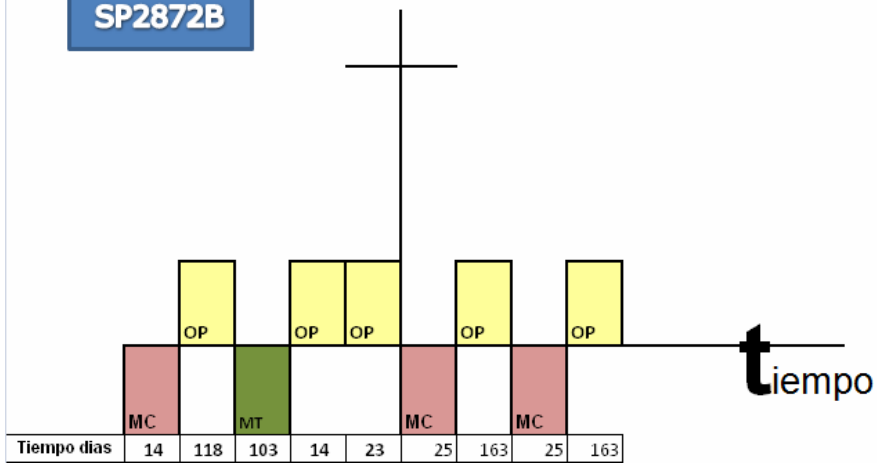




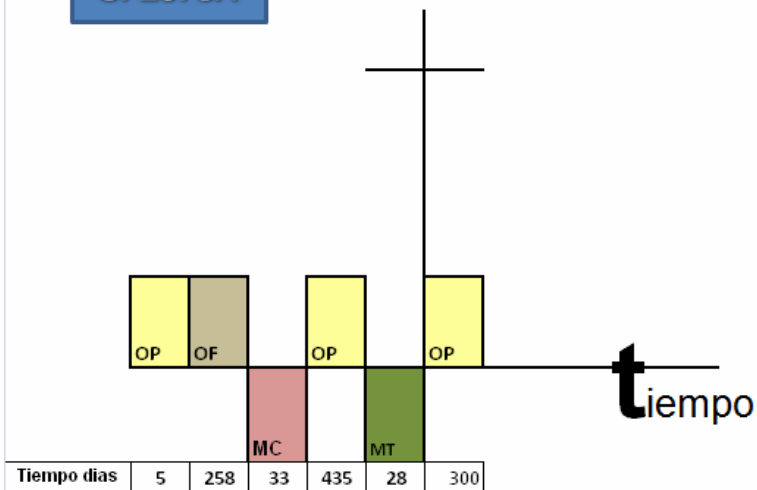
**SP2872A**



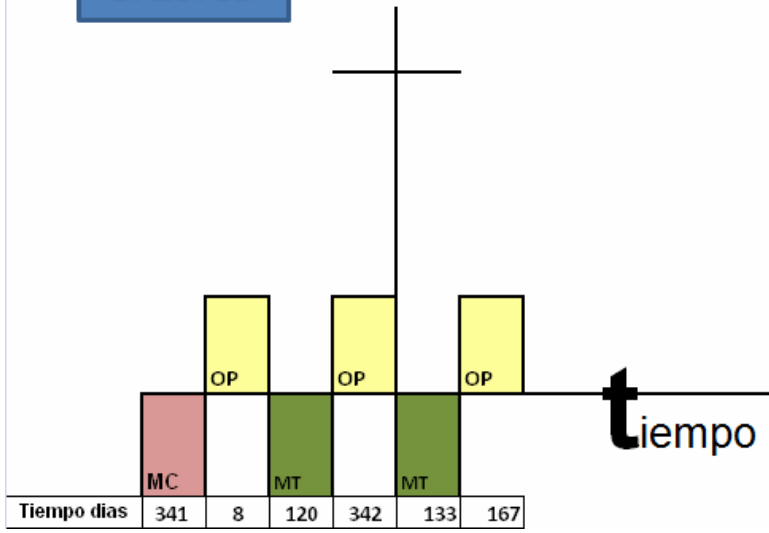
**SP2872B**



**SP2873A**



### SP2873B



### SP2876

