

**MEDICIÓN ESTRATÉGICA CMD EN EL SISTEMA DE VAPOR DE UNA
PLANTA QUÍMICA EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO**

**UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2013**

**MEDICIÓN ESTRATÉGICA CMD EN EL SISTEMA DE VAPOR DE UNA
PLANTA QUÍMICA EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO**

JOSE MANUEL UPARELA SAAD

**Proyecto final de Tesis para optar por el título de
Magister en profundización en Ingeniería
Énfasis Mantenimiento Industrial**

Asesor

Dr. PhD. Luis Alberto Mora Gutiérrez

**UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2013**

CONTENIDO

CONTENIDO	4
ECUACIONES.....	6
ILUSTRACIONES.....	7
0. PRÓLOGO	8
0.1 INTRODUCCIÓN	8
0.2 ANTECEDENTES.....	9
0.3 JUSTIFICACIÓN.....	11
0.4 OBJETIVO GENERAL	12
0.5 ESPECÍFICOS	12
0.5.1 Uno.....	12
0.5.2 Dos.....	12
0.5.3 Tres.....	12
0.5.4 Cuatro.....	12
0.5.5 Cinco.....	12
1. FUNDAMENTOS CMD.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 INTRODUCCIÓN	13
1.3 DESARROLLO	14
1.3.1 Confiabilidad.....	14
1.3.2 Mantenibilidad.....	17
1.3.3 Disponibilidad.....	19
1.4 CONCLUSIONES DE CAPÍTULO	20
2. SISTEMA	21
2.1 OBJETIVOS.....	21
2.2 INTRODUCCIÓN	21
2.3 DESARROLLO	21
Sistema de generación de vapor.....	21
2.4 DIAGRAMA DE PROCESO.....	24
2.5 IMPORTANCIA DEL VAPOR DENTRO DEL PROCESO.....	25
2.6 RECOLECCION Y SELECCIÓN DE DATOS.....	26
2.7 CONCLUSIONES DE CAPITULO	41
3. PRONÓSTICOS	42
3.1 OBJETIVO	42
3.2 INTRODUCCIÓN	42
3.3 DESARROLLO	42
3.3.1 Cálculo de pronósticos de FORECAST.....	44
3.3.2 Análisis táctico de los comportamientos en confiabilidad.....	44
3.3.3 Análisis táctico de los comportamientos correctivos.....	47
3.3.4 Análisis de las predicciones.....	50
3.3.5 Acciones.....	51
3.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO	52
4. PLANES.....	53
4.1 OBJETIVO	53
4.2 INTRODUCCIÓN	53

4.3	DESARROLLO – METODOLOGÍA	53
4.4	CONCLUSIONES DE CAPÍTULO	69
5.	CONCLUSIONES FINALES INTEGRALES	70
	BIBLIOGRAFÍA.....	73

ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Confiabilidad	15
Ecuación 2. Probabilidad	16
Ecuación 3. Representación matemática de la función de mantenibilidad	17
Ecuación 4. Disponibilidad.....	19

ILUSTRACIONES

Pag.

Ilustración 1. Diagrama de proceso	24
Ilustración 2. Datos de mantenimientos año 1	26
Ilustración 3. Datos de mantenimientos año 2.	27
Ilustración 4. Datos de mantenimientos año 3.	27
Ilustración 5. Datos de mantenimientos año 4.	29
Ilustración 6. Resumen de datos.....	31
Ilustración 7. Distribución en el tiempo de los TTR y TBF	34
Ilustración 8. Datos de Confiabilidad MTBF	36
Ilustración 9. Datos de Correctivos MTTR.	38
Ilustración 10. Series temporales bajo el método científico.....	43
Ilustración 11. Análisis gerencial táctico MTBF para Confiabilidad.....	44
Ilustración 12. Comportamiento β (Beta) <i>MTBF</i>	45
Ilustración 13. Comportamiento ETA MTBF	45
Ilustración 14. <i>MTBF</i> Calculado.	45
Ilustración 15. Resumen de pronósticos para β (Beta), η (Eta) y <i>MTBF</i>	46
Ilustración 16. Análisis Gerencial táctico MTTR correctivo.....	47
Ilustración 17. Comportamiento β (Beta) para MTTR.....	48
Ilustración 18. Comportamiento de η (Eta) para <i>MTTR</i>	48
Ilustración 19. MTTR Calculado.....	48
Ilustración 20. Resumen pronósticos para β (Beta), η (Eta) y <i>MTTR</i>	49
Ilustración 21. Flujo grama para el desarrollo del FMECA	56
Ilustración 22. Bombas Centrifugas.	59
Ilustración 23. Blower	60
Ilustración 24. Dispositivos a presión.	61
Ilustración 25. Tanques de almacenamiento	62
Ilustración 26. Válvulas de compuerta	63
Ilustración 27. Tuberías.	63
Ilustración 28. Motores Inductivos.....	64
Ilustración 29. Tableros eléctricos y paneles de distribución.....	65
Ilustración 30. Instalaciones eléctricas.....	65
Ilustración 31. Transmisores de presión, flujo, nivel e indicadores de presión.	66
Ilustración 32. Válvulas reguladoras automáticas, de presión y/o vacío.....	66
Ilustración 33. Edificios.	67

0. PRÓLOGO

0.1 INTRODUCCIÓN

Los conceptos Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad que son de naturaleza probabilística, tienen como objetivo fundamental inferir de manera cuantitativa acerca de posibles desenlaces de un evento en forma de pronósticos o predicciones. Estos se fundamentan en el análisis estadístico de la información histórica disponible de los eventos, como lo son las intervenciones de mantenimiento en los equipos analizados. Adicionalmente, estos conceptos proveen una serie de herramientas y modelos necesarios para describir y representar la información obtenida, en forma matemática y gráfica ajustándolos a un modelo probabilístico.

Se define la estadística tradicional como la ciencia de la experiencia, la cual permite representar de manera matemática por medio de las distribuciones los hechos transcurridos, como gráficas y ecuaciones que se ajustan a su comportamiento. En ocasiones no se posee suficiente información para realizar un estudio y poder representarlo de las maneras descritas. En estas situaciones realizar un tratamiento estadístico de los datos podría conducir al error, pues la información obtenida podría ser aleatoria y no representativa del comportamiento habitual del objeto de estudio. En estos casos, se toma como referencia el histórico de equipos similares y se adecua al objeto de estudio en caso de que difieran en gran manera.

Las distribuciones son modelos que describen la forma en que se espera que varíen los resultados o valores de una variable aleatoria, debido a que estas distribuciones tratan sobre expectativas de que algo suceda, resultan de suma

importancia para hacer deducciones y tomar las mejores decisiones en momentos de incertidumbre

Durante el desarrollo de esta investigación, se analizará el comportamiento de un sistema de generación de vapor en una planta química, utilizando las teorías de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, con el objetivo de plantear estrategias y acciones futuras de mantenimiento para cada uno de los componentes de este sistema. Con este fin, se aplicarán las distribuciones estadísticas conocidas y se analizarán sus resultados. De esta manera se construyen y parametrizan modelos de predicción de valores y funciones que puedan ser aplicadas en el modelo de estudio.

0.2 ANTECEDENTES

El sistema de generación de vapor en la planta hace parte del área de utilidades, tiene como objeto la producción de vapor saturado a una presión determinada. Dentro del proceso productivo industrial, el vapor es un componente fundamental debido a la importancia que posee dentro del ciclo productivo. Su función es suministrar vapor a determinadas presiones que sirven principalmente para la generación de vacío en eyectores, los cuales mantienen las presiones estables y controladas.

Otras de las aplicaciones del vapor, es el calentamiento. El vapor es suministrado a condiciones particulares en diferentes equipos de manera que permite mantener estable la temperatura de estos por seguridad industrial. Por ejemplo, puede ser inyectado e intercambiar calor con el agua almacenada en recipientes atmosféricos la cual es utilizada como materia prima en la producción de emulsiones acrílicas y productos para el agro, procesos que requieren de condiciones de temperatura específica.

El sistema de generación de vapor, está compuesto por dos calderas piro tubulares, que trabajan al límite de la presión de diseño. Desde punto de vista de seguridad esto implica que la operación y mantenimiento de estos equipos deben ser rigurosos y precisos.

Sin embargo, en estos momentos la operación y mantenimiento del sistema sometido a estudio, cuenta con deficiencias. En este se realizan tareas inadecuadas, con frecuencias inoportunas y análisis erróneos de datos operativos. Obteniendo como consecuencia fallas inesperadas en los equipos, que impactan de manera directa la disponibilidad del vapor para procesos alternos por una gran cantidad de tiempo. Esto se debe a que restaurar el sistema después de una falla toma varias horas en alcanzar la presión requerida en las calderas y poder suministrar vapor a la planta.

La eficiencia del sistema de generación está dada por diferentes relaciones como lo son la capacidad de producción de vapor vs la cantidad de vapor generado, y la cantidad de vapor producido vs la cantidad de vapor recibido debido a las pérdidas que se generan en la línea de suministro. Al medir estas cantidades, la eficiencia de la planta estudiada llegaría escasamente al 50 %, debido a problemas de aislamiento en las líneas de suministro, fugas en las juntas y uso inadecuado del vapor.

Por otra parte, al agua de alimentación de las calderas no se le realiza ningún tratamiento químico de limpieza (Secuestrante de Oxígeno, suavizadores de dureza). Esta suciedad genera incrustaciones en los tubos, teniendo como resultado la pérdida de transferencia de calor, pérdida en la integridad mecánica de los componentes de la caldera y disminución en la generación del vapor.

Por lo anterior, toma gran importancia la investigación y análisis del sistema de generación de vapor, con el fin de aumentar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema.

0.3 JUSTIFICACIÓN

Como consecuencia de las fallas ocurridas en el sistema de generación de vapor, la empresa ha perdido en producción cerca de 200 horas en los últimos 3 años, lo cual representa una pérdida que supera los US\$50.000 por año.

A causa de las ineficiencias con las que se cuenta en el proceso, las calderas son el principal consumidor de Gas natural. Se refleja entonces un incremento en el costo de producción por libras/hora de vapor generado. De esta manera se encuentra en estas fallas un potencial de ahorro en los consumos energéticos del proceso de generación.

Otro de los motivos que impulsan esta investigación, es llevar al sistema de generación de vapor al punto óptimo de operación, identificar los parámetros que se encuentran fuera de control, implementar planes adecuados y mantener la condición de diseño de cada uno de los componentes de este sistema.

0.4 OBJETIVO GENERAL

Plantear estrategias y acciones futuras de mantenimiento en el sistema de vapor en la planta de Dow Chemical, en el municipio de Soledad del departamento del Atlántico.

0.5 ESPECÍFICOS

0.5.1 Uno

Desarrollar los principios. Las reglas, tipos y aplicaciones de CMD - Nivel 1 - Conocer.

0.5.2 Dos

Describir el sistema de vapor con sus componentes principales, con el fin de identificar sus parámetros técnicos y operacionales - Nivel 2 - Comprender

0.5.3 Tres

Pronosticar los valores CMD en el sistema de vapor y sus componentes principales mediante la utilización de distribuciones. - Nivel 3 – Aplicar

0.5.4 Cuatro

Desarrollar acciones y estrategias de mantenimiento a partir de las predicciones de los parámetros y de las curvas CMD - Nivel 4 - Analizar

0.5.5 Cinco

Concluir los principales resultados obtenidos.

1. FUNDAMENTOS CMD

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar los principios, reglas, tipos y aplicaciones CMD, Nivel 2: Comprender.

1.2 INTRODUCCIÓN

Este capítulo servirá para introducir definiciones que facilitarán la comprensión los términos que se emplearán a lo largo del documento: Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad o CMD.

