

APLICACIÓN DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA
CMD A UN EQUIPO CRÍTICO DE LA COMPAÑÍA LOCERÍA COLOMBIANA S.A
BASADO EN WEIBULL Y UTILIZANDO EL ERP DE SAP

OSCAR MAURICIO RUEDA TRISTANCHO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICOS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017

APLICACIÓN DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA
CMD A UN EQUIPO CRÍTICO DE LA COMPAÑÍA LOCERÍA COLOMBIANA S.A
BASADO EN WEIBULL Y UTILIZANDO EL ERP DE SAP

OSCAR MAURICIO RUEDA TRISTANCHO

Monografía de grado presentada como requisito para optar por el título de
Especialista en gerencia de mantenimiento.

Director: OSCAR FERNANDO PUERTO FONSECA

Especialista en gerencia de mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICOS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	12
1. ASPECTOS GENERALES.....	13
1.1 INDUSTRIA.....	13
1.2 EQUIPO CRÍTICO - HORNO.....	14
1.3 ANÁLISIS Y VOLUMEN DE INFORMACIÓN	20
1.4 OBJETIVOS.....	21
1.4.1 Objetivo general.....	21
1.4.2 Objetivos específicos	22
1.5 JUSTIFICACIÓN	22
2. MARCO TEÓRICO	24
2.1 EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	24
2.2 SISTEMA DE MANTENIMIENTO	26
2.2.1 Niveles de mantenimiento:.....	27
2.3 RELACIÓN DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN.....	28
2.3.1 Confiabilidad	28
2.3.2 Mantenibilidad	28
2.3.4 Disponibilidad.....	29
2.4 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	32
2.5 PROCESOS EMPRESARIALES EN EL ERP DE SAP.....	35
3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN	37
3.1 IDENTIFICACIÓN DE REGISTROS DE EVENTOS	40
3.1.2 Tratamiento de los históricos	40
4. REPORTE DE MEDICIÓN DE CMD EN EL ERP DE SAP.....	44

4.1 MODELO DE REPORTE PROPUESTO.....	45
4.1.1 PARÁMETROS DE ENTRADA.....	52
4.1.2 Validación de criterios de selección:	52
4.1.3 Requerimiento funcional:	53
5. MODELO DE ANÁLISIS DE CURVAS DE CMD EN EL ERP DE SAP.....	55
5.1 OBTENCIÓN DE CURVAS Y FORMA DE ANÁLISIS	55
6. CONCLUSIONES	63
7. BIBLIOGRAFIA.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores que afectan cada uno de los tipos de disponibilidad	29
Tabla 2. Valor β vs Forma de tasa de fallas.....	34
Tabla 3. Clases de avisos de PM Corona	38
Tabla 4. Tipo objeto vs Cantidad de avisos	41
Tabla 5: Partes del reporte	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de Cocción.....	15
Figura 2. Elementos comunes entre el departamento de producción y mantenimiento.....	26
Figura 3. Curva representativa de la tasa de fallas.....	31
Figura 4. Proceso de mantenimiento por avería	36
Figura 5. Estructura de avisos	38
Figura 6. Aviso de Avería	39
Figura 7. Listado de avisos en SAP	40
Figura 8. Tipos de objetos técnicos para un equipo	41
Figura 9. Comportamiento productivo de una máquina en el tiempo.....	44
Figura10. Número de eventos de parada de un equipo	46
Figura 11. Cálculo de $M(tj)$ y $F(tj)$	47
Figura 12. Alineación estadística de Mantenibilidad $M(tj)$	48
Figura 13. Alineación estadística de Confiabilidad $F(tj)$	49
Figura 14. Aplicación de Distribución de WEIBULL para la Curva de Mantenibilidad.....	50
Figura 15. Aplicación de Distribución de WEIBULL para la Curva de Confiabilidad.....	51
Figura 16. Parámetro de entrada del Reporte Z en SAP	55
Figura 17. Reporte de CMD en SAP	56
Figura 18. Curva de Confiabilidad	57
Figura 19. Curva de Falla o evento	57
Figura 20. Tasa de fallas	58
Figura 21. Curva de mantenibilidad.....	59
Figura 22. Confiabilidad acumulada del Equipo 10010765.....	60
Figura 23. Mantenibilidad acumulada del Equipo 10010765	61
Figura 24. Disponibilidad acumulada del Equipo 10010765	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Ecuaciones para obtener curvas de confiabilidad y mantenibilidad.....	67
--	----

RESUMEN

TÍTULO:

APLICACIÓN DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA CMD A UN EQUIPO CRÍTICO DE LA COMPAÑÍA LOCERÍA COLOMBIANA S.A BASADO EN WEIBULL Y UTILIZANDO EL ERP DE SAP.*

AUTOR:

OSCAR MAURICIO RUEDA TRISTANCHO**

PALABRAS CLAVE:

CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, DISPONIBILIDAD, WEIBULL, SAP, DURACION DE PARADA

CONTENIDO:

Esta monografía muestra el desarrollo de un modelo de mantenimiento basado en CMD usando la herramienta SAP para ser aplicado a los equipos críticos de la compañía LOCERÍA COLOMBIANA S.A, con el objetivo de realizar la estimación y evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas y el análisis de los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de estos equipos. Como caso de estudio se toman datos de un horno de la línea de producción de platos de porcelana usado en la planta de Caldas. Sin embargo, esta metodología y herramienta pueden ser aplicadas a cualquier otro equipo de alguna de las empresas del grupo empresarial Corona para el cual se quiera definir una estrategia de mantenimiento.

Este diagnóstico se inicia con la extracción de los datos de SAP y un análisis matemático en macros de Excel para simular distintos parámetros. Una vez calculados los índices de confiabilidad y mantenibilidad, se procede a la comparación con los datos, curvas y gráficas obtenidas de la herramienta desarrollada en el ERP de SAP bajo su propio lenguaje de programación. La finalidad es identificar y obtener una interpretación clara y correcta de los resultados para generar un paso a paso y una guía para los demás equipos que sean analizados por esta herramienta

* Monografía de grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Oscar Puerto

ABSTRACT

TITLE:

APPLICATION OF STATISTIC'S MODEL OF CMD STRATEGIC MANAGEMENT TO A CRITICAL TEAM BASED ON WEIBULL AND USING SAP ERP, OF THE LOCERIA COLOMBIANA S.A COMPANY*

AUTHOR:

OSCAR MARICIO RUEDA TRISTANCHO**

KEYWORDS:

SUBSTATION, COAL MINING, RCM, FAILURE MODES, FAILURE EFFECTS, MAINTENANCE

CONTENTS:

This monograph shows the development of a maintenance model based on CMD by using the SAP tool, for application on critical equipment of the company LOCERIA COLOMBIANA S.A. The objective is to estimate and evaluate the degree of success achieved with the developed tactics and to analyze the parameters of reliability, maintainability and availability of such equipment. As a case study, some measurements were taken from a kiln in the production line of porcelain dishes used in the Caldas plant. However, this methodology and tool can be applied to any team in the Corona business group who wishes to define a maintenance strategy.

This diagnosis starts with the extraction of SAP data and a mathematical analysis in Excel macros to simulate different parameters. Once the reliability and maintainability indicators are calculated, it later compared with the data, curves and graphs obtained from the tool developed in the SAP ERP under its own programming language. The final objective is to identify and obtain a clear and correct interpretation of the results to generate a step-by-step guide for the other teams which are analyzed by this tool.

* Monograph

** Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization. Director: Oscar Puerto.

INTRODUCCIÓN

La gerencia de mantenimiento del Grupo Corona a la cual pertenece la LOCERÍA COLOMBIANA S.A, ha decidido implementar estrategias de mantenimiento basadas en metodologías que permitan evaluar el grado de éxito, para esto se requiere el establecimiento de índices, rendimientos e indicadores que permitan medir y comparar un caso particular con otros de diferentes empresas del mismo grupo o industrias locales, nacionales e internacionales.

El proceso productivo de la Locería Colombiana en su mayoría depende de las diferentes clases de hornos, razón por la cual, la disponibilidad de estos equipos es de vital importancia para el cumplimiento de los objetivos económicos de la empresa.

Esta monografía tiene una perspectiva práctica, puesto que el resultado de la investigación está enfocado a diseñar y elaborar una herramienta que permita tomar decisiones basadas en parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad permitiendo generar estrategias y acciones de mejoramiento. Esta herramienta podrá ser aplicada a cualquier equipo crítico del grupo empresarial que agregue valor.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 INDUSTRIA

Corona es una multinacional colombiana con 135 años de historia empresarial. Está compuesta por seis unidades estratégicas de negocio dedicadas a la manufactura y comercialización de productos para el hogar y la construcción. Genera más de 14.000 empleos y posee 19 plantas de manufactura en Colombia, 3 en Estados Unidos, 3 en Centro América, 3 en México y una en Brasil, así como una oficina de suministros globales en China y una comercializadora en México. Exporta sus productos a diversos mercados alrededor del mundo, incluyendo Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, Chile, Venezuela, Centro América, el Caribe, Italia, España y el Reino Unido.¹

Corona es líder en el sector de la remodelación y la construcción en Colombia y genera competencia en otros países.

Una de estas unidades, es la empresa Locería Colombiana fundada en 1931 cuyo modelo de negocios se sustenta en tres líneas de productos: Para el hogar, Institucional, Mugs.

La visión de esta empresa, su calidad en el producto final y lo ágil que se ajusta a las necesidades cambiantes del sector ha logrado un reconocimiento en el público como unos de los fabricantes más antiguos de locería de Colombia y Latinoamérica.

La materia prima para la fabricación de sus piezas está basada en arcilla, la cual se obtiene de unas minas que están ubicadas en Soacha, Arcabuco, Gualanday, Sopo, Barranquilla y La Unión.

¹Grupo Corona , Perfil Corporativo.[citado el 2015]

Disponible en : <http://www.corona.co/nuestra-empresa/quienes-somos/perfil-corporativo>

Una de sus plantas está ubicada en el municipio de Caldas en el departamento de Antioquia, la cual produce 4,5 millones de piezas al mes. Sus líneas de producción están distribuidas en 5 procesos principales: Formación, Esmaltado, Cocción, Clasificación, Empaque. En la industria cerámica se entiende por Cocción al proceso físico - químico de calentamiento que modifica la estructura química y cristalina de las arcillas de forma irreversible, adquiriendo consistencia pétreo y obteniéndose finalmente los productos cerámicos.

1.2 EQUIPO CRÍTICO - HORNO

En la cocción de productos cerámicos cuyas materias primas son arcillosas, es importante tener presente el intervalo de cocción, es decir, el rango de temperatura entre el inicio de la vitrificación (formación de fase vítrea) y el inicio de la deformación. Este intervalo depende de las características de la pasta y debe en lo posible ser lo más amplio que se pueda, debiendo estar la temperatura óptima de cocción dentro de dicho intervalo, si la temperatura está demasiado cerca del inicio de la vitrificación el material puede presentar porosidad, y si está cerca del inicio de la deformación la pieza no conserva su figura.

Con un intervalo de cocción demasiado corto, cualquier pequeña diferencia de temperatura del horno hace que el producto pase de poco a demasiado cocido.

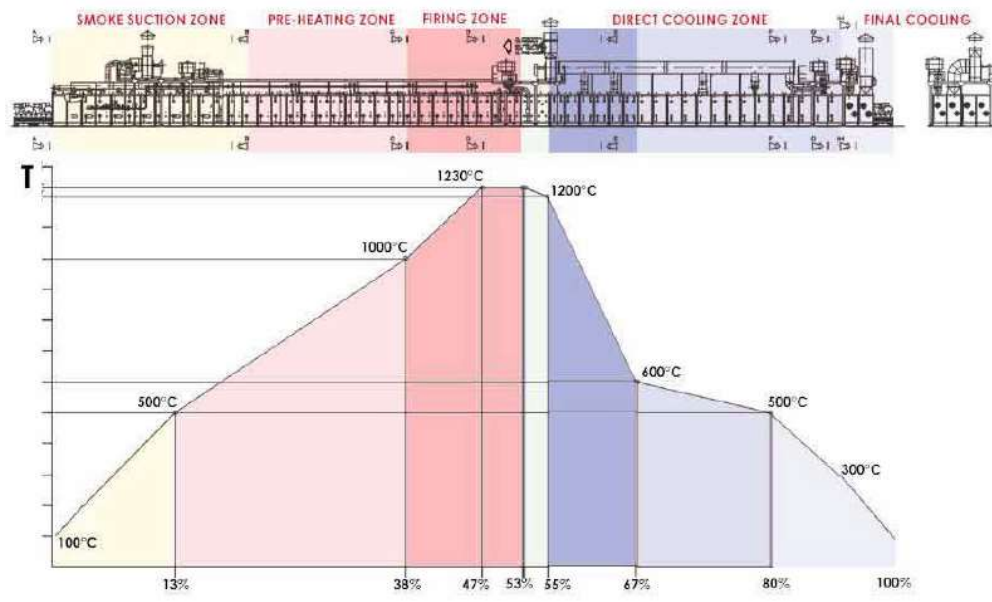
Otro factor importante es el tiempo de cocción a la máxima temperatura, que depende de las dimensiones del producto, ya que se requiere que el tiempo sea lo suficientemente amplio para que las partes centrales del producto alcancen la temperatura necesaria.²

Otras condiciones para una buena cocción son:

²Universidad de Oviedo .Cerámicas .Lección 7-Coccion
Disponible: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.COCCION.pdf>

- Uniformidad de la temperatura en el horno lo más perfecta posible, evitando el contacto directo de la llama con el producto cerámico.
- Control de la curva de cocción (Figura1) incluso durante el calentamiento y enfriamiento, ya que pueden presentarse tensiones que produzcan roturas.
- Atmósfera del horno controlada.