La confiabilidad hasta hace pocos años era desconocida en el ámbito del mantenimiento. Sin embargo ha adoptado mayor importancia año tras año y se ha posicionado como herramienta fundamental en los procesos de mantenimiento. Esta se define como la probabilidad de que un equipo opere sin fallas. A partir de ella es posible analizar, evaluar cada una de las fallas ocurridas en un equipo, sistema para luego eliminarlas, manteniendo en control el proceso.

La mantenibilidad tiene una connotación estadística relacionada con la probabilidad de que un equipo o sistema pueda volver a su estado normal de operación después de ser intervenido. (Mora, 2011)

La disponibilidad está relacionada directamente con la operación de los equipos. Se mide estadísticamente por medio de esta, la probabilidad de que los equipos y sistemas operen satisfactoriamente cuando sean requeridos.

1.3 DESARROLLO

El análisis CMD (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad), conocido también como análisis RAM (Reliability, Availability and Maintainability) permite pronosticar para un período determinado de tiempo, la disponibilidad y el factor de servicio de un proceso de producción. Se realiza basado en su configuración, en la confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de mantenimiento.

La estimación CMD, permite ejercer control sobre el sistema de mantenimiento y producción en lo que se refiere a sostenimiento y operación. Este permite la optimización de los recursos productos con los cual contamos.

De la misma forma se incluirán los pasos para el cálculo CMD por medio del Método de distribuciones

1.3.1 Confiabilidad

Es la propiedad de un sistema (elemento, componente o pieza) de cumplir las funciones previstas para él, manteniendo su capacidad de trabajo bajo los regímenes y condiciones de explotación prescritos y durante el intervalo de tiempo requerido.

De igual manera representa la probabilidad de que un equipo o sistema, funcione sin fallas durante un período de tiempo bajo condiciones normales. Es decir, la capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas.

La confiabilidad se ocupa de cuando el objeto de estudio (una máquina, una planta industrial, un proceso, un rodado, un sistema) cumple su función. Esta impacta directamente sobre los resultados de la empresa, debiendo aplicarse no sólo a máquinas o equipos aislados sino a la totalidad de los procesos que integran la cadena de valor de la organización

También se define como la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo, si no hay fallas, el equipo es 100% confiable, si la frecuencia de falla es muy alta, el equipo es poco confiable.

La confiabilidad es la probabilidad de que un activo cumpla con su función, en un tiempo determinado y bajo un entorno operacional específico.

Ecuación 1. Confiabilidad

$$CONFIABILIDAD: C(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

(Mora, 2011)

La definición de confiabilidad cuenta con cuatro características que determinan su estructura: Probabilidad, Desempeño satisfactorio, Periodo y Condiciones específicas

Probabilidad

La probabilidad es la característica de un evento, que describe las posibilidades de que éste se realizará.

La probabilidad p de que suceda un evento S de un total de n casos posibles igualmente probables es igual a la razón entre el número de ocurrencias h de dicho evento (casos favorables) y el número total de casos posibles n.

Ecuación 2. Probabilidad

$$PROBABILIDAD: p = P\{S\} = \frac{h}{n}$$

(Merdado, 2004)

La probabilidad es un número (valor) que varía entre 0 y 1. Cuando el evento es imposible se dice que su probabilidad es 0, si el evento es cierto y siempre tiene que ocurrir su probabilidad es 1.

Desempeño Satisfactorio.

Identifica los criterios con los cuales se define la operación satisfactoria de nuestros componentes. Es una combinación de variables cualitativas y cuantitativas que definen las funciones que el sistema debe lograr y que usualmente son las condiciones del sistema.

- Periodo

Esta variable define el tiempo en que el sistema se encuentra en funcionamiento, es decir su ciclo de vida. El análisis de esta variable aleatoria, implica el uso de las distribuciones de probabilidad, que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida. (Nachlas, 1995)

Condiciones Específicas

Son las condiciones a las cuales se encuentra el sistema durante su operación regular. Entre ellas se encuentran: Temperatura ambiente, Humedad relativa, Condiciones ambientales, etc.

Los indicadores de confiabilidad permiten evaluar e identificar el funcionamiento correcto de un equipo. Estos indicadores deben ser entendibles, cuantificables y ser compartidos con todo el personal de mantenimiento, junto con el cual se

definen los objetivos, acciones y metas propuestos. Estos indicadores deben mostrar el resultado real del comportamiento del sistema, sin exceder en número de indicadores, se deben definir los más relevantes para la operación y mantenimiento, los cuales deben arrojar los resultados esperados.

1.3.2 Mantenibilidad

Es la propiedad que tiene un sistema en ser restaurado después de haber ocurrido una falla. Esto representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restaurarlo una vez se ha presentado una falla.

Es la propiedad que tiene un sistema en ser restaurado después de haber ocurrido una falla. Esto representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restaurarlo una vez se ha presentado una falla.

Ecuación 3. Representación matemática de la función de mantenibilidad

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

(Mora Gutierrez, 2011).

Donde $M(t)$, es la función de mantenibilidad o de reparación, la cual va aumentando en la medida que se incrementa el tiempo t . Al igual $\lim_{t \rightarrow 0} M(t) = 0$ o enunciando como $M(0) = 0$ denota que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero es cero.

Se dice que un sistema es mantenible cuando el esfuerzo asociado a su restauración es bajo, esto implica que la probabilidad de que un sistema sea

restituido a sus condiciones de operación normal es alta. En caso contrario, cuando los esfuerzos asociados a la restitución del sistema son altos, se define que el sistema tiene baja mantenibilidad, ósea que la probabilidad es baja.

El esfuerzo de mantenimiento, incluye la duración (horas) o el esfuerzo (horas-hombre) invertidos en desarrollar todas las acciones necesarias para mantener el sistema o uno de sus componentes para restablecerlo o conservarlo en una condición específica.

La mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema.

La mantenibilidad, depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos especializados, etc.) Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

Un mismo sistema puede poseer una alta mantenibilidad para unos tipos de fallo, pero otra muy baja para otros.

1.3.3 Disponibilidad

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado.

En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir de manera continua como.

Ecuación 4. Disponibilidad

$$DISPONIBILIDAD: D(t) = \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda(t)}$$

(Mora, 2011)

Donde $\mu(t)$, es la tasa de reparación y $\lambda(t)$, es la tasa de fallas.

De igual manera, se puede definir como una función que permite calcular el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un sistema esté en condiciones adecuadas para cumplir la función para la cual fue diseñado. La disponibilidad no implica necesariamente que un sistema esté funcionando, sino que está cumpla las condiciones necesarias para operar cuando sea requerido.

1.4 CONCLUSIONES DE CAPÍTULO

A lo largo del desarrollo de este capítulo, se definen los componentes y variables relevantes en el análisis CMD, los cuales permiten estructurar fundamentos acertados y dirigir la investigación.

Los análisis CMD, permiten pronosticar cual sería el comportamiento probable de un sistema o componente, como se comportó en tiempo y cuáles fueron sus desviaciones en el área de mantenimiento que más impactaron el proceso. De esta forma, es posible optimizar los recursos de la compañía, y tener un sistema confiable, mantenible y disponible cuando sea requerido.

2. SISTEMA

2.1 OBJETIVOS

Describir el sistema de vapor con sus componentes principales, con el fin de identificar sus parámetros técnicos y operacionales. Nivel 2: Comprender.

2.2 INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta los tiempos operacionales y de mantenimientos realizados en el sistema de generación de vapor de la planta, se pueden identificar fallas recurrentes, pérdidas productivas, tipos de mantenimientos y mejoras que se pueden realizar en el sistema.

El análisis *CMD* a realizar en este documento, incluye datos operacionales y mantenimiento de los últimos años. Debido a que se cuenta con información de tiempos operacionales vs tiempos perdidos.

Durante el desarrollo del capítulo, se identificarán los diferentes parámetros *CMD*, teniendo como base los *TBF* y *TTR* generados en el sistema de generación de vapor

2.3 DESARROLLO

Sistema de generación de vapor.

El sistema de Generación de Vapor, está compuesto por los siguientes elementos.

Suministro agua des Ionizada al pre calentador / des aireador.

Sistema de bombeo compuesto por un motor de 3hp a 3660 rpm, bomba de 42GPM con una TDH de 142ft.

Tiempo de operación día: 16 horas.

Des aireador / Pre calentador Agua suministro Agua Calderas.

Sistema de pre calentamiento de agua para suministro de calderas, compuesto por un recipiente cilíndrico como tanque de almacenamiento, un sistema de válvulas de control de presión, vacío y regulación de vapor.

Este sistema alimenta por succión positiva a las bombas de suministro de agua caliente para calderas.

Modo de operación: El sistema recibe agua des ionizada, la cual ingresa al equipo por un costado, esta agua se calienta por convección forzada con vapor, este vapor es regulado y controlado por válvulas de alivio y reguladoras de presión, el sistema opera con vapor de baja, a 15 lb/in² máximo.

Al momento de succionar las bombas de suministro de agua caliente a las calderas, entra en operación una válvula rompe vacío que impide que el pre calentador colapse.

La importancia de Pre calentador está relacionada con los siguientes procesos:

- a. Calentar el agua a temperaturas cercanas o igual a los 90°C, al ingresar el agua a la caldera y ésta se encuentra a temperaturas cercanas al punto de evaporación, teniendo que emplear menos energía en la caldera para generar el vapor saturado, ganando eficiencia en el proceso de generación de vapor.
- b. Eliminar las burbujas de aire generadas por el contacto de agua y vapor, evitando la cavitación en los impeler de las bombas de suministro de agua a calderas.

Suministro Agua a Calderas:

Sistema compuesto por 04 bombas de alta presión, multi-etapas, las cuales succionan agua caliente a 10 lb/in², y descargan en las calderas a 220 lb/in².

Cuatro bombas cada una con capacidad de 3000 GPM y un TDH 1000ft; cada bomba cuenta con su motor eléctrico de 25 hp, y giro de 3600 rpm.

Teniendo en cuenta que las bombas alimentan 2 calderas, cuando estas últimas se encuentran en operación solo opera una bomba por caldera, la otra se encuentra en espera, en caso de presentar algún tipo de falla o mantenimiento en la bomba que se encuentra operando. El encendido y apago de este sistema de bombeo se encuentra conectado a un interruptor de nivel tipo boya.

Motor Eléctrico, Marca Siemens, 25HP, 3600 RPM. Bomba marca GOULD, diámetro succión 2", diámetro descarga 1 ½".

Calderas

Está compuesto por 02 calderas piro tubulares de 300 BHP, las cuales generan vapor saturado a 200 lb/in².

Tuberías de Suministro de Vapor a la Planta.

Está compuesto por líneas de 6" y 4" las cuales transportan y contienen el vapor hacia la planta; estas tuberías sumar alrededor de 1500 metros de tubería de alta presión.

- Sistema de Regulación de vapor:

El proceso productivo de la empresa requiere 2 presiones de vapor, vapor de alta y vapor de baja.