Figura 1. Curvas de Cocción



Fuente: Universidad de Oviedo

Por estos motivos uno de los equipos principales y más críticos que se usa en el proceso de cocción es el horno, el cual se clasifica de acuerdo a su forma de calentar, continuidad en su ciclo de cocción y disposición del material con respecto a los productos de combustión.

Para lograr las diferentes piezas con una característica de forma y calidad en particular la empresa usa entre su proceso los siguientes hornos:

➤ Horno Túnel:

Tienen una posición fija y está conformado por varias piezas las cuales se ubican de forma continua con una longitud aproximada de 60 metros. Está provisto de dos puertas a ambos lados.

El producto cerámico que se va a cocer se coloca en moldes que recorren lentamente el horno desde un extremo al otro. Los moldes cargados llenan casi por completo el interior del horno y circulan sobre bandas. A intervalos regulares se introduce un molde de producto crudo y se extrae otra de producto cocido. El movimiento de estos moldes en el interior del horno es uniforme y continuo.³

A lo largo del horno túnel se distinguen tres zonas principales

- Zona de precalentamiento
- Zona de cocción
- Zona de enfriamiento

A ambos lados de la zona de cocción, situada en la parte central del túnel, se encuentran los mecheros, que pueden ser de fuel o de gas. La extracción de aire se realiza en la primera parte de la zona de precalentamiento, de tal modo que se crea una corriente de los productos de combustión en sentido opuesto al de circulación de las vagonetas. El calentamiento del material es, de este modo, gradual hasta la temperatura máxima. Una vez atravesada la zona de cocción, se produce un enfriamiento gradual mediante una corriente de aire que circula en contracorriente y que se introduce en el horno por medio de ventiladores.

El aire de los ventiladores se calienta al circular entre el material cocido y alcanza la zona de cocción, recuperando así el calor; en la zona de cocción el aire se mezcla con los productos de combustión y, en parte, sirve de aire de combustión. Además,

³ Universidad de Oviedo .Cerámicas .Lección 7-Coccion
Disponible: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.COCCION.pdf>

las paredes en la zona de enfriamiento, presentan unas aberturas por los que circula el aire frío; parte del aire caliente se recupera en los secaderos.

Para graduar el enfriamiento y tener la posibilidad de modificar la curva de cocción, en la zona descendiente se tiene el aire de enfriamiento directo, que ha pasado desde la entrada por las vagonetas que van a salir del horno y circula en sentido contrario.

➤ Horno de Rodillos

Los rodillos producen un movimiento, de traslación continua y suave. Las piezas de cerámica se ubican en placas refractarias cuyos ciclos de cocción se ejecutan de forma rápida (45 a 65 minutos) y con consumos de energía reducido.

Los rodillos pueden ser de material refractario, principalmente sillimanita, o de acero inoxidable tipo Iconel. Los inconvenientes son, en el material refractario, la fragilidad y en el acero inoxidable, la curvatura de los rodillos.⁴

Presentan las mismas zonas características que los hornos túnel, son normalmente de llama libre y utilizan combustible gaseoso, gas natural o GLP. Debido a la cocción en llama libre, el consumo energético específico es sensiblemente más bajo.

Otro tipo de diferencias entre estos hornos son la utilización de fibra cerámica refractaria o de ladrillo refractario de calor. Por la inercia térmica es más aconsejable la fibra cerámica, pero por el ataque de diversas sustancias a la fibra cerámica y en especial su deterioro con el tiempo, es más frecuente que se use el ladrillo refractario.

Algunas de las características de su estructura son:

- Estructura modular prefabricada.

⁴ Universidad de Oviedo .Cerámicas .Lección 7-Coccion
Disponible: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.COCCION.pdf>

- Aislamiento mediante especiales refractarios ligeros de estructura microporosa para los elementos en contacto con el fuego y fibras cerámicas para los no expuestos a la llama.
- Bóveda del horno en refractario aislante colgando de la carpintería del módulo mediante ganchos de acero inoxidable.
- La solera está realizada con material refractario cuyo revestimiento de protección es de placas de refractario denso.
- Paneles exteriores en chapa de acero esmaltada.

➤ Horno Periódico

Se entiende por hornos periódicos aquellos que necesitan una interrupción entre los ciclos de cocción. El flujo del proceso en esta clase de Horno es:

- Entrada de los productos.
- Pre calentamiento.
- Cocción de los productos.
- Enfriamiento de los productos.
- Salida de los productos.

Los tiempos que ocupan estas operaciones no son idénticos y difieren considerablemente según el producto a cocer y la naturaleza del proceso. La cocción se realiza según una curva de temperatura que debe estar adaptada al producto, es decir, que las variaciones de temperatura con el tiempo puedan ser soportadas por las piezas sin que aparezcan daños.

Debido al sistema de funcionamiento de este tipo de hornos, en los que muros y bóveda están sometidos al mismo ciclo de temperatura del material, interesa que éstos sean capaces de absorber y desprender calor, como mínimo con la misma

facilidad que éste. Interesa también, para reducir el gasto de calentamiento, reducir el peso de los mismos y que el calor específico del revestimiento refractario sea bajo, con el fin de conseguir un mayor rendimiento térmico por este concepto.

Con el empleo de los materiales aislantes (Baja densidad) en la construcción del horno se consigue:

- Disminución de los espesores del revestimiento.
- Disminución de la masa del conjunto.
- Disminución de la capacidad calorífica.
- Mayor resistencia a las variaciones de temperatura.
- Facilidad de montaje, sobre todo en materiales fibrosos.

Puede realizarse con una o dos puertas de entrada y salida, con abertura mediante batiente o con abertura mediante elevación hidráulica. La carga de las vagonetas puede realizarse en altura en una o más capas, gracias al particular sistema de distribución de la energía térmica que prevé una serie de quemadores colocados en sentido vertical.

Los quemadores funcionan mediante sistema de combustión de tipo aire y gas modulados. En el sistema de combustión se colocan una serie de quemadores ubicados en sentido vertical (cuyo número depende de la altura de la carga a realizar) y de manera alternativa con relación a los laterales de las vagonetas.

La salida de los humos tiene lugar a través de chimeneas, colocadas en la parte superior entre sí y ubicadas entre una hilera y otra de quemadores y con entrada puesta al nivel de la base de las vagonetas. Un especial sistema neumático, formado por tubos agujereados, utilizando la señal procedente de un transmisor,

controla la presión en el seno del horno creando más o menos obstrucción a la salida de los humos.⁵

1.3 ANÁLISIS Y VOLUMEN DE INFORMACIÓN

La multinacional Corona en el año 2013 adquirió para sus unidades de negocio entre las que se encuentra la empresa Locería Colombiana S.A, el Producto ERP 6.4 de SAP, en el cual se definió un modelo corporativo para gestionar y administrar todos sus procesos logísticos y financieros.

Se diseñó e implementó en el ERP, modelos corporativos para la gestión del mantenimiento de sus equipos productivos de forma que permite gestionar la solicitud inicial, planificar recursos (mano de obra, repuestos, servicios de terceros), tipificar la falla, gestionar el trabajo, notificar resultados y calcular el coste del trabajo, integrándose de forma estándar con las otras áreas del negocio como lo son producción, suministros, ventas y contabilidad.

Ahora bien, cuando un equipo presenta una avería, el puesto de trabajo responsable registra dicha novedad en el tablero de control más cercano el cual se comunica por medio de un interfaz con SAP, generando un documento de PM (Módulo de mantenimiento) que se llama “Aviso de Avería – Z2” de SAP, en este documento se almacena información de la ubicación del equipo, parte afectada, síntoma detectado por el usuario del equipo, autor del evento, fecha y hora.

Al presentarse una avería, se requiere capturar tanto la fecha y hora de inicio, como la fecha y hora fin de la avería, esto con el fin de determinar el tiempo que el equipo duró con la detención de su función básica.

⁵ Universidad de Oviedo .Cerámicas .Lección 7-Coccion
Disponible: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.COCCION.pdf>

Esta recopilación de información es vital ya que permitirá tener los datos necesarios para aplicar cálculos matemáticos y métodos estadísticos con el fin de obtener indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) que el área de mantenimiento usará para tomar una decisión estratégica que le convenga a un equipo en particular y sobre el tipo de mantenimiento a aplicar.

El análisis de los datos y la aplicación del método estadístico de Weibull se plantean hacer de forma sistematizada con el fin de disminuir el grado de incertidumbre y tiempo de procesamiento manual de los datos.

Para el diseño y aplicación del método se selecciona la clase de equipo "Horno", teniendo presente la criticidad y costo que puede llegar a presentarse si su función básica se ve afectada.

Esto no implica que este modelo y solución del manejo de información se pueda extender a las demás clases de equipo del Grupo empresarial. El volumen de datos que se llegaría a manejar en Productivo es considerable, teniendo presente que se manejan alrededor de 150 clases de equipos y entre ellos puede haber más de 4800 equipos aproximadamente en solo esta unidad de negocio.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar las variables de gestión del comportamiento de un equipo en periodos de vida, que permita la toma de decisiones por medio de un reporte que se integre al sistema de información logístico del ERP de SAP y el análisis de CMD basado en el método de distribución de Weibull.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Permitir la captura de información de inicio y fin de avería en los avisos de mantenimiento que tiene definida la compañía en el ERP de SAP.
2. Realizar el cálculo matemático de MTTR y MTBF de un equipo en particular en una franja de tiempo determinada (N meses) a partir de la información proveniente del ERP de SAP.
3. Obtener curvas de Confiabilidad, Probabilidad de fallas, Tasas de falla y Mantenibilidad a partir de un tratamiento y alineación estadística
4. Implementar en el ERP el modelo estadístico de forma que le permita realizar el análisis de disponibilidad alcanzada intrínseca a los responsables de la planificación de mantenimiento.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El impacto económico es el principal motivo para establecer estrategias que aumenten la disponibilidad de los equipos críticos. En un mundo globalizado como el actual donde el costo óptimo de producción puede lograr una diferencia en el precio de venta y esto hacer la diferencia con la competencia. Sumado a esto, las estrategias de mantenimiento deben sustentarse en indicadores y datos confiables que disminuyan la probabilidad de error y el sobre costo a la hora de tomar decisiones.

Las mediciones estratégicas CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) son unidades técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos con los que cuenta el área de mantenimiento para su análisis y evaluación integral y específica; es a través del CMD que se puede controlar la gestión y operación del mantenimiento.

Con el fin de facilitar los cálculos matemáticos y la aplicación de la estadística, se plantea desarrollar una aplicación dentro de la herramienta tecnológica SAP que permita la captura de información, el almacenamiento y procesamiento, de esta forma se garantiza la integridad de los resultados para la presentación de informes técnicos y gerenciales tanto a los jefes, coordinadores y altos directivos de mantenimiento ayudando a la toma de decisiones acertadas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La evolución del área de mantenimiento se ha desarrollado en distintas épocas ajustándose a la necesidad de las dependencias que generan algún bien o servicio usando un activo; el análisis se desarrolló en etapas de la siguiente forma⁶:

Etapa I: Antes de 1950, se desarrollan actividades correctivas con el fin de corregir la falla o parada imprevista. Se elaboran las herramientas básicas para desarrollar tareas de mantenimiento y la prioridad del área de producción es elaborar productos o generar servicios.