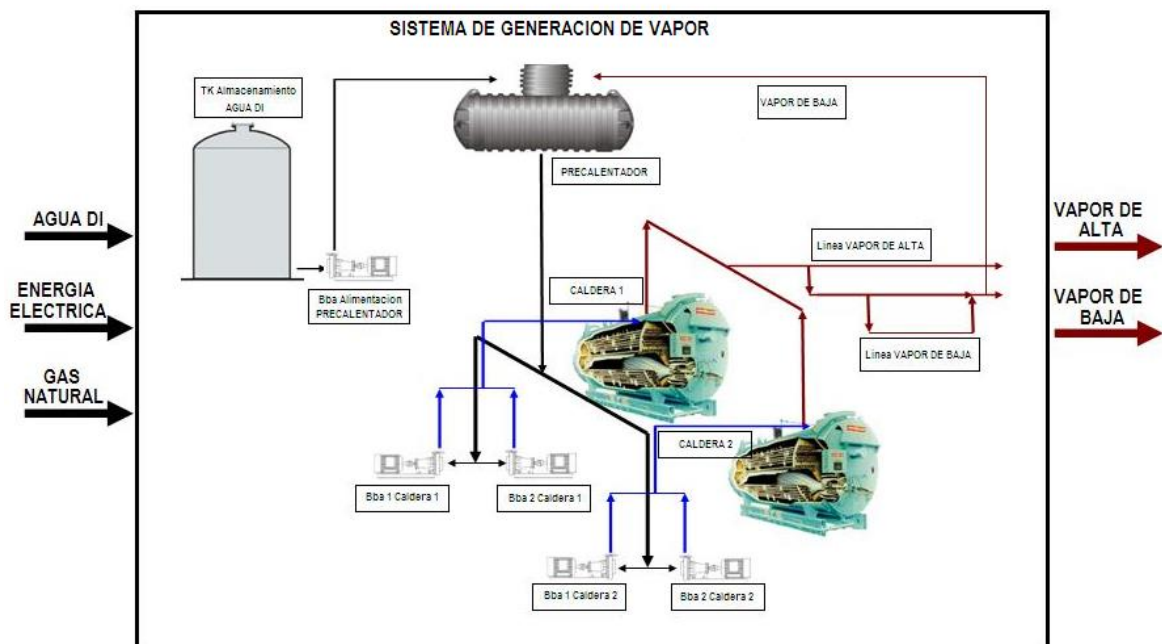
Esta regulación se realiza a la salida de las calderas, utilizan válvulas reguladoras auto pilotadas, las cuales registran las presiones aguas arriba y aguas debajo de las válvulas y de acuerdo a la diferencia encontrada durante la medición, se regula la presión a la salida, estas válvulas regulan tanto presión como caudal, Marca Fisher, referencia 90B.

Adicional la línea de vapor de baja, cuenta con una válvula de alivio regulada a 80 lb/in², para evitar sobrepresiones en ésta línea.

2.4 DIAGRAMA DE PROCESO.

A continuación se presenta el diagrama de proceso del sistema de generación de vapor de la planta, en donde se describen cada una de sus entradas y salidas del volumen de control seleccionado.

Ilustración 1. Diagrama de proceso



(Uparela, 2010)

Entradas:

- Agua DI (Agua Des Ionizada).
- Energía Eléctrica.

- Gas Natural

Salidas:

- Vapor de Alta.
- Vapor de Baja.
- Gases de Combustión.

2.5 IMPORTANCIA DEL VAPOR DENTRO DEL PROCESO.

El vapor suministrado al proceso productivo de la planta tiene como variables controladas, la presión de operación, cantidad producida y temperatura en el proceso.

La variable de presión de operación tiene valores de 200 lb/in² para el valor alto y de 60 lb/in², para el valor bajo.

Como funciones principales del sistema, está el suministro de vapor de alta a los eyectores (Sistema de Vacío), el cual dentro de proceso controla las presiones dentro del sistema de secado rotativo (RVD, Rotary Vacuum Dryer), por medio de vacío y la temperatura, hacen que las partículas procesadas se combinen, generando un nuevo producto que continua siendo procesado.

Las variables presión y temperatura en esta parte del proceso son variables críticas ya que cualquier desviación de ellas, generaran lotes de producción fuera de especificaciones, incremento en el tiempo de proceso.

El vapor de baja presión se utiliza en el proceso para calentamiento de equipos, piscinas y ejes; en piscinas, sin embargo su función principal es suministrar calor

al agua. Un ejemplo de su utilidad se da al introducirse el vapor a canecas de 55 Galones con producto endurecido y con el calor se ablanda para poder ser utilizado en el proceso. De igual manera se calienta agua en un tanque atmosférico para ser utilizada como materia prima. Por último se utiliza para el calentamiento de ejes y tornillos transportadores, homogenizando de la temperatura del producto dentro del proceso.

De esta forma se concluye que el sistema de generación de vapor, hace parte importante en los procesos de la planta, por lo cual es motivo de nuestra investigación.

2.6 RECOLECCION Y SELECCIÓN DE DATOS

Los datos que en este documento se recopilan, son extraídos de reportes de mantenimientos realizados durante los últimos años. Esta información relaciona los diferentes tipos de mantenimientos empleados en la línea, correctivos, preventivos y predictivos.

Ilustración 2. Datos de mantenimientos año 1

HORAS	ATRASOS POR FALTA DE VAPOR
2	Falla Vapor de Baja
1	Mantenimiento PSV Vapor de Baja
3	Falla Vapor de Alta
0,5	Falla Vapor de Alta
6	Reparación de regulador de vapor de baja
1	Mantenimiento Regulador Vapor de baja

(Uparela, 2010)

El 75% de Las falla en la disponibilidad en el sistema de generación de vapor ocurridas en el primer año de medición, están relacionadas con la regulación de vapor de baja, mantenimientos correctivos y preventivos en las válvulas de regulación y alivio.

Ilustración 3. Datos de mantenimientos año 2.

HORAS	ATRASOS POR FALTA DE VAPOR
6	Baja presión de vapor de alta
4.5	Falla utilidades: Falla de vapor de alta: se quedó vacío tanque de alimentación de agua a la caldera.
11.2	Daño en válvulas de vapor en utilidades
2.6	Mantenimiento de válvula reguladora de vapor

(Uparela, 2010)

En el segundo año según la Tabla 2, el tiempo empleado en mantenimiento correctivo tiene mayor demanda en la reparación de las válvulas de regulación de vapor de baja, en donde una falla acumula el mayor porcentaje de horas perdidas en la disponibilidad del sistema.

Ilustración 4. Datos de mantenimientos año 3.

HORAS	ATRASOS POR FALTA DE VAPOR
3,75	Falla en el vapor de alta.
2,62	Falla en el vapor de alta.
6,27	Falla en el vapor de alta.
5,50	Falla de vapor, por daño en la caldera

2,92	Falla en el vapor de baja
2,25	Falla en el vapor de alta.
2,90	Falla en el vapor de alta.
3,05	Falla en el vapor de alta.
3,07	Falla en el vapor de alta.
3,33	Falla en el vapor de alta.
3,33	Falla en el vapor de alta.
3,55	Falla en el vapor de alta.
3,05	Falla en el vapor de alta.
2,38	Falla en el vapor de baja
3,33	Falla en el vapor de alta.
2,73	Falla en el vapor de alta.

(Uparela, 2010)

A diferencia de años anteriores, en el tercer año las fallas del sistema de generación de vapor están relacionadas con la ausencia de vapor de alta en el proceso productivo.

La ausencia de vapor de alta en el sistema de generación de vapor puede ser generado por las siguientes fallas.

- Fallas en la caldera: problemas en el tren de gas para combustión, problemas en el blower de aire para combustión, falla en suministro eléctrico, problemas en el sistema de instrumentación y control.

- Falla en bombas de suministro de agua caliente a calderas: problemas en bombas, problemas en motores.
- Falla en suministro de Agua DI: perdida de nivel del tanque de almacenamiento, problemas en la bomba de suministro de agua DI.
- Fugas de vapor: consumos excesivos de vapor en el proceso.

Ilustración 5. Datos de mantenimientos año 4.

HORAS	ATRASOS POR FALTA DE VAPOR
0,5	Falla Vapor de Alta
2,5	Falla Vapor de Alta
2,5	Falla Vapor de Alta
6,5	Falla Vapor de Baja
1	Falla Vapor de Baja
2	Falta de Vapor / Fallas en suiche CONTROLADOR DE PRESION DE ALTA.
0,4	Falla Vapor de Alta
0,4	Falla Vapor de Alta
1,5	Falla Vapor de Alta
6,2	Falla Vapor de Alta
0,3	Falla Vapor de Alta
1	Falla Vapor de Baja
0,75	Falla Vapor de Alta

0,15	Falla Vapor de Alta
0,8	Falla Vapor de Alta

(Uparela, 2010)

En el cuarto año, a diferencia del año inmediatamente anterior, la falla en el vapor de alta, está relacionada directamente con la perdida de eficiencia en las calderas, teniendo en cuenta en el proceso productivo no se realizaron cambios en los consumos, la capacidad de la vapor producido no es suficiente, teniendo que variar la programación en los procesos para usar vapor de alta, sin tener que afectarse entre sí.

Directamente la falla en el vapor de alta, está atada a la temperatura del agua DI de alimentación a las calderas, este calentamiento ocurre en el equipo denominado Pre calentador.

Esta falla se presenta debido a:

- a. Baja presión de Vapor de Baja: problemas en las válvulas principales de regulación de vapor, problemas en la válvula de regulación de vapor en el pre calentador.
- b. Baja presión y caudal de agua DI de alimentación: problemas en la bomba de alimentación de agua DI.
- c. Perdida de presión de vapor: problemas en la válvula de vacío, problemas en la válvula de alivio.

Selección de datos

Los datos recolectados en el proceso de investigación son agrupados en una tabla y se organizan por fechas, tiempos de reparación, tiempos operativos.

Estos datos son analizados teniendo en cuenta el mismo lapso de tiempo, en este caso los datos fueron divididos en mediciones mensuales. Dando como resultado la siguiente ilustración.

Ilustración 6. Resumen de datos.

FECHA	Tiempo de reparación (TTR)	Tiempo Operativo (TBF)	MTBF Instantáneo	MTTR Instantáneo
Mes 1	1,95	128,30	128,30	1,95
Mes 2	0,00	0,00	64,15	0,98
Mes 3	1,00	1863,73	664,01	0,98
Mes 4	0,00	0,00	498,01	0,74
Mes 5	3,00	1282,33	654,87	1,19
Mes 6	0,42	848,25	687,10	1,06
Mes 7	6,18	460,75	654,77	1,79
Mes 8	1,00	1238,07	727,68	1,69
Mes 9	0,00	0,00	646,83	1,51
Mes 10	0,00	0,00	582,14	1,36
Mes 11	0,00	0,00	529,22	1,23
Mes 12	0,00	0,00	485,12	1,13
Mes 13	2,50	3110,00	687,03	1,23
Mes 14	0,00	0,00	637,96	1,15
Mes 15	9,18	1614,10	703,04	1,68

Mes 16	0,00	0,00	659,10	1,58
Mes 17	0,00	0,00	620,33	1,48
Mes 18	0,00	0,00	585,86	1,40
Mes 19	0,00	0,00	555,03	1,33
Mes 20	0,00	0,00	527,28	1,26
Mes 21	0,00	0,00	502,17	1,20
Mes 22	3,75	4875,00	700,93	1,32
Mes 23	0,00	0,00	670,46	1,26
Mes 24	2,62	1281,00	695,90	1,32
Mes 25	0,00	0,00	668,06	1,26
Mes 26	0,00	0,00	642,37	1,22
Mes 27	5,50	2249,03	701,87	1,37
Mes 28	2,92	511,58	695,08	1,43
Mes 29	2,90	89,70	674,20	1,48
Mes 30	3,33	181,67	657,78	1,54
Mes 31	0,00	0,00	636,56	1,49
Mes 32	3,55	1661,12	668,58	1,56
Mes 33	3,33	695,12	669,39	1,61
Mes 34	3,38	75,97	651,93	1,66
Mes 35	0,00	0,00	633,31	1,61

Mes 36	6,45	1204,47	649,17	1,75
Mes 37	2,08	575,68	647,19	1,76
Mes 38	7,32	292,30	637,85	1,90
Mes 39	3,08	1133,52	650,56	1,93
Mes 40	3,50	277,25	641,22	1,97

(Uparela, 2010)

Entre los últimos 4 años se presentaron 40 intervenciones de mantenimiento. De estas, 3 fueron para realizar mantenimiento preventivo a 3 diferentes equipos del sistema, lo que representa el 7% del total de acciones de mantenimiento.