Etapa II: Entre 1950 y 1959, Se desarrollan actividades de prevención o predicción de falla. Con el fin disminuir las paradas repentinas de los equipos. En esta etapa se identifican los equipos, se relacionan con sus repuestos específicos, las tareas posibles a subcontratar y se recolectan datos para realizar un seguimiento.

Etapa III: Entre 1960 y 1980, Se adopta una estructura para el desarrollo secuencial, organizado y lógico de las actividades definidas en una empresa. Cuyo objetivo pretende operar bajo un sistema organizado adoptando una táctica. Entre ellas se destacan: TPM, RCM, Combinado, Proactivo, Reactivo, WCM, mantenimiento centrado en riesgo, centrado en objetivos o resultados, RCM, etc. Las empresas que evolucionan, adoptan una de estas tácticas que consideran que reúne las mejores prácticas sin la necesidad de pasar secuencialmente por cada una de ellas.

Etapa IV: Entre 1981 y 1995, se alcanza cuando las empresas desarrollan con cierta eficiencia estrategias de mantenimiento y se interesan por tener indicadores que les permitan saber que tan acertadas hacen las cosas. Se establecen sistemas de costeo propio como el LCC, se establece sistemas de medición CMD, se usa la

⁶ MORA Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Colombia: AMG, 2008. PP 20-39

curva de la bañera (curva de Davies). Se comparan en el mercado para establecer el nivel de éxito en el mantenimiento y en general procura controlar todas las actividades realizadas.

En esta etapa se involucran las demás áreas corporativas de las empresas en un objetivo común para obtener la mayor eficiencia productiva y la máxima reducción de costos.

Etapa V: Entre 1996 y 2003, Promueve el desarrollo de habilidades y competencias en su personal. Se implementan técnicas y tecnologías de punta como producción ajustada a la demanda, manejo de inventarios, sistema de control, justo a tiempo, pronósticos de demanda, sistemas de simulación, etc. Y toda buena práctica que conlleve a aumentar la productividad, la rentabilidad, la competitividad, la utilización de innovación tecnológica; todo con base a una producción ajustada a la demanda.

Las empresas en este punto han alcanzado tal grado de experiencia, conocimiento, desarrollo de tecnología y dominio de modernas técnicas de mantenimiento y producción. Que estas dos áreas comienzan a trabajar de forma conjunta en aras de optimizar el bien común que las relaciona, la máquina.

Etapa VI: desde el 2004, se define como la gestión de activos, el cual permite integrar las buenas prácticas y el conocimiento adquirido en las etapas anteriores con el fin de manejar con flexibilidad y éxitos sus activos.

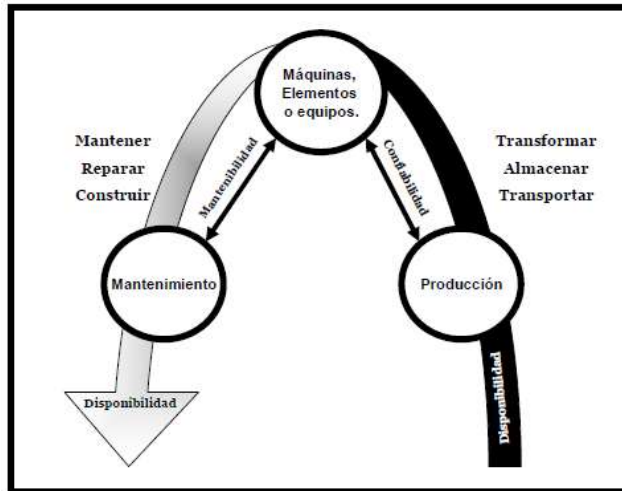
La gestión se puede alcanzar de diversas formas entre las cuales esta invertir en I&D (investigación y desarrollo en ingeniería) procurando disminuir los tiempos de reparación y los tiempos planeados lo que a su vez conlleva en la reducción de costos; la mejora de los índices CMD mediante proyectos, en especial todos aquellos que conduzcan al aumento de la disponibilidad, tiempo operacional sin fallas, medido a través de los índices CMD, UT, MTBF.

2.2 SISTEMA DE MANTENIMIENTO

Al entender una empresa como un sistema el cual está compuesto por áreas o departamentos independientes y estos a su vez tiene objetivos propios y comunes al sistema. Ahora, al encontrar e integrar elementos comunes entre los departamentos de Producción con el departamento de Mantenimiento enfocándose a un sistema más macro, más integral. Se visualizan elementos comunes: Mantenedores, Productores y Maquinas. (Figura 2)

Basándose en el sistema kantiano el cual permite establecer que la relación entre Producción y maquinas está dada por la confiabilidad, la relación entre Mantenimiento y maquinas está dada por la mantenibilidad y la relación entre Producción- Maquina – Mantenimiento está dada por Disponibilidad.⁷

Figura 2. Elementos comunes entre el departamento de producción y mantenimiento



Fuente: Mora Gutiérrez Alberto, 1999

⁷ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Colombia: AMG, 2008. PP 41-56

2.2.1 Niveles de mantenimiento: Bajo un enfoque sistemático se plantea niveles de mantenimiento de forma que facilite su estudio, tratamiento y aplicación los cuales son⁸:

Nivel Operacional: Comprende todas las acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas posibles a realizar sobre un equipo.

- Nivel Táctico: Comprende el conjunto de acciones relacionadas con las formas (posibilidades) de ejecutar las actividades de mantenimiento en un contexto metodológico entre ellas están TPM, RCM
- Nivel Estratégico: El cual se plantea a largo plazo y cubre las metodologías que analizan si las tácticas desarrolladas alcanzaron su éxito mediante indicadores CMD.

La confiabilidad, mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas basadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene Mantenimiento para su análisis⁹ y su evaluación integral y directa; es a través del CMD que se puede planificar, desarrollar y monitorear totalmente la gestión y operación del mantenimiento.

La confiabilidad se mide a partir del número y duración de las fallas, la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y la duración de las reparaciones; mientras que la disponibilidad se mide a partir de la confiabilidad y la mantenibilidad.

⁸ ESREDA DNV, Det Norske Veritas. Handbook on Maintenance Management – Statistical Series N° 5 – European Safety , Reliability & Data Association – ESREDA – Høvik - Norway – 2001 – ISBN: 82-515-02705

⁹ MORA GUTIERREZ, Alberto. Tercerización del mantenimiento, Subcontratación de trabajos de mantenimiento bajo parámetros internacionales, Mundo Eléctrico, Mantenimiento Eléctrico Una estrategia competitiva. Ciudad: Bogotá. Octubre a diciembre de 2003. Volumen 17 , P 53 .

En resumen, la confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad al suceso de generar servicios o productos.

2.3 RELACIÓN DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN

2.3.1 Confiabilidad

Relación Producción – Máquinas

Se conoce universalmente como “Confiabilidad”. La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales fue diseñado, durante un periodo de tiempo definido y bajo las condiciones de operación, ambientales y de entornos adecuados^{10 11}

En su forma más elemental se conoce como MTBF (Tiempo promedio entre fallas), pero además puede ser utilizada en términos de probabilidades, para diagnosticar la posibilidad de ocurrencia de una falla de un equipo en un tiempo determinado después de la última reparación.

2.3.2 Mantenibilidad

Se conoce universalmente como “Mantenibilidad”. A la probabilidad de que un equipo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después

¹⁰ BLANCHARD, Benjamín S; VERMA, Dinesh y PETERSON, Elmer. *Maintenibility: a key to effective serviceability and maintenance management*. USA: Wiley Interscience - Wiley, John & Sons, Incorporated, Diciembre 1994.

¹¹ PERTUZ COMAS, Alberto David. *Integridad y confiabilidad de Equipos*. Bogotá, 2010. P.10

de una falla, mediante la realización de actividades de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción¹².

En general la forma más elemental de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes reparaciones, y para ello se utiliza la medición MTTR (Tiempo promedio de reparación).

2.3.4 Disponibilidad

Haciendo un arreglo matemático de la confiabilidad y la mantenibilidad en sus formas elementales (MTBF y MTTR) se puede obtener un dato de “Disponibilidad” el cual es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionamiento de un equipo. La probabilidad de que un equipo funcione correctamente en el momento en que se requiera después de la puesta en operación¹³.

Las diferentes instituciones y autores que tratan el mantenimiento plantean básicamente los siguientes cinco tipos de disponibilidad que se muestran en la tabla las cuales tiene en cuenta factores que disminuyen la funcionalidad del equipo:

Tabla 1. Factores que afectan cada uno de los tipos de disponibilidad

		DT	TTR	PM	ADT	LDT'	LDT	RT
Tipos de Disponibilidad	Genérica – A_G	X						
	Intrínseca – A_f		X					
	Alcanzada – A_A		X	X				

12 KENEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. Madrid: ISDEFE, 1996. P.47.

13 RAMAKUNAR, Ramachandra. Engineering Reliability. Fundamentals and Applications. New jersey: Prentice-Hall Professional Technical, Diciembre 1996.

	Operacional - Ao		X	X	X	X	X	
	Operacional		X	X	X	X	X	X
	Generalizada- AGo							

DT: Tiempo no operativo

TTR: Tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos

PM: Mantenimientos Planeados (preventivos o predictivos).

ADT: 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': 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.

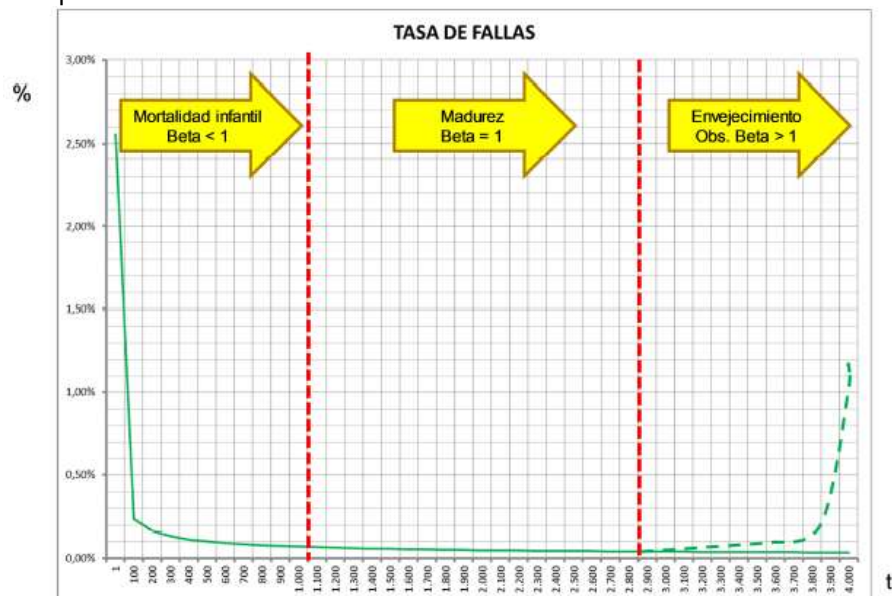
LDT: Tiempo total logístico que demora la acción propia de reparación o mantenimiento. Son todos los tiempos exógenos al equipo que retrasan el tiempo activo (ADT + LDT').

RT = Tiempo de Alistamiento = Tiempo en el cual el equipo está disponible, pero produce.

Tasa de fallas

Es la probabilidad que se produzca una falla en un intervalo de tiempo comprendido en el origen de tiempo y el instante de tiempo t^{14} . La curva de la bañera o Davies muestra la evolución en el tiempo frente a la tasa de fallas $\lambda(t)$ y el valor del parámetro de forma beta (β) del equipo que se evalúa. De acuerdo con el valor para ese momento del equipo, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser de averías, de mejora o preventivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o sistema. En la figura 3. Se muestra un ejemplo típico de una curva de tasa de fallas para el comportamiento característico de un equipo en donde se pueden identificar tres fases características que determinan las decisiones estratégicas y tácticas que se pueden tomar sobre el activo.¹⁵

Figura 3. Curva representativa de la tasa de fallas.