De igual manera, los 3 mantenimientos preventivos realizados, acumulan el 4% del total de los tiempos, teniendo en cuenta que los 2 últimos años evaluados, no presentaron mantenimientos preventivos en el sistema de generación de vapor. Por lo anterior, estos tiempos de mantenimiento preventivo, no se tendrán en cuenta para el proceso de análisis CMD del sistema de generación de vapor.

Cálculos para determinar la disponibilidad del sistema.

Para evaluar la disponibilidad del sistema, es necesario tener en cuenta los siguientes tiempos.

- a. Tiempo de operación.
- b. Tiempo activo de reparación.
- c. Tiempo inactivo.
- d. Tiempo de mantenimiento preventivo.
- e. Tiempo administrativo.
- f. Tiempo de funcionamiento sin producir.

g. Tiempo logístico.

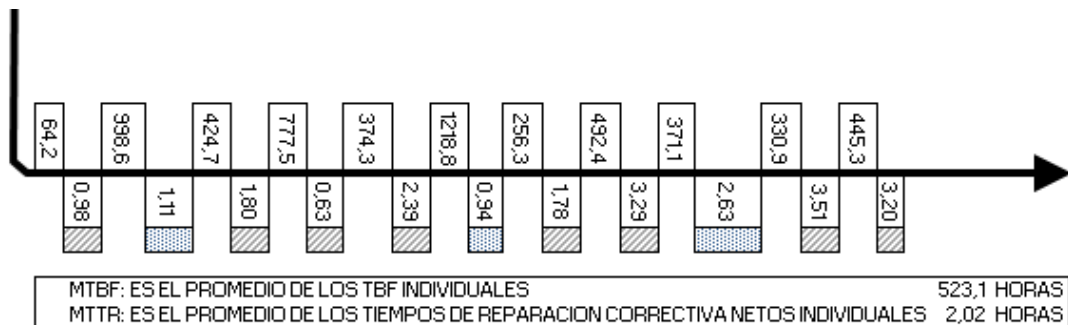
Cada uno de estos tiempos empleados en el proceso de mantenimiento, permite la identificación y definición del tipo de disponibilidad a aplicar para evaluar el sistema.

En el análisis realizado solo se cuenta con los tiempos activos de reparación y los tiempos operativos. El tiempo activo neto de reparación o MTTR es tomado sin demoras y contando con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación.

De acuerdo a lo anterior, se define que la disponibilidad aplicable a nuestros cálculos es la disponibilidad inherente. Dicha disponibilidad, es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando sea requerida en cualquier tiempo, bajo las condiciones de operación específica y con un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, logística o administrativa. (Blanchard, y otros, 1994) (Blanchard, 1995)

La disponibilidad inherente, no contempla los mantenimientos planeados. Se encuentra basada únicamente en la distribución de fallas y en la distribución de los tiempos de reparación. (Ebeling, 2005).

Ilustración 7. Distribución en el tiempo de los TTR y TBF



(Mora, 2011)

Ecuación 4. Ecuación para determinar Disponibilidad Inherente del sistema.

$$\text{Disponibilidad inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$\text{Disponibilidad inherente, } A_1 = 99.6\%$$

(Mora, 2011)

se extraen los datos para ser cargados en Valramor, un software que permite hallar los β , η y MTBF. Para el tratamiento estadístico, en los meses en los cuales no hallan ocurridos intervenciones de mantenimiento, se utilizan los datos inmediatamente anteriores, de esta forma se podrá graficar y analizar el comportamiento del sistema en el tiempo.

Una vez se elige el cálculo de la disponibilidad que se va a utilizar se procede a la estimación de los parámetros mediante una o dos distribuciones en función de la necesidad específica. La calidad de la selección de la prueba de bondad de ajuste (Goodness of Fit- Test, diferencia entre la realidad y los valores obtenidos de la distribución asumida para los diferentes tiempos t), indicará el grado de ajuste de la simulación lograda con la distribución adoptada. (Mora, 2011).

Es importante resaltar la importancia de tener una gran cantidad de datos de fallas, tiempos útiles, reparaciones, etc., debido a que en cuanto mayor sea la cantidad de datos (mayor de treinta y un elementos), la estimación del parámetro es más cercana al valor real. De igual manera, es necesario que al menos al menos una cifra total de MTBF en tiempo mayor a 10 veces el MTTR (Leemis, 1995).

Cálculos para determinar los MTBF del sistema

Para obtener los datos de Beta, Eta y MTBF para confiabilidad y los Beta, Eta y MTTR para correctivos, se utiliza un software de distribuciones, de esta manera se obtiene:

Ilustración 8. Datos de Confiabilidad MTBF

ANALISIS GERENCIAL CON DISPONIBILIDAD INHERENTE – DATOS DE CONFIABILIDAD MTBF
--

	βeta de MTBF X MIL	Eta η de MTBF	Rho de MTBF	Goodness of Fit KS	MTBF
Mes 1					
Mes 2					
Mes 3	475,8767	1201,90		O.K.	2644,84
Mes 4	475,8767	1201,90		O.K.	2644,84
Mes 5	634,4423	1389,59		O.K.	1951,64
Mes 6	811,5227	1286,66		O.K.	1443,17
Mes 7	980,5532	1079,29		O.K.	1088,51
Mes 8	1059,5648	1166,99		O.K.	1140,76
Mes 9	1059,5648	1166,99		O.K.	1140,76
Mes 10	1059,5648	1166,99		O.K.	1140,76
Mes 11	1059,5648	1166,99		O.K.	1140,76
Mes 12	1059,5648	1166,99		O.K.	1140,76

Mes 13	1017,6323	1475,18		O.K.	1464,55
Mes 14	1017,6323	1475,18		O.K.	1464,55
Mes 15	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 16	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 17	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 18	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 19	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 20	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 21	1079,6409	1551,64		O.K.	1506,68
Mes 22	1017,0674	1922,36		O.K.	1908,94
Mes 23	1017,0674	1922,36		O.K.	1908,94
Mes 24	1076,9075	1895,47		O.K.	1842,17
Mes 25	1076,9075	1895,47		O.K.	1842,17
Mes 26	1076,9075	1895,47		O.K.	1842,17
Mes 27	1121,7406	1979,59		O.K.	1898,18
Mes 28	1153,8678	1819,95		O.K.	1730,36
Mes 29	960,3301	1645,17		O.K.	1675,07
Mes 30	936,5463	1486,79		O.K.	1532,23
Mes 31	936,5463	1486,79		O.K.	1532,23
Mes 32	963,5504	1534,54		O.K.	1559,99

Mes 33	1004,5748	1480,91		O.K.	1478,07
Mes 34	910,9367	1358,58		O.K.	1420,20
Mes 35	910,9367	1358,58		O.K.	1420,20
Mes 36	937,4401	1373,77		O.K.	1415,08
Mes 37	969,5129	1329,11		O.K.	1347,33
Mes 38	986,4947	1256,65	0,9858	O.K.	1264,02
Mes 39	1011,0429	1268,17	0,9856	O.K.	1262,38
Mes 40	1022,3348	1206,94	0,9895	O.K.	1196,03

Ilustración 9. Datos de Correctivos MTTR.

ANALISIS GERENCIAL CON DISPONIBILIDAD INHERENTE – DATOS DE CORRECTIVOS MTTR
--

	βeta de MTTR X MIL	Eta η de MTTR	Rho de MTTR	Goodness of Fit KS	MTTR Calculado	Tiempo Reparación Neto DT
Mes 1						1,95
Mes 2						1,95
Mes 3	1,9068	1,75		O.K.	1,55	1,00
Mes 4	1,9068	1,75		O.K.	1,55	1,00
Mes 5	1,7434	2,34		O.K.	2,09	3,00

Mes 6	1,1733	1,88		O.K.	1,78	0,42
Mes 7	1,0049	2,81		O.K.	2,80	6,18
Mes 8	1,0892	2,49		O.K.	2,41	1,00
Mes 9	1,0892	2,49		O.K.	2,41	1,00
Mes 10	1,0892	2,49		O.K.	2,41	1,00
Mes 11	1,0892	2,49		O.K.	2,41	1,00
Mes 12	1,0892	2,49		O.K.	2,41	1,00
Mes 13	1,1983	2,57		O.K.	2,42	2,50
Mes 14	1,1983	2,57		O.K.	2,42	2,50
Mes 15	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 16	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 17	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 18	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 19	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 20	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 21	1,0554	3,38		O.K.	3,31	9,18
Mes 22	1,1266	3,52		O.K.	3,37	3,75
Mes 23	1,1266	3,52		O.K.	3,37	3,75
Mes 24	1,2015	3,49		O.K.	3,28	2,62
Mes 25	1,2015	3,49		O.K.	3,28	2,62

Mes 26	1,2015	3,49		O.K.	3,28	2,62
Mes 27	1,2257	3,76		O.K.	3,52	5,50
Mes 28	1,2886	3,75		O.K.	3,47	2,92
Mes 29	1,3458	3,73		O.K.	3,42	2,90
Mes 30	1,3988	3,76		O.K.	3,43	3,33
Mes 31	1,3988	3,76		O.K.	3,43	3,33
Mes 32	1,4468	3,80		O.K.	3,44	3,55
Mes 33	1,4923	3,82		O.K.	3,45	3,33
Mes 34	1,5347	3,84		O.K.	3,45	3,38
Mes 35	1,5347	3,84		O.K.	3,45	3,38
Mes 36	1,5329	4,03		O.K.	3,63	6,45
Mes 37	1,5800	3,93		O.K.	3,53	2,08
Mes 38	1,5617	4,14		O.K.	3,72	7,32
Mes 39	1,6001	4,12		O.K.	3,70	3,08
Mes 40	1,6366	4,13	0,9732	O.K.	3,69	3,50

En donde se cumple con la norma de tener más de 31 datos analizables, que el MTBF sea mayor que el MTTR.

2.7 CONCLUSIONES DE CAPITULO

Para la evaluación y recolección de los datos, estos fueron agrupados utilizando una misa escala de tiempo, con el objetivo de evaluar de forma correcta y sistémica cada uno de los datos obtenidos.

Durante el desarrollo del capítulo, se observó un incremento considerado de fallas en los dos últimos años, pasando de 5 fallas anuales en promedio en los dos primeros años, a tener 16 fallas en promedio en los dos últimos; esto refleja el poco mantenimiento preventivo que se le realiza al sistema y cada uno de sus componentes.

Después de agrupar los datos, calculamos los tiempos medios operativos y tiempos medios de mantenimiento, los cuales nos permiten graficar los comportamientos y hacer los pronósticos en el capítulo siguiente.

La disponibilidad seleccionada y calculada en el ejercicio, es la disponibilidad inherente, ya que esta permite analizar los resultados del comportamiento del sistema sin tener en cuenta los tiempos de mantenimientos preventivos, y solo utiliza los tiempos de falla y tiempos operaciones.

Los resultados de los cálculos en la disponibilidad inherente arrojan una disponibilidad del 99.6%, la cual es alta teniendo como base, los tiempos de falla obtenidos en el ejercicio. Esto se puede explicar debido a que se especula que durante el tiempo de evaluación, se realizaron mantenimientos preventivos que no fueron registrados en el sistema, lo que tácitamente ayuda a este comportamiento.

3. PRONÓSTICOS

3.1 OBJETIVO

Pronosticar los valores CMD en el sistema de vapor y sus componentes principales mediante la utilización de distribuciones. Nivel 3: Aplicar

3.2 INTRODUCCIÓN

Los pronósticos son herramientas que permiten conocer el posible comportamiento futuro de alguna variable. Son utilizadas para toma de decisiones en diferentes campos, de tal manera que se cuente con información exacta y congruente que soporte un proceso decisivo. En este caso, se pretende evaluar el comportamiento del sistema de generación de vapor en la empresa sometida a estudio y realizar las recomendaciones necesarias.

Existen tres métodos para realizar pronósticos: cualitativos, de proyecciones históricas y causales. Éstos se diferencian entre sí, por el grado de precisión del pronóstico realizado, teniendo en cuenta si es a corto o a largo plazo. A lo largo del capítulo se utilizarán pronósticos de series temporales, las cuales un menor margen de error frente a la predicción realizada.

3.3 DESARROLLO

Los pronósticos bajo el método de series temporales, usando los modelos clásicos (ajustes por tendencia, los de suavización-Brown, Holt Winter, X census 11, etc. Y los de descomposición – Winter, X11, etc. Y los modernos – metodología Box-Jenkins y A.R.I.M.A), son los más recomendados para conocer el futuro cercano. Se basan en el uso y el desarrollo de toda la metodología estandarizada universalmente para realizar estos pronósticos, de tal forma que se garanticen resultados con buena bondad de ajuste entre pronósticos realizados y reales. (Mora, 2011).

La metodología de estos pronósticos se basa netamente en el modelo científico de investigación y aplicación científica. A continuación se destacan los pasos que usa la metodología. (Mora, 2011).

Ilustración 10. Series temporales bajo el método científico.

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

(Mora, 2011)

Son utilizados dentro de este estudio los estudios proyectivos. Los cuales se encuentran dentro de las tres grandes categorías de los métodos futurísticos.

Adicionalmente, estos estudios según su entorno son estables trabajando con datos numéricos en promedios de tiempo de cero a 2 meses. Esto significa que son estudios a corto plazo, basados en análisis numéricos bajo la estimación científica.

Por otro lado, la mayoría de métodos de predicción se basan en la extrapolación de información del pasado y presente hacia el futuro. Sin embargo, existen excepciones de los modelos modernos denominados A.R.I.M.A; en series temporales. (Mora, 2011).

3.3.1 Cálculo de pronósticos de FORECAST

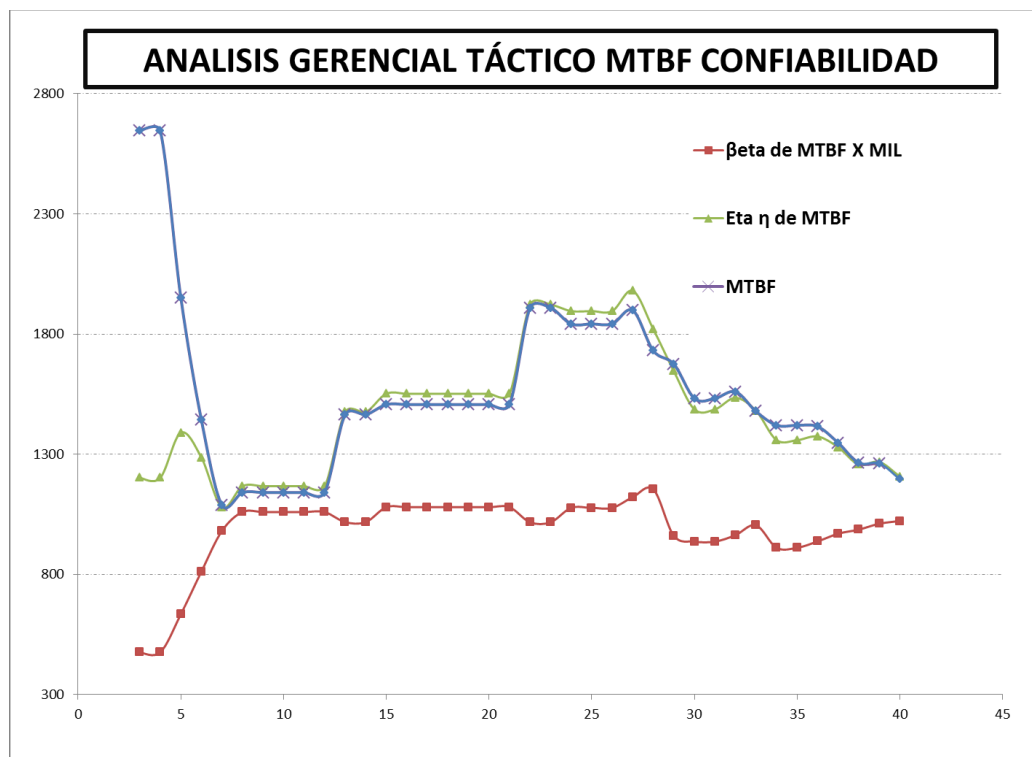
De acuerdo a los datos obtenidos, se grafica los β (Betas), η (Etas) y MTBF encontrados. De esta forma se podrá analizar el comportamiento de cada uno de ellos en el transcurso del tiempo evaluado.

Adicionalmente, los datos recopilados permiten pronosticar el comportamiento de cada una de estas variables en el futuro cercano. Se hará uso del Software Forecast Pro XE, con licencia del Dr. Luis Albero Mora, Asesor.

3.3.2 Análisis táctico de los comportamientos en confiabilidad

Para estructurar el análisis de comportamientos en confiabilidad, es necesario graficar cada uno de los datos calculados en el capítulo anterior, basándose en los tiempos operacionales.

Ilustración 11. Análisis gerencial táctico MTBF para Confiabilidad.



Predicciones de η (eta), β (beta) y MTBF Con Software Forecast Pro XE; licencia de Luis Alberto Mora.

Ilustración 12. Comportamiento β (Beta) *MTBF*.

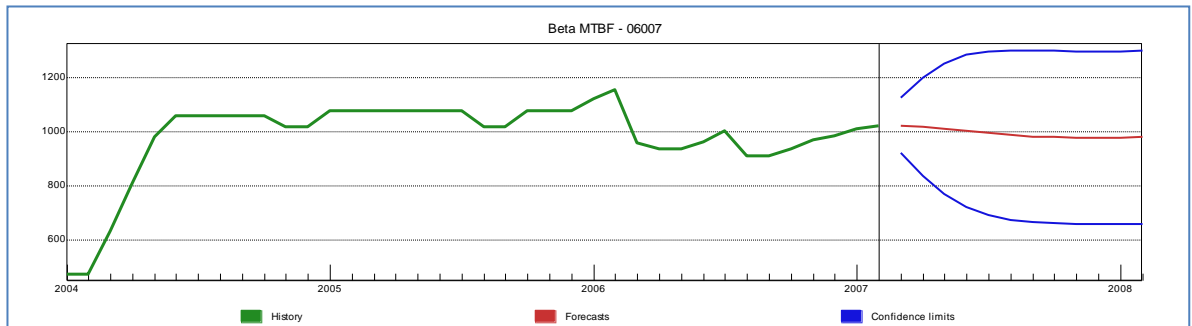


Ilustración 13. Comportamiento ETA *MTBF*

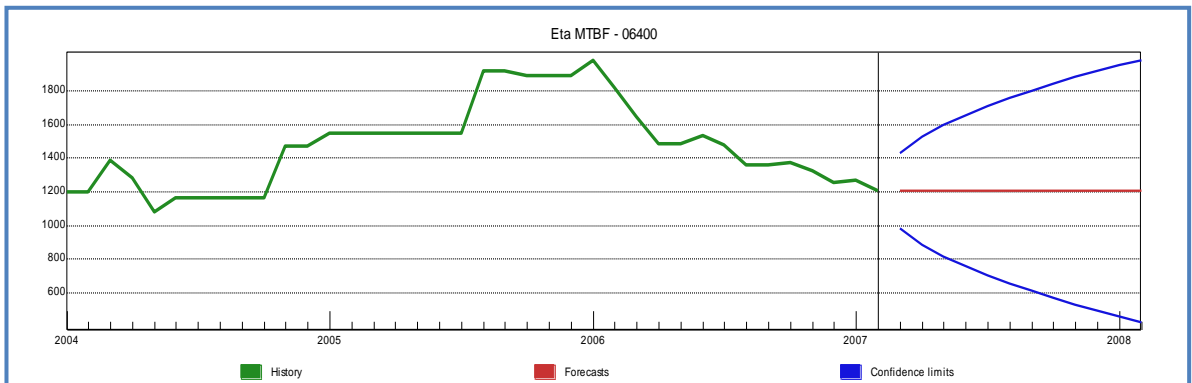


Ilustración 14. *MTBF* Calculado.

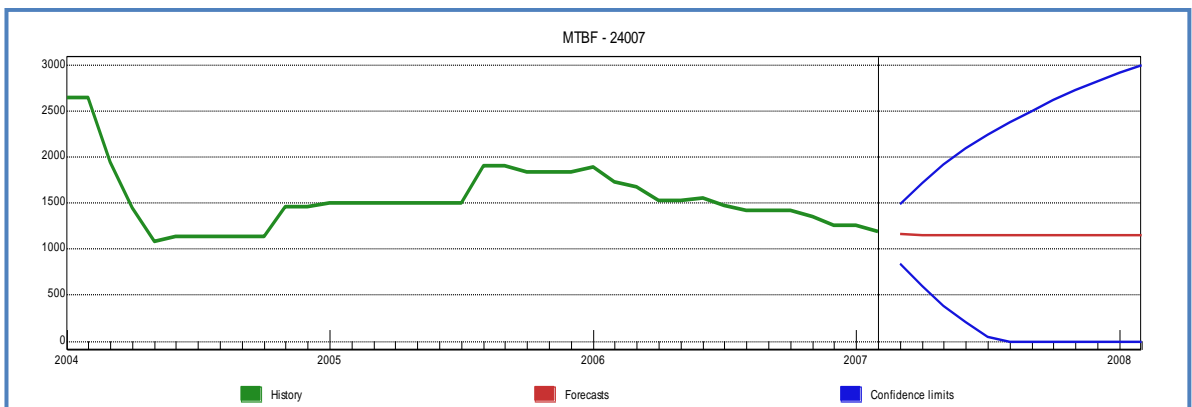


Ilustración 15. Resumen de pronósticos para β (Beta), η (Eta) y *MTBF*.

Pronósticos realizados con series Temporales de Forecast PRO XE de la Casa MIND			
β de MTBF X MIL	Eta η de MTBF	Goodness of Fit KS	MTBF
1023,98	1206,94	Mayores al 99%	1167,13

En la ilustración 11, se observa que el β (beta) en el tiempo tiene tendencia de mantenerse constante, esta variable debemos mantenerla de esta forma, esto se evidencia de igual manera en los resultados arrojados en los pronósticos.

En cuanto al comportamiento del MTBF en el tiempo, inicialmente mostro valores altos. Sin embargo, a partir del mes 23, el cual tiene el tiempo más alto, inicia una curva con pendiente negativa. Esto pudo haber sido causado por diferentes razones, entre las cuales se presume que en el pasado se realizó algún tipo de mantenimiento preventivo, que no quedo registrado en el sistema y de alguna manera influencio este comportamiento y mejoras en los tiempos.