14 GOMEZ DE LEON, Félix cesáreo. Tecnología del mantenimiento industrial 7. EDITUM, 1998. P 61

15 MORA Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Colombia: AMG, 2008. PP 77-80

- Fase infantil o de rodaje: El comportamiento de la tasa de fallas en esta primera fase es decreciente, las operaciones sugeridas en esta fase son las de tipo de mantenimiento de emergencia y de tipo correctivo (mejoras), 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 las metodologías de análisis de fallas (RCA, AMFE etc.). Las acciones de mejora permiten corregir cualquier defecto de diseño o montaje, calidad de materiales, métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier otra falla característica de esta fase.
- Fase de madurez: Esta fase se tipifica por fallas enmarcadas en el origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de máquinas, las acciones que más se adaptan a esta etapa son las de tipo de atención de averías y de carácter preventivo especialmente. Los recursos para atención en esta fase deben ser significativamente bajos precisamente por la instancia en que se encuentra el activo.
- Fase de envejecimiento u obsolescencia: En esta fase se observa un incremento paulatino de la tasa de fallas en la medida que aumenta el tiempo. Las decisiones que más se adaptan a esta fase son las de realizar “overhauls”, repotenciaciones o inclusive análisis de reposición por obsolescencia de los equipos.

2.4 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

- Por qué su uso:

Una de las ventajas de usar la función de distribución de Weibull es que simula el comportamiento de la función de no confiabilidad o de mantenibilidad, indiferente de la fase en que se encuentre la tasa de fallas (infancia, madurez y envejecimiento).

Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución¹⁶

La distribución de Weibull se describe según los parámetros de forma, escala y posición, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permite obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones¹⁷.

Si no se usara esta distribución, cualquier análisis de resultados obtenidos durante la aplicación implicaría necesariamente un estudio previo de los datos, para definir cuál de las diferentes distribuciones se asemeja más a los datos obtenidos. Lo que no es viable al querer lograr un modelo en el ERP que se ajuste a cualquier dato proveniente de cualquier equipo.

- Que se obtiene:

Al aplicar Weibull se obtiene la distribución de fallos del equipo donde provienen los datos, ajustando los parámetros propios del modelo de distribución. Esto permite conseguir un modelo estadístico que representa con mayor o menor exactitud la distribución de los fallos del equipo.

Al conocer la distribución de los fallos el área de mantenimiento estará en capacidad de responder preguntas como: ¿cuál es la probabilidad de que la máquina dure más de T horas sin fallas en la función $R(t) = P(T > t)$?¹⁸.

16 ANTHONY, Kelly y M.J , Harris. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid: Fundación REPSOL ,1998.P.24. ISBN: 84-923506-0-1.

17 ROJAS ARIAS, Jaime .Introducción a la Confiabilidad. Bogotá: Universidad de los Andes, 1975.

¹⁸ La Función de Distribución de Weibull en los ensayos de fiabilidad
Disponible: http://es.slideshare.net/metal_javier/distribuciondeweibull

- Descripción del modelo

Es un modelo estadístico que representa la probabilidad de fallo después de un tiempo t ($R(t)$) en función del tiempo transcurrido. En función de probabilidad de falla o función de fiabilidad $R(t)$, viene dada por:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

Donde γ , η , β son parámetros que definen la función:

- Gamma - Parámetro de posición (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- Eta - Parámetro de escala o característica de vida útil (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- beta - Parámetro de forma (β), 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 formas; como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valor β vs Forma de tasa de fallas

Valor (β)	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de fallas decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de fallas creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh

$\beta > 2$	Tasa de fallas creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de falas creciente similar a la distribución Normal; Simétrica.

Fuente: Toro y otros, 2001

A partir de $R(t)$ se puede decir la probabilidad de que un componente falla antes del momento t , que se indica como $F(t)$. Esta función es muy útil en el estudio de fiabilidad de componentes y se puede representar como:

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

A parte de la función de distribución $F(t)$, también se puede definir la función de densidad de probabilidad $f(t)$, que muestra la probabilidad que tiene un componente genérico de fallar en un tiempo dado. Esta función coincide con la derivada temporal de $F(t)$ y su expresión es:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\frac{t - t_0}{\eta}\right]^{\beta}$$

Donde t es el tiempo en cualquier momento y t_0 es un tiempo de referencia o parámetro inicial de localización.

2.5 PROCESOS EMPRESARIALES EN EL ERP DE SAP

El portafolio de soluciones de SAP asigna el ciclo de vida completo del activo fijo y también los procesos individuales de Mantenimiento como parte de su ciclo de vida.

SAP proporciona soluciones para sectores industriales concretos o válidas para todos los sectores con el fin de poder representar las operaciones comerciales orientadas al proceso. Una solución contiene una combinación de componentes de aplicación y tecnología, seleccionados de acuerdo con un objetivo empresarial concreto.

My SAP Enterprise Resource Planning (ERP) crea un mapa de todas las tareas de una empresa, como la contabilidad, los recursos humanos, la logística, los servicios empresariales, la gestión inmobiliaria, la gestión de desplazamientos y la planificación empresarial estratégica.

2.5.1 Mantenimiento por avería

El ciclo de mantenimiento por avería está compuesto por tres pasos. A diferencia de los escenarios de mantenimiento que son planificables lo cuales están compuesto por cinco pasos. Los pasos son:

Figura 4. Proceso de mantenimiento por avería



Paso 1: El punto de partida es la creación de un aviso y orden de mantenimiento por avería. Esta orden no se planifica, sino que se libera de inmediato para el procesamiento.

Paso 2: La fase de ejecución cubre la toma de materiales o repuestos y la ejecución propiamente de la orden

Paso 3: En la fase de cierre, se confirma el tiempo necesario real. También se introduce las notificaciones técnicas para registrar la reparación y el estado de sistema técnico. La orden se liquida por el área contable apoyándose en el módulo de Controlling del ERP

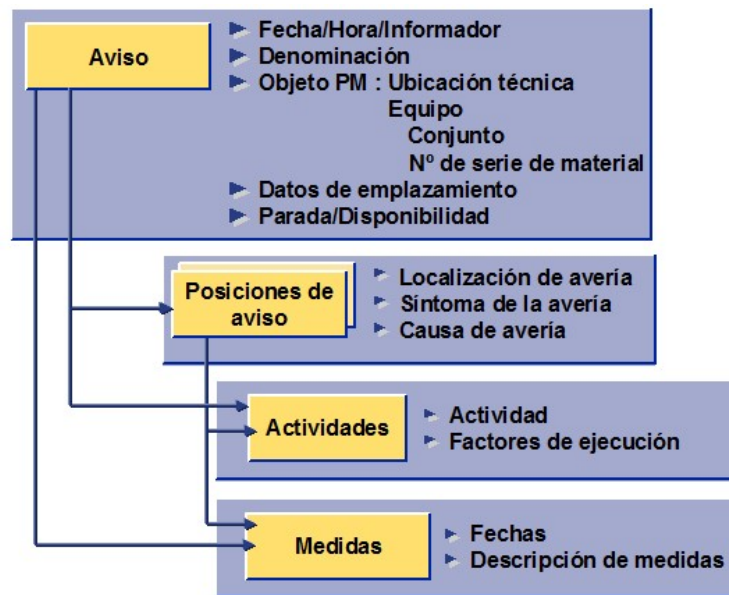
El mantenimiento por avería implica la creación y la liberación de la orden de mantenimiento en un solo paso en cuanto es comunicada una avería (por ejemplo, por un empleado de Producción)

La avería es corregida por el puesto de trabajo de mantenimiento especificado en la orden. Una vez se soluciona la avería, la orden es notificada por la persona que soluciono la avería, a continuación, la orden es chequeada por el supervisor o planificador de mantenimiento que le corresponda la zona donde se encuentre el equipo afectado y procede a cerrarla.

3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN

El Aviso es el documento que SAP tiene definido para comunicar las necesidades de mantenimiento, documentar las actividades desarrolladas, priorizar el trabajo y capturar información de la fecha y hora de inicio de avería. Si la configuración es correcta y fue diseñado esta clase de documento para soportar la captura de esta información, todos estos datos se almacenarán en la base de datos en tablas propias de SAP las cuales se pueden usar para posteriormente generar reportes e indicadores.

Figura 5. Estructura de avisos



Fuente: SAP Education

Para el caso del grupo empresarial CORONA se definieron las siguientes clases de aviso para soportar los diferentes modelos de mantenimiento.

Tabla 3. Clases de avisos de PM Corona

Z1	Aviso de Avería.
Z2	Aviso Mtto Prevent.
Z3	Aviso Mtto Correct.
Z4	Aviso de Prevención.
Z5	Aviso Ad.Taj.Fugua
Z6	Aviso P.metrologia
Z7	Aviso Mont/Desm. AF.
Z8	Aviso Time.Disp.Oper
Z9	Aviso Alistamiento

Con el fin de permitir la captura de los valores inicio y fin de avería que son la fuente de información de interés se procede a Habilitar el Dynpro Datos de Avería.

Figura 6. Aviso de Avería

Modificar aviso-MT: Aviso de Avería.

Aviso: 10024786 Z1 Avería Horno Tunel 10002312

Status mensaje: MEAB

Orden:

Información General. Datos de Avería. Guía de Procedimiento. Ubicación Física/Imputación.

Posición

Sínt. avería: C-S00100 0010 Afecta el medio ambiente

Texto:

Causas avería:

Texto causa:

Entrada 1 De 1

Fechas extremas

Inicio deseado: 15.02.2017 20:48:05 Prioridad: 1-Muy alto

Fin deseado: 02.03.2017 20:48:05 Parada

Datos avería

Inicio avería: 15.02.2017 20:41:29 Parada

Fin de avería: 00:00:00 Duración parada: H

Repercusión en la instalación

Ubic. técnica afect.: C-CL-VAJ-PRD-PLA-HOR01 ZONA HORNO 01

Equipo afectado: 10002312 HORNO TUNEL 1

Repercusión: 3 Parada de la producción

Para garantizar y asegurar que la información sea capturada se define que el status campo tanto de La fecha de inicio, hora y el flag de duración de parada sean obligatorios con el fin que el sistema calcule la duración de la parada al introducir más adelante la fecha fin y hora de parada. La cual por estándar SAP maneja la unidad de medida en horas.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE REGISTROS DE EVENTOS

Para la recolección de la información en el área de producción se cuenta con estaciones las cuales el técnico responsable del equipo puede reportar la avería que presenta un equipo en particular. De esta forma la información se almacena y se registra en SAP. A partir de esta información, se puede obtener reportes estándar donde se relaciona el número de aviso, equipo, nombre, ubicación, fecha del aviso, fecha de inicio - fin de avería y la duración en Horas de la parada. Los cuales se actualizan constantemente. Un ejemplo de un reporte en particular se muestra en la siguiente imagen.

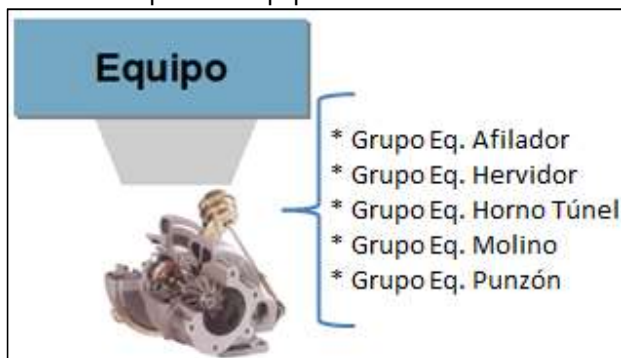
Figura 7. Listado de avisos en SAP

Aviso	Equipo	Denominación de objeto técnico	Denominación de la ubicación técnica	Fecha	HIniAvería	HFinAver	Inicio avería	Fin de avería	Duración parada	Un.
10000101	10002321	SOBADORA PEANA H10 03	ZONA ESMALTADORA H10	07.01.2015	08:00:25	08:10:00	06.01.2015	07.01.2015	24,16	H
10000460	10002546	SECADERO CUERO NOGALES 21	ZONA NOGALES	14.01.2015	22:00:00	23:00:00	20.01.2015	20.01.2015	1,00	H
10000615	10000841	ELEVADOR A TOLVA MOLINO 7	LINEA MOLIENDA 07	16.01.2015	18:20:00	02:30:00	15.01.2015	16.01.2015	8,17	H
10000874	10002546	SECADERO CUERO NOGALES 21	ZONA NOGALES	19.01.2015	14:35:00	15:05:00	05.01.2015	05.01.2015	0,50	H
10001259	10001154	CLASIFICADOR DE FINOS L1	ESTUCOS LINEA 1	26.01.2015	14:00:00	23:00:10	22.01.2015	22.01.2015	9,00	H
10001285	60000030	COMPRESOR TORNILLOS INGERSOLL RAND	SERVICIOS GENERALES SUMICOL	26.01.2015	10:00:00	11:00:00	23.01.2015	23.01.2015	1,00	H

3.1.2 Tratamiento de los históricos

Al matricular un equipo en SAP, se debe registrar el campo Tipo de Objeto técnico. Los valores previamente definidos en este campo permiten agrupar equipos que tengan características técnicas similares. Un ejemplo de los posibles valores se puede ver en la siguiente imagen.

Figura 8. Tipos de objetos técnicos para un equipo



Al obtener una muestra del último trimestre del 2016 de la información que se encuentra en la base datos y reorganizarla y agruparla de acuerdo a los tipos de objetos técnicos de la Empresa Locería se encuentra lo siguiente información.

Tabla 4. Tipo objeto vs Cantidad de avisos

Tp. de objeto	Cantidad de Avisos	Duración promedio de parada (Horas)
Eq Agitador Vertical	1	3.50
Eq Campana Esmaltado	1	2.24
Eq Carro Box	1	0.73
Eq Cisterna	4	0.76
Eq Data pack	1	0.60
Eq Descarg. Secadero	2	3.63
Eq Engobadora	4	2.88
Eq Ensemble general	1	1.5
Eq Estufa	1	0.25
Eq Filtro de Mangas	2	6.17
Eq Filtro Lav gases	28	1.78
Eq Filtro prensas	1	10.40
Eq Flow Sorb	1	0.25
Eq Formador Pacha	1	0.5
Eq Fotoexpositor	3	2.89

Eq Girador Baldosa	4	7
Eq Horno de Rodillos	3	0.89
Eq Horno Gradiente	4	0.67
Eq Horno Pantallas	1	0.50
Eq Lavado Pantallas	1	0.49
Eq Limpieza Bordes	1	1.00
Eq Línea Esmaltado	4	0.73
Eq Mesa Recogedora	4	2.02
Eq Metrlog. Colori.	3	0.41
Eq Metrlog. TB.Tq.pe	1	12.00
Eq Metrlog. Volumen	2	0.32
Eq Microscopio	2	1.78
Eq Molino de Bolas	1	0.42
Eq Molino Laborator.	3	0.67
Eq Molino Martillos	1	1.25
Eq Polipasto	3	0.64
Eq Rodillera	1	14.00
Eq Sec. Horizontal	1	2.25
Eq Serigrado	1	0.37
Eq Tablero Potencia	10	0.86
Eq Tamiz circular	14	0.74
Eq Tanque Agitador	1	0.83
Eq Tanque de Almace.	2	26
Eq Tanque Sirio	3	2.83
Eq Tanques en Ocho	3	2.37
Eq Transfer Electri.	1	2
Eq Transfo.Primario	5	1.13
Eq Trilaterales	1	0.83
Eq Válvula Rotativa	3	1.79

Eq Válvulas TipTap	1	1.10
Eq Vent. Caracol	5	0.45
Eq Viscosímetro	3	1
Eq Wrap	1	1.63

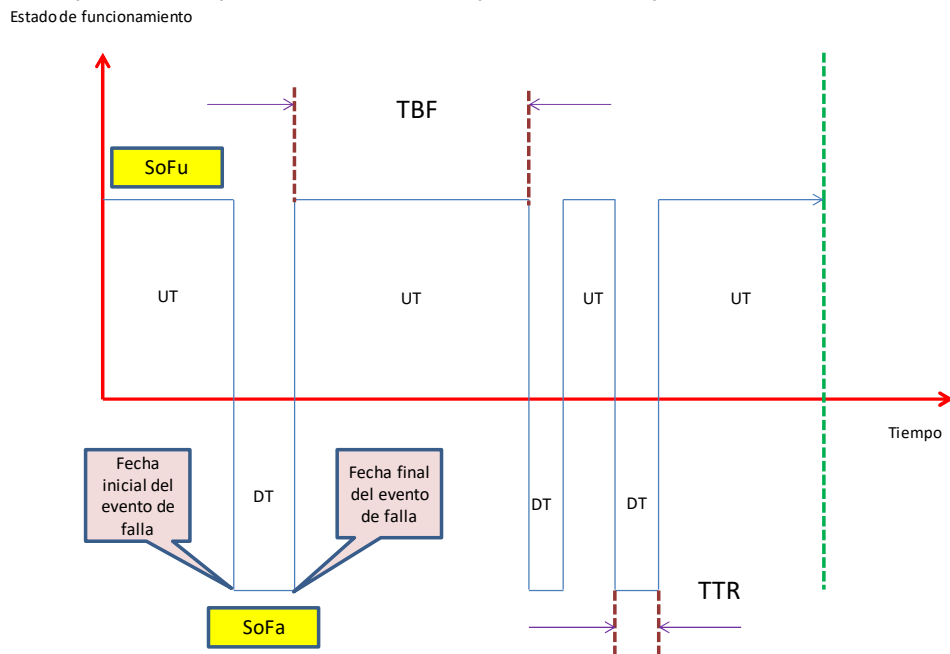
En estos datos se poder ver qué el tipo de objeto técnico que mayor presenta una duración de parada es “Eq Filtro Lav gases” pero sin embargo el tipo de objeto técnico que presento una mayor duración de paradas fue “Eq Rodillera” con un valor de 14 horas.

4. REPORTE DE MEDICIÓN DE CMD EN EL ERP DE SAP

La medición estratégica CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) en el proceso de mantenimiento, representa el impacto de las acciones formuladas en el campo táctico y operacional, y por tanto se convierte la información clave de gestión del mismo. Este concepto reúne sistemáticamente a los tres elementos que conforman el entorno manufacturero, de manera que máquinas, personas de mantenimiento y de producción se relacionan para conseguir los objetivos rentables y productivos requeridos por el negocio.

En términos generales, la confiabilidad (MTBF) y la mantenibilidad (MTTR) se pueden revisar como conceptos estadísticos de medición táctica del proceso de mantenimiento. El comportamiento productivo de una máquina se puede representar de la siguiente manera:

Figura 9. Comportamiento productivo de una máquina en el tiempo



Fuente: BBP de Procesos estratégicos de mantenimiento CORONA

Se identifican claramente dos estados SoFu (estado de funcionamiento) en el que se relacionan todos los UT (Up Times), y SoFa (estado de falla) en el que se relacionan los DT (Down Times). Estos elementos representan cada uno a los TBF (Tiempos entre Fallas) y los TTR (Tiempos de Reparación), que a la postre serán los datos básicos de cálculo estadístico que se derivan de la tabla de datos de fechas de inicio y fin de las averías o fallas en los equipos.

Una vez que se tienen identificados estos elementos (TBF y TTR) en cada uno de los equipos (o bloques de equipos), se procede a hacer una alineación estadística de los datos (tanto en confiabilidad como en mantenibilidad) utilizando herramientas de la función de probabilidades "WEIBULL" (Se pueden utilizar otro tipo de distribuciones tales como NORMAL, LOGNORMAL, EXPONENCIAL o GAMMA entre otras, pero se utiliza WEIBULL por ser la que representa en un mayor porcentaje el comportamiento de deterioro de las maquinas, sistemas y componentes), de manera que se puedan obtener los parámetros necesarios para completar la estadística.

En el anexo A se pueden consultar los elementos (Formulas) necesarias para obtener las curvas de confiabilidad y mantenibilidad.

4.1 MODELO DE REPORTE PROPUESTO

El reporte se construirá en base a la información que se encuentra en SAP y se integrará a los reportes del sistema de información logísticos. Los pasos que se desarrollan para la obtención de este reporte y el tratamiento de los datos son

PASO 1: Identificación y obtención de los datos necesarios

En este paso es necesario tener de cada uno de los equipos, el registro de los eventos de averías o fallas, y de ejecución de tareas de mantenimiento proactivo;

de acuerdo con el tipo de disponibilidad que se quiere medir (solo averías, entonces disponibilidad intrínseca; averías más tiempos de mantenimientos proactivos, entonces disponibilidad alcanzada). Para el ejemplo se utiliza la disponibilidad intrínseca. En la siguiente tabla se ilustra el modelo, y la obtención de los datos TTR (Time to Repair: Tiempo de la reparación) y TBF (Time Betwen Failure: Tiempo entre falla)

Figura10. Número de eventos de parada de un equipo

No EVENTO	FECHA PARADA	FECHA ARRANQUE	TTR (Dias)	TTR (Horas)	TBF (Dias)	TBF (Horas)
INICIAL	28/09/2014 15:22	29/09/2014 0:42	0,389	9,333		
1	07/10/2014 18:04	07/10/2014 23:15	0,216	5,183	8,724	209,367
2	27/10/2014 2:56	27/10/2014 6:12	0,136	3,267	19,153	459,683
3	18/11/2014 9:30	18/11/2014 11:47	0,095	2,283	22,138	531,300
4	20/12/2014 16:23	20/12/2014 16:43	0,014	0,333	32,192	772,600
5	24/12/2014 23:59				4,303	103,267

Diagrama de flujo:

- Fecha de arranque en el evento 1 - Fecha de parada en el evento 1 → TTR (Dias) y TTR (Horas)
- Fecha de parada en el evento 2 - Fecha de arranque en el evento 1 → TBF (Dias) y TBF (Horas)
- Fecha de análisis de CMD → No EVENTO

PASO 2: Tratamiento de los datos de reparaciones y operación sin fallas (tj)

Tanto en Mantenibilidad (TTR) como en confiabilidad (TBF) se deben calcular los $M(t_j)$ y $F(t_j)$ respectivamente atendiendo a las instrucciones de la siguiente tabla. Primero se ordenan los datos (t_j), luego se asigna un número (J), luego se calcula $M(t_j)$ y $F(t_j)$ con la fórmula correspondiente. Si existiera (t_j) del mismo valor, es preciso dejar únicamente el que genere el mayor valor (Los datos necesarios están en rojo (t_j)).

Figura 11. Cálculo de M(tj) y F(tj)

MANTENIBILIDAD					
	CON TODOS LOS DATOS			SIN DATOS REPETIDOS	
	No DATOS REPARACIONES	4		No DATOS REPARACIONES	4
(tj) Datos de reparaciones (Horas)	(tj) Datos ORDENADOS de reparaciones (Horas)	j	M(tj) = j/(N+1) en %	(tj) Datos ORDENADOS de reparaciones (Horas)	M(tj) = j/(N+1) en %
5,183	0,333333333	1	20,00%	0,3333333334	20,000%
3,267	2,283333333	2	40,00%	2,283333333	40,000%
2,283	3,266666667	3	60,00%	3,266666667	60,000%
0,333	5,183333333	4	80,00%	5,183333333	80,000%

CONFIABILIDAD					
	CON TODOS LOS DATOS			SIN DATOS REPETIDOS	
	No DATOS (UT)	5		No DATOS (UT)	5
(tj) Datos de operación sin fallas (Horas)	(tj) Datos ORDENADOS de operación sin fallas (Horas)	j	F(tj) = j/(N+1) en %	(tj) Datos ORDENADOS de operación sin fallas (Horas)	F(tj) = j/(N+1) en %
209,367	103,2666667	1	16,67%	103,2667	16,67%
459,683	209,3666667	2	33,33%	209,3667	33,33%
531,300	459,6833333	3	50,00%	459,6833	50,00%
772,600	531,3	4	66,67%	531,3000	66,67%
103,267	772,6	5	83,33%	772,6000	83,33%

En el caso de encontrar eventos repetidos se deben dejar el que tenga el F(t) o M(T) más crítico ya que el tratamiento de alineación difiere en los eventos en que no se repiten.