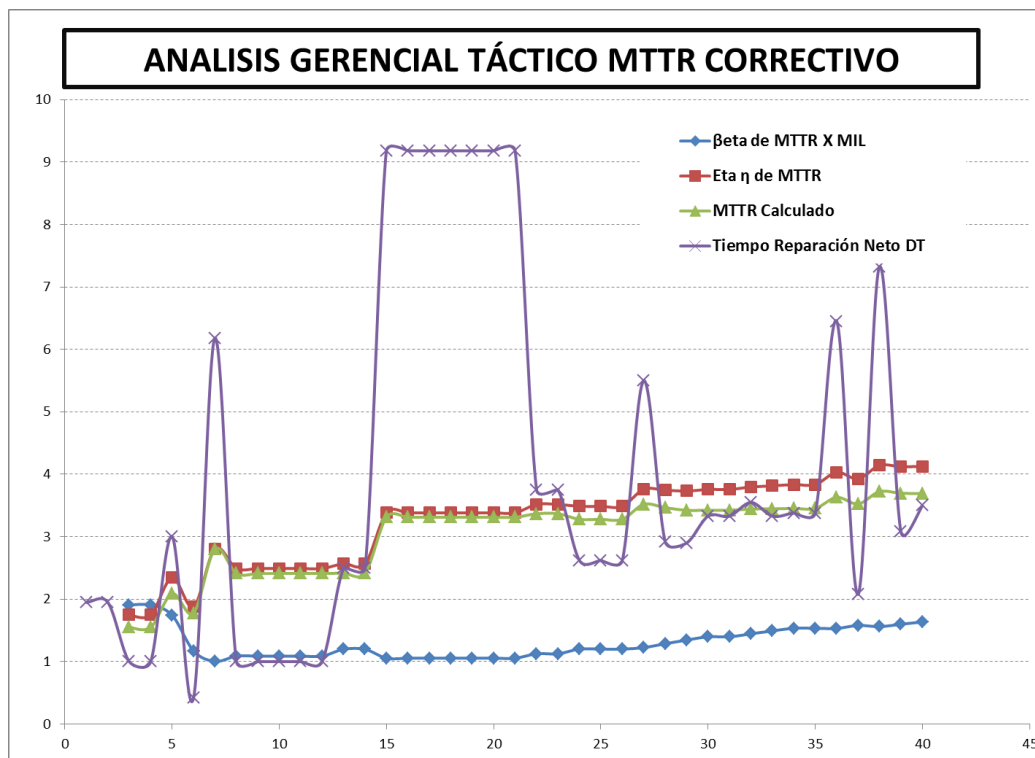
El comportamiento de η , de la misma manera que los MTBF, tiene tendencia a disminuir. Esto pudo ser causado por fallas correctivas imprevistas que influyen esta situación.

Los pronósticos aplicados a cada una de estas variables, muestran las tendencias de cada una de ellas, β se mantiene constante, η y MTBF, con tendencia a disminuir. Que corresponden al comportamiento histórico que han tenido..

3.3.3 Análisis táctico de los comportamientos correctivos.

De la misma manera que en el análisis de comportamientos en confiabilidad, Son utilizados los datos de tiempos de mantenimiento. De esta manera se grafican los comportamientos de las variables aplicadas, teniendo como resultado las siguientes gráficas y sus respectivos pronósticos. Es necesario graficar cada uno de los datos calculados en el capítulo anterior, basándose en los tiempos operacionales.

Ilustración 16. Análisis Gerencial táctico MTTR correctivo



Predicciones de Eta beta y MTTR Con Software Forecast Pro XE; licencia de Luis Alberto Mora.

Ilustración 17. Comportamiento β (Beta) para MTTR

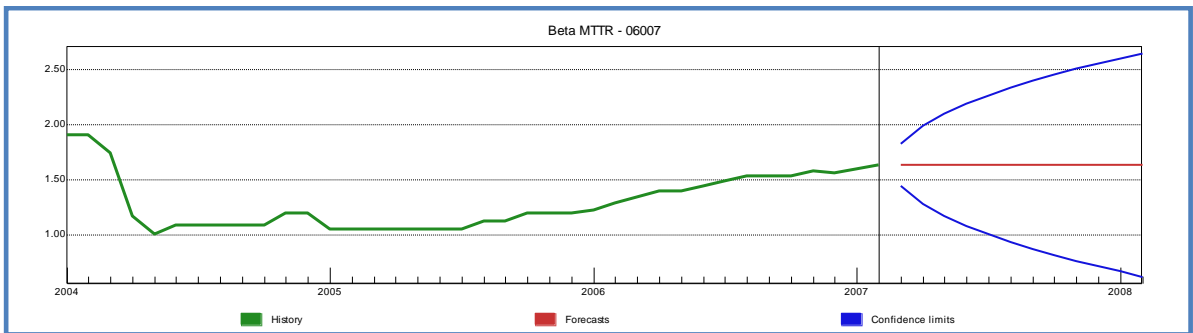


Ilustración 18. Comportamiento de η (Eta) para MTTR.

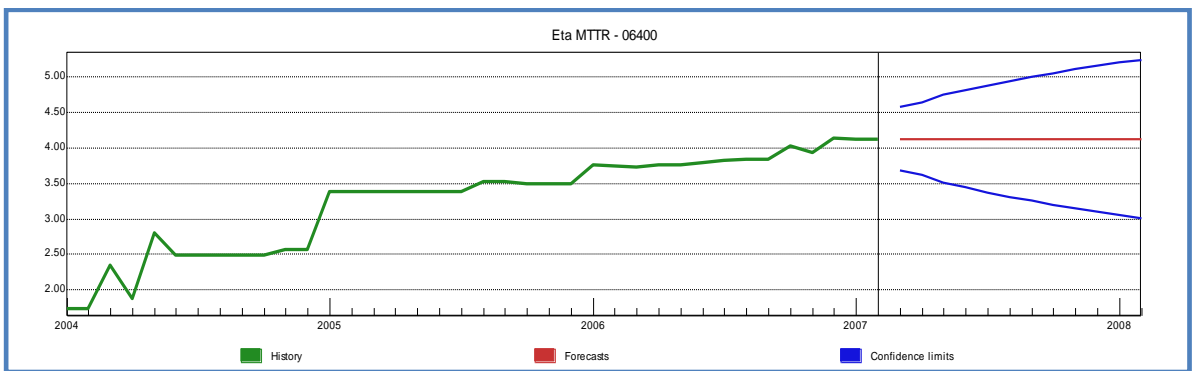


Ilustración 19. MTTR Calculado

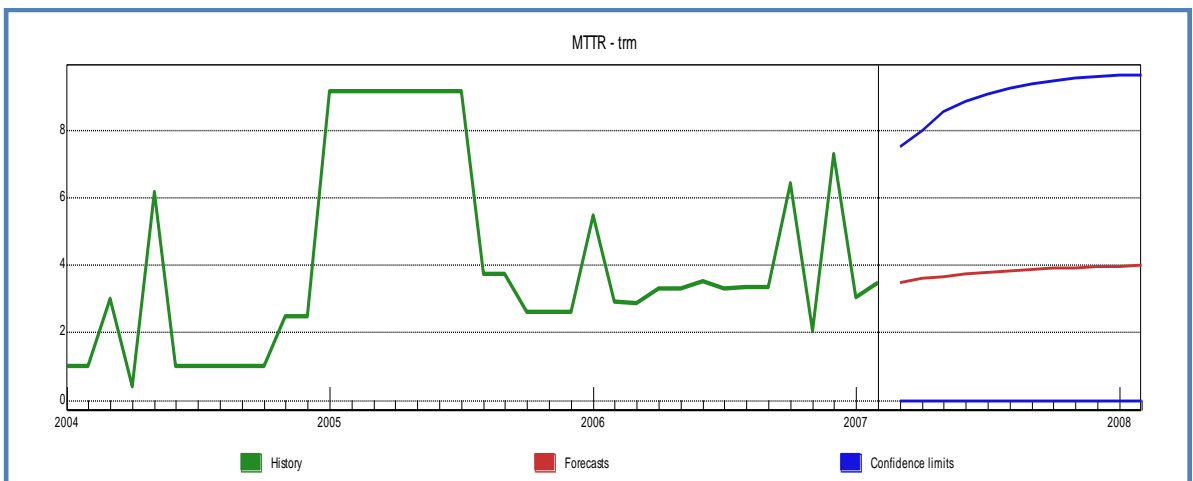


Ilustración 20. Resumen pronósticos para β (Beta), η (Eta) y *MTTR*.

Pronósticos realizados con series Temporales de Forecast PRO XE de la Casa MIND			
β de MTTR X MIL	Eta η de MTTR	Goodness of Fit KS	MTTR Calculado
1,63	4,12	Mayores al 99%	3,47

En la ilustración 16, se observa que el MTTR al final de la etapa de estudio, tiene tendencia a permanecer estable, pero con un crecimiento significativo. Estas características inusuales, pueden tener varias causas entre las se puede mencionar que los tiempos de reparación estén disminuyendo realizando trabajos ineficientes en lugares diferentes a la raíz de la falla.

Se debe implementar una metodología, además de un grupo caza fallas, de manera inmediata que atienda el origen de las fallas. De igual forma, se deben implementar planes preventivos en los equipos en donde las fallas posean altos valores en MTTR. En otras palabras, identificar cuáles son las fallas que más impactan y a estas, implementarles acciones preventivas y/o predictivas, de esta manera, minimizamos los impactos generados.

De la misma manera, valores de β tienen un comportamiento anormal pues tienen a alza. Se encuentran mezclados de manera tácita y oculta en algunos trabajos de mantenimientos preventivos inadecuados de a la manera que los están realizando, y no se cuenta con registros ni reportes de su ejecución.

Se emiten las siguientes recomendaciones para implementar en el sistema.

- a. Implementar la metodología de cauda raíz, y ponerla en práctica.
- b. Establecer una metodología básica, como lo es el *TPM*, que propenda en la creación de mantenimientos autónomos, y mantenimientos preventivos.
- c. Después de 6 meses de haber puesto en marcha el *TPM*, utilizar el análisis numérico de la metodología RCM, por los momentos, para darle prioridad a las cosas que mayor tiempo reparación están absorbiendo.
- d. Realizar los mantenimientos correctivos de forma adecuada.

3.3.4 Análisis de las predicciones.

Adicionalmente, se utilizan varios software, entre los cuales están el VALRAMOR y WEIBULL6, los cuales son programas de la Universidad EAFIT; y cuentan con sus licencias vigentes. Con estos se pretende validar los datos obtenidos para los pronósticos realizados.

Los resultados arrojados con estos programas y en comparación con los datos obtenidos en el anterior análisis, demuestran que los cálculos realizados y obtenidos son consistentes y coherentes.

En cuanto a los cálculos del β del MTBF, y el pronóstico obtenido en el análisis anterior, son prácticamente iguales de la misma manera que los η y MTBF. Esto se menciona en los análisis anteriormente realizados, se observa que el sistema de generación de vapor está perdiendo de manera constante de tiempos útiles.

El MTBF errores de predicción de 0,16%, son válidos estadísticamente hablando.

En los tiempos MTTR, se observa que el β , η , comparando los valores obtenidos con los valores pronosticados, quedado validado totalmente.

MTTR calculado, por disponibilidad vs pronosticado, da a conocer que MTTR está disminuyendo significativamente y esto afirma con antelación de que el valor parece estar disminuyendo indiscriminadamente. Es decir, cada vez los tiempos de reparación son menores.

La disponibilidad inherente calculada, es del 99.7%, lo cual es utópico y no refleja el verdadero comportamiento del sistema que se encuentra en condiciones deplorables. No obstante se realizan los cálculos, como soporte en esta investigación.

3.3.5 Acciones

- a. Utilizar e implementar metodologías como FMECA / RCA.
- b. Implementar mantenimientos preventivo
- c. Después de 6 a 8 meses implementar RCM,
- d. Actualmente, iniciar con la metodología numérica del RCM, para poder priorizar.