PASO 3 Alineación estadística de los datos

Una vez que se tienen los M(tj) y los F(tj) se procede a hacer la alineación estadística (utilizando las formulas correspondientes del anexo A) como se muestra en las siguientes imágenes:

Figura 12. Alineación estadística de Mantenibilidad $M(t_j)$

$\ln(\ln(1/(1-M(t_j))))$ Y de la regresion	$\ln(t_j)$ X de la regresion	$X_j * Y_j$	X_j^2
-1,499939987	-1,098612289	1,647852502	1,20694896
-0,671726992	0,825636364	-0,554602231	0,6816754
-0,087421572	1,183770097	-0,103487043	1,40131164
0,475884995	1,64544835	0,78304418	2,70750027

Sumatoria de X	X Promedio	Sumatoria de X ²	Sumatoria de Y	Y Promedio	Sumatoria de XY
$\sum x$	\bar{X}	$\sum x^2$	$\sum y$	\bar{Y}	$\sum xy$
2,556242522	0,63906063	5,99743628	-1,783203555	-0,445800889	1,772807408

Pendiente de la recta estimada. Parametro de forma beta B	Intercepto de la recta estimada α	Parametro de escala eta n
$b = \frac{(\sum xy - (N * \bar{Y} * \bar{X}))}{(\sum x^2 - (N * \bar{X}^2))}$	$a = \bar{Y} - b\bar{X}$	$\eta = \ell \left[\frac{-a}{\beta} \right]$
0,667389512	-0,872303251	3,695211151

$\hat{y} = a + b(x)$	$ Y_j - \hat{y} $	$ X_j - \bar{X} $	$[X_j - \bar{X}]^2$	$(X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})$	$ Y_j - \bar{Y} $	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[Y_j - \hat{y}]^2$
-1,60550557	0,105565583	-1,737672919	3,019507174	1,831748963	-1,054139098	1,111209238	0,011144092
-0,321282201	-0,350444791	0,186575733	0,034810504	-0,042152328	-0,225926103	0,051042604	0,122811551
-0,082267504	-0,005154068	0,544709467	0,296708403	0,195212607	0,358379317	0,128435735	2,65644E-05
0,22585172	0,250033276	1,006387719	1,012816242	0,927573355	0,921685884	0,849504869	0,062516639

Error estandar o variacion, o error tipico	Coefficiente de correlacion multiple	Coefficiente de determinacion muestral	Ajuste
$Se = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{y})^2}{N - 2}}$	$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}}$	$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{y})^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}$	$Ajuste = \sum X_j - \hat{y} $
0,313447641	0,952988125	0,908186366	0

Figura 13. Alineación estadística de Confiabilidad $F(t_j)$

$\ln(\ln(1/1-F(t_j)))$ Y de la regresion	$\ln(t_j)$ X de la regresion	$X_j * Y_j$	X_j^2
-1,70198336	4,637314639	-7,892632329	21,5046871
-0,90272046	5,344087101	-4,824216743	28,5592669
-0,36651292	6,130537847	-2,246921331	37,5834943
0,09404783	6,275326833	0,590180856	39,3797269
0,58319808	6,64976145	3,878128115	44,2193273

Sumatoria de X	X Promedio	Sumatoria de X^2	Sumatoria de Y	Y Promedio	Sumatoria de XY
$\sum x$	\bar{X}	$\sum x^2$	$\sum y$	\bar{Y}	$\sum xy$
29,03702787	5,807405574	171,2465025	-2,29397082	-0,45879416	-10,49546143

Pendiente de la recta estimada. Parametro de forma beta B	Intercepto de la recta estimada α	Parametro de escala eta η
$b = \frac{(\sum xy - (N * \bar{Y} * \bar{X}))}{(\sum x^2 - (N * \bar{X}^2))}$	$a = \bar{Y} - b\bar{X}$	$\eta = \ell \left[\frac{a}{\beta} \right]$
1,08019724	-6,731937636	508,8419295

$\hat{y} = a + b(x)$	$ Y_j - \hat{y} $	$ X_j - \bar{X} $	$[X_j - \bar{X}]^2$	$(X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})$	$ Y_j - \bar{Y} $	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[Y_j - \hat{y}]^2$
-1,722723163	0,020739807	4,637314639	21,50468706	-7,892632329	-1,701983355	2,896747342	0,00043014
-0,959269501	0,056549045	5,344087101	28,55926694	-4,824216743	-0,902720456	0,814904221	0,003197794
-0,109747576	-0,256765345	6,130537847	37,58349429	-2,246921331	-0,366512921	0,134331721	0,065928442
0,046653088	0,047394739	6,275326833	39,37972687	0,590180856	0,094047828	0,008844994	0,002246261
0,451116328	0,132081753	6,64976145	44,21932734	3,878128115	0,583198081	0,340120001	0,01744559

Error estandar o variacion, o error tipico	Coficiente de correlacion multiple	Coficiente de determinacion muestral	Ajuste
$Se = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{y})^2}{N - 2}}$	$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}}$	$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{y})^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}$	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{y} $
0,17248017	-0,391586198	0,978724833	0,0000000000

PASO 4 Elaboración tabla de datos para diferentes curvas en función del tiempo (t)

Teniendo estos datos se pueden construir los gráficos de confiabilidad y mantenibilidad, utilizando las formulas de la distribución de WEIBULL para diferentes tiempos (t)

Figura 14. Aplicación de Distribución de WEIBULL para la Curva de Mantenibilidad.

Pendiente de la recta estimada. Parametro de forma beta B	Intercepto de la recta estimada α	Parametro de escala eta n	Funcion Gamma Γ	Tiempo promedio de reparacion (MTTR)
$b = \frac{(\sum xy - (N * \bar{Y} * \bar{X}))}{(\sum x^2 - (N * \bar{X}^2))}$	$a = \bar{Y} - b\bar{X}$	$\eta = \ell \left[-\frac{a}{\beta} \right]$	Gamma $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$	$MTTR = \eta * Gamma \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$
0,667389512	-0,872303251	3,695211151	1,327823508	4,906588234

Tiempo (t)	Funcion de densidad de mantenibilidad f(t)	Curva de probabilidad de mantenibilidad R(t)	Curva de mantenibilidad M(t)	Funcion de tasa de reparaciones λ(t)
Tiempo (t) en Horas	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * (\frac{t}{\eta})^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$
0,50	27,00035%	76,86006%	23,13994%	35,13%
1,00	18,36594%	65,83703%	34,16297%	27,90%
1,50	14,09393%	57,81746%	42,18254%	24,38%
2,00	11,40544%	51,48670%	48,51330%	22,15%
2,50	9,51879%	46,28047%	53,71953%	20,57%
3,00	8,10868%	41,88928%	58,11072%	19,36%
3,50	7,01028%	38,12020%	61,87980%	18,39%
4,00	6,12924%	34,84296%	65,15704%	17,59%
4,50	5,40688%	31,96462%	68,03538%	16,92%
5,00	4,80445%	29,41615%	70,58385%	16,33%
5,50	4,29512%	27,14469%	72,85531%	15,82%
6,00	3,85964%	25,10875%	74,89125%	15,37%
6,50	3,48379%	23,27513%	76,72487%	14,97%
7,00	3,15680%	21,61684%	78,38316%	14,60%
7,50	2,87035%	20,11159%	79,88841%	14,27%
8,00	2,61791%	18,74083%	81,25917%	13,97%
8,50	2,39426%	17,48889%	82,51111%	13,69%
9,00	2,19518%	16,34248%	83,65752%	13,43%
9,50	2,01723%	15,29019%	84,70981%	13,19%
10,00	1,85756%	14,32221%	85,67779%	12,97%
10,50	1,71380%	13,42999%	86,57001%	12,76%
11,00	1,58396%	12,60609%	87,39391%	12,57%
11,50	1,46636%	11,84398%	88,15602%	12,38%

Figura 15. Aplicación de Distribución de WEIBULL para la Curva de Confiabilidad

Pendiente de la recta estimada. Parametro de forma beta B	Intercepto de la recta estimada a	Parametro de escala eta n	Funcion Gamma Γ	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)
$b = \frac{(\sum xy - (N * \bar{Y} * \bar{X}))}{(\sum x^2 - (N * \bar{X}^2))}$	$a = \bar{Y} - b\bar{X}$	$\eta = \ell \left[-\frac{a}{\beta} \right]$	Gamma $\Gamma (1 + \frac{1}{\beta})$	MTBF = $\eta * Gamma \Gamma (1 + \frac{1}{\beta})$
1,080197240	-6,731937636	508,8419295	0,970850118	494,0092475

Tiempo (t)	Funcion de densidad de probabilidad de falla f(t)	Curva de confiabilidad o probabilidad de confiabilidad R(t)	Probabilidad de falla o evento F(t)	Funcion de tasa de fallas $\lambda(t)$
Tiempo (t) en Horas	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * (\frac{t}{\eta})^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$
1	0,12863%	99,88085%	0,11915%	0,13%
100	0,15680%	84,15710%	15,84290%	0,19%
200	0,13678%	69,44125%	30,55875%	0,20%
300	0,11564%	56,82953%	43,17047%	0,20%
400	0,09631%	46,25172%	53,74828%	0,21%
500	0,07946%	37,48449%	62,51551%	0,21%
600	0,06513%	30,27539%	69,72461%	0,22%
700	0,05310%	24,38227%	75,61773%	0,22%
800	0,04312%	19,58716%	80,41284%	0,22%
900	0,03489%	15,70031%	84,29969%	0,22%
1000	0,02815%	12,55983%	87,44017%	0,22%
1100	0,02265%	10,02945%	89,97055%	0,23%
1200	0,01818%	7,99567%	92,00433%	0,23%
1300	0,01457%	6,36461%	93,63539%	0,23%
1400	0,01165%	5,05912%	94,94088%	0,23%
1500	0,00930%	4,01611%	95,98389%	0,23%
1600	0,00741%	3,18418%	96,81582%	0,23%
1700	0,00590%	2,52164%	97,47836%	0,23%
1800	0,00469%	1,99475%	98,00525%	0,23%
1900	0,00372%	1,57630%	98,42370%	0,24%
2000	0,00295%	1,24440%	98,75560%	0,24%
2100	0,00233%	0,98144%	99,01856%	0,24%

PASO 5 Cálculo de la disponibilidad

Con los datos de confiabilidad (MTBF) y de mantenibilidad (MTTR) se puede calcular la disponibilidad (recordando que dependiendo los datos que se utilicen, puede ser intrínseca o alcanzada) en términos porcentuales así:

$$Disponibilidad (D) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{494}{494+4,90} = 99,01 \%$$

4.1.1 PARÁMETROS DE ENTRADA

El desarrollo se ejecutará desde el ERP por la transacción "ZPM_CMD". Los parámetros de entrada para este desarrollo serán:

- Clase de Aviso: Documento donde se registra los datos de contacto del solicitante, síntoma, parte que falla y demás datos necesarios para realizar gestión sobre la falla presentada.
- Equipo: Numero con el cual el objeto técnico a mantener se registra en SAP
- Fecha de parada del evento Inicial & Fecha de Análisis CMD: Rango de fechas desde y hasta que se tendrán en cuenta para realizar los cálculos y obtener los gráficos.

Figura 16. Campos de entrada del reporte

Clase de Aviso	<input type="text" value="A"/>
Equipo	<input type="text"/>
Fecha de Parada del Evento Inicial	<input type="text"/>
Fecha de Análisis CMD	<input type="text"/>

4.1.2 Validación de criterios de selección: Con la información ingresada en los parámetros de entrada se debe realizar las siguientes validaciones:

Validación 1: Que el valor del campo "Fecha de parada de evento inicial" < "Fecha de análisis "En caso contrario se debe mostrar un ERROR que diga "Fecha de análisis menor o igual a Fecha de parada de evento inicial".

Validación 2: Todos los parámetros de entrada son obligatorios.

Validación 3: Al hacer la selección, si arroja menos de 4 registros (eventos de parada y arranque), no se puede ejecutar el análisis y se debe generar como resultado un mensaje de error que diga “Numero de datos insuficiente para el análisis estadístico” Con el fin de cumplir el teorema de limite central donde el autor, manifiesta y demuestra la importancia estadística de tener tamaños muestrales superiores para soportar valores estadísticos.

4.1.3 Requerimiento funcional: Crear un programa ABAP (Lenguaje propio de programación de SAP) que genere un reporte a partir de los filtros ingresados de la base de datos. Dicho reporte debe tener las siguientes partes:

Tabla 5: Partes del reporte

Cabecera principal del reporte	Detalle del reporte (Listado de registros)
✓ Título del Informe	✓ Equipo
✓ Compañía	✓ No Evento
✓ Fecha de Generación del Reporte	✓ Fecha de Parada
✓ Hora de Generación del reporte	✓ Fecha de Arranque
✓ Perfil de usuario que Genero el reporte	

A partir de estos datos se debe obtener las siguientes graficas con el arreglo matemático que se describe en el punto 4.1 mediante los pasos que se mencionan:

1. Identificación y obtención de los datos necesarios
2. Tratamiento de los datos de reparaciones y operación sin fallas (tj)
3. Alineación estadística de los datos
4. Elaboración tabla de datos para diferentes curvas en función del tiempo (t)
5. Cálculo de la disponibilidad

Para esto se debe presentar en la barra de herramientas del reporte un menú con las siguientes opciones:

Tabla 5: Posibles curvas o graficos del reporte

Curvas de Análisis:	Gráficos en línea de Tiempo:
✓ Confiabilidad o probabilidad de confiabilidad $R(t)$	✓ MTBF
✓ Probabilidad de falla o evento $F(t)$	✓ MTTR
✓ Tasa de fallas $\lambda(t)$	✓ Disponibilidad
✓ Mantenibilidad $M(t)$	

5. MODELO DE ANÁLISIS DE CURVAS DE CMD EN EL ERP DE SAP

Con el programa desarrollado, el cual contiene todas las fórmulas y análisis estadístico, se procede hacer una estimación CMD a un equipo crítico de la compañía, con el fin de tener un control sobre el sistema de mantenimiento y producción, en cuanto a la operación y sostenibilidad eficiente de los equipos, al igual que lograr un uso efectivo de los recursos y productos que se disponen.