3.4 CONCLUSIONES DE CAPITULO

Los resultados obtenidos en este capítulo, arrojan suficiente información para la toma de decisiones adecuadas para la estructuración de una estrategia de mantenimiento acertada, enfocada en los requerimientos de operación y mantenimiento.

Los datos obtenidos durante el proceso de evaluación, arrojan error del 0,16%, lo que estadísticamente los hace válidos.

Dentro de las acciones de mejora, se mencionan diferentes metodologías, las cuales quedan a libre decisión de la gerencia cual aplicar. Entre estas se encuentran FMECA, RCM y TPM. Cualquiera de las metodologías a aplicar, o la combinación de ellas puede ser una opción acertada para el manejo de la información y toma de decisiones.

4. PLANES

4.1 OBJETIVO

Desarrollar acciones y estrategias de mantenimiento a partir de las predicciones de los parámetros y de las curvas CMD. Nivel 4: Analizar

4.2 INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta las recomendaciones enunciadas en el capítulo anterior, en este capítulo, aplicando las metodologías como FMECA / RCA, se identificarán los requerimientos en mantenimiento para cada uno de los equipos instalados en la planta.

Al finalizar el capítulo, se plantea una estrategia de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos, dependiendo de los criterios utilizados en la metodología RCM, como lo son:

- a. Frecuencia de falla
- b. Impacto operacional
- c. Flexibilidad operacional
- d. Costos de mantenimiento
- e. Impacto en seguridad industrial y ambiental.

4.3 DESARROLLO – METODOLOGÍA

Antecedentes RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC, siglas en español, se originó hacia el final de la década de los años 60, en un esfuerzo conjunto del gobierno y la industria aeronáutica norteamericana. Se realizó con el fin de establecer un proceso lógico y diseñar actividades de mantenimiento apropiadas con frecuencias óptimas para estas actividades y atender el advenimiento de nuevas aeronaves de

mayor tamaño, capacidad y complejidad, así como el crecimiento del parque aéreo.

La complejidad de los nuevos sistemas hacía casi imposible que los mismos fueran mantenidos con los antiguos conceptos y políticas. El objetivo del grupo de trabajo fue establecer procedimientos de mantenimiento apropiados que permitieran reducir los tiempos de parada por mantenimiento, reducir los costos de mantenimiento e incrementar la seguridad de los vuelos.

El éxito del RCM en la industria aeronáutica no tuvo precedentes. En un período de 16 años posterior a su implantación, las aerolíneas comerciales no tuvieron incremento en los costos unitarios de mantenimiento, aun cuando el tamaño y complejidad de las aeronaves, así como los costos de labor se incrementaron durante el mismo período. También, para el mismo período, se incrementaron los records de seguridad de las aerolíneas.

El MCC sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo natural de trabajo. “El esfuerzo desarrollado por el equipo natural permite generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo/beneficio” (Jones, 1995, pág. Página)

EL RCM se define de la siguiente forma “Filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en

cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones” Características generales del MCC:

- a. Herramienta que permite ajustar las acciones de control de fallas (estrategias de mantenimiento) al entorno operacional.
- b. Metodología basada en un procedimiento sistemático que permite generar planes óptimos de mantenimiento / produce un cambio cultural.
- c. Los resultados de la aplicación del MCC, tendrán su mayor impacto, en sistemas complejos con diversidad de modos de falla (ejemplo: equipos rotativos grandes).
- d. Maduración: mediano plazo-largo plazo.

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas.

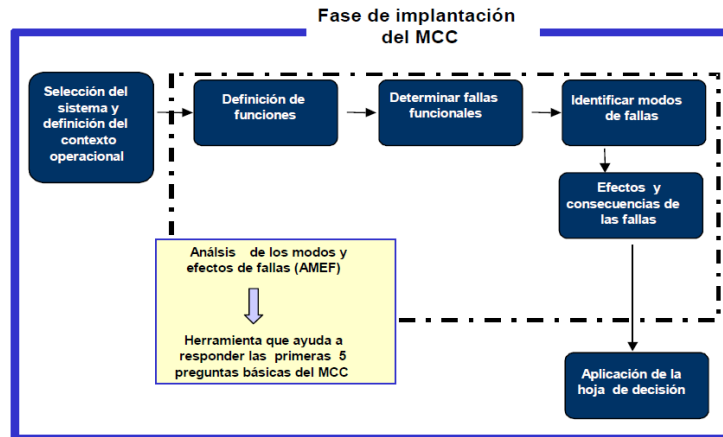
1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué manera pueden fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa sí falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

Antecedentes del análisis de los modos y efectos de fallas *FMECA*

El FMECA es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Es importante resaltar que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación del MCC, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo MCC a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la

información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas. Resultados que se obtienen con base en la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

Ilustración 21. Flujo grama para el desarrollo del FMECA



(Uparela, 2010)

El objetivo básico del FMECA, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de las fallas en función de tres criterios básicos para el MCC: seguridad humana, ambiente y operaciones(producción).

Para poder cumplir con este objetivo, los grupos de trabajo MCC, deben realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia.

- a. Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución.
- b. Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo.
- c. Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional.
- d. Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de falla.

Estrategias de mantenimiento

Se define como el tipo de acciones que debemos tomar para realizar el mantenimiento adecuado en cada uno de los equipos que incluye el proceso productivo.

Se dividen los equipos por familias para facilitar su estudio. Los criterios de agrupación son su función básica, modo de operación y distribución técnica (Mecánico, eléctrico, instrumentación y obras civiles).

Familias de Equipos.

Mecánicos:

1. Bombas centrífugas.
2. Blower.
3. Dispositivos a presión.
4. Tanques de almacenamiento.
5. Válvulas de compuerta.
6. Tuberías

Eléctricos:

1. Motores inductivos.
2. Tableros eléctricos y paneles de distribución
3. Instalaciones eléctricas.

Instrumentación:

1. Transmisores de Presión.
2. Transmisor de flujo.
3. Transmisor de nivel.
4. Válvulas reguladoras automáticas.
5. Reguladores de presión

6. Indicadores de presión.
7. Válvula de vacío

Obras Civiles

1. Edificación

A partir de la clasificación realizada, se plantea la estrategia de mantenimiento que es pertinente para cada familia.

Ilustración 22. Bombas Centrífugas.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREDICTIVO	30-60 días	Ruta de vibraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Condición de rodamientos. • Desalineación motor y bomba. • Desbalanceo del impulsor. • Holguras en alojamientos y eje. • Cavitación. • Turbulencia del fluido. • Doblez en el eje. • Precargas en rodamientos. • Excentricidad entre impeler y carcaza. • Solturas y falta de rigidez en base • Condición de acoples y amortiguadores.
PREDICTIVO	30-60 días	Monitoreo por temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta temperatura en rodamientos por grasa en mal estado. • Fricción en el sello mecánico y en rodamientos.
PREVENTIVO	30 días	Inspección visual y ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar fuga de producto por sello mecánico

			<ul style="list-style-type: none"> • Verificar fugas en succión y descarga • Ruido por cavitación y/o falla de rodamientos usando estetoscopio • Estado pintura • Condición general de la bomba • Verificar presiones succión/descarga
PREVENTIVO	30 días	Lubricación	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidades de grasa necesarias para re lubricar

Ilustración 23. Blower

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREDICTIVO	30 – 60 días	Ruta de vibraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Condición de rodamientos. • Desalineación motor y bomba. • Desbalanceo del impulsor. • Holguras en alojamientos y eje. • Cavitación. • Turbulencia del fluido. • Doblez en el eje.

			<ul style="list-style-type: none"> • Precargas en rodamientos. • Excentricidad entre impeler y carcaza. • Solturas y falta de rigidez en base • Condición de acoples y amortiguadores.
PREDICTIVO	30-60 días	Monitoreo por temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta temperatura en rodamientos por grasa en mal estado. • Mala condición de la grasa.

Ilustración 24. Dispositivos a presión.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREDICTIVO	365 días	Pruebas hidrostáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Someter el equipos (Caldera, Pre calentador) a 1.5 veces la presión de trabajo, y mantener durante 2 horas.
PREDICTIVO	730 días	Pruebas Ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar el equipo, e identificar gritas
PREVENTIVO	365 días	Lavado químico	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar lavado químico, para eliminar excesos de residuos, e incrustaciones en los tubos y

			paredes de los equipos.
PREVENTIVO	30 días	Ruta de inspección	<ul style="list-style-type: none"> Realizar inspección de los equipos, para detectar posibles fugas, condición del equipo, estado.

Ilustración 25. Tanques de almacenamiento

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREVENTIVO	365 días	Lavado	<ul style="list-style-type: none"> Realizar lavado del equipo, eliminar sedimentos.
PREVENTIVO	30 días	Ruta de inspección	<ul style="list-style-type: none"> Realizar inspección de los equipos, para detectar posibles fugas, condición del equipo, estado.

Ilustración 26. Válvulas de compuerta

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREVENTIVO	180 días	Prueba de estanqueidad	<ul style="list-style-type: none"> Realizar cierre y apertura de las válvulas, verificar estanqueidad al momento del cierre
PREVENTIVO	30 días	Ruta de inspección	<ul style="list-style-type: none"> Realizar inspección de los equipos, para detectar posibles fugas, condición del equipo, estado.
PREVENTIVO	90 días	Lubricación	<ul style="list-style-type: none"> Realizar inspección de las válvulas, realizar limpieza y lubricación de los mecanismos externos.

Ilustración 27. Tuberías.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREVENTIVO	60 días	Ruta de inspección	<ul style="list-style-type: none"> Realizar inspección de las tuberías, estado de los pernos, empaques. Verificar condición de las tuberías.

			<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el estado de las juntas.
PREVENTIVO	730 días	Pruebas de Ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar pruebas de ultrasonido a toda la tubería de alta presión. • Verificar espesores.

Ilustración 28. Motores Inductivos.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREDICTIVO	30-60 días	Ruta de vibraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Condición de rodamientos. • Desalineación motor y bomba. • Holguras en alojamientos y eje. • Condición de acoples y amortiguadores.
PREDICTIVO	730 días	Prueba bi-anual EMC	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación aislamiento entre bobinas • Verificación aislamiento a tierra

Ilustración 29. Tableros eléctricos y paneles de distribución.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREDICTIVO	365 días	Termografía	<ul style="list-style-type: none"> • Detección puntos calientes • Conexiones sueltas.
PREVENTIVO	365 días	Inspección general	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación condición del sistema de cierre • Condición general del panel / tablero

Ilustración 30. Instalaciones eléctricas.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREDICTIVO	730 días	Inspección general	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual a conduits, conduletas, flexiconduits, sellos, tapones, empaques, etc.

Ilustración 31. Transmisores de presión, flujo, nivel e indicadores de presión.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREVENTIVO	365 días	Calibración	<ul style="list-style-type: none"> • Desmonte el transmisor, realice calibraciones de acuerdo a procedimiento. • Inspeccione el estado del equipo • Reportar cualquier novedad.

Ilustración 32. Válvulas reguladoras automáticas, de presión y/o vacío.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREVENTIVO	365 días	Calibración	<ul style="list-style-type: none"> • Realice procedimiento de calibración en campo.
PREVENTIVO	90 días	Inspección General	<ul style="list-style-type: none"> • Realice inspección general de equipo, verifique el estado de los sellos, empaques, pernos. Etc.

Ilustración 33. Edificios.

TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	DESCRIPCION	TAREAS
PREVENTIVO	365 días	Inspección general	<ul style="list-style-type: none">• Evaluar condición de las edificaciones, vigas, columnas• Verificar estado de estructuras que soportan a los equipos.• Verificar el anclaje de los equipos

Adicional a los planes establecidos, se recomienda realizar el análisis de consumo de vapor de alta y de baja, para los equipos en planta y determinar si la capacidad instalada en el sistema de generación de vapor saturado a la planta es la adecuada.