5.1 OBTENCIÓN DE CURVAS Y FORMA DE ANÁLISIS

Al ejecutar la transacción “ZPM_CMD” en el campo de comando se genera la siguiente ventana en la cual se pueden definir los parámetros de entrada. Para el ejercicio se definen los parámetros que se muestran en la siguiente imagen.

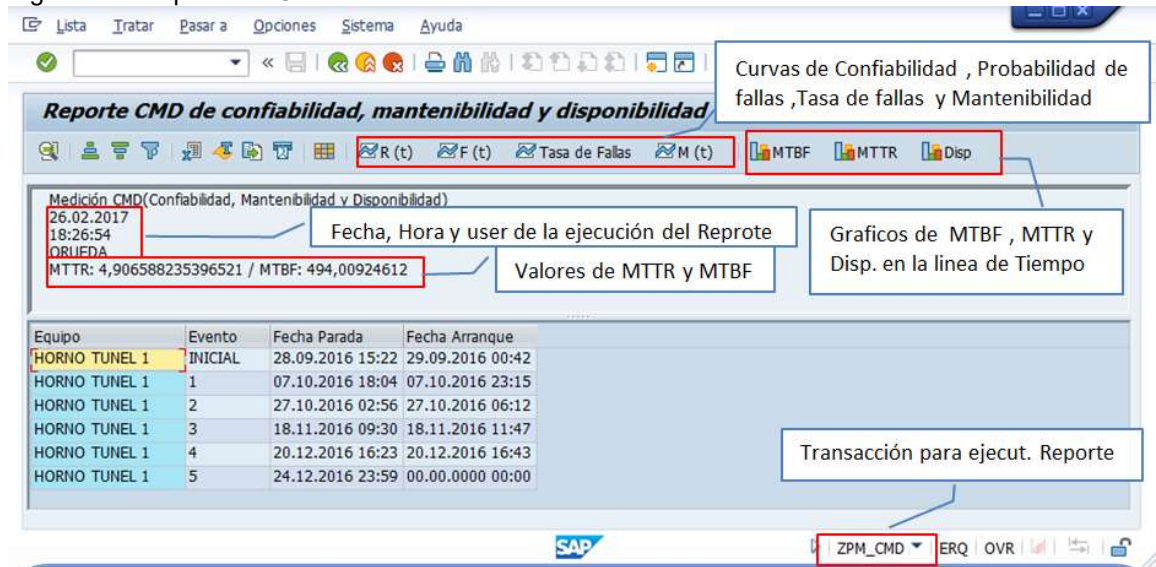
Figura 16. Parámetro de entrada del Reporte Z en SAP

Reporte CMD de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad	
Clase de aviso	Z1
Equipo	10010765
Fecha de Parada Evento Inicial	28.09.2016
Fecha de Análisis CMD	24.12.2016

Con estos parámetros se procede a ejecutar el reporte, el programa consultara los avisos que tengan como objeto de referencia el Equipo y la clase de aviso indicada dentro de las fechas definidas.

Este reporte No estándar dentro de la solución del ERP del SAP permite tener en una única ventana los eventos identificados, los valores de MTTR, MTBF y a partir de ella generar las curvas de CMD

Figura 17. Reporte de CMD en SAP



Curva de Confiabilidad

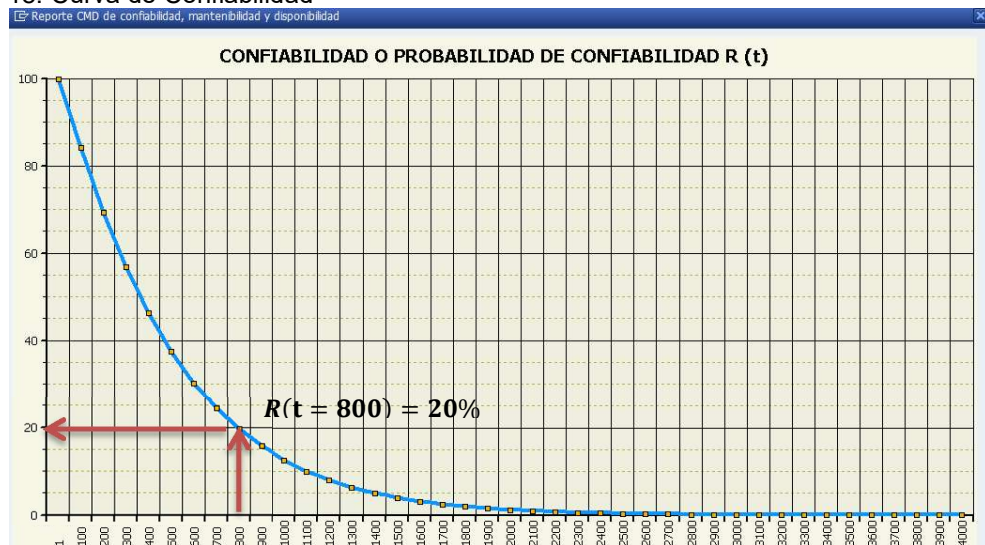
Es la representación gráfica del funcionamiento después de transcurrido un tiempo t en un periodo de tiempo. Para el set de datos analizados, representa la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene el equipo 1001075 después de transcurrido un tiempo t .

En otro escenario en el cual se ingresen N números de equipos (los cuales tengan las mismas características técnicas), expresaría el porcentaje de ellos que aun funcionan después de transcurrido un tiempo t .

La capacidad de un equipo para funcionar correctamente sin interrupciones debidas a fallas imprevistas, a fallas insumos, a fallas de energía o información o por cualquier otra razón se puede conocer mediante la utilización de los indicadores de confiabilidad.

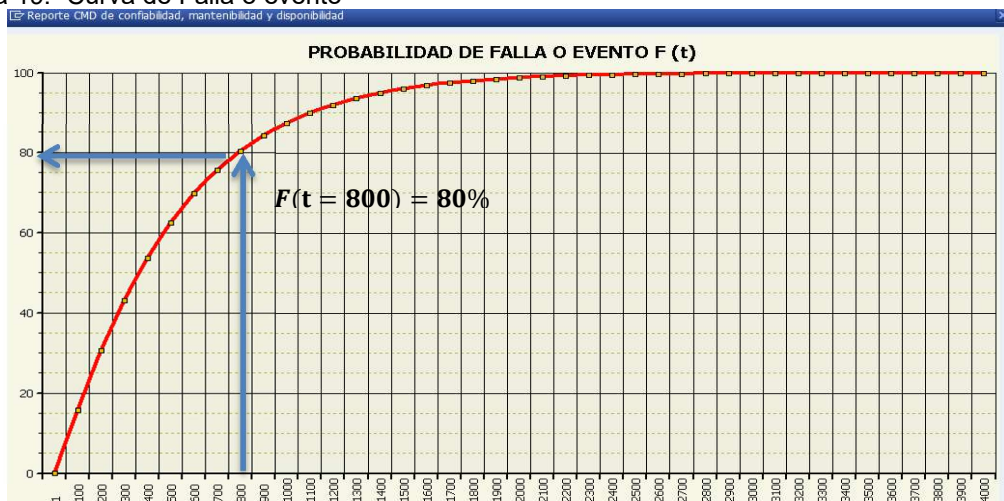
Ejemplo específico.

Figura 18. Curva de Confiabilidad



Si se toma el punto de la ilustración para $R(250)$ se lee de la gráfica que la probabilidad de que el equipo dure más de 800 horas sin fallar es del 20%. Si esta curva correspondiera a un grupo de equipos se podría leer que después de 850 horas la probabilidad de que aun ellos funcionan es del 20 %

Figura 19. Curva de Falla o evento



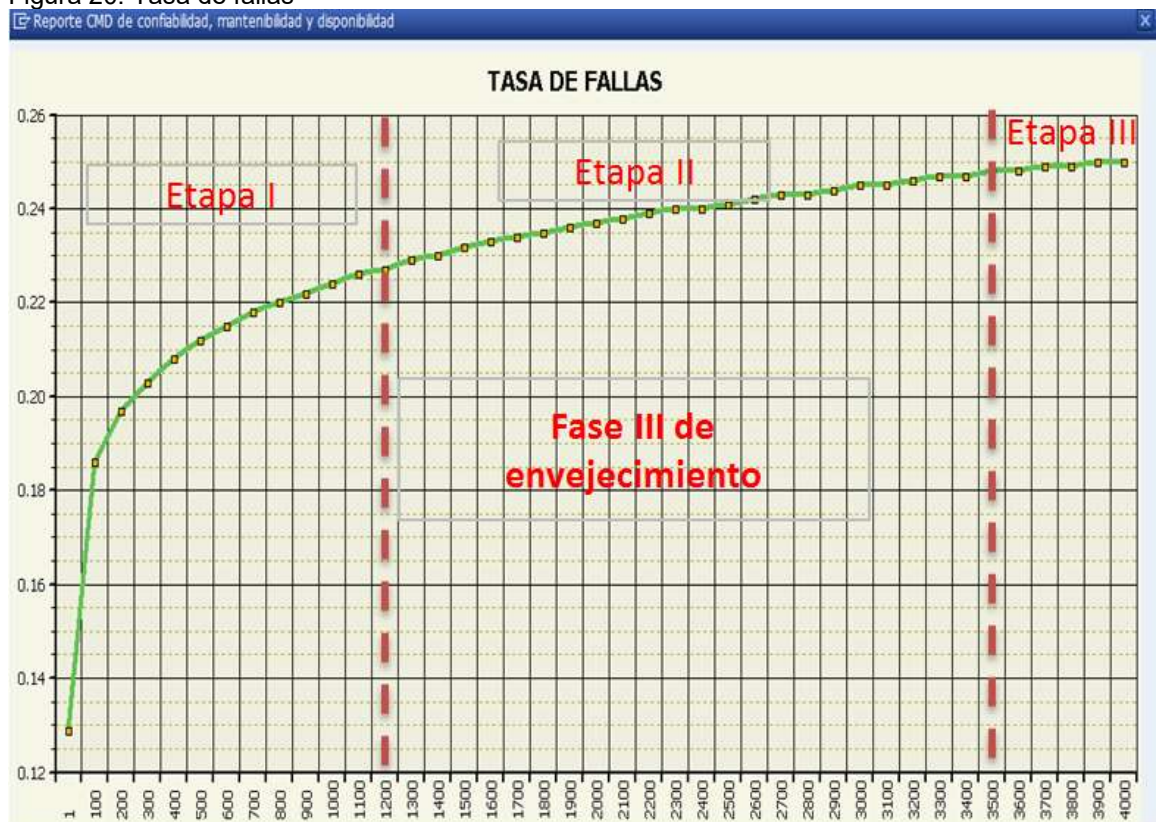
De esta curva se puede leer por ejemplo que una vez hecha la última reparación la probabilidad de que el equipo entre en falla antes de 800 horas es del 80%.

Curva de Tasa de falla

La tasa de fallas expresa la cantidad de averías o reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo en que se estudia un elemento. Permite definir el tipo de acción o tarea de mantenimiento a realizar dependiendo de la fase en la que se encuentre (Fase de rodaje, Fase de madurez o vida útil y Fase de envejecimiento)

Ejemplo específico.