Los planes de mantenimiento definidos para este sistema, en su gran mayoría, están relacionado con la inspección de los equipos. Esto permite identificar novedades y poder intervenir de forma contralada, programada y no generar impactos en la producción.

Teniendo en cuenta que el sistema de generación de vapor cuenta con tres dispositivos a presión, se recomienda la inspección de su estado actual por medio de ensayos no destructivos. Ultra sonido y tintas penetrantes son ejemplos acertados. Estos ensayos permiten evitar fallas catastróficas que ponen en riesgo el equipo, la operación de las líneas, y lo más importante la integridad a la salud del personal operativo.

4.4 CONCLUSIONES DE CAPÍTULO

Aplicando las recomendaciones realizadas en el anterior capítulo, se realiza el listado general de equipos que se encuentran dentro del sistema de generación de vapor de la planta, y se distribuyen por características y funciones básicas, con el fin de implementar estrategias de mantenimiento por familias de equipos con base a las condiciones operativas de cada una de ellas.

Dentro del análisis realizado se tuvo en cuenta las fallas históricas de cada uno de los equipos en el tiempo de evaluación, los impactos y su criticidad dentro del proceso. Esto permite establecer los diferentes tipos de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos a aplicar a estos elementos.

5. CONCLUSIONES FINALES INTEGRALES

Evaluando uno a uno los capítulos desarrollados es posible resaltar la importancia de contar con una estrategia de mantenimiento adecuada, que propenda a la mejora continua dentro del proceso.

A lo largo del documento, es posible observar una serie de datos que inicialmente mostraban un comportamiento correcto. Sin embargo, al graficar y pronosticar los resultados cambiaron drásticamente. Como se observa en la disponibilidad inherente calculada, se obtienen números excelentes, a pesar de esto el comportamiento de las variables tienen tendencias a la baja, colocando en riesgo la operación de los equipos y los tiempos productivos.

Es importante resaltar dentro del proceso de mantenimiento, sin importar la estrategia que sea aplicada, el correcto uso de la información, almacenamiento y diligenciamiento de reportes de mantenimiento. Sin esta estrategia, cualquier análisis tiende a arrojar datos alejados de la realidad. En la investigación realizada es posible observar que muchos de los mantenimientos preventivos realizados no quedaron registrados en el sistema. Aunque su influencia no es importante en la obtención de datos, es primordial en el comportamiento de las curvas de MTTR y MTBF para cada uno de los casos, correctivos y de confiabilidad.

Con base en los resultados obtenidos se recomienda el uso adecuado de estrategias de mantenimiento, entre las cuales se encuentran FMECA, RCM y TPM. Dependiendo del contexto se define qué tipo de estructura se adaptan dentro del proceso.

Las estrategias de mantenimiento o Estas tácticas, pueden ser divididas de acuerdo a su contexto, sea productivo, tecnológico, o madurez empresarial. Cada uno de estos contextos de distribución, están sujetos al criterio de la empresa que lo adopta, pueden ser subjetivos, culturales o por definición científica.

Por lo enunciado anteriormente, el contexto no es suficiente para tomar una decisión contundente y efectiva, por lo que se recurre a temas de índole técnico, basados en datos reales, comportamientos estadísticos, en donde cada una de las variables a analizar cumplen una función vital dentro del proceso. Como lo son los tiempos de reparación, tiempos de fallas, tiempos operativos etc.

Actualmente, la empresa sometida a estudio, se encuentra dentro del nivel táctico, aplicando RCM y TPM, y a su vez estas 2 estrategias combinadas. Dirige todos los esfuerzos a alcanzar madurez empresarial, donde el RCM responde acertadamente a los requerimientos de la empresa.

Al finalizar la investigación se propone una serie de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos, los cuales garantizan el correcto funcionamiento de los equipos en el tiempo. Se espera que los datos de disponibilidad sean reales y obtener β (Betas), que se encuentren entre 2 y 3.44,

Recomendaciones

- a. Implementar las estrategias recomendadas lo antes posible
- b. Implementar los mantenimientos recomendados de acuerdo a las frecuencias propuestas.
- c. Realizar medición, evaluación trimestral de los datos obtenidos, hacer seguimiento al cumplimiento del programa de mantenimiento
- d. Realizar procedimientos de mantenimiento, en donde se especifiquen la forma correcta de ejecutar los mantenimientos, incluya el paso a paso de cada una de las actividades, además de los riesgos y las acciones para minimizarlos.
- e. Realizar auditorías periódicas al proceso, uso adecuado de herramientas, procedimientos y epps.

- f. Realizar listado de repuestos mínimos y máximos requeridos en almacén para la ejecución correcta del mantenimiento.
- g. Establecer indicadores que reflejen la realidad de la situación, y se tomen acciones inmediatas si se encuentran desviaciones
- h. Organizar el grupo de mantenimiento de forma adecuada.
- i. Realizar capacitaciones periódicas al personal técnico.
- j. Realizar análisis de consumos de vapor en los equipos de planta.

De esta forma, el proceso de mantenimiento y los análisis CMD se encontrarán bajo el control requerido y las mejoras en los tiempos de mantenimiento, operación y reparación, mejorarán significativamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Mantenimiento y Confiabilidad, VI Congreso Internacional de Mantenimiento. **Tavares, Lourival. 2004.** Bogotá, Colombia : s.n., 2004.
- Blanchard, Benjamín S, Verma, Dinesh y Peterson, Elmer. 1994.** Series Nuevas dimensiones en Ingeniería - Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management. s.l. : Edit. Wiley Interscience - Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. pág. 560. ISBN: 0486438678.
- Blanchard, Benjamín S. 1995.** Ingeniería Logística – Traducido de Logistics Engineering and Maintenance – ISDEFE. Madrid : ISDEFE© - Monografías.com, 1995. pág. 153. ISBN: 84-89338-06X.
- Cerrejón. 2011.** Cerrejon - Minería Responsable. Sitio web de Carbones del Cerrejón. [En línea] 2011. [Citado el: 29 de Mayo de 2011.] <http://www.cerrejon.com>.
- Díaz, Matalobos - Ángel. 1992.** Confiabilidad en mantenimiento. Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.
- Ebeling, Charles E. 2005.** An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.
- El cálculo de la Confiabilidad. **Palacio, Luis Hernando Palacio. 2012.** s.l. : Confiabilidad.Net, 2012.
- Halpern, Siegmund. 1978.** The Assurance Sciences: An Introduction to Quality Control and Reliability. New Jersey City : Editorial Prentice Hall, Inc Professional Technical, 1978. ISBN: 0130496014.
- Jardine, Andrew K.S. y Tsang, Albert H.C. 2006.** Maintenance, Replacement and Reliability (Theory and Applications). Boca Raton London New York : Taylor & Francis, 2006. ISBN 0-8493-3966-9.
- Jones, Richard. 1995.** Risk - Based Management: A Realibility -Centered Approach. Texas : Gulf publishing company, 1995.
- Kapur, Kailash C. y Lamberson, Leonard R. 1977.** Reliability in engineering design. [ed.] Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research Wayne State Univ. Primera. Detroit USA : John Wiley and Sons, Inc.,New York, 1977. pág. 606. Org Wayne State Univ., Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research. ISBN-13: 978-0-471-51191-5.
- Kececioglu, Dimitri. 1995.** Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering. New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.
- Kelly, Anthony y Harris, M. J. 1998.** Gestión del Mantenimientolindustrial. [ed.] S.A. Gráficas Mar-Car. Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. pág. 218. ISBN: 84-923506-0-1 – T.
- Knezevic, Jezdimir. 1996.** Mantenibilidad. Madrid : Editorial ISDEFE, 1996. ISBN: 84-89338-08-6.
- Labib, A.W. 1998.** World-class maintenance using a computerised maintenance management system. s.l. : Journal, 1998.
- Leemis, Lawrence M. 1995.** Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods. New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.
- Levin, Richard. 1996.** Estadística para Administradores. Cd. de México : Prentice Hall , 1996. pág. 1171. Trata bien el teorema del límite central. ISBN: 978-9688806753.
- Merdado, Hernado Gómez de la Vega - Yañes. 2004.** Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo. s.l. : Reliability and Risk Management, S. A., 2004.
- Merdado, Hernado Gómez de la Vega - Yañes y - Valbuena Chourio, Genebelín. 2004.** Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo. s.l. : Reliability and Risk Management, S. A., 2004.
- Modarres, Mohammed. 1993.** What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis. New York City : Editorial Marcel Dekker, 1993. pág. 351. ISBN: 082478958X.
- Mora Gutierrez, Alberto. 2011.** Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control. Bogotá : AlfaOmega editores Internacional, 2011. pág. 678. Sexta Edición. ISBN 978-958-682-769-0.
- Mora, Alberto - Gutiérrez. 2012.** Conversación sobre asesoría esta tesis. Universidad EAFIT _ Magister en ingeniería - Énfasis Mantenimiento. Medellín, 21 de Noviembre de 2012. Opinión respetuosa y personalizada de Luis Mora hacia M+etodos de Dr. Lourioval Tavares Brazil.
- . **2011.** Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control. Bogotá : AlfaOmega editores Internacional, 2011. pág. 678. Sexta Edición. ISBN 978-958-682-769-0.
- . **2007b.** Mantenimiento Estratégico Empresarial. Primera. Medellín : Fondo Editorial FONEFIT, 2007b. pág. 345. ISBN 978-958-8281-46-9.
- . **2006.** Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Envigado : AMG, 2006. ISBN 978-958-44-0233-2.
- . **2007a.** Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Segunda. Envigado : AMG, 2007a. pág. 306. ISBN 978-958-3382185.

Mora, Luis Alberto. 2009. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Bogotá : Alfaomega Colombiana S.A., 2009. ISBN 978-958-682-769-0.

Moubray, John Mitchell. 2004. RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire : Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

Moubray@. 2001. John. About RCM. Aladon Inglaterra. [En línea] Libre, 2001. [Citado el: 19 de Diciembre de 2008.] <http://www.aladon.co.uk/02rcm.htm>.

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

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

NS@. 2005. Nist/Sematech - E-Handbook os Statistical Methods. [En línea] September de 2005. [Citado el: 29 de Abril de 2003.] <Http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.

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

Reliasoft@. 2008. Reliasoft. Reliasoft. [En línea] 2008. [Citado el: 12 de Noviembre de 2008.] <http://www.reliasoft.com/support/faq.htm>.

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

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

Rojas, Jaime - Arias. 1975. Introducción a la confiabilidad. Bogotá : Universidad de los Andes, 1975. pág. 214.

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

Tavares, Lourival Augusto, Calixto, Marco A. - Gonzaga y Poydo, Paulo Roberto. 2005. Manutenção Centrada no Negócio. Río de Janeiro : Novo Polo Publicações, 2005. pág. 160. Ley número 5988 de diciembre de 1973 Decreto 1825 de diciembre de 1987.

Uparela, Jose. 2010. Diagramas, tablas e informacion recopilada en reuniones gerenciales. Barranquilla : s.n., 2010.

Vallejo, Jaramillo Juan Santiago y Mora Gutiérrez, Luis Alberto (Director). 2004. Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD - Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica. Medellín : Universidad EAFIT, 2004.

Velandia, David & Mora, Alberto. 2012. Análisis resultados parciales del proyecto. [entrev.] David Velandia y Luis Mora. Análisis resultados MTBF Cerrejón. Medellín, 21 de Noviembre de 2012. Opina Luis Alberto Mora y corrobora David Velandia.