Figura 20. Tasa de fallas



En la etapa I de esta fase las fallas que presentan son conocidas y se tiene conocimiento y experiencia de cómo solucionarlas, por eso en este punto se recomienda utilizar acciones planeadas de tipo preventivo ; En la etapa II se incrementa la tasa de fallas de forma constante , en esta sección se inicia la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas , el comportamiento de las fallas en un grado alto son predecibles ;Por último esta la etapa III y en ella

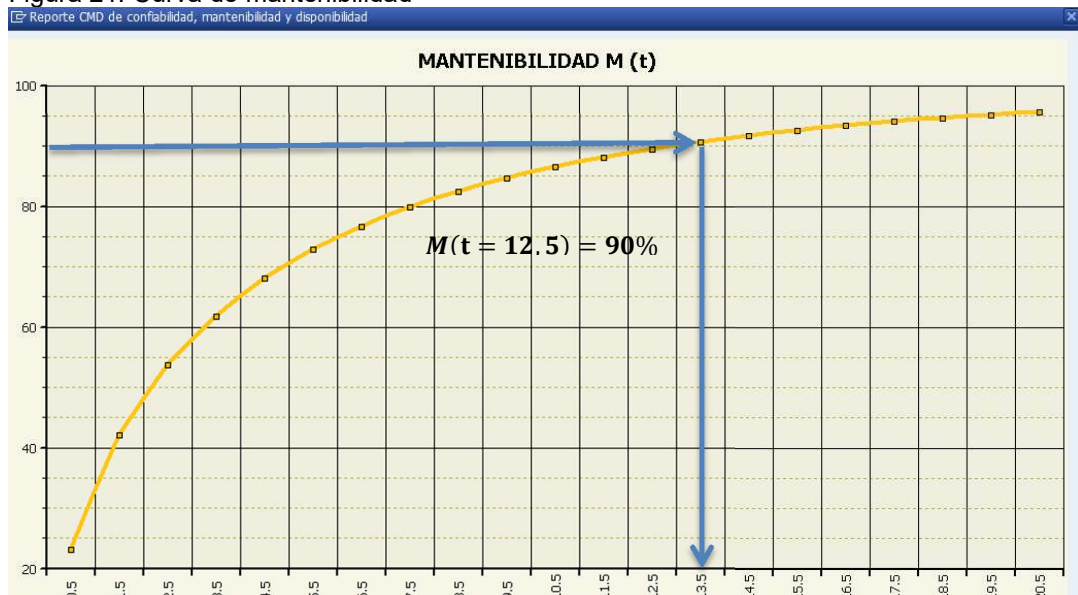
se evidencia un envejecimiento alto , donde la vida útil del equipo se acelera y la tasa de fallas se incrementa rápidamente , se estabiliza el uso de acciones predictivas y cuando estas ya no surjan efecto se sugiere hacer reposición del equipo .

Curva de mantenibilidad

Representa la probabilidad de que la función en un equipo sea recuperada dentro de un tiempo t. Esta curva es creciente y alcanza el 100 a un tiempo que tienda a infinito, como también denota que un tiempo igual a cero la probabilidad de reparar es nula.

Ejemplo específico.

Figura 21. Curva de mantenibilidad



Se puede leer de la gráfica que existe la probabilidad del 90 % que la reparación que se haga en el equipo no dure más de 12,5 horas, también se puede leer que el 90 % de las reparaciones deben realizarse en tiempos inferiores a 12,5 horas y por último si los datos correspondieran a múltiples equipos similares su podría leer que el 90 % de las veces que se reparan estas clases de equipo no dura más de 40 horas las reparaciones.

5.1 GRÁFICAS EN LÍNEA DE TIEMPO

Estas gráficas se basan en una línea de tiempo y proyecta el acumulado de mes a mes por este motivo se ingresan más datos y se amplía el intervalo de análisis con el fin de obtener unas gráficas más contundentes.

Figura 22. Confiabilidad acumulada del Equipo 10010765

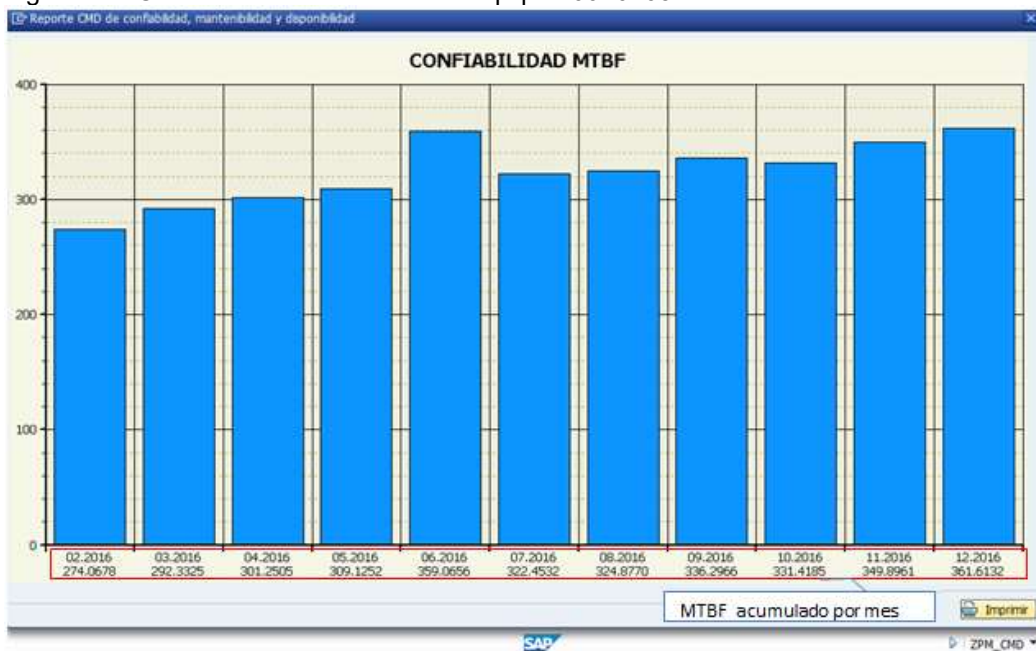


Figura 23. Mantenibilidad acumulada del Equipo 10010765

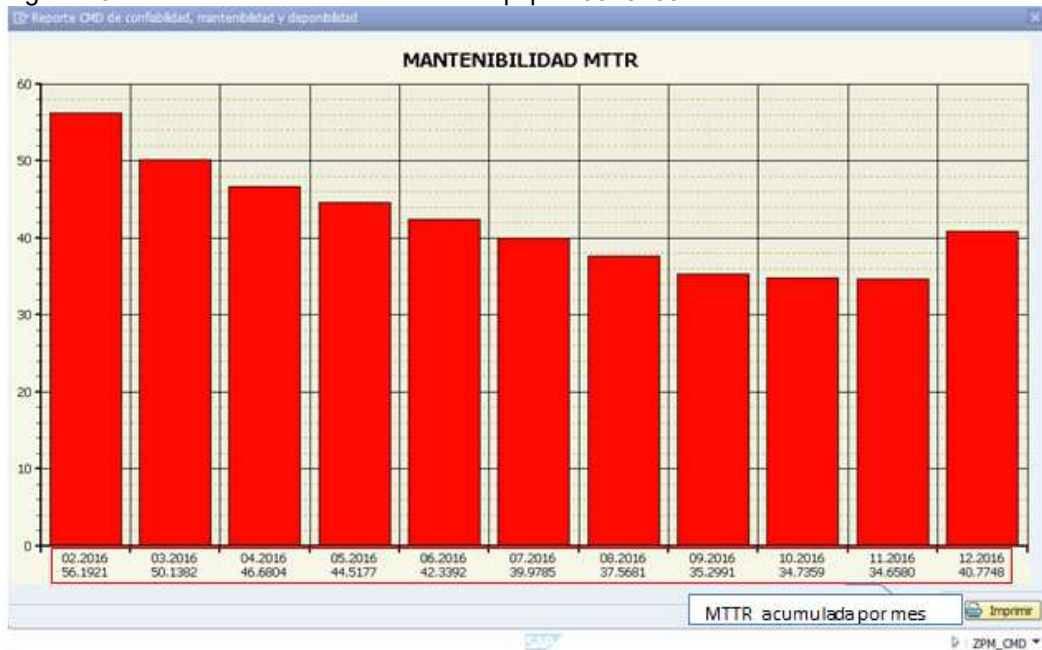


Figura 24. Disponibilidad acumulada del Equipo 10010765



Gráficamente se logra ver la relación directamente proporcional entre Confiabilidad Vs Disponibilidad y la relación inversamente proporcional entre Mantenibilidad Vs Disponibilidad.

En el transcurso de los meses la confiabilidad aumento y la mantenibilidad disminuyo lo que lleva a un aumento en la disponibilidad. Pese a esto el valor acumulado de mantenibilidad es aún muy alto teniendo en cuenta que es un equipo crítico para el proceso.

Recomendaciones

- Validar si las fechas, hora de inicio y fin de avería corresponde solo a tiempos de disponibilidad Intrínseca o se están incluyendo los tiempos administrativos y logísticos. De esta forma tener claro los resultados que se están obteniendo a que tipos de datos corresponden y tener seguridad que la disponibilidad que se está midiendo corresponde a la intrínseca.
- Implementar técnicas de análisis de falla FMECA y valerse de información adicional capturada en los avisos como lo son los síntomas y causas de la avería para hacer análisis de causa raíz de falla (RCFA - Root Failure Analysis) con el fin de disminuir rápidamente las fallas que implican reparaciones
- Convertir en un corto plazo las reparaciones debidas a fallas imprevistas en mantenimientos planeados donde el impacto, costo y prevención de la falla sean el primer objetivo.

6. CONCLUSIONES

Con este reporte se facilita la obtención de los indicadores de CMD de los equipos que se requieran y se consideren necesarios. También los tiempos de operación sin falla y los periodos invertidos en reparaciones, todos estos indicadores se pueden analizar de forma gráfica por medio de curvas estadísticas resultado de funciones matemáticas que reflejan el comportamiento en el tiempo de las fallas.

No es suficiente con la captura y obtención de los datos. Se debe garantizar que los datos que se ingresan al sistema sean los correctos, para esto se propone que para los equipos críticos se piense en sensores que se comuniquen por medio de interfaces y aplicativa web a SAP, con el fin de que la información viaje de forma automática disminuyendo la probabilidad del error humano.

Las decisiones que afectan la productividad de una compañía y hacen que el negocio sea sostenible y rentable en el tiempo, se deben soportar y tomar con datos reales que permitan que una decisión sea la más acertada.

Los valores de CMD por sí solos no tienen en cuenta los aspectos económicos, por esto es importante relacionar estos valores con la inversión del dinero para lograr los resultados esperados. Para esto la literatura define el concepto de LCC – Costo de ciclo de vida, el cual permite valorar la situación económica del equipo, su viabilidad técnica y financiera a través de su ciclo de vida.

7. BIBLIOGRAFIA

ACUÑA ACUÑA, Jorge. Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Editora Tecnológica de Costa Rica,2003

ARATA ANDREANI, Adolfo. Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Santiago de Chile: RIL Editores, 2009

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga:

Universidad Industrial de Santander, 2011

LEEMIS, Lawrence. Reliability: Probabilistic models and statistical methods. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Medellín: AMG ,2005

RINNE Horst. The Weibull Distribution. NW : CRC Press,2008

SAP EDUCATION.PL300_INST, Procesos empresariales de mantenimiento. Copyright,2008

ANEXO A. Ecuaciones para obtener curvas de confiabilidad y mantenibilidad

Los siguientes son los elementos (con sus fórmulas) necesarios:

- TBF = Tiempo entre fallo para cada evento (tj datos de operación sin fallas)
- TTR = Tiempo de reparación para cada evento de fallo (tj datos de reparaciones)
- $F(t_j) = j / (N + 1)$, donde N es el número de datos
- Y de la regresión = $\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F(t_j))))$
- X de la regresión = $\text{Ln}(t_j)$
- Parámetro de forma β (pendiente de la recta estimada):

$$b = \frac{(\sum xy - (N * \bar{Y} * \bar{X}))}{(\sum x^2 - (N * \bar{X}^2))}$$

- Intercepto de la recta estimada α :

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

- Parámetro de escala η :

$$\eta = e^{\left[\frac{a}{\beta}\right]}$$

- Función Gamma Γ :

$$\text{Gamma } \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

- Tiempo promedio entre fallas o tiempo promedio de reparación (MTBF o MTTR):

$$MTBF, MTTR = \eta * \text{Gamma } \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Con estos datos anteriores se pueden construir las siguientes curvas dependiendo si se usan los datos de confiabilidad o mantenibilidad:

- Función de probabilidad de falla $f(t)$

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

- Curva de confiabilidad o probabilidad de confiabilidad $R(t)$

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

- Probabilidad de falla o evento $F(t)$

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

- Función de tasa de fallas $\lambda(t)$

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

- Curva de mantenibilidad $M(t)$

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

En todos los casos (t) hace referencia a datos de tiempo en los que se quiere proyectar el comportamiento